

การพัฒนาสู่ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

ปริญญานิพนธ์  
ของ  
สุทัศน์ รอดพยุง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา  
พฤษภาคม 2547  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๖๙๗.๙๓

๘๗๗๘๗

๘. ๓

การพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

บทคัดย่อ

ของ

สุทัศน์ รอดพุง

๑๔ ก.ย. ๒๕๔๗

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา  
พฤษภาคม ๒๕๔๗

h 251067

สุทัศน์ รอดพวง. (2547). การพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์. ปรินท์งานพิมพ์ กศ.ม.  
(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.  
คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์โอภาส สุขหวาน.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยใช้ตู้มีขนาด  
ภายนอก กว้างxลึกxสูง 535X460X730 มิลลิเมตร ภายในตู้ขนาด กว้างXลึกXสูง 455X316X447 ตู้มีโครง  
สร้างทำด้วยสังกะสีความจุ 60 ลิตร อัลตราโซนิกส์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลท์ สร้างความชื้นขนาด 20  
วัตต์ สามารถให้ความชื้นได้สูงสุด 100 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ติดตั้งในตู้ควบคุมความชื้น และทำการวัดระดับ  
อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งใช้เวลาในการตรวจวัด 1 ชั่วโมงต่อเนื่องเพื่อหาประสิทธิภาพตาม  
มาตรฐาน ASTM E337 (Method B) โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ถ่วงวัดต้องอยู่ในที่ร่ม  
มีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส และมีความเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่เกิน  
 $\pm 5\%$  และศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานทางด้านกายภาพทั่วไปของตู้ควบคุมความชื้น 4 ด้านคือ  
ด้านความปลอดภัย ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา โดยมีผู้เชี่ยวชาญ  
ด้านอุณหภูมิและความชื้นจำนวน 3 ท่านเป็นผู้ประเมิน

ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASTM E337 (Method B) มีดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองที่  $15^{\circ}\text{C}$  ที่ (@) ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) 40%

วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  $16.13\text{--}8.40^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิ  
เท่ากับ 7.73 ตามมาตรฐาน ASTM E337 ค่าวนค่าความชื้นภายในตู้ได้เท่ากับ 32 % RH ซึ่งไม่สามารถ  
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 2.50\% \text{RH}$

2. ผลการทดลองที่  $15^{\circ}\text{C}$  @ 50% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  
 $17.12\text{--}9.07^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 8.05 ตามมาตรฐาน ASTM E337 ค่าวนค่าความชื้นภายในตู้ได้  
เท่ากับ 31 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  
 $\pm 3\% \text{RH}$

3. ผลการทดลองที่  $15^{\circ}\text{C}$  @ 60% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  
 $16.87\text{--}10.17^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 6.70 ตามมาตรฐาน ASTM E337 ค่าวนค่าความชื้นภายในตู้  
ได้เท่ากับ 41 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  
 $\pm 1\% \text{RH}$

4. ผลการทดลองที่  $25^{\circ}\text{C}$  @ 40% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  
 $25.37\text{--}16.26^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 9.11 ตามมาตรฐาน ASTM E337 ค่าวนค่าความชื้นภายในตู้  
ได้เท่ากับ 37 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  
 $\pm 1\% \text{RH}$

5. ผลการทดลองที่  $25^{\circ}\text{C}$  @ 50% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  
 $25.09\text{--}18.24^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 6.85 ตามมาตรฐาน ASTM E337 ค่าวนค่าความชื้นภายในตู้  
ได้เท่ากับ 51 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  
 $\pm 2.50\% \text{RH}$

6. ผลการทดลองที่  $25^{\circ}\text{C}$  @ 60% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  $25.40\text{-}19.58^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 5.82 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นภายในตู้ได้เท่ากับ 58 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 3.50\%$  RH

7. ผลการทดลองที่  $30^{\circ}\text{C}$  @ 40% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  $30.06\text{-}20.22^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 9.84 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นภายในตู้ได้เท่ากับ 40 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 1\%$  RH

8. ผลการทดลองที่  $30^{\circ}\text{C}$  @ 50% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  $29.41\text{-}21.43^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 7.98 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นภายในตู้ได้เท่ากับ 48 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 1.50\%$  RH

9. ผลการทดลองที่  $30^{\circ}\text{C}$  @ 60% RH วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ  $28.69\text{-}22.25^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับได้ผลต่างเท่ากับ 6.44 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นภายในตู้ได้เท่ากับ 57 % RH สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 5\%$  RH

สำหรับความเหมาะสมในการใช้งานทางด้านกายภาพทั่วไปของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตรา-โซนิกส์แบ่งออกเป็น

ด้านความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(\bar{x} = 3.89)$

ด้านโครงสร้างอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(\bar{x} = 3.60)$

ด้านการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(\bar{x} = 3.59)$

ด้านการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์พอใช้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(\bar{x} = 3.16)$

**THE DEVELOPMENT OF HUMIDITY CONTROL CHAMBER USING ULTRASONIC WAVES**

**AN ABSTRACT**

**BY**

**SUTAS RODPHAYOONG**

**Presented in partial fulfillment of the requirements  
for the Master of Education Degree in Industrial Education  
at Srinakharinwirot University  
May 2004**

Sutas Rodphayoong. (2004). *The Development of Humidity Control Chamber Using Ultrasonic Waves*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr.Pairust Vongyuttakrai, Mr.Ophat Sookwan.

The objective of this thesis was to develop humidity control chamber using ultrasonic waves . The size of outside of chamber is 53.5 centimeter width 46.0 centimeter deep 30 centimeter high and inside size of chamber is 45.5 centimeter width 31.6 centimeter deep 44.7 centimeter high. The chamber made from zinc and has capability of 60 liters. The ultrasonic waves humidity generator size 20 watts and have humidity capacity of 100 ml/ hour liters, using 24 volts alternating current (A.C.), which installed in humidity control chamber and measure wet & dry bulb temperature for 1 hour continuously. The efficiency of humidity control chamber using ultrasonic waves was based-on ASTM E337 (Method B). The specification of this ASTM E337 require to test the humidity control chamber using ultrasonic waves under shade and the temperature out side should not be difference more than  $\pm 0.3$  °C and the variation  $\pm 5$  % RH. The appropriate of this humidity control chamber using ultrasonic waves was consider in 4 areas. First is safety. Second is structure. Third is implementation and. Fourth is maintenance. The researcher let 3 experts specialize in temperature and humidity evaluated the humidity control chamber using ultrasonic waves.

The efficiency of humidity control chamber using ultrasonic waves were as followed:

1. Set up the humidity control chamber at 15 °C @ 40 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 16.13-8.40 °C the difference is 7.73 and has humidity inside chamber  $\pm 32$  % RH with humidity variation  $\pm 2.50$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B).The humidity control chamber cannot humidity at 40 % RH.
2. Set up the humidity control chamber at 15 °C @ 50 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 17.12-9.07 °C the difference is 8.05 and has humidity inside chamber  $\pm 31$  % RH with humidity variation  $\pm 3$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber cannot humidity at 50 % RH.
3. Set up the humidity control chamber at 15 °C @ 60 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 16.87-10.17 °C the difference is 6.70 and has humidity inside chamber  $\pm 41$  % RH with humidity variation  $\pm 1$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber cannot humidity at 60 % RH.
4. Set up the humidity control chamber at 25 °C @ 40 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 25.37-16.26 °C the difference is 9.11 and has

humidity inside chamber  $\pm 37$  % RH with humidity variation  $\pm 1$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 40 % RH.

5. Set up the humidity control chamber at 25 °C @ 50 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 25.09-18.24 °C the difference is 6.85 and has humidity inside chamber  $\pm 51$  % RH with humidity variation  $\pm 2.50$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 50 % RH.
6. Set up the humidity control chamber at 25 °C @ 60 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 25.40-19.58 °C the difference is 5.82 and has humidity inside chamber  $\pm 58$  % RH with humidity variation  $\pm 3.50$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 60 % RH.
7. Set up the humidity control chamber at 30 °C @ 40 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 30.06-20.22 °C the difference is 9.84 and has humidity inside chamber  $\pm 40$  % RH with humidity variation  $\pm 1$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 40 % RH.
8. Set up the humidity control chamber at 30 °C @ 50 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 29.41-21.43 °C the difference is 7.98 and has humidity inside chamber  $\pm 48$  % RH with humidity variation  $\pm 1.50$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 50 % RH
9. Set up the humidity control chamber at 30 °C @ 60 % RH and the temperature of dry and wet bulb temperature of 28.69-22.25 °C the difference is 6.44 and has humidity inside chamber  $\pm 57$  % RH with humidity variation  $\pm 5$  % RH calculate by the standard ASTM E337 (Method B). The humidity control chamber can humidity at 60 % RH

For the appropriate of this humidity control chamber using ultrasonic waves was consider in 4 areas as followed:

Safety is in good level.

Structure is in good level.

Implementation is in good level and

Maintenance is in moderate level.

ปริญญานิพนธ์

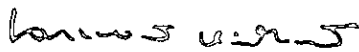
เรื่อง

การพัฒนาตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

ของ

นายสุทัศน์ รอดพยุง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)

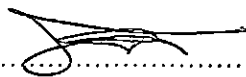
วันที่ 12 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



ประธาน

(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



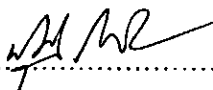
กรรมการ

(อาจารย์ไอลาส สุขหวาน)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร)

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยความกรุณาของ อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อย่างดียิ่งจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ และอาจารย์สุดใจ เหว้าสีไพร ที่กรุณารับเป็นคณะกรรมการสอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ลักษมี ปลั่งแสงมาศ คุณกำชัย สิงหาภิวัฒน์ และคุณอภิญา หล้าเตจา ที่ให้ข้อเสนอแนะและเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท และขอขอบคุณบริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนการศึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณธีระพงษ์ สมประจบ คุณพงษ์พันธ์ ประสิทธิเมตต์ และเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณอาจารย์วิมลมาศ อธิศักดิ์โสภา ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ แก่ผู้วิจัย ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ช่วยเหลือให้ผู้วิจัย ประสบความสำเร็จในการศึกษา

สุทัศน์ รอดพยุง

## สารบัญ

| บทที่ |                                                                             | หน้า |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 1     | บทนำ.....                                                                   | 1    |
|       | ภูมิหลัง.....                                                               | 1    |
|       | ความมุ่งหมายของการวิจัย.....                                                | 2    |
|       | ความสำคัญของการวิจัย.....                                                   | 2    |
|       | ขอบเขตของการวิจัย.....                                                      | 3    |
|       | ตัวแปรที่ศึกษา.....                                                         | 3    |
|       | นิยามศัพท์เฉพาะ.....                                                        | 3    |
|       | กรอบแนวคิดในการวิจัย.....                                                   | 5    |
|       | สมมุติฐานในการวิจัย.....                                                    | 5    |
| 2     | เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                         | 6    |
|       | ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้น.....                                      | 6    |
|       | ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการพัฒนาตัวควบคุมความชื้น.....                             | 28   |
|       | หลักการเครื่องทำความเย็น.....                                               | 28   |
|       | ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน.....                                       | 30   |
|       | ระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิ.....                                               | 38   |
|       | ฉนวนและความร้อน.....                                                        | 50   |
|       | มอเตอร์ไฟฟ้า.....                                                           | 56   |
|       | อัลตราโซนิกส์.....                                                          | 58   |
|       | ประสิทธิภาพของตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                     | 63   |
|       | มาตรฐาน ASTM (THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND<br>MATERIALS ) E337..... | 63   |
|       | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                                  | 64   |
| 3     | วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....                                              | 67   |
|       | ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....                                             | 67   |
|       | ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....                                     | 68   |
|       | คำนวณและออกแบบตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                     | 68   |
|       | ผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                | 73   |
|       | กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้สร้างตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....  | 73   |
|       | การสร้างตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                           | 73   |
|       | ทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                | 73   |
|       | การวิเคราะห์ข้อมูล.....                                                     | 74   |

## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่                                                                          | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                                   | 76   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 40 %RH .....      | 76   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 50 %RH.....       | 80   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 60 %RH.....       | 83   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 40 %RH.....       | 87   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 50 %RH .....      | 90   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 60 %RH.....       | 94   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 40 %RH .....      | 97   |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 50 %RH .....      | 101  |
| ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 60 %RH.....       | 104  |
| ผลรวมการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ..... | 108  |
| ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางกายภาพทั่วไปของตู้ควบคุมความชื้น.....              | 109  |
| 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                                         | 112  |
| สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐาน และวิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า .....                | 112  |
| สรุปผลการศึกษาค้นคว้า .....                                                    | 113  |
| อภิปรายผล.....                                                                 | 115  |
| ข้อเสนอแนะ .....                                                               | 118  |
| บรรณานุกรม .....                                                               | 120  |
| ภาคผนวก .....                                                                  | 123  |
| ภาคผนวก ก จดหมายขอความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม.....                         | 124  |
| ภาคผนวก ข ประวัติผู้เชี่ยวชาญ .....                                            | 130  |
| ภาคผนวก ค แบบสอบถามเรื่องการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....    | 132  |
| ผลการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบ                     |      |
| ใช้อัลตราโซนิกส์.....                                                          | 135  |
| ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....             | 162  |
| ภาคผนวก จ ภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                      | 169  |
| ภาคผนวก ฉ มาตรฐาน ASTM (THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND                   |      |
| MATERIALS) E337.....                                                           | 178  |
| การสอบเทียบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ASTM E145.....                 | 204  |
| มาตรฐาน NATA 12 (NATIONAL ASSOCIATION OF TESTING                               |      |
| AUTHORITIES,AUSSTRALIA ).....                                                  | 205  |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่                                                           | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| ใบรับรองผลการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและสอบเทียบตู้ควบคุม |      |
| ความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....                               | 213  |
| ประวัติย่อผู้วิจัย .....                                        | 222  |

## บัญชีตาราง

| ตาราง                                                                                                       | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้น.....                                                                       | 8    |
| 2 วิธีการแสดงค่าความชื้นและหน่วยในการวัด.....                                                               | 10   |
| 3 วิธีการวัดค่าความชื้น.....                                                                                | 18   |
| 4 วิธีการเตรียมอากาศชื้น.....                                                                               | 21   |
| 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสารละลายอิ่มตัวของเกลือ (% RH).....                      | 23   |
| 6 ค่าความต้านทานจำเพาะและสัมประสิทธิ์ ความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะสามัญหลายชนิดทั้งที่เป็นธาตุและโลหะ..... | 32   |
| 7 ความต้านทานของสายทองแดงที่ 25 °C .....                                                                    | 37   |
| 8 ค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆที่ 0 °C .....                                                           | 52   |
| 9 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุที่เป็นของไหลบางชนิด .....                                               | 54   |
| 10 เกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ .....                                                | 75   |
| 11 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 40 % RH.....                        | 77   |
| 12 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 15 °C @ 40 %RH .....                                                         | 79   |
| 13 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 50 % RH.....                        | 80   |
| 14 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 15 °C @ 50 %RH .....                                                         | 82   |
| 15 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 15 °C @ 60 % RH.....                        | 83   |
| 16 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 15 °C @ 60 %RH .....                                                         | 85   |
| 17 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 40 % RH.....                        | 86   |
| 18 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 25 °C @ 40 %RH .....                                                         | 88   |
| 19 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 50 % RH.....                        | 89   |
| 20 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 25 °C @ 50 %RH .....                                                         | 91   |
| 21 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 25 °C @ 60 % RH.....                        | 92   |
| 22 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 25 °C @ 60 %RH .....                                                         | 94   |
| 23 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 40 % RH.....                        | 95   |
| 24 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 30 °C @ 40 %RH .....                                                         | 97   |
| 25 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 50 % RH.....                        | 98   |
| 26 สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 30 °C @ 50 %RH .....                                                         | 100  |
| 27 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่ 30 °C @ 60 % RH.....                        | 103  |

|    |                                                                                   |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 28 | สรุปผลการวัดค่าความชื้น ที่ 30 °C @ 60 %RH .....                                  | 106 |
| 29 | สรุปผลรวมการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์..... | 108 |
| 30 | การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ..... | 109 |
| 31 | การวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....          | 110 |
| 32 | การวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....             | 110 |
| 33 | การวิเคราะห์ด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....            | 110 |
| 34 | การวิเคราะห์ด้านการบำรุงรักษาของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....        | 111 |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ                                                                        | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....                                                      | 5    |
| 2 แสดงค่าจำกัดความของปริมาณน้ำ (MOISTURE) และความชื้น (HUMIDITY) .....           | 6    |
| 3 หลักการของความดันไอ.....                                                       | 10   |
| 4 หลักการจุดน้ำค้าง.....                                                         | 11   |
| 5 ทิศทางของการหาค่าความชื้นมาตรฐาน .....                                         | 19   |
| 6 เส้นและสเกลบนไฮโครเมตริกชาร์ท.....                                             | 25   |
| 7 แสดงไฮโครเมตริกชาร์ทส่วนที่ใช้งาน .....                                        | 26   |
| 8 ส่วนประกอบของตู้เย็น .....                                                     | 29   |
| 9 แผนผังการเดินท่อระบบทำความเย็นของตู้เย็น .....                                 | 30   |
| 10 ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานทองขาวในอุตสาหกรรม .....                      | 34   |
| 11 การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 2 สายไปยังวงจรวีทสโตนบริดจ์ .....   | 36   |
| 12 การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 3 สาย .....                         | 37   |
| 13 การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 4 สาย .....                         | 37   |
| 14 วงรอบป้อนกลับในโพเทนชิโอมิเตอร์ .....                                         | 38   |
| 15 บล็อกไดอะแกรมแสดงหน้าที่ต่าง ๆ ของภาพประกอบ 14 .....                          | 39   |
| 16 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....                         | 40   |
| 17 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเหลวในถังแบบวงจรมัด .....                                | 40   |
| 18 ก) แสดงเอาต์พุตที่มีเพียง 2 สถานะ ข) ค่าอุณหภูมิจากการควบคุมแบบเปิด-ปิด ..... | 42   |
| 19 การควบคุมแบบสัดส่วนเวลา .....                                                 | 43   |
| 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบสัดส่วนต่อค่า VE .....              | 43   |
| 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ I .....                   | 46   |
| 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของกริยาควบคุมแบบอนุพันธ์ .....           | 46   |
| 23 ตัวส่งสัญญาณแบบต่าง ๆ.....                                                    | 48   |
| 24 ความผิดพลาดเนื่องจากวงรอบดินทำให้เกิดการลัดวงจรมิเตอร์ 2 .....                | 49   |
| 25 การหาความต้านทานในสายที่ยอมให้มีได้.....                                      | 50   |
| 26 การถ่ายความร้อนผ่านผนังที่ประกอบขึ้นจากวัสดุหลายชนิด .....                    | 54   |
| 27 ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้งานของวัสดุทนความร้อน .....                          | 55   |
| 28 แสดงพัลลัมแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในงานปรับอากาศ.....                              | 56   |
| 29 ลักษณะการให้แรงแก่ผลึกและการจ่ายกระแสไฟฟ้า .....                              | 60   |
| 30 ช่วงอุณหภูมิที่สารมีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก .....                              | 61   |
| 31 ส่วนประกอบของหัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์.....                            | 62   |
| 32 แสดงขั้นตอนในการวิจัย .....                                                   | 67   |
| 33 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 15°C @ 40 % RH .....                        | 79   |

## บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

| ภาพประกอบ                                                                                                               | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 34 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 15°C @ 50 % RH .....                                                               | 82   |
| 35 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 15°C @ 60 % RH .....                                                               | 86   |
| 36 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 25°C @ 40 % RH .....                                                               | 89   |
| 37 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 25°C @ 50 % RH .....                                                               | 93   |
| 38 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 25°C @ 60 % RH .....                                                               | 96   |
| 39 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 30°C @ 40 % RH .....                                                               | 100  |
| 40 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 30°C @ 50 % RH .....                                                               | 103  |
| 41 แสดงการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 30°C @ 60 % RH .....                                                               | 107  |
| 42 ส่วนประกอบของตู้ความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                                                                     | 167  |
| 43 แสดงอุปกรณ์หลัก ฮีทเตอร์.....                                                                                        | 170  |
| 44 แสดงอุปกรณ์หลัก โซลิสเตอรีเลย์.....                                                                                  | 170  |
| 45 แสดงอุปกรณ์หลัก อัลตราโซนิกส์ เซ็นเซอร์วัดความชื้นและแท่งควบคุมระดับน้ำของ<br>อัลตราโซนิกส์.....                     | 171  |
| 46 แสดงลักษณะภายนอกของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                                                         | 171  |
| 47 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                                                 | 172  |
| 48 ตำแหน่งการวางอัลตราโซนิกส์และอุปกรณ์หลัก เซ็นเซอร์วัดความชื้นและ PID<br>CONTROL.....                                 | 172  |
| 49 การออกแบบโครงสร้างถังกะสีเคลือบสีของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....                                       | 173  |
| 50 วงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์.....                                                                | 174  |
| 51 แสดงภาพตัดด้านข้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....                                                      | 175  |
| 52 แสดงภาพตัดด้านหน้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ .....                                                      | 175  |
| 53 แสดงการวางตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 11 จุด ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นของตู้ควบคุม<br>ความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ..... | 176  |
| 54 แสดงโครงสร้างตัวควบคุมระดับน้ำในแท่งควบคุมระดับน้ำภายในตู้ควบคุมความชื้น.....                                        | 177  |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

วงการอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการผลิตแทนที่การผลิตด้วยมือ จึงมีปริมาณการผลิตมากในเวลาไม่มากนัก กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ คือ ระบบอุตสาหกรรม ประกอบด้วย การวิจัยและพัฒนา การผลิต การตลาด การจัดการ การจำหน่ายและการบำรุงรักษา การบริการ ทรัพยากรอุตสาหกรรม ประกอบด้วย การเงิน กำลังคน วัสดุหรือวัตถุดิบ พลังงาน ทรัพย์สินสมบัติ การประสานอุตสาหกรรม ประกอบอุตสาหกรรม ประกอบด้วย การจัดการ การบริหารงาน อุตสาหกรรม และการติดต่อสื่อสาร (ยุทธพงษ์ ไกยวรรณ. 2541 : 41) อุตสาหกรรมในบ้านเราได้พัฒนาและก้าวหน้ามาตลอดระยะเวลา 20 ปี เทคโนโลยีในการผลิตสินค้าได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องไม่หยุดยั้ง ปัจจุบันเราสามารถผลิตสินค้าเกือบทุกชนิดที่มีคุณภาพสูงออกสู่ตลาดโลก สภาพของอุตสาหกรรมที่ต้องการต่อสู้แข่งขันกันในท้องตลาด ทั้งด้านคุณภาพและราคาสินค้า (วิฑูรย์ สิมะโชคดีและวีรพงษ์ เจริญจิระรัตน์. 2542 : 13) ในการผลิตสินค้าในอุตสาหกรรมจำนวนมาก ทางเดียวที่จะได้มาและรวดเร็วที่สุดคือ การนำเข้าเพราะเทคโนโลยีภายในประเทศยังไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมได้ การพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยในระยะเวลาที่ผ่านมา ปรากฏชัดเจนว่าต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศทั้งที่เป็นเครื่องจักร อุปกรณ์ บุคลากร เงินทุน ความรู้และกระบวนการผลิต เป็นจำนวนมากเพิ่มขึ้นทุกๆปี (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2542 : 3)

ในการผลิตสินค้านั้นตามกระบวนการผลิตจะประกอบไปด้วยตัวป้อน (INPUT) วัตถุดิบ ผ่านกระบวนการผลิต (PROCESS) และสิ่งที่ได้คือ (OUTPUT) หรือสินค้า ผลิตภัณฑ์นั้นเอง หลังจากได้ผลผลิตหรือสินค้าออกมาแล้วก็เป็นเรื่องของการจัดการบริหารกับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นอย่างไร เช่นบรรจุหีบห่อส่งมอบสินค้านั้นทันทีหรือเก็บสินค้านั้นเข้าเก็บคงคลังเพื่อรอวันส่งมอบ (จิรพัฒน์ เงามะเสริญวงศ์. 2543 : 17) การจัดเก็บสินค้าหรือผลิตภัณฑ์รวมถึงวัตถุดิบมีส่วนสำคัญต่อระบบการผลิตสินค้าและการส่งมอบสินค้ามาก โดยเฉพาะสถานที่จัดเก็บต้องเป็นสถานที่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆจึงจะทำให้สินค้าและผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตสินค้า ทางด้านอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการผลิต การตรวจสภาพอากาศ การพยากรณ์อากาศ การขนส่งการผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ ห้องควบคุม CLEAN ROOM และมีประเภทสินค้าและวัตถุดิบ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors devices) กระดาษสา วัสดุการถ่ายภาพ วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ไฟฟ้าย่อมมีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งสิ้น (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 2) มีการแบ่งความชื้นออกเป็น 2 แบบ ความชื้นในอากาศ คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยอยู่ในอากาศและความที่อยู่ในผลิตภัณฑ์หรือในวัตถุ เช่น ความชื้นในกระดาษ สารกึ่งตัวนำและความชื้นในอาหาร เป็นต้น ในการควบคุมหรือลดความชื้นนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ใช้ฮีตเตอร์อบกระดาษ เพื่อลดความชื้นในกระดาษ โรงงานขนมปังมีการควบคุมความชื้นเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้สามารถเติบโตได้ จะเห็นได้ว่าทุกๆอุตสาหกรรมต้องมีการควบคุมความชื้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์หรือสินค้านั้นได้มาตรฐาน ประเภทอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 45-50 % RH (Relative Humidity) โรงงานเบียร์ กระบวนการผลิตเบียร์ใช้ 40-65 %RH โรงงาน

ทำขนมหวาน การผลิตลูกกวาดใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 35-50 % RH การผลิตช็อคโกแลตใช้ความชื้น 40-50 %RH เกษกรรมการผลิตยาใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 10-15 %RH เครื่องจักรกล การตัดเย็บ 50-60 %RH การผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 %RH อุตสาหกรรมยาสูบใช้ 55-65 %RH การปั่นฝ้าย การทอผ้า 50-60 %RH การปั่น 50-60 %RH ถ่ายภาพ การผลิตฟิล์มใช้ 40-65 %RH การทอใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 %RH (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. 2523 : 407-409)

แต่ในปัจจุบันการควบคุมความชื้นส่วนใหญ่ไม่จำเป็นที่จะเป็นการเพิ่มความชื้นใช้ฮีทเตอร์ให้ความร้อนกับน้ำแล้วถึงจะปล่อยไอน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่ตู้ควบคุมความชื้น ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนวัตต์สูงมากในการใช้ฮีทเตอร์ แต่ยังไม่มีการนำเอาอัลตราโซนิกส์มาใช้ควบคุมความชื้น มีแต่เราเอามาใช้ในวงการแพทย์ เช่นการบำบัดทางกายภาพและได้มีการพัฒนาอัลตราโซนิกส์ มาใช้สร้างเครื่องล้างจานโดยใช้หลักการสร้างคลื่นความถี่ออกมาจากหัวทรานสดิวเซอร์ เพื่อไปทำให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่หลุดออก ด้วยคุณสมบัติของการประหยัพลังงานไฟฟ้า (ชุดิมา เอี่ยมโชติชวลิตและคณะ. 2543 :3) ตู้ควบคุมความชื้นนี้ใช้สำหรับทดสอบคุณภาพของชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไอ.ซี.อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น พัดลม หม้อแปลงขนาดเล็ก มีความจำเป็นจะต้องเก็บไว้ในที่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อให้ผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ตลอดจนการเก็บวัสดุ ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %RH เอกสารและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ฟิล์มถ่ายรูป เทป CD-ROM จะมีอายุยาวนานถึง 30 ปี แต่ถ้าอุณหภูมิเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 80 %RH อุปกรณ์และเอกสารดังกล่าวจะมีอายุเพียง 5 ปีเท่านั้น แต่การตู้ควบคุมความชื้นในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมไม่สามารถผลิตเองได้ใช้ต้นทุนสูงและยังต้องนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศทำให้ต้องสูญเสียดุลการค้าต่างประเทศ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2542 : 5)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นโดยการใช้ความชื้นที่ได้จากอัลตราโซนิกส์มาใช้ภายในตู้ควบคุมความชื้น โดยอาศัยเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเวลา (Proportional Integral Derivative Control) ที่มีการปรับตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 40-60 %RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส เป็นต้นแบบและลดค่าใช้จ่าย และประหยัพลังงานในการสั่งซื้อจากประเทศ เมื่อต้องการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในตู้ควบคุม สามารถหาส่วนประกอบภายในประเทศ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะความรู้ด้านความชื้นและอุณหภูมิ

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing and Materials) E337 (Method B)

### ความสำคัญของการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ ได้ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ เพื่อเป็นแบบให้กับเจ้าของสถานประกอบการขนาดใหญ่ ขนาดเล็กและบุคคลที่สนใจที่ต้องการควบคุมความชื้น

## ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตของการวิจัยในการสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์และทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นไว้ดังนี้

1. ตู้มีขนาดภายนอก 535x460x737 มิลลิเมตร ภายในขนาด 455x316x447 มิลลิเมตร กว้างxลึกxสูง มีความจุ 60 ลิตร ใช้ Cyclopentane เป็นฉนวนกันระหว่างภายนอกกับภายในมีความหนา 40 มิลลิเมตร

2. อุปกรณ์หลักของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ด้านในตู้ติดตั้งพัดลมกระจายความชื้นขนาด 65 วัตต์ ใช้แรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ต 1 เฟส ติดตั้งคอมเพรสเซอร์ขนาด 1/8 แรงม้า 79 วัตต์ ใช้แรงดัน 220 โวลท์ 1,450 รอบต่อนาที (R.P.M) สารทำความเย็นไหลเวียนในระบบทำความเย็นชนิด R 134 A ทำความเย็นได้ 2 – 7 องศาเซลเซียส. ตัวเซ็นเซอร์ความชื้น 1 ตัว RTD Pt100 แบบกรงนก ตัวควบคุมความชื้นและอุณหภูมิแบบสัดส่วนเวลาป้อนกลับ (PID CONTROL) 4-20 mA แรงดัน 220 โวลท์ ปรับตั้งค่าความชื้นได้ 0-100 % RH 1 ตัว อุณหภูมิได้ 0-100 องศาเซลเซียส 1ตัว มีโซลินอยส์วาล์ว 1 ตัว ใช้แรงดัน 220 โวลท์ ใช้ลิมิตสวิตช์ควบคุมระดับน้ำ 1 ตัว ใช้แรงดัน 220 โวลท์ ติดตั้งแผงคอนเด็นเซอร์ระบายความร้อน แบบ WIRE ติดตั้งแผงฮีตเอ็กซ์เชนเจอร์แบบ FINNED & TUB TYPE ติดตั้งแท่งให้น้ำขนาด 3.7 ลิตร ติดตั้งตัวสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิกส์ 1 ชุด ขนาด 1.2 MHz มีกำลังงาน 20วัตต์ ใช้แรงดัน 24 โวลท์ ตัวควบคุมอุณหภูมิในตู้ควบคุมความชื้น 1 ตัว ใช้แรงดัน 220 โวลท์ ใช้ฮีตเตอร์ชนิดแท่ง 2 แท่ง ขนาด 200 วัตต์ ใช้แรงดัน 220 โวลท์ โซลิสเตอเรลย์ 2 ตัว 10 แอมป์ ใช้แรงดัน 220 โวลท์

3. ประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ใช้มาตรฐาน ASTM E337 ว่าด้วยวิธีการวัดค่าความชื้นโดยวัดอุณหภูมิกระเปาะและกระเปาะแห้ง โดยนำค่าอุณหภูมิจุดสูงสุด และจุดต่ำสุด มาหาผลต่าง จากนั้นนำไปเปิดตาราง X 3.1 (ภาคผนวก จ) เพื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งกับผลต่างที่ได้ จะได้ค่าความชื้น มีค่าความแปรปรวน  $\pm 5\%$  RH และนำมาตรฐาน ASTM E337 มาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นบางส่วน ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบ B โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ถูกวัดต้องอยู่ในที่ร่ม และมีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส

## ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้คือประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามมาตรฐาน ASTM E337 (Method B) โดยสามารถปรับตั้งความชื้นตั้งแต่ 40-60 % RH (Relative Humidity) ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ หมายถึง การศึกษาข้อมูลของโครงสร้างและอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ ระบบทำความเย็น ที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ของวัสดุอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ระบบทำความเย็น เพื่อให้สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้ควบคุมความชื้น

2. ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่ระเหยอยู่ในอากาศภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

3. ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนเป็นร้อยละระหว่างมวลไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศเมื่อเทียบกับมวลของไอน้ำเมื่อมีปริมาณและอุณหภูมิเท่ากันภายในของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

4 อัลตราโซนิกส์ หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการทำงานของคลื่นความถี่ 20-50 kHz โดยหัวทรานสดิวเซอร์เป็นตัวสร้างความถี่ออกมาทำให้น้ำเกิดการแตกตัวอย่างละเอียดกลายเป็นไอและปล่อยไอน้ำที่แตกตัวนี้เข้าไปยังตู้ควบคุมความชื้น

5. ตู้ควบคุมความชื้นแบบอัลตราโซนิกส์ หมายถึง ตู้ที่ควบคุมความชื้นที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความชื้น 40-60 % RH โดยวิธีการใช้หลักการทำงานของคลื่นความถี่อัลตราโซนิกส์มีค่าความถี่ประมาณ 20-50 kHz และแรงดันไฟฟ้า 400-1000 โวลต์ เป็นตัวสร้างความชื้นเข้าสู่ภายในตู้ควบคุมความชื้น เป็นตู้ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ใช้เก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ในสถานประกอบการที่ต้องการควบคุมความชื้น ลักษณะภายนอกทำด้วยเหล็กชุบสังกะสี พ่นเคลือบด้วยสี มีส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องคือ ชุดอัลตราโซนิกส์ คอมเพรสเซอร์และระบบทำความเย็น เซ็นเซอร์วัดความชื้น ตัวควบคุมความชื้น ลิ้มิตสวิตช์ โซลินอยด์วาล์ว โซลิสเตอรีเลย์ แทงค์น้ำ ชุดพัดลมหมุนเวียนอากาศ

6. ประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing and Materials) E337 (Method B) หมายถึง ชีตความสามารถของตู้ควบคุมความชื้นสามารถทำงานได้ตามตารางปรับตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิที่ตั้งไว้ โดยมีค่าความแปรปรวน  $\pm 5\%$  RH ที่ 40-60 % RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ถูกวัดต้องอยู่ในที่ร่ม และมีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส

7. ลักษณะทางกายภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ หมายถึง การประเมินด้านความปลอดภัย ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งานและด้านการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ว่าผลการออกแบบและสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์สามารถทำงานได้จริงซึ่งประกอบดังนี้

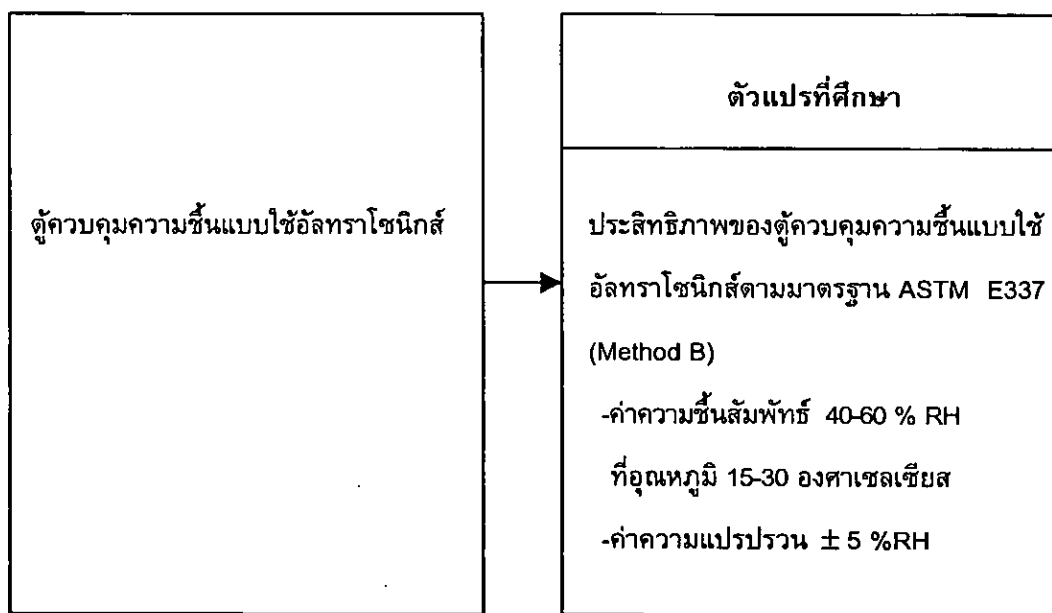
7.1 ด้านความปลอดภัย หมายถึง ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ มีระบบป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าผิดปกติหรือสาเหตุมาจากการใช้งาน

7.2 ด้านโครงสร้าง หมายถึง ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ สามารถถอดและแยกอุปกรณ์ต่างๆของตู้ควบคุมความชื้นได้ มีความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างเหมาะสม

7.3 ด้านการใช้งาน หมายถึง ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ มีขั้นตอนการใช้งานได้อย่างเหมาะสม และมีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

7.4 ด้านการบำรุงรักษา หมายถึง ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ มีอุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาสามารถหาซื้อได้ง่าย มีจุดตรวจซ่อมบำรุงรักษาน้อยและมีความสะดวกในการถอด ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ

### กรอบแนวคิดในการวิจัย (Conceptual Framework)



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### สมมุติฐานของการวิจัย

ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing and Materials) E337 (Method B) มีค่าความแปรปรวน  $\pm 5$  % RH ที่ 40-60 % RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้น
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้น
3. อัลตราโซนิกส์
4. ประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

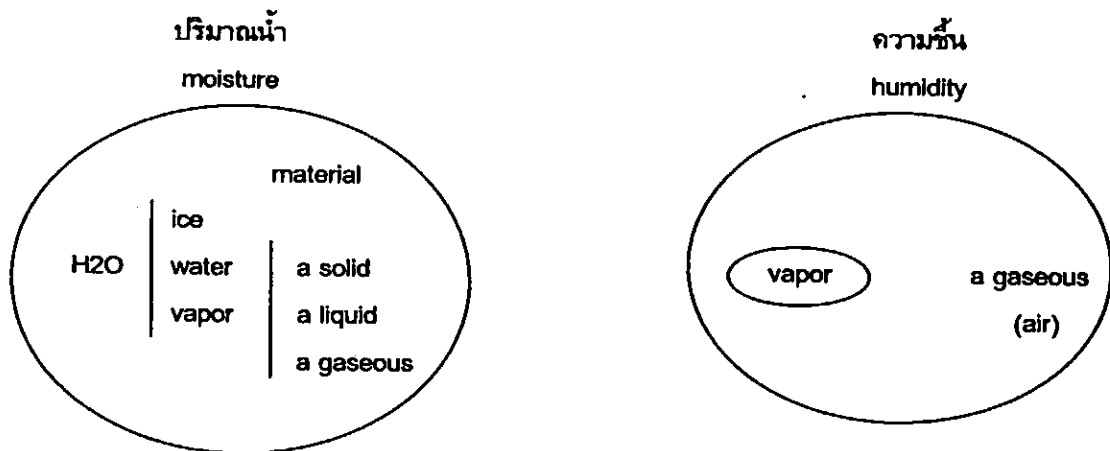
#### 1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้น

สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (2543 : 1 – 19) ได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นไว้ว่า โดยทั่วไป “ความชื้น” ถูกเรียกว่าเป็นอากาศชื้น นอกจากนี้ยังมีคำที่มักใช้บ่อยๆ คือคำว่า “ปริมาณน้ำหรือความชุ่มชื้น” ที่มักใช้แทนกัน

สำหรับในพจนานุกรม คำจำกัดของความชื้น คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่เจือปนอยู่ในอากาศ

ถ้าจะพูดถึงคำว่า “moisture” โดยทั่วไปจะหมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเนื้อของสสาร

ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงคำจำกัดความของปริมาณน้ำ (moisture) และความชื้น (humidity)

(สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 1)

ปริมาณน้ำหรือที่เราเรียกว่า “moisture” จะหมายถึงสัดส่วนของน้ำแข็ง น้ำ และไอน้ำ ที่มีอยู่ในสารในรูปของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ตามลำดับซึ่งหากยึดถือตามนี้เราจะกล่าวคำว่า “moisture” แทนคำว่า humidity

ในปี 1995 ได้ระบุขอบเขตของการวัดใหม่ โดยเปลี่ยนจากการตรวจวัดความชื้นที่มีในอากาศแห้ง เป็นการตรวจวัดความชื้นในบรรยากาศ ดังนั้นปัญหาการปนเปื้อนของความชื้นปริมาณน้อยๆ ที่ตรวจพบในอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ หรือถึงบรรจุภัณฑ์นั้นจะเป็นปัญหาเนื่องจาก “ปริมาณน้ำ” (moisture) ไม่ใช่ความชื้น (humidity)

การใช้ภาษาอย่างไรมันจะแตกต่างกันไปตามสาขาวิชา อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้จะถือว่าความชื้นที่จะกล่าวต่อไปเป็นค่าความชื้นในบรรยากาศเท่านั้น

ศาสตร์ของความชื้นนั้นมีความเกี่ยวข้องกับหลายสาขาวิชา ดังตาราง 1 ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้น ซึ่งได้แสดงเพียงส่วนหนึ่งของสาขาที่เกี่ยวข้อง

ตาราง 1 ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

| สาขา                                        | ประเภท                                                        | การใช้งาน                                                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| อุตุนิยมวิทยา / ฤดูกาล<br>อุตสาหกรรมการผลิต | การตรวจสอบอากาศ                                               | การพยากรณ์อากาศ<br>เบียร์ , โรงงาน , ห้องเย็น ,<br>การขนส่ง , clean room        |
|                                             | สินค้า - วัตถุดิบ                                             | สารกึ่งตัวนำ , กระดาษสา , วัสดุ<br>การถ่ายภาพ , วัสดุก่อสร้าง ,<br>อุปกรณ์ไฟฟ้า |
| การเกษตร                                    |                                                               | เรือนปลูกต้นไม้                                                                 |
| วัฒนธรรม                                    | การอนุรักษ์ศิลปกรรม<br>เครื่องดนตรี                           |                                                                                 |
| การดำเนินชีวิต                              | ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือน<br>เสื้อผ้า อาหาร ที่พักอาศัย | เสื้อผ้า<br>แผ่นรองปัสสาวะเด็กอ่อน                                              |
| อื่นๆ                                       | สุขภาพ                                                        | ชุดกีฬา รองเท้าสำหรับออกกำลังกาย<br>กาย เชื้อโรคหวัด                            |

จากตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้

ฤดูกาลจัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อเรื่องของความชื้นเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปประเทศญี่ปุ่นถูกเข้าใจว่าเป็นที่มีความชื้นสูงและมีอากาศร้อนอบอ้าว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตามข้อมูลที่ปรากฏตั้งแต่ปี 1961 ถึงปี 1990 เป็นระยะเวลา 30 ปีพบว่า ความชื้นเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศญี่ปุ่นไม่สูงไปกว่าระดับเฉลี่ยของเมืองใหญ่ในประเทศอื่นๆ เท่าใดนัก ที่ประเทศญี่ปุ่นความชื้นจะสูงในระบะที่อุณหภูมิของอากาศสูงซึ่งอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน ในระหว่างนี้ค่าดัชนีซึ่งคำนวณจากระดับของอุณหภูมิอากาศและค่าความชื้นจะมีค่ามากทำให้เกิดความรู้สึกว่าอากาศร้อนอบอ้าวและมีความชื้นสูงตามไปด้วย

อุตสาหกรรม วิทยาการด้านการอุตสาหกรรมนั้นมีเรื่องของความชื้นเข้าไปเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก การนำไปใช้ ที่สำคัญมีดังนี้

### การตรวจสอบอากาศ

เรื่องของการตรวจสอบอากาศ เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอากาศ เช่น ในด้านการฟอกอากาศและการตรวจสอบสภาพความเหมาะสมของอุณหภูมิ ความชื้น หรือการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนจุดประสงค์ไปเล็กน้อย กล่าวคือ นอกจากจะทำการตรวจสอบเพื่อทราบสถานภาพขณะนั้นแล้ว ยังทำการติดตั้งเครื่องมือเพื่อควบคุมความชื้นให้เพิ่มหรือลดได้ตามความต้องการอีกด้วย การตรวจสอบอากาศภายในบ้านเรือน ที่ทำงาน ร้านอาหารหรือตามโรงแรม อาคารสถานที่ต่างๆ จะยึดถือตามวิธีติดตามคุณภาพอากาศที่ระบุตามข้อกำหนดของหน่วยงานทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 40 % - 70% และมีการติดตั้งเครื่องปล่อยความชื้น นอกจากนี้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมทางอากาศ การวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะต้องใช้เครื่องวัดที่มีความละเอียดถึง 0.5 °C ในโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานทำขนมปัง โรงงานทำเยื่อกระดาษ ฯลฯ เนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงเชื้อจุลินทรีย์ วิธีการที่พัฒนาใช้ในการตรวจสอบอากาศจึงขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่โรงงานนั้นๆ ทำการผลิตขึ้นมา ด้านอื่นๆ เช่น ด้านเก็บรักษา และการขนส่ง เริ่มมีความจำเป็นที่จะต้องทำการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในอุปกรณ์ที่ทำการสร้างขึ้นมา ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์นั้นๆ

### ผลิตภัณฑ์ วัตถุติด

สินค้าทั้งหมดที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมนั้นได้รับอิทธิพลจากเรื่องของความชื้นหรือปริมาณน้ำบ้างไม่มากก็น้อย ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตสารกึ่งตัวนำซึ่งจะต้องทำการผลิตใน Clean room ทั้งนี้ Clean room ดังกล่าวไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความสะอาด หรือการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของพื้นผิวซิลิกอนที่ใช้ป้องกันน้ำก็เป็นเรื่องสำคัญมาก ด้านของการพิมพ์ การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความชื้นของอากาศจะส่งผลให้กระดาษที่ใช้มีการไหลไม่คงที่ เกิดความไม่สม่ำเสมอ และเกิดสภาพเป็นคลื่นได้ ในกรณีที่มีการใช้สีในการพิมพ์มากการควบคุมเรื่องของระดับความชื้นในกระบวนการพิมพ์ดังกล่าวก็จำเป็นที่มีความสำคัญมากเช่นกัน

การเกษตรกรรม ในด้านการเกษตรนั้น วิธีการดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรที่เป็นมาแต่ดั้งเดิมจะยึดตามลักษณะที่เอื้ออำนวยของสภาพพื้นที่เป็นสำคัญ จากการพัฒนาทางด้านการผลิต การสร้างเรือนปลูกพืช ในรูปแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตก็ได้รับความสนใจมาก และในปัจจุบันก็สามารถพัฒนาผลผลิตจนสามารถ มีปริมาณถึงระดับอุตสาหกรรมได้ วิธีการเพิ่มผลผลิตดังกล่าวนี้เป็นธรรมชาติที่การควบคุมดูแลเรื่องความชื้นกลายเป็นสิ่งสำคัญยิ่งขึ้น

วัฒนธรรม การอนุรักษ์ศิลปกรรม ศิลปกรรมและนวัตกรรมหลายอย่างที่มีมนุษย์เราได้ทำการสร้างสรรค์ขึ้นมานั้นมีความจำเป็นที่จะต้องอนุรักษ์ไว้ให้เหลืออยู่ต่อไปรุ่นลูกหลาน การอนุรักษ์และรักษาสืบของเหล่านี้ได้มีเรื่องของความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น หากในสถานที่เก็บรักษามีความชื้นสูง ก็จะมีปัญหาเนื่องจากการเกิดเป็นราได้ง่าย และในทางตรงกันข้าม ในกรณีที่อากาศมีความแห้งมากเกินไปก็จะทำให้วัตถุเกิดการเปราะและแตกหักได้ง่ายเช่นกัน จากเรื่องดังกล่าวจะเห็นว่าการควบคุมความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีความจำเป็น เครื่องดนตรี มีการใช้วัสดุในการผลิตมาจากไม้เป็นส่วนมากไม่ว่าจะเป็นไวโอลิน เปียโนหรือเครื่องดนตรีชนิดอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงความชื้นจะทำให้เสียงที่ออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ลำโพงของเครื่องสเตอริโอที่ใช้ในบ้านเรือนก็เช่นเดียวกันจะมีไม้เป็นส่วนประกอบ ในวันที่มีฝนตกกับในวันที่อากาศแจ่มใสและแห้งนั้นจะให้เสียงที่ออกมาแตกต่างกัน สำหรับในกรณีของเปียโนพบว่าประมาณ 50 - 70 % ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการควบคุมความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งต่อการประดิษฐ์เครื่องดนตรี การแสดงดนตรี และการไต่บันเสียงดนตรี

การดำเนินชีวิต ผ่านร่องบัสสาวะของเด็กอ่อน ในปัจจุบันมีการพัฒนาผ่านร่องบัสสาวะของเด็กอ่อนให้มีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเกิดการเบี่ยงขึ้นในระดับต่างๆ บริโภคภัณฑ์ ปริมาณน้ำที่เจือปนอยู่ภายในของอาหารที่เราใช้บริโภคนั้นถูกเรียกว่าเป็นปริมาณน้ำกระตุ้น (ในสภาพความชื้นสมดุลสัมพัทธ์) ระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในสภาพบรรยากาศปกติ (เมื่อเทียบให้ความชื้นสัมพัทธ์ 100% มีค่าเท่ากับ 1) มีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับลักษณะการปล่อยหรือดูดความชื้น และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายใน รวมทั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารอีกด้วย ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณน้ำอยู่มากก็จะมี การถนอมรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้สารกันบูด การแช่แข็ง หรือการแช่เย็น สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำ การป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดการดูดซับความชื้นจะเป็นการควบคุมคุณภาพที่สำคัญ ในเรื่องดังกล่าวนี้การปรับระดับของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ (เช่น ในเครื่องปรุงรส หรืออาหารประเภทซีส) ก็จะรักษารสชาติของอาหารได้ ที่อยู่อาศัย ที่อยู่อาศัยของคนทั่วไป โดยเฉพาะห้องแถวหรือสิ่งก่อสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น มักจะเกิดเป็นเชื้อราสีดำ เนื่องจากลักษณะความชื้นของอากาศ นอกจากนี้การขึ้นราของเฟอร์นิเจอร์หรือของใช้ต่างๆ ก็เป็นสาเหตุซึ่งมักพบเห็นได้เสมอๆ และทำให้ไม่สามารถนำสิ่งของเหล่านั้น มาใช้งานได้อีก นอกจากนี้ที่อยู่อาศัยที่ทำการก่อสร้างด้วยไม้นั้นส่วนโครงสร้างคานได้มักจะมี ความชื้นสูงเป็นสาเหตุให้มีปลวกขึ้นและก่อให้เกิดความเสียหายได้ รวมถึงเรื่องอื่นๆ ด้วย สุขภาพ มีการศึกษาวิจัยที่มุ่งประเด็นความสนใจไปที่ลักษณะการระบายความชื้นของเสื้อผ้าหรือรองเท้ากีฬา เพื่อที่จะให้ร่างกายขณะที่ทำการออกกำลังกายมีสภาพที่ดีอยู่เสมอ สำหรับในช่วงฤดูหนาวอากาศมีความแห้ง และทำให้ผิวโพรงงอกแห้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการรับเชื้อหวัดได้ เชื้อไวรัสหวัดนั้นมีความสัมพันธ์กับความชื้นในอากาศ ซึ่งหากอากาศมีความชื้นต่ำเท่าไรก็จะมีประสิทธิภาพในการเป็นอยู่สูงขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ในสภาพอากาศปกติ หากร่างกายของคนเรามีการขาดน้ำขึ้นมากก็จะทำให้การรักษาเป็นไปได้อย่างยากขึ้นอีกด้วย

#### วิธีการแสดงค่าความชื้น

ค่าของความชื้นนั้นสามารถแสดงได้หลายวิธีดังที่แจกแจงไว้ในตาราง 2 ซึ่งได้จำแนกความชื้นตามที่มา การนำไปใช้ในสาขาต่างๆ หรือตามวิธีการที่ใช้วัด เป็นต้น

ตาราง 2 วิธีการแสดงค่าความชื้นและหน่วยในการวัด

| ดัชนีค่าความชื้น | อากาศชื้น                           |                 |           | สภาพอ้อมตัว |                                            | หน่วยวัด         |
|------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------|-------------|--------------------------------------------|------------------|
|                  |                                     | ไอน้ำ           | อากาศแห้ง | ลดอุณหภูมิ  | อากาศแห้ง                                  |                  |
| ความดันไออ้อมตัว |                                     | ความดัน         |           |             | ความดัน                                    | Pa               |
| ความชื้นสมบูรณ์  | ปริมาตร                             | มวล             |           |             |                                            | g/m <sup>3</sup> |
| ความชื้นสัมพัทธ์ | ความชื้นสมบูรณ์<br>อัตราส่วน<br>โมล | ความดัน         |           |             | ความชื้นสมบูรณ์<br>ความดันไอ<br>สัดส่วนโมล | %, %RH           |
| จุดน้ำค้าง       |                                     |                 |           | อุณหภูมิ    |                                            | °C               |
| สัดส่วนสารผสม    |                                     | ปริมาณ<br>(มวล) | มวล       |             |                                            |                  |

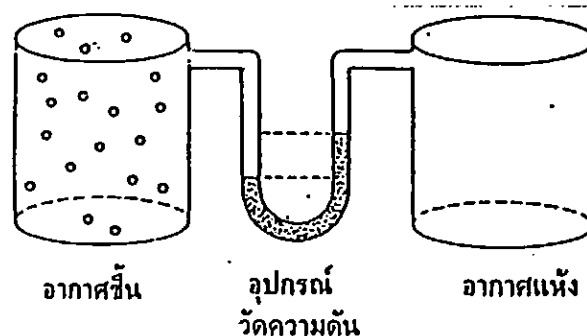
ตาราง 2 (ต่อ)

| ดัชนีค่าความชื้น    | อากาศชื้น           |                 |           | สภาพอิ่มตัว |                                | หน่วยวัด                                                       |
|---------------------|---------------------|-----------------|-----------|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                     |                     | ไอน้ำ           | อากาศแห้ง | ลดอุณหภูมิ  | อากาศแห้ง                      |                                                                |
|                     |                     | ปริมาณ<br>(มวล) |           |             |                                |                                                                |
| ไอชื้นสัมพัทธ์      | ปริมาณ<br>(มวล)     | ปริมาณ<br>(มวล) |           |             |                                |                                                                |
| สัดส่วนโมล          |                     | ปริมาณสาร       | ปริมาณสาร |             |                                | mol/mol                                                        |
| อัตราส่วนโมล        | ปริมาณสาร           | ปริมาณสาร       |           |             |                                |                                                                |
| ความชื้นเปรียบเทียบ | สัดส่วน<br>สารผสม   |                 |           |             | สัดส่วน<br>สารผสม              | %                                                              |
| ค่าอิ่มตัว          | ความชื้น<br>สมบูรณ์ | ความดัน         |           |             | ความชื้น<br>สมบูรณ์<br>ความดัน | $\text{g/m}^3$<br>Pa                                           |
| อื่นๆ               | มวล<br>ปริมาตร      | มวล<br>ปริมาตร  |           |             |                                | $\text{ppm}_m$ $\text{ppb}_m$<br>$\text{ppm}_v$ $\text{ppb}_v$ |

จากตาราง 2 เนื่องจากการวัดค่าความดันไอน้ำจะต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำในการวัดค่าความดันย่อย ตลอดจนต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในเรื่องของอิทธิพลจากมวลอากาศอื่นที่ไม่ใช่ไอน้ำ ดังนั้นการใช้เทคนิคดังกล่าวนี้จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนมากในปัจจุบัน

#### ความดันไอน้ำ

เราสามารถแสดงระดับความชื้นโดยอาศัยข้อมูลความดันไอน้ำของอากาศชื้นได้ ในทำนองเดียวกันสามารถแสดงระดับความชื้นโดยอาศัยหน่วยของค่าพลังงานความดันได้เช่นกัน ดังภาพประกอบ 3 หลักการของความดันไอน้ำ



ภาพประกอบ 3 หลักการของความดันไอน้ำ

(สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 7)

การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยการวัดจากค่าจุดน้ำค้างนั้น เรื่องความดันไอน้ำจัดเป็นเรื่องที่สำคัญ เราเรียกความดันไอน้ำ สภาพอิ่มตัวว่า "ความดันไอน้ำอิ่มตัว" และในกรณีที่ต้องการประเมินค่าความชื้นสัมพัทธ์จากความดันไอน้ำก็สามารถใช้สมการด้านล่างต่อไปนี้ (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี.2543 : 4)

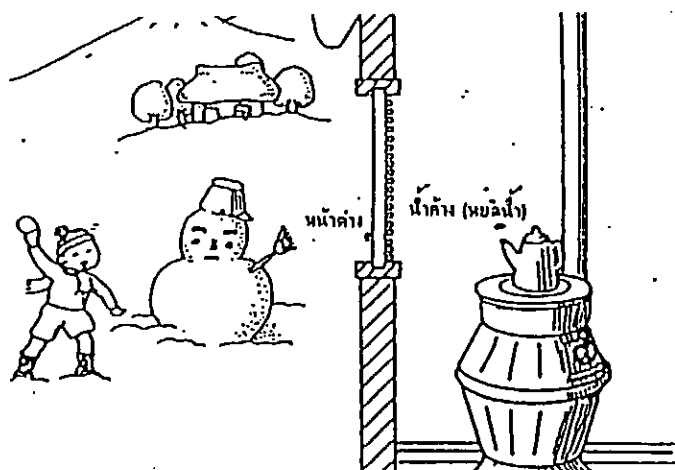
$$PT_{total} = p_1t_1 + p_2t_2 + p_3t_3 + \dots p_nt_n$$

เมื่อ  $p_1, \dots, p_n$  = แรงดันย่อยในแต่ละส่วนประกอบ

$t_1, \dots, t_n$  = อุณหภูมิเฉพาะตัวประกอบ

จุดน้ำค้าง

จุดน้ำค้างเกิดจาก ปริมาณไอน้ำที่มีได้สูงสุดในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ หรือเรียกอีกอย่างว่า "ปริมาณไอน้ำอิ่มตัว" ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ ตามการเพิ่มของอุณหภูมิของอากาศ และหากเราลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ ไอน้ำที่เจือปนอยู่ในอากาศขณะนั้นก็จะถึงจุดอิ่มตัวได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ อุณหภูมิดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า "จุดน้ำค้าง" เช่น ในฤดูหนาวกระจกหน้าต่างมักจะเกิดฝ้าขาวหรือมีหยดน้ำเกาะ หรือหากเราเทน้ำลงในถ้วยแก้วก็จะมีหยดน้ำมาเกาะรอบๆ แก้ว ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่กระจกหน้าต่างถูกอุณหภูมิของอากาศภายนอกทำให้เย็นตัวลง จนกระทั่งทำให้กระจกมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของอากาศภายนอกนั่นเอง อุณหภูมิที่เกิดเป็นหยดน้ำดังกล่าวข้างต้นนี้คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จุดน้ำค้างที่แสดงอุณหภูมิยิ่งต่ำเท่าใดก็จะแสดงถึงสภาวะซึ่งอากาศมีไอน้ำอยู่น้อย และมีความแห้งมากขึ้นเท่านั้น ดังภาพประกอบ 4 หลักการของจุดน้ำค้าง



ภาพประกอบ 4 หลักการของจุดน้ำค้าง

(สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 9)

จุดน้ำค้างระดับที่มีปริมาณไอน้ำอยู่น้อยมากๆ อาจมีค่าต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$  ในกรณีเช่นนี้จะเป็นจุดน้ำค้างระดับที่สามารถเกิดผลึกน้ำแข็งหรือก้อนน้ำแข็งแทนที่จะเกิดหยดน้ำ เนื่องจากการวัดจุดน้ำค้างจะมีค่าเป็นอุณหภูมิ ดังนั้นหน่วยที่ใช้วัดจะมีหน่วยตามอุณหภูมิ ซึ่งก็คือ  $^{\circ}\text{C}$  นั่นเอง

วิธีการแสดงความสัมพันธ์กับการดำเนินชีวิต

วิธีการแสดงค่าความชื้น นอกจากที่ได้แสดงในตาราง 2 แล้วยังมีวิธีที่อาศัยความสัมพันธ์กับการดำเนินชีวิตอีกด้วย สำหรับวิธีการนี้จะมีการใช้ดัชนีทางด้านความอึดอัด (ไม่สบายตัว) ความชื้นสัมพัทธ์

(effective humidity) และดัชนีทางด้านการชักล้าง เป็นต้น

-สำหรับดัชนีทางด้านความไม่สบายตัวนั้น ในช่วงปี ค.ศ. 1950 กรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการคิดค้นสมการที่ใช้คำนวณค่าดัชนีความไม่สบายตัว โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานของค่าอุณหภูมิบรรยากาศที่วัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง

สำหรับดัชนีด้าน Effective humidity นั้น เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับอัตราการแห้งของไม้และผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยไม้ต่างๆ ค่านี้ทำการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานทางด้านความชื้นสัมพัทธ์ของช่วงวันต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับดัชนีด้านการชักล้างนั้น จะเป็นดัชนีที่ใช้ทำนายสภาพการแห้งของเสื้อผ้าที่ซัก และทำการคำนวณจากข้อมูลด้านอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง และความเร็วลม สมการที่ใช้ในการคำนวณมีหลายรูปแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรู้และมุมมองของหน่วยงานอุตุนิยมวิทยา อย่างไรก็ตามเนื่องจาก Effective humidity จะต้องทำการอ้างอิงมาจากการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งยังขึ้นกับค่าการประเมินอุณหภูมิคงที่ใดกล่าวข้างต้น ดังนั้นจึงทำให้เป็นค่าที่ค่อนข้างจะมีความคลาดเคลื่อนมาก

### 1.1 วิธีการวัดค่าความชื้น

วิธีการวัดความชื้นได้แสดงไว้ในตาราง 3 วิธีการวัดค่าความชื้นได้ถูกจัดจำแนกตามลักษณะการใช้ในแต่ละสาขาวิชา ซึ่งพอจะยกตัวอย่างวิธีการที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

#### 1.1.1 วิธีการดูดซับไอน้ำ (อากาศชื้น)

การวัดโดยอาศัยการดูดซับไอน้ำนี้มีหลายวิธี เช่น การหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับในภาชนะปิด และทิ้งให้ทำการดูดซับหรือทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศที่ทำการตรวจวัด การตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยา Electrolysis เพื่อทราบปริมาณของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น และการวัดปริมาณสาร Karl Fischer ที่ใช้ในการไทเทรต วิธีการวัดน้ำหนักไอน้ำ (การหาน้ำหนักน้ำแข็ง) ในปัจจุบันวิธีการหาปริมาณไอน้ำในอากาศและปริมาณอากาศแห้ง โดยการหาน้ำหนักน้ำแข็งถือว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลเที่ยงตรงมาก เมื่อผ่านอากาศชื้น (อากาศแห้งรวมกับไอน้ำ) เข้าไปในท่อซึ่งบรรจุสารดูดซับ (ออกไซด์ของฟอสเฟต) จะทำการวัดน้ำหนักของสารดูดซับที่เพิ่มขึ้นได้โดยตรง นอกจากนี้อากาศแห้งที่ถูกแยกไอน้ำออกแล้วจะถูกทำให้เย็นและเก็บกักไว้เพื่อหาปริมาณ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลต่อไป ในการวัดปริมาณอากาศแห้งต้องวัดอุณหภูมิ และความดัน แล้วหาความหนาแน่น จากนั้นจึงหาน้ำหนัก (Ma) เมื่อหาปริมาณความชื้นที่ซึ่งน้ำหนักไว้คือ Mv จะได้อัตราส่วนเชิงมวลของไอน้ำต่ออากาศแห้ง ดังสมการต่อไปนี้ (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี.2543 : 2)

$$r = Mv / Ma = \epsilon e / p - e$$

|     |            |     |                                                      |
|-----|------------|-----|------------------------------------------------------|
| โดย | r          | คือ | อัตราส่วนเชิงมวล                                     |
|     | Ma         | คือ | น้ำหนักอากาศแห้ง (ได้จากการวัดค่าอุณหภูมิและความดัน) |
|     | Mv         | คือ | น้ำหนักของไอน้ำที่หาค่าไว้                           |
|     | e          | คือ | ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศชื้น                       |
|     | p          | คือ | ความดันอากาศชื้น                                     |
|     | $\epsilon$ | คือ | อัตราส่วนของน้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำต่ออากาศแห้ง       |

จากภาพในส่วนของการดูดซับไอน้ำ การเก็บตัวอย่าง และส่วนของการควบคุมการไหลรวมถึงปริมาณอากาศที่กักเก็บไว้ ซึ่งในการตรวจวัดจำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงมาก ดังนั้นปริมาณอากาศที่ใช้ต้องมีปริมาณสูงด้วย ทำให้ขนาดของเครื่องมือต้องใหญ่ และมีค่าใช้จ่ายสูง

วิธีการหาน้ำหนักนี้สามารถใช้สารมาตรฐานในการเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องได้ ช่วงค่าที่ทำการตรวจวัดได้โดยวิธีนี้อยู่ในช่วงอัตราส่วนเชิงมวลตั้งแต่ 0.007 – 170 กรัม / กิโลกรัม

#### 1.1.2. วิธีการวัดโดยอาศัยข้อมูลอุณหภูมิสมมูลทางพลังงานความร้อน

การที่น้ำเกิดการกลายเป็นไอหรือกลายเป็นน้ำแข็งนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ หากส่วนตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งได้รับการหุ้มด้วยผ้าเปียกสัมผัสกับอากาศจะแสดงค่าอุณหภูมิสมมูลทางพลังงานความร้อนออกมา การทำให้พื้นผิวของวัดอุณหภูมิเท่ากับจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นที่พื้นผิวนั้น กรณีที่เป็นสารละลายน้ำเกลือหากทำให้มีอุณหภูมิที่ความดันไอน้ำสารละลายของความอิ่มตัวแล้วก็จะส่งผลให้เกิดสภาพสมมูลตามมาได้เช่นกัน

1.1.2.1 การวัดจุดน้ำค้าง (ทำการวัดจุดน้ำค้าง โดยการวัดอุณหภูมิผิวกระจก การวัดจุดน้ำค้างสมมูลอัตโนมัติ การวัดจุดน้ำค้างโดยใช้เทคนิคแสง) วิธีการหาจุดน้ำค้าง ทำได้โดยนำเทอร์โมมิเตอร์มาจุ่มลงมาด้วยบรรจุน้ำ แล้วลดอุณหภูมิของน้ำด้วยน้ำแข็ง เมื่อเกิดเป็นฝ้าเกาะผิวด้านนอกของถ้วยจึงอ่านอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมินี้เรียกว่า “จุดน้ำค้าง” ในอดีตในการลดอุณหภูมิสามารถใช้เอทานอล น้ำแข็งแห้ง หรือไนโตรเจนเหลว ปัจจุบันยังสามารถใช้วิธีลดอุณหภูมิลดลงได้อีกด้วย แต่ก่อนการเกิดจุดน้ำค้างมักดูด้วยตาเปล่า แต่ในปัจจุบันใช้หลอดไฟ (ทำให้เห็นการเกิดหยดน้ำเกาะชัดเจน) หรือใช้ตุ้มเพนดูลัม (เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณการแกว่งเมื่อเกิดจุดน้ำค้าง) ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า การวัดจุดน้ำค้างโดยวิธีการลดอุณหภูมิของผิวกระจก อากาศชื้นจะถูกผ่านเข้าห้องแคบๆ ซึ่งบรรจุกระจกอยู่ภายใน และทำการลดอุณหภูมิของกระจก โดยใช้ธาตุ Plutonium ลดอุณหภูมิลดลงได้อีกด้วย โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดทองคำขาววัดอุณหภูมิ และใช้หลอดไฟส่องดูว่าเกิดหยดน้ำเกาะที่ผิวกระจกหรือไม่ เครื่องมือประกอบด้วยส่วนแผ่นและส่วนรับรังสี 2 ชุด โดยชุดหนึ่งรับรังสีโดยตรง และอีกชุดหนึ่งรับรังสีสะท้อนกระจก

วงจรของส่วนแผ่รังสีและส่วนรับรังสีเป็นวงจรแบบบริดจ์ (Bridge) สมดุล ในกรณีที่ไม่มีหยดน้ำเกิดขึ้นบนกระจกวงจรจะอยู่ในสมดุล แต่เมื่อมีหยดน้ำเกาะบนผิวกระจก การสะท้อนแสงที่กระจกจะไม่เป็นระเบียบทำให้ปริมาณรังสีที่รับได้ลดลง วงจรที่สมดุลจะเสียไป ทำให้ทราบได้ว่าเกิดหยดน้ำมาเกาะ หยดน้ำบนผิวกระจกเกิดการระเหยได้จึงต้องทำการควบคุมอุณหภูมิผิวกระจกให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้ปริมาณหยดน้ำลดลง นอกจากนี้เครื่องมือยังประกอบด้วยส่วนของกล้องขยาย ซึ่งจะช่วยยืนยันว่ามีการเกิดหยดน้ำบนผิวกระจกหรือไม่ได้อีกด้วย ความชื้นต่ำเกินไปที่จะเกิดหยดน้ำเกาะบนผิวกระจกจนเกิดเป็นน้ำแข็งแทน ซึ่งน้ำและน้ำแข็งมีความดันไอน้ำต่างกัน จึงจำเป็นต้องแน่ใจว่าค่าที่วัดได้เป็นจุดน้ำค้างหรือจุดเยือกแข็ง ดังนั้นจึงใช้กล้องขยายประกอบเพื่อยืนยันผล ซึ่งวิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุดในปัจจุบัน

#### ข้อควรระวัง

1. ต้องทำความสะอาดผิวกระจกเป็นประจำเพื่อให้ทำการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้ถูกต้อง
2. ท่อที่ใช้นำอากาศชื้นควรทำด้วยวัสดุที่มีการดูดซับน้อย เช่น ท่อสแตนเลส หรือท่อเรซิน และ Fluororesin และใช้ท่อสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

3. ในกรณีการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิห้องจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ ท่อนำอากาศขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดการเกาะของหยดน้ำที่อื่นนอกเหนือจากที่กระຈ

5. กรณีที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่ำ ควรระวังว่าอุณหภูมินั้นคือจุดน้ำค้างหรือจุดเยือกแข็ง กันแน่ เนื่องจากน้ำและน้ำแข็งมีความดันไออ้อมตัวต่างกัน จึงต้องสังเกตว่าน้ำหรือน้ำแข็งที่เกาะบนผิวกระຈ

1.1.2.2 วิธีการระเหยน้ำ (วัดความชื้นโดยวิธีการทำให้แห้งโดยผ่านลม และผ่านลมแบบ Asmann) เมื่อนำเทอร์โมมิเตอร์มาหุ้มส่วนกระเปาะด้วยผ้าและทำให้ชุ่มด้วยน้ำ (กระเปาะเปียก) อุณหภูมิที่วัดได้จะต่ำกว่ากรณีกระเปาะแห้ง เนื่องจากน้ำได้ดึงเอาความร้อนไปใช้ในการระเหย เมื่อน้ำระเหยออกจากผิวของวัสดุจะดึงเอาความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอไปใช้ ค่าอุณหภูมิที่ลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ความชื้น และค่าความดัน ถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่ลดลงก็จะสูงไปด้วย ถ้าความชื้นสูงหรือความดันสูง อุณหภูมิที่ลดลงก็จะมีค่าน้อย โดยปกติค่าความดันมักคงที่ และจะทำการวัดที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และกระเปาะเปียกเปรียบเทียบกัน โดยอาศัยหลักการดังกล่าวทำการควบคุมความแรงและความเร็วของลมให้มีผลกระทบน้อย เครื่องมือชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า “เครื่องมือวัดความชื้นแบบทำให้แห้งโดยอาศัยลมผ่าน” (หรือ เครื่องวัดความชื้นของ Asmann) โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานประกอบด้วย ส่วนท่อปลายเปิด 2 ท่อ ซึ่งติดเทอร์โมมิเตอร์อยู่ และด้านบนมีพัดลมดึงอากาศให้ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์จากด้านล่างขึ้นมาและออกทางด้านบน ในความเป็นจริงแล้วความดันไอรอบกระเปาะเปียกหมายถึงความดันไออ้อมตัว ความแตกต่างของความดันไอสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ ซึ่งคำนวณจากอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง (อุณหภูมิอากาศ) (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 3)

สมการความชื้น

$$e = e' - AP (t - t')$$

|        |    |     |                                                        |
|--------|----|-----|--------------------------------------------------------|
| โดยที่ | e  | คือ | ความดันไอรอบกระเปาะ                                    |
|        | e' | คือ | ความดันไออ้อมตัวรอบกระเปาะเปียกที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|        | t  | คือ | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (อุณหภูมิอากาศ)                    |
|        | t' | คือ | อุณหภูมิกระเปาะเปียก                                   |
|        | P  | คือ | ความดันอากาศ                                           |
|        | A  | คือ | ค่าคงที่ของสมการ                                       |

ค่าคงที่ของสมการนี้หาได้จากการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ  $0.000662 \text{ K}^{-1}$  เมื่อกระเปาะเปียกไม่เกิดน้ำแข็ง และมีค่าเท่ากับ  $0.000583 \text{ K}^{-1}$  เมื่อเกิดน้ำแข็ง ค่าคงที่นี้ขึ้นอยู่กับความดัน ความเร็วลม และวิธีการพันผ้ารอบๆกระเปาะเปียก เป็นต้น จากสมการนี้จะหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ได้

ข้อเสียของวิธีนี้คือ ในบริเวณที่ลมเย็นเยือกหรือมีความชื้นสูงจนใกล้อ้อมตัวจะทำให้หาค่าความชื้นผิดพลาด

#### 1.1.3. วิธีการวัดโดยอาศัยสมบัติของสารดูดความชื้นต่างๆ

วัสดุที่ประกอบด้วยอนุภาคละเอียดภายใน เช่น เส้นผม โพลีเมอร์ หรือผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ที่สร้างขึ้นโดยการเผาออกมาจะมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศ การเปลี่ยนแปลงของวัสดุเหล่านี้ไม่ว่าจะในด้านการเปลี่ยนแปลงทางพลังงาน สภาพการนำไฟฟ้า หรือสภาพเกี่ยวกับขแสงซึ่งเกิดจากการที่ไอน้ำใน

อากาศเกิดการถูกดูดซับ บิดเกาะ หรือถูกปลดปล่อยจากวัสดุจะสามารถใช้แสดงระดับของความชื้นในอากาศ ได้วิธีการทางไฟฟ้า วัดค่าความชื้นโดยวิธีทางไฟฟ้านี้ใช้วัสดุที่เกิดการดูดความชื้นแล้วค่าความต้านทาน ไฟฟ้า หรือความจุไฟฟ้าเปลี่ยน โดยติดตั้งขั้วไฟฟ้าและวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น สารที่ไวต่อความชื้นที่ใช้ ได้แก่ เกลือของลิเทียมที่อัดเป็นแผ่นบาง แผ่นฟิล์มโพลิเมอร์ และเซรามิกส์ อะลูมินาแคปซูล เป็นต้น

#### 1.1.3.1. เครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความต้านทานไฟฟ้าของโพลิเมอร์

ตัวเซนเซอร์ (Sensor) ของเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความต้านทานไฟฟ้าของโพลิเมอร์ ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ประกอบด้วยเซรามิกส์ ซึ่งมีวัสดุโพลิเมอร์ไวต่อไฟฟ้าเป็นแผ่นฟิล์มติดอยู่ ส่วนต้านทานไฟฟ้าที่ไวต่อความชื้นนี้จะไวต่อการดูดและคายความชื้น และเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นหรือเพิ่มอุณหภูมิ ความต้านทานไฟฟ้าจะลดลง โดยทั่วไปอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าประมาณ  $0.5 \%RH/^{\circ}C$  ดังนั้นความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จึงสำคัญมาก

ลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความต้านทานไฟฟ้าของโพลิเมอร์

1. เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการวัดความชื้นปริมาณสูง (ไม่เหมาะสมกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 10%) ค่าความชื้นต่ำๆ จะแปรตามอุณหภูมิมาก โดยที่  $0^{\circ}C$  มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 15% และที่  $50^{\circ}C$  จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 5%

2. เมื่อเปรียบเทียบกับสารเก็บประจุแล้วถือว่ามียอายุการใช้งานได้นานกว่า

#### 1.1.3.2 เครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยปริมาณไฟฟ้าสถิตย์ของโพลิเมอร์ ตัวเซนเซอร์

โดยอาศัยปริมาณไฟฟ้าสถิตย์ของโพลิเมอร์นี้ เป็นวัสดุโพลิเมอร์ประเภทสารตัวนำ จัดอยู่ในจำพวก คอนเดนเซอร์ ความชื้นในอากาศที่ตรวจวัดจะผ่านขั้วไฟฟ้าแล้วเกิดดูดซับบนโพลิเมอร์ อัตรานำไฟฟ้าของโพลิเมอร์จะมีค่าสูงขึ้นเป็น 3 - 4 เท่าของอากาศแห้งโดยประมาณ นอกจากนี้จากการที่ค่าอัตรานำไฟฟ้าของ น้ำที่อุณหภูมิปกติมีค่าประมาณ 80 เท่าของอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อโพลิเมอร์มีการดูดซับความชื้นปริมาณมากขึ้นก็ยังมีปริมาณไฟฟ้าสถิตย์มากขึ้น จึงหาค่าความชื้นได้ วิธีนี้อัตราเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าประมาณ  $0.1\%RH$  ต่อองศาเซลเซียสเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิเมื่อทำการวัดความชื้น

ลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยปริมาณไฟฟ้าสถิตย์ของโพลิเมอร์

1. สามารถใช้ได้กับอากาศที่มีความชื้นต่ำและสูง (ในช่วงกว้าง)
2. สามารถใช้งานได้กว้างขวางกว่าวิธีการลดความต้านทานไฟฟ้า

#### 1.1.3.3 วิธีการวัดค่าความชื้นโดยอาศัยสมบัติการยืดและหดของตัวสาร เครื่องวัดค่า

ความชื้นโดยอาศัยการยืดหดตัวนี้ ใช้วิธีการตรวจวัดปริมาณความชื้นโดยดูจากสมบัติการยืดหดตัวที่เปลี่ยนไปเมื่อค่าความชื้นเปลี่ยน ตัวอย่างของเครื่องมือดังกล่าวได้แก่ เครื่องวัดความชื้นแบบเส้นผม เครื่องวัดความชื้นแบบเส้นผม เป็นเครื่องมือวัดความชื้นที่อาศัยสมบัติการยืดหดตัวของเส้นผมที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่  $0\% - 100\%$  จะเกิดการยืดหดตัวของเส้นผมประมาณ  $1\%$  นอกจากนี้ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการยืดหดตัวน้อยจึงไม่มีผลต่อการวัดค่าความชื้นเมื่อเอาระยะยืดหดตัวของเส้นผมมาขยายสัญญาณโดยผ่านแกนหมุนบันทึกข้อมูล จะทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นชัดเจนยิ่งขึ้น ในปัจจุบันสามารถใช้เส้นในลอน ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเส้นผมทุกอย่างแทนการใช้เส้นผมได้ เครื่องวัดค่าความชื้นแบบโลหะ 2 ชนิด ใช้วัสดุที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาติดอยู่ด้วยกัน และใช้การเคลื่อนไหวของเข็มบอกความชื้น วัสดุที่ไวต่อความชื้นที่ใช้ได้แก่ วัสดุเส้นใย เช่น กระดาษ หรือวัสดุโพลิเมอร์ โลหะที่ใช้จะเป็นแผ่นโลหะบาง เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิสูงประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด

จึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า “เครื่องวัดค่าความชื้นแบบโลหะ 2 ชนิด” ซึ่งเครื่องมือนี้ใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ง่าย แต่ต้องระวังว่าจะต้องหอดตัวกลับมาหลังจากการบีดตัว

#### 1.1.4. วิธีการวัดโดยอาศัยสมบัติของอากาศ

สามารถทำได้โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอากาศ ซึ่งเกิดจากการเจือปนของอนุภาคไอน้ำในหลายรูปแบบ เช่น การตรวจวัดปริมาณการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของรังสีชนิดต่างๆ ตั้งแต่รังสีอัลตราไวโอเล็ต จนถึงรังสีอินฟราเรด และการตรวจวัดการเหนี่ยวนำให้เกิดการเรืองแสงของวัสดุ นอกจากนี้ยังรวมถึงการตรวจวัดอิทธิพลต่ออัตราการนำความร้อนของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงด้านความเร็วของเสียงในอากาศนั้นๆ วิธีการวัดโดยอาศัยสมบัติของอัตราการนำความร้อนของอากาศ (เครื่องวัดค่าความชื้นโดยอาศัยอัตราการนำความร้อน) (เครื่องวัดค่าความชื้นสมบูรณ์) อากาศแห้งและไอน้ำมีการนำความร้อนแตกต่างกัน ถ้าให้อัตราการนำความร้อนของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ไอน้ำจะมีอัตราการนำความร้อนเท่ากับ 0.66 ดังนั้นเมื่อพิจารณาว่าอากาศแห้งมีอัตราการนำความร้อนสูงกว่าไอน้ำเกือบ 2 เท่าก็จะทำให้หาค่าปริมาณความชื้นในอากาศได้ เช่น เซอร์ความชื้นแบบตัวต้านทานมีลักษณะเป็นวงจรรีดิค โดยตัวหนึ่งเป็นกล่องเซอร์เซอร์มีช่องเปิดให้อากาศขึ้นด้านนอกเข้าออกได้อิสระ และอีกด้านหนึ่งอากาศแห้งจะถูกเก็บไว้ในปริมาณที่แน่นอน ความแตกต่างของอัตราการนำความร้อนของอากาศแห้งและอากาศชื้นจะทำให้ตัวต้านทานอุณหภูมิสูงขึ้น จากความต้านทานที่แตกต่างกันจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้หาค่าความชื้นสมบูรณ์และอัตราส่วนโมลได้ เมื่อหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  ,  $20^{\circ}\text{C}$  ,  $30^{\circ}\text{C}$  ,  $40^{\circ}\text{C}$  แล้วนำไปพล็อตกับค่าแรงดันไฟฟ้า และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์กับความชื้นสมบูรณ์ ซึ่งจะได้สมการเส้นตรงที่เหมือนกัน วิธีนี้จะใช้หาค่าความชื้นสมบูรณ์

ข้อควรระวังของเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยอัตราการนำความร้อน ต้องระวังไม่ให้ตัวเซนเซอร์สั้น และโดนลม เพราะจะทำให้อากาศบริเวณรอบๆ ตัวต้านทานร้อน และจะมีแรงเฉื่อยมากทำให้เกิดการวัดที่ผิดพลาดได้

ข้อดีของตัวเซนเซอร์ ส่วนที่ถูกเคลือบด้วยแก้วก็จะสกปรกได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อใช้งานไปนานขึ้นจะมีความเสถียรมากขึ้น

ตาราง 3 วิธีการวัดค่าความชื้น

| หลักการ                              |                | อุปกรณ์ตรวจวัด                                                                                                 | ส่วนการตรวจวัด                                                                                | หมายเหตุ                                                   |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| วิธีการดูดซับไอน้ำ                   | การดูดซับไอน้ำ | *เครื่องวัดความชื้นแบบ Cloudy metric<br>*เครื่อง Eddelmann<br><br>*เครื่องวัดความชื้นแบบ Pneumatic Bridge      | *การดูดซับหรือกลั่นตัว<br><br>*วัดปริมาณการสะสม<br><br>*Nozzle , เครื่องวัดความชื้นแตกต่างกัน | *วิธีวัดปริมาณ<br><br>*วัดปริมาณการสะสม<br><br>*วัดความดัน |
|                                      | วิธีการทางเคมี | *เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบ Karl Fischer<br>*เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Coulometric)                          | *สารเคมี Karl Fischer<br><br>*เซลล์อิเล็กโตรไลซิส (ออกไซด์ของฟอสฟอรัส)                        | *วัดหยดน้ำ<br><br>*กระแสไฟฟ้าอิเล็กโตรไลซิส                |
| การวัดค่าความร้อนที่สมดุลกับอุณหภูมิ | จุดน้ำค้าง     | *เครื่องวัดจุดน้ำค้างด้วยตาเปล่า<br>*เครื่องวัดจุดน้ำค้างโดยใช้หลอดไฟฟ้า                                       | *เครื่องวัดอุณหภูมิแบบกระจกชนิดดูด้วยตาเปล่า<br>*เครื่องวัดอุณหภูมิแบบกระจกชนิดหลอดไฟ         | ลดอุณหภูมิ                                                 |
|                                      |                | *เครื่องวัดจุดน้ำค้างโดยใช้ลูกตุ้มเพนดูลัม<br>*เครื่องวัดความชื้นโดยการสัมผัสลูกตุ้ม                           | *เครื่องวัดอุณหภูมิแบบลูกตุ้มเพนดูลัม<br>*ลูกตุ้มเพนดูลัมและสมบัติการดูดความชื้น              |                                                            |
|                                      |                | *เครื่องวัดจุดน้ำค้างโดยใช้เกลียวลิเทียม                                                                       | *เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้เกลียวลิเทียม                                                        | *ให้ความร้อน                                               |
|                                      | การระเหย       | *เครื่องวัดความชื้นแบบ Asmann ทำให้แห้งโดยผ่านลม<br>*เครื่องวัดความชื้นชนิดทำให้แห้งโดยผ่านลมและควบคุมบรรยากาศ | *เทอร์โมมิเตอร์แก๊วชนิดปรอท 2 แห่ง                                                            | *มีลมผ่าน                                                  |
|                                      |                | *เครื่องวัดความชื้นแบบแกนหมุน                                                                                  | *เทอร์โมมิเตอร์แก้ว                                                                           |                                                            |
|                                      |                | *เครื่องวัดความชื้นโดยตรง<br>*เครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ                                 | *เทอร์โมมิเตอร์ไฟฟ้า                                                                          | *ไม่มีลมผ่าน                                               |

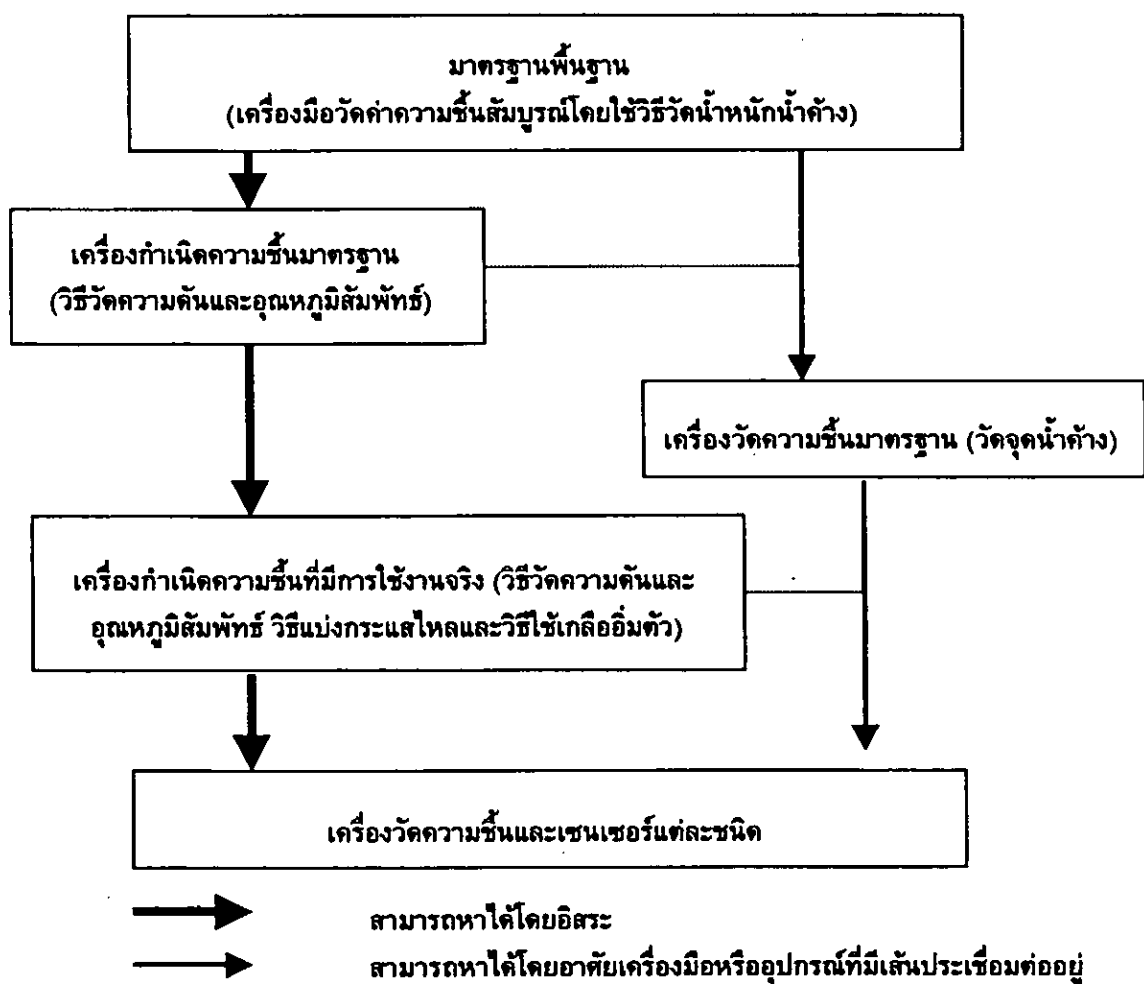
ตาราง 3 (ต่อ)

| หลักการ                               |                             | อุปกรณ์ตรวจวัด                                                            | ส่วนการตรวจวัด                                                        | หมายเหตุ                                  |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                       |                             | *เครื่องวัดความชื้นอย่างง่าย                                              | เทอร์โมมิเตอร์แก้ว                                                    |                                           |
| การวัดโดยอาศัยสมบัติของสารดูดความชื้น | ทางไฟฟ้า                    | *เครื่องวัดความชื้นโดยใช้ไฟฟ้า                                            | *สมบัติอิมพีแดนซ์ของโพลีเมอร์และสาร Composit                          | *ความต้านทานไฟฟ้าและไฟฟ้าสถิตย์           |
|                                       | การยืดหดตัว                 | *เครื่องบันทึกแบบเส้นผม<br>*โพลีมิเตอร์                                   | *เส้นผม                                                               | *เครื่องจักรกล                            |
|                                       |                             | *เครื่องมือวัดความชื้นแบบในลอน<br>*เครื่องมือวัดความชื้นโดยใช้โลหะ 2 ชนิด | *สาร Composit                                                         |                                           |
|                                       | การวัดการเปลี่ยนแปลงสี      | *เครื่องวัดความชื้น                                                       | *สารเคมี (สารที่ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเปลี่ยนสี เช่น สารประกอบโคบอลต์) | *สี                                       |
|                                       | การวัดกระแสไฟฟ้าปริมาณจำกัด | *เครื่องวัดความชื้นจากกระแสไฟฟ้าปริมาณจำกัด                               | *สารอิมพีแดนซ์                                                        |                                           |
| การวัดคุณสมบัติของอากาศ               | *อัตราการนำความร้อน         | *เครื่องวัดค่าความชื้นสัมบูรณ์                                            | *ตัวต้านทาน                                                           | *การนำความร้อน                            |
|                                       | การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า | *เครื่องวัดความชื้นโดยใช้รังสีอินฟราเรด                                   | *แหล่งกำเนิดรังสี-ตัวกรอง-ตัววัด                                      | *คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า<br>*ศาสตร์ของคลื่นแสง |
|                                       |                             | *เครื่องวัดความชื้นโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ                                    | *อุปกรณ์เส้นแบบกลาง, อุปกรณ์เส้นโดยใช้สารตัวนำ                        |                                           |
|                                       |                             | *Riman-alpha มิเตอร์ (เครื่องวัดแบบ Riman-alpha)                          | *แหล่งกำเนิดแสง-หน้าต่างรังสี UV - ท่ออิมพีแดนซ์                      |                                           |
|                                       | วัดปริมาณออกซิเจน           | *เครื่องวัดออกซิเจนแบบ C - Luconia (วัดความชื้น)                          | สารอิมพีแดนซ์ (C - Luconia)                                           |                                           |

## 1.2 มาตรฐานของค่าความชื้น

มาตรฐานของค่าความชื้น เนื่องจากค่าจำกัดความของความชื้นคือสัดส่วนของไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศ ดังนั้นเราจึงใช้อากาศที่ทราบค่าความชื้นแน่นอนเป็นค่ามาตรฐาน แต่ทั้งนี้การรักษาให้ค่าสัดส่วนของไอน้ำที่ถูกต้องเพื่อใช้เป็นมาตรฐานนั้นสามารถทำได้ยาก

วิธีการวัดจุดน้ำค้างเป็นวิธีหนึ่งในบรรดาวิธีการวัดค่าความชื้นต่างๆ วิธีนี้จะวัดปริมาณไอน้ำในหน่วยของมวล ซึ่งจะคำนวณปริมาณอากาศ เมื่อนำค่าดังกล่าวไปหักออกไปแล้วในหน่วยของปริมาตรหรือมวล ดังนั้นมาตรฐานพื้นฐานของเครื่องวัดสอบเทียบคือ จะต้องมีความสามารถในการสอบทวนได้ เมื่อใช้วิธีนี้เป็นฐานอ้างอิงจะเห็นว่าการพัฒนามาตรฐานและวิธีการวัดค่าความชื้นนั้นเป็นดังภาพประกอบ 5 ทิศทางของการหาค่าความชื้นมาตรฐาน



ภาพประกอบ 5 ทิศทางของการหาค่าความชื้นมาตรฐาน

### 1.2.1 วิธีการเตรียมอากาศชื้น

ขั้นตอนการเตรียมอากาศชื้นเป็นขั้นตอนที่มีบทบาทสำคัญ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมีหลากหลายวิธี ดังแสดงในตาราง 4 วิธีการเตรียมอากาศชื้น

ตาราง 4 วิธีการเตรียมอากาศชื้น

| หลักการ                                | ปริมาณที่วัดหรือชนิดของสารละลายที่ใช้ | ชื่อวิธีการ                                              |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| เปลี่ยนสภาพของอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ | ความดัน                               | วิธีวัดความดันสัมพัทธ์<br>วิธีอัดตัวและขยายตัว           |
|                                        | อุณหภูมิ                              | วิธีวัดอุณหภูมิสัมพัทธ์<br>วิธีวัดจุดน้ำค้าง             |
|                                        | ความดันและอุณหภูมิ                    | วิธีวัดความดันและอุณหภูมิสัมพัทธ์                        |
| ผสมอากาศแห้งกับอากาศชื้น               | ปริมาตรและอัตราการไหล                 | วิธีแยกกระแสไหล<br>วิธีรวมกระแสไหล<br>วิธีรวมกระแสไหลแบบ |
| ค่าคงที่ของสารละลายน้ำอิ่มตัว          | สารละลายอิ่มตัวของเกลืออนินทรีย์ในน้ำ | วิธีเกลืออิ่มตัว                                         |
|                                        | สารละลายกรดกำมะถัน                    | วิธีกรดกำมะถัน                                           |
|                                        | สารละลายของน้ำและกลีเซอริน            | วิธีกลีเซอริน                                            |

#### 1.2.1.1 วิธีการปรับเปลี่ยนค่าความดัน

หากทำให้อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูงขยายตัวเป็นอากาศที่ความดันต่ำลง ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิคงที่ เราจะสามารถเตรียมอากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทราบค่าชัดเจนได้ เช่น ค่าสัดส่วนความดันเป็น 1 ต่อ 2 กรณีนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์คิดเป็นร้อยละจะมีค่าเท่ากับ 50% วิธีการนี้เรียกว่า วิธีวัดความดันสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นวิธีที่จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมค่าความดันและอุณหภูมิที่แม่นยำ ผลจะทำให้สามารถเตรียมอากาศชื้นที่มีค่าความชื้นที่เสถียรและถูกต้อง

เครื่องมือผลิตอากาศชื้นที่อาศัยหลักการนี้ในการสอบเทียบเครื่องวัดความชื้นชนิดต่างๆ (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 6)

$$U (\%) = P_t / P_s \times 100 \quad (\text{โดยที่ } t_u = t_s)$$

ในที่นี้

|       |     |                                   |
|-------|-----|-----------------------------------|
| $P_t$ | คือ | ความดันภายในถังทดลอง              |
| $P_s$ | คือ | ความดันภายในถังที่มีอากาศอิ่มตัว  |
| $t_u$ | คือ | อุณหภูมิภายในถังทดลอง             |
| $t_s$ | คือ | อุณหภูมิภายในถังที่มีอากาศอิ่มตัว |

### 1.2.1.2 วิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ

วิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิสามารถทำได้โดยให้อากาศอ้อมตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิหนึ่ง  $t_u$  จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิของอากาศดังกล่าวขึ้นเป็น  $t_e$  จะทำให้เราสามารถเตรียมอากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่คำนวณได้จากค่าสัดส่วนของความดันไออ้อมตัวที่อุณหภูมิ ( $e_s / e_t$ ) ทั้งสองได้ วิธีการนี้เรียกว่า วิธีวัดอุณหภูมิสัมพัทธ์ สถาบันวิจัยมาตรวิทยาได้ใช้เครื่องมือที่อาศัยหลักการของวิธีการนี้ร่วมกับวิธีวัดความชื้นสัมพัทธ์เพื่อผลิตอากาศที่มีค่าความชื้นที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับใช้ในการสอบเทียบ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดค่าความชื้นเท่านั้น จะพบว่าวิธีการวัดความชื้นและอุณหภูมิสัมพัทธ์จะสามารถใช้งานได้ในช่วงที่กว้างกว่าโดยครอบคลุมถึงช่วงความชื้นต่ำ (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 7)

$$U (\%) = e_t / e_s \times 100 \quad (\text{โดยที่ } P_t = P_s)$$

|          |       |     |                                                           |
|----------|-------|-----|-----------------------------------------------------------|
| ในที่นี้ | $t_e$ | คือ | อุณหภูมิภายในถังทดลอง                                     |
|          | $t_u$ | คือ | อุณหภูมิภายในถังที่มีอากาศอ้อมตัว                         |
|          | $e_t$ | คือ | ความดันไออ้อมตัวของไอน้ำภายในถังทดลองที่อุณหภูมิ $t_e$    |
|          | $e_s$ | คือ | ความดันไอน้ำอ้อมตัวของไอน้ำภายในถังทดลองที่อุณหภูมิ $t_u$ |
|          | $P_t$ | คือ | ความดันภายในถังทดลอง                                      |
|          | $P_s$ | คือ | ความดันภายในถังที่มีอากาศอ้อมตัว                          |

### 1.2.1.3 วิธีการผสมอากาศแห้งกับอากาศชื้น

วิธีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการแบ่งให้อากาศแห้งไหลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกป้อนเข้าถังเพื่อผสมกับไอน้ำเพื่อให้เป็นอากาศอ้อมตัว และอีกส่วนหนึ่งค่อยนำกลับมาผสมเข้าด้วยกันอีกครั้ง ในการนี้เราจะสามารถเตรียมอากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทราบค่าชัดเจนได้จากค่าสัดส่วนมวลของอากาศแห้งกับอากาศชื้น เนื่องจากในทางปฏิบัติการวัดค่าอัตราการไหลให้แม่นยำจะทำได้ยากกว่าการวัดค่าอุณหภูมิและความดัน ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีความแม่นยำน้อยกว่าสองวิธีแรก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตเซนเซอร์วัดความชื้นจึงนิยมใช้วิธีการนี้เพื่อเตรียมอากาศขึ้นกันอย่างแพร่หลาย (สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. 2543 : 7)

$$U (\%) = \gamma \times 100 = [m_1 / (m_1 + m_2)] \times 100$$

|          |          |     |                                              |
|----------|----------|-----|----------------------------------------------|
| ในที่นี้ | $\gamma$ | คือ | อัตราส่วนอัตราการไหล                         |
|          | $m_1$    | คือ | มวลของอากาศแห้งที่ป้อนเข้าสู่ถังทำให้อ้อมตัว |
|          | $m_2$    | คือ | มวลของอากาศแห้งส่วนที่เหลือ                  |

### 1.2.1.4 วิธีใช้สารละลายอ้อมตัวของเกลือ

เมื่อเตรียมสารละลายที่อ้อมตัวของเกลือบางชนิด เช่น โซเดียมคลอไรด์ และเทลลูไรด์ในภาชนะที่ปิดฝามิดชิด เช่นเดียวกับเคสซิเคเตอร์ จะทำให้สามารถเตรียมอากาศที่มีค่าความชื้นขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ และอุณหภูมิที่ใช้ วิธีการนี้นับเป็นวิธีเตรียมอากาศชื้นที่ง่ายกว่าวิธีอื่นๆ แต่ยังมีปัญหาในแง่ของการคงสภาพการอ้อมตัวของสารละลาย และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวภาชนะสารละลายกับอากาศชื้น รวมทั้งปัญหาการกัดกร่อนที่ขึ้นกับชนิดของเกลือที่ใช้ เพื่อทำการคงสภาพการอ้อมตัวของสารละลาย

จำเป็นต้องทำให้ผิวหน้าของสารละลายมีสภาพเป็นเงาถึงตาราง 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในสภาวะสมดุลกับสารละลายอิ่มตัวของเกลือ (%RH)

ตาราง 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสารละลายอิ่มตัวของเกลือ (%RH)

| ชนิดของเกลือ/อุณหภูมิ | 0  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| โพแทสเซียมซัลเฟต      | 99 | 98 | 98 | 98 | 98 | 97 | 97 | 97 | 96 |
| โพแทสเซียมไนเตรต      | 96 | 96 | 96 | 95 | 95 | 94 | 92 | 91 | 89 |
| โพแทสเซียมคลอไรด์     | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 84 | 83 | 82 |
| โซเดียมคลอไรด์        | 76 | 76 | 76 | 76 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| โซเดียมโบรไมด์        | -  | 64 | 62 | 61 | 59 | 58 | 56 | 55 | 53 |
| แมกนีเซียมไนเตรต      | 60 | 59 | 57 | 56 | 54 | 53 | 51 | 50 | 48 |
| โพแทสเซียมคาร์บอเนต   | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | -  | -  |
| แมกนีเซียมคลอไรด์     | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 | 33 | 32 | 32 | 32 |
| ลิเทียมคลอไรด์        | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |

1.2.2 ความผิดพลาด และสาเหตุของความผิดพลาดในการวัดค่าความชื้น ความผิดพลาดในการวัดค่าความชื้น ความผิดพลาดหลักๆ ที่มักพบในการวัดค่าความชื้นมี 2 ลักษณะคือ

1.2.2.1 ลักษณะแบบเดียวกับการวัดค่าความยาว หรือแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมักมุ่งหวังให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยๆ เช่น  $+/- 0.1\% \sim +/- 0.001\%$  เมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง เพราะมุ่งหวังความแม่นยำจนมากเกินไปทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ประกอบกับปัญหาเนื่องจากวิธีการที่ใช้ และสภาพแวดล้อมในการวัด ทำให้เกิดความผิดพลาดตามมา

1.2.2.2 ลักษณะนี้จะตรงกันข้ามคือ เบิกเฉยไม่ให้ความสำคัญกับการเก็บบำรุงรักษาเครื่องมือ ผังใจเชื่อตัวเลขที่แสดงผลออกมาโดยไม่มีการตรวจทวนซ้ำ ซึ่งผลตามมามากจะเป็นลักษณะที่เกิดของเสียภายในกระบวนการผลิต ซึ่งต่อมาภายหลังจึงรู้ว่าเป็นผลจากค่าความชื้นที่วัดได้มีปัญหา

สำหรับการแก้ไขนั้น ในกรณีแรกผู้ทำการวัดควรที่จะต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือในระดับที่เหมาะสมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวัด ส่วนในกรณีหลังผู้ทำการวัดจะต้องมีความสำนึกและใส่ใจต่อการวัดค่าให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

1.2.3 สาเหตุของความผิดพลาดในการวัดค่าความชื้น มีอยู่ด้วยกันหลายสาเหตุดังนี้

1.2.3.1 การเก็บบำรุงรักษาตามปกติ

เนื่องจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นส่วนใหญ่เป็นแบบสัมผัส ในการวัดซึ่งจะอยู่ในสภาพสัมผัสกับอากาศที่ต้องการวัดค่าความชื้นส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพ หรือเกิดคริฟ (การเขยื้อนของผลการวัดเมื่อใช้งานนานๆ) ได้ง่าย นอกจากนี้สำหรับเครื่องมือที่มีลักษณะที่ไม่สามารถทำความสะอาดได้ เพื่อใช้งานไปนานก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สำหรับเซ็นเซอร์ที่ใช้กับอากาศที่มีความสกปรกมาก จำเป็นต้องนำไปสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้สำหรับเครื่องมือวัดความชื้นแบบกระเปาะเปียกและแห้งนั้น ความสะอาดของแถบผ้าหุ้มกระเปาะ รวมทั้งน้ำในกระเปาะส่งผลต่อความแม่นยำในการวัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแถบผ้าอย่างสม่ำเสมอ และใช้น้ำกลั่นเท่านั้น

#### 1.2.4 การควบคุมในระหว่างการวัด

เครื่องวัดจุดน้ำค้างแบบหล่อเย็นที่ผิวโพรบกระจกนั้นจะอาศัยหลักการตรวจจับหยดละอองน้ำ หรือน้ำแข็งที่เกาะติดที่ปลายโพรบ ดังนั้นโดยหลักการแล้วจึงนับเป็นวิธีที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด

1.2.4.1. ความสมดุลของระดับแสงสว่างก่อนทำการวัดจะต้องปรับระดับแสงสว่างให้ได้สมดุล

1.2.4.2. ความสกปรกของปลายโพรบ ก่อนทำการวัดจะต้องทำความสะอาดบริเวณปลายโพรบ หากไม่เช่นนั้นจะทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน

1.2.4.3. อิทธิพลของการดูดซับความชื้น เพื่อลดทอนอิทธิพลของการดูดซับน้ำภายในระบบท่อที่บริเวณท่อทางเข้าของอากาศชั้นควรใช้วัสดุประเภทสแตนเลสหรือเทฟลอน และหากเป็นไปได้ควรทำให้มีความยาวน้อยที่สุด

1.2.4.4. การเกิดหยดน้ำที่นอกบริเวณปลายโพรบ ในการวัดจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิที่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิห้องนั้นมักจะมีปัญหาการเกิดหยดน้ำตามบริเวณที่นอกเหนือจากบริเวณปลายโพรบ เช่น ในท่อในเซ็นเซอร์เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิของบริเวณเหล่านั้นให้เหมาะสม

1.2.4.5 ปัญหาด้านอุณหภูมิในขณะที่ทำการวัดเป็นจุดควบแน่นหรือเป็นจุดเยือกแข็ง ในกรณีทำการวัดที่จุดน้ำค้างต่ำๆ (เช่น ประมาณ  $-10^{\circ}\text{C}$ ) อาจเกิดปัญหาว่าน้ำไม่แข็งตัวเป็นน้ำแข็ง แต่ยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ เนื่องจากค่าความดันไออิ่มตัวของน้ำและน้ำแข็งมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบว่าที่ปลายโพรบสัมผัสกับน้ำหรือน้ำแข็ง หากไม่เช่นนั้นจะไม่ทราบว่ากำลังวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือจุดเยือกแข็ง

### 1.3. องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับอากาศชั้น

#### 1.3.1 ความร้อน (Heat)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง สามารถเปลี่ยนรูปได้เป็นผลเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ดังนั้นสสารทุกชนิดจะประกอบขึ้นด้วยโมเลกุล จะต้องมีความร้อนภายในตัวเอง การเคลื่อนที่ของความร้อนขึ้นอยู่กับความเข้มของความร้อน หรืออุณหภูมิ โดยปกติความร้อนจะเคลื่อนจากสิ่งที่ย้อนไปหาสิ่งที่เย็น

#### 1.3.2 ความเย็น (Cold)

ความเย็นเป็นสิ่งที่ใช้สัมพันธ์กับความร้อน คือ สิ่งใดก็ตามที่มีความร้อน เมื่อถูกดูดความร้อนออกจะกลายเป็นความเย็น ดังนั้นในระบบการทำความเย็น ถ้าต้องการทำสิ่งใดให้เย็นจะต้องเคลื่อนย้ายความร้อนออกจากสสาร แต่ไม่ได้หมายความว่าทำลายความร้อน เพียงแต่ดูดความร้อนจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่ง

#### 1.3.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิคือ ความเข้มข้นของความร้อน หรือระดับความร้อนของสสาร อุณหภูมิอย่างเดียวยังไม่สามารถทราบปริมาณความร้อนได้ อุณหภูมิจะบอกให้ทราบว่าสสารนั้นมีระดับความร้อนเท่าใด กล่าวคือ อุณหภูมิคือการวัดความร้อนของการเคลื่อนที่ของโมเลกุล

#### 1.3.4 การวัดอุณหภูมิ (Temperature measurement)

การวัดอุณหภูมิใช้เครื่องมือชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์ อาศัยหลักการโดยการขยายตัวของของเหลวที่ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในจะขยายตัวหรือเคลื่อนที่สูงขึ้นในหลอดแก้ว ซึ่งจะบอกชี้เป็นตัวเลขเรียกว่าจำนวนองศา ถ้าอากาศรอบๆ กระเปาะร้อนของเหลวจะขยายตัวมากขึ้น แต่ถ้าอากาศรอบๆ ต่ำ ของเหลวจะหดตัวลง จำนวนองศาจะน้อย

### 1.3.5 หน่วยของอุณหภูมิ

หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในระบบทำความเย็นมี 2 หน่วยวัดคือ

1.3.5.1 องศาเซลเซียส (Celsius degree) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิระบบเมตริก อุณหภูมิที่เป็นองศาเซลเซียสมีจุดเยือกแข็ง 0 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดของไอน้ำอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส

1.3.5.2 องศาฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit degree) เป็นหน่วยวัดระบบอังกฤษและอเมริกัน มีจุดเยือกแข็ง 32 องศาฟาเรนไฮต์ จุดเดือดที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์

### 1.3.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

1.3.6.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) การวัดอุณหภูมิของสารต่างๆใช้เทอร์โมมิเตอร์ ประกอบด้วยหลอดแก้วปลายตัน มีกระเปาะบรรจุปรอท เมื่อความร้อนรอบๆ สูงหรือต่ำ ปรอทแก้วจะสูงและต่ำตามสภาพอากาศ สเกลบนหลอดแก้วจะบอกเป็นหน่วยอุณหภูมิองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์

1.3.6.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) นำเทอร์โมมิเตอร์มาหุ้มด้วยผ้าเปียกหรือสำลีชุบน้ำห่อหุ้มรอบๆ กระเปาะแล้วทำการแกว่งในอากาศอุณหภูมิที่แสดงให้เห็นตอนนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนแรกและจะค่อยๆ ลดลงหยุดหนึ่งที่จุดๆหนึ่ง มีค่าเป็นองศาต่ำกว่าองศาของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิที่ได้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

### 1.3.7 เอนทัลปี (Enthalpy)

ความร้อนมี 2 สิ่งคือ อุณหภูมิ และปริมาณความร้อน โดยอุณหภูมิเป็นสิ่งที่วัดความเข้มของความร้อน และปริมาณความร้อนบี.ยู. ดังนั้นเอนทัลปี คือ คุณสมบัติของสารที่วัดออกมาจะมีความร้อนอยู่เท่าใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นการง่ายที่จะหาปริมาณความร้อน

### 1.3.8 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง ความชื้นที่มีอยู่จริงในขณะนั้นหารด้วยความชื้นอิ่มตัว หรือความชื้นสูงสุดที่สามารถมีได้ในเวลาเดียวกัน เช่น อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร วัดความชื้นสมมติได้ 120 เกรน เฮสเปอร์ยัดฉีดไอน้ำเข้าไปในอากาศที่กำลังวัด จนกระทั่งวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับกระเปาะเปียก คือ มีค่าความชื้นเต็มที่ สมมติวัดความชื้นได้ 200 เกรน (สนอง อัมเมม. 2528 : 358)

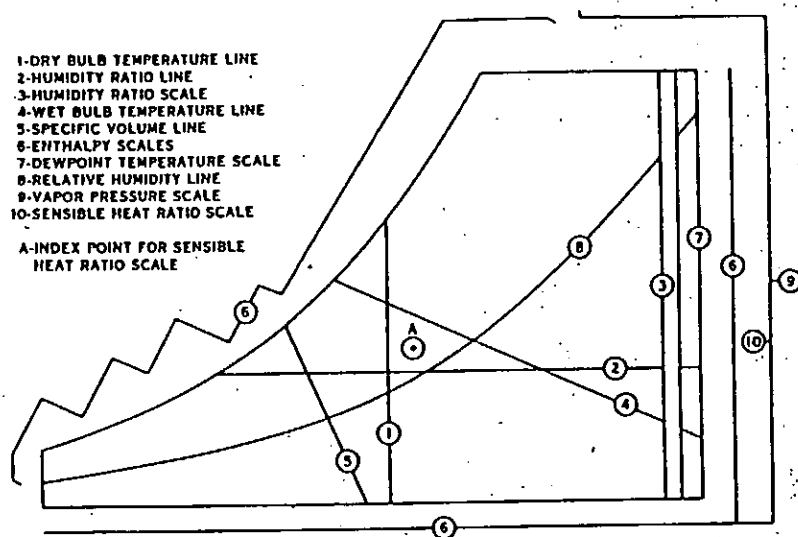
$$R.H. = \frac{120}{200} \times 100 = 60\%$$

นั่นคืออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 60 %

ความชื้นสัมพัทธ์อาจหาได้โดยอาศัยแรงดันไอน้ำ และนำมาหาอัตราส่วน คือ อัตราส่วนระหว่างเพรสเชอร์จริงของอากาศในขณะวัดต่อเพรสเชอร์สูงสุดของละอองน้ำที่มีอยู่ได้สูงสุดในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน

### 1.3.9 ไซโครเมตริกชาร์ท (Psychrometric Chart)

ไซโครเมตริกชาร์ท เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแรงดันของไอน้ำ สเกลทางด้านบนแสดงอุณหภูมิ สเกลทางด้านข้างแสดงแรงดันของไอน้ำ ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 เส้นและสเกลบนไซโครเมตริกชาร์ท

(สนอง อิมเอ็ม. 2528 : 359)

เส้นที่ 1 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เป็นอุณหภูมิของอากาศที่อ่านได้จากสเกลมาตรฐานของเทอร์โมมิเตอร์ และแสดงบนกราฟด้วยเส้นตั้งตรง สเกลเป็นองศาฟาเรนไฮต์กระเปาะแห้ง อ่านได้จากตัวเลขไคซาร์ท

เส้นที่ 2 แสดงอัตราส่วนความชื้นเป็นน้ำหนักของละอองไอน้ำ ที่มีอยู่ทุกๆ ปอนด์ของอากาศแห้ง เรียกว่าความชื้นเฉพาะบนชาร์ทเส้นนี้จะอยู่ในแนวอนตังฉากกับเส้นองศาฟาเรนไฮต์กระเปาะแห้ง หน่วยที่ใช้จะวัดเป็นเกรนความชื้นต่อปอนด์ของอากาศแห้ง ตัวย่อของหน่วยที่ใช้ W หรือ HR

เส้นที่ 3 แสดงสเกลอัตราส่วนความชื้น ค่าอัตราส่วนความชื้นของเส้นที่ 2 ณ จุดต่างๆบนชาร์ท อ่านค่าได้จากสเกลนี้เป็นเกรนต่อปอนด์ของอากาศแห้ง

เส้นที่ 4 อุณหภูมิกระเปาะเปียก เหนือ 32 องศาฟาเรนไฮต์ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าเปียกหุ้มกระเปาะปรอท และนำไปแกว่งในอากาศด้วยความเร็ว 1,000 ฟุตต่อนาที (FPM.) อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่า 32 องศาฟาเรนไฮต์ได้มาเนื่องจาก น้ำที่ห่อหุ้มกระเปาะของปรอทได้เปลี่ยนเป็นน้ำแข็ง

เส้นที่ 5 แสดงปริมาตรของอากาศ เป็นปริมาตรของอากาศแห้ง ใช้สัญลักษณ์ V

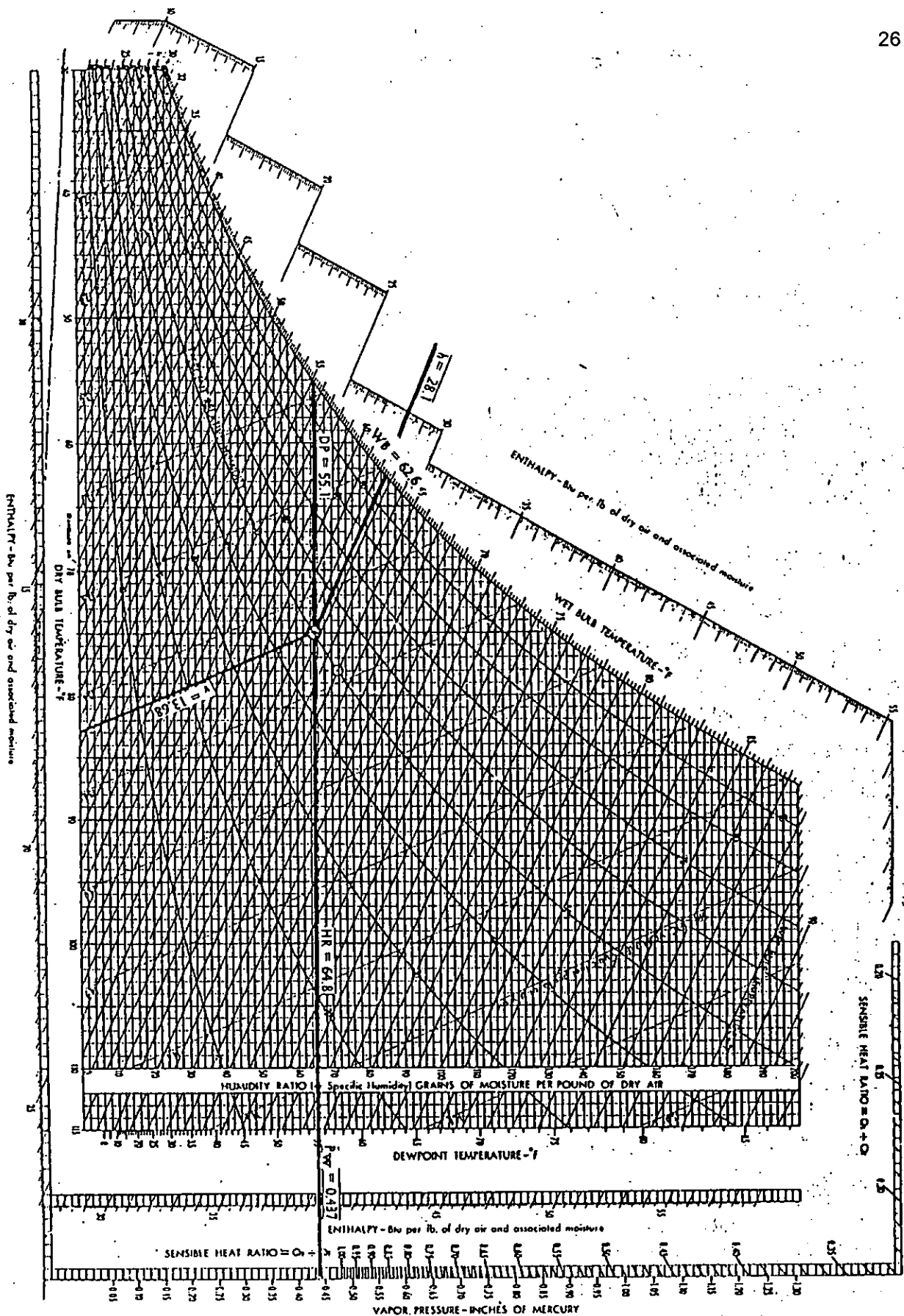
เส้นที่ 6 แสดงเอนทัลปีของเครื่องปรับอากาศคือกำลังงานใน 1 ปอนด์ของอากาศแห้ง และอัตราส่วนความชื้นที่มีอยู่รวมกัน เอนทัลปีมีหน่วยเป็น บี.ที.ยู. ต่อปอนด์ของอากาศแห้ง ใช้สัญลักษณ์ h

เส้นที่ 7 แสดงเส้นอุณหภูมิของจุดน้ำค้าง เป็นอุณหภูมิที่มีความชื้นอากาศกำลังจะเริ่มเปลี่ยนเป็นของเหลว มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์

เส้นที่ 8 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนเพรสเชอร์ของไอน้ำขณะนั้น ต่อเพรสเชอร์ของไอน้ำสูงสุดที่จะมีได้ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

เส้นที่ 9 แสดงแรงดันของไอน้ำ เป็นแรงดันของละอองน้ำที่อยู่ในอากาศ มีหน่วยเป็นนิ้วปรอท

เส้นที่ 10 อัตราส่วนของความร้อนรู้สึกเป็นอัตราส่วนของความร้อนรู้สึกของสารขณะนั้นต่อความร้อนรู้สึกของสารนั้น ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงไซโครเมตริกชาร์ทส่วนที่ใช้งาน  
(สนอง อิมเอ็ม.2528 : 361)

1.3.10 ทฤษฎีการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์และอีแวปอเรเตอร์  
คอนเดนเซอร์และอีแวปอเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นไหลภายใน  
ชุดท่อคอนเดนเซอร์และอีแวปอเรเตอร์ โดยใช้ตัวกลางในการช่วยระบายความร้อน ซึ่งสารตัวกลางที่จะช่วย  
ระบายความร้อนได้แก่ อากาศ น้ำ หรือทั้งสองอย่าง

1.3.10.1 อีแวปอเรเตอร์ การดูดความร้อนของอีแวปอเรเตอร์จะเกิดขึ้นโดยสารทำความ  
เย็นเป็นตัวดูดความร้อนจากภายในพื้นที่การทำความเย็น และภาระความร้อนจากภายนอกที่ผ่านผนัง  
เข้ามาในบริเวณพื้นที่ทำความเย็น การเลือกขนาดของอีแวปอเรเตอร์จะต้องมีขนาดรับภาระได้เพียงพอ  
การถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี คือการนำพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน การถ่ายเทความร้อนใน  
อีแวปอเรเตอร์เริ่มโดยพัดลมในอีแวปอเรเตอร์ จะพาอากาศเย็นส่งไปยังภาระ ฉะนั้นจะเกิดการถ่ายเท  
ความร้อนจากภาระให้กับอากาศ โดยอาศัยอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างอากาศกับภาระ ความร้อนของภาระ  
จะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิต่ำ อากาศจะหมุนเวียนกลับไปยังอีแวปอเรเตอร์ การพาความร้อน  
จากภาระมายังอีแวปอเรเตอร์ และอากาศที่พาความร้อนมาสัมผัสกับผิวท่ออีแวปอเรเตอร์เป็นทองแดงหรือ  
อลูมิเนียมก็จะนำความร้อนให้กับสารทำความเย็นเหลว ความร้อนส่วนนี้สามารถให้ได้จากสูตร (สนอง  
อิมเม . 2528 : 423)

จากสูตร

$$Q = A.U.TD$$

Q คือปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์

A คือพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนของอีแวปอเรเตอร์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

U สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนรวม มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร-นาท

TD คือค่าอุณหภูมิที่แตกต่างเฉลี่ยของผิวอีแวปอเรเตอร์ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

$$TD = \frac{(T_s - T_r) - (T_L - T_r)}{\ln \frac{(T_s - T_r)}{(T_L - T_r)}}$$

$T_s$  คืออุณหภูมิของอากาศผ่านคอยล์เย็น องศาเซลเซียส

$T_L$  คืออุณหภูมิของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น องศาเซลเซียส

$T_r$  คืออุณหภูมิของสารทำความเย็นภายในท่อ องศาเซลเซียส

1.3.10.2 คอนเดนเซอร์ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่คอนเดนเซอร์ระบายออกจะ  
ประกอบด้วยความร้อนของอีแวปอเรเตอร์สามารถดูดได้ และความร้อนที่เกิดจากการอัดสารทำความเย็น  
ของคอมเพรสเซอร์และความร้อนเกิดจากไอร้อนยิ่งยวดบริเวณท่อดูด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการะของ  
คอนเดนเซอร์ ปริมาณความร้อนที่คอนเดนเซอร์ต้องถ่ายเทสำหรับคอมเพรสเซอร์แบบปิด ภาระของ  
คอนเดนเซอร์ เท่ากับ ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ (กิโลวัตต์) + กำลังที่ให้กับมอเตอร์ (กิโลวัตต์)

1.3.11 ทฤษฎีการคำนวณหาปริมาณไอน้ำในการเพิ่มและลดความชื้น

ไอน้ำที่ปรากฏในบรรยากาศที่มีความดันต่ำมากๆ ณ ที่ความดันต่ำและอุณหภูมิของบรรยากาศ  
ไอน้ำจะเหมือนเป็นก๊าซสมบูรณ์ ความดันบางส่วนของอากาศแห้งภายใต้บรรยากาศหนึ่งอาจพิจารณาได้ว่า  
มีความใกล้เคียงความเป็นก๊าซสมบูรณ์ ส่วนผสมของก๊าซสมบูรณ์สามารถประยุกต์ใช้ให้อยู่ในรูปของอากาศ  
(ชื้น ในทางปฏิบัติของการปรับอากาศการคำนวณตั้งอยู่บนพื้นฐาน แต่ส่วนของไอน้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลง  
อยู่เสมอ การกำหนดนิยามและการคำนวณซึ่งอยู่ในความสัมพันธ์ของคุณสมบัติไซโครเมตริก อาจพิจารณา  
ปริมาตร (V) ที่แน่นอนของอากาศชื้นที่มีความดัน p และอุณหภูมิ t รวมทั้งมวล  $m_v$  เป็นกิโลกรัมสำหรับ

อากาศแห้งและมวล  $m_v$  เป็นกิโลกรัมของน้ำ อุณหภูมิที่แท้จริง ( $t$ ) ของอากาศชื้น เรียกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_{\text{a}}$ ) ความดันทั้งหมด ( $p$ ) ซึ่งเท่ากับความดันของบาโรมิเตอร์เป็นตัวคงที่ อาจเรียกได้หลายอย่างว่า ความชื้นจำเพาะ ความชื้นสัมบูรณ์ อัตราส่วนความชื้นชื้นแทนด้วยเครื่องหมาย  $w$  เป็นอัตราส่วนของไอน้ำ โดยมวลของอากาศแห้งอยู่ในปริมาตรของของผสมด้วยเหตุนี้ ในการหาปริมาณไอน้ำในอากาศทั้งอัตราการให้ความชื้นและลดความชื้นสามารถหาได้จากสมการในหน่วย กิโลกรัม จากสูตร (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. 2523 : 134)

$$m_v = m_a \cdot w$$

|       |                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------|
| $m_v$ | คือปริมาณความชื้นในอากาศ กิโลกรัม                        |
| $m_a$ | คือมวลของอากาศแห้ง กิโลกรัมอากาศแห้ง                     |
| $w$   | คือผลต่างของอัตราส่วนความชื้น กิโลกรัม/กิโลกรัมอากาศแห้ง |

$$m_a = V/v$$

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| $V$ | คือปริมาตรอากาศ ลูกบาศก์เมตร                    |
| $v$ | คือปริมาตรจำเพาะ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมอากาศแห้ง |

### 1.3.12 ทฤษฎีการหาปริมาตรของอากาศที่ส่งออกที่หัวจ่าย

ปริมาตรของอากาศที่ส่งออก หมายถึง ปริมาตรของอากาศที่ไหลต่อหน่วยเวลาสามารถหาได้จากพื้นที่หน้าตัดคูณด้วยความเร็วของอากาศที่ไหล จากสูตร (วิชาญ วิมานจันทร์. 2545 : 178)

$$Q_v = AC$$

|       |                                                         |
|-------|---------------------------------------------------------|
| $Q_v$ | คือปริมาตรของอากาศที่ส่งออกที่หัวจ่าย ลูกบาศก์เมตร/นาที |
| $A$   | คือพื้นที่ของหัวจ่าย ตารางเมตร                          |
| $C$   | คือความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน เมตร/นาที                 |

โดยที่  $A$  คือพื้นที่ของหัวจ่ายหาได้จากสูตรพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยม จัตุรัส รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หมายถึงรูปสี่เหลี่ยมที่มีด้านกว้างเท่ากับด้านยาว

การหาพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า = กว้าง  $\times$  ยาว ตารางเมตร

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้น

### 2.1 หลักการเครื่องทำความเย็น

หลักการเบื้องต้นของการทำความเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิของสิ่งที่ต้องการทำความเย็นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ โดยอาศัยสารตัวกลาง (น้ำยา) เป็นพาหะนำความร้อน (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. 2523 : 1) ตู้เย็นจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในแทบทุกครัวเรือน สำหรับเก็บรักษาอาหารไม่ให้เน่าเสีย ตลอดจนใช้ทำน้ำแข็งและแช่เนื้อให้เป็นสำหรับดื่ม (สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2542 : 183)

หลักการออกแบบตู้เย็น

ตัวแทนสำคัญของอุปกรณ์การแช่เย็นคือ ตู้เย็น ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องเก็บรักษาความเย็นไว้ เช่น เครื่องแช่เย็น (Refrigerating Machine) ทำหน้าที่ถ่ายความร้อนออกจากอาหาร และเก็บรักษาความเย็นของอาหารแช่เย็นให้คงสภาพไว้โดยป้องกันความร้อนที่จะเข้ามาจากภายนอก เพื่อไม่ให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น การที่เครื่องสามารถดึงความร้อนออกมาได้ เพราะอุณหภูมิของเครื่องต่ำกว่าอุณหภูมิของวัตถุ

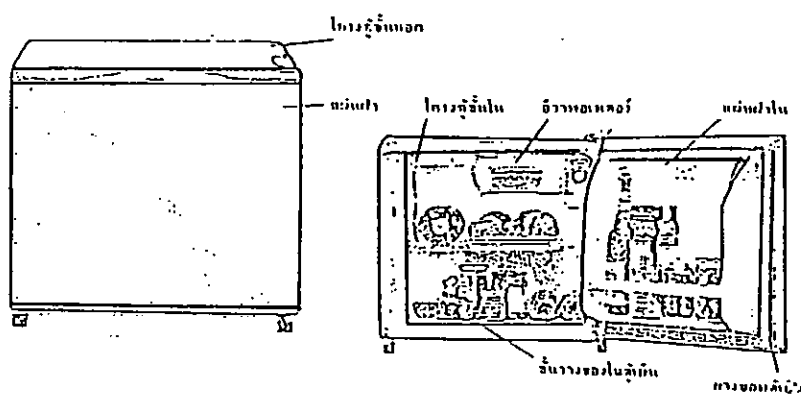
ที่ต้องการจะดึงความร้อนออก อุปกรณ์ที่ใช้ทำความเย็นคือ คอมเพรสเซอร์ (ธนาวุช จารุทัศน์. 2522 : 10 – 11)

ก่อนปีพ.ศ. 2506 ตู้เย็นที่ใช้ในประเทศไทยต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมด เมื่อมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น รัฐบาลจึงส่งเสริมให้มีโรงงานผลิตในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้า อุตสาหกรรมนี้ ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วทดแทนการนำเข้าได้เป็นส่วนใหญ่ ทุกวันนี้การผลิตตู้เย็นในประเทศสามารถทำได้กว่าร้อยละ 90 และยังส่งออกจำหน่ายในต่างประเทศ (อุตสาหกรรมสาร. 2537 : 45 – 54)

ตู้เย็นมีขนาดต่างๆ กัน ตู้เย็นที่ใช้จะมีขนาดเล็กตั้งแต่ 1.5 ลูกบาศก์ฟุต (42.45 ลิตร) ถึง ขนาดใหญ่ 30 ลูกบาศก์ฟุต (849 ลิตร) (สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2542 : 183 – 190)

ส่วนประกอบของตู้เย็น ดังภาพประกอบ 8 มีส่วนประกอบดังนี้

1. โครงตู้ชั้นนอกและแผ่นฝา ทำจากเหล็กแผ่น (Steel Sheet) พับขึ้นรูปและผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม อบอุ่นร้อน พ่นสีรองพื้น ชนิด Thermosetting Acrylic amino resin



ภาพประกอบ 8 ส่วนประกอบของตู้เย็น  
(สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2545 : 184)

2. โครงตู้ชั้นในและฝาใน ทำจากพลาสติก High Impact Polystyrene (HI – PS) หรือ ABS (Acrylonitrile – Butadiene – Styrene) มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม

3. ฉนวนกันความร้อน เป็นวัสดุที่ใช้กั้นระหว่างโครงตู้ชั้นนอกและชั้นในของตู้เย็น ทำจากโฟมแผ่นหรือโฟมฉัด (Rigid Polyurethane Foam) ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากภายนอกตู้ ไม่ให้ถ่ายเทของภายในตู้ รักษาระดับความเย็นภายในตู้ให้มีอุณหภูมิต่ำตามที่ต้องการเสมอ ตู้เย็นทั่วไปจะมีฉนวนหนาประมาณ 30 – 35 มิลลิเมตร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2539 : 13)

4. ข้างขอบตู้เย็น ใช้ยาง Polyvinyl Chloride ช่วยให้ตู้เย็นกับประตูหรือฝาดูปิดสนิทป้องกันไม่ให้อากาศไหลผ่านเข้าออก ซึ่งจะทำให้ความเย็นลดน้อยลง จะมีเส้นแม่เหล็กสอดอยู่ภายในยางเพื่อให้ยางแนบกับตัวตู้ดีขึ้น

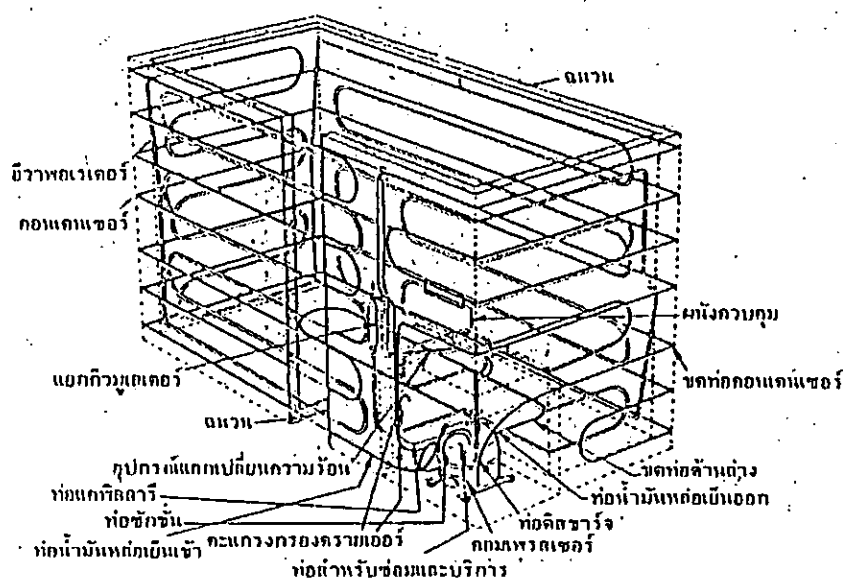
5. ชั้นวางของภายในตู้เย็น เป็นตะแกรงโปร่ง ให้ความเย็นสามารถถ่ายเทได้ ใช้วัสดุที่ไม่เป็นสนิม

6. คอมเพรสเซอร์ เป็นอุปกรณ์หลัก ทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาทำความเย็น (CFCs) โดยดูดน้ำยาที่มีสถานะเป็นแก๊ส อุณหภูมิต่ำ ความดันต่ำ จากอีวาทอนคอร์เข้ามาอัดเป็นแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง

และความดันสูงขึ้นส่งไปไปยังคอมเพรสเซอร์ ปกติคอมเพรสเซอร์ตู้เย็นจะบรรจุอยู่ในตัวเรือนเดียวกับมอเตอร์

7. คอนเดนเซอร์ สำหรับตู้เย็นเป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้ท่อทองแดงขดไปมาด้านหลังตู้เย็น ในปัจจุบันจะติดตั้งด้านในของโครงตู้ชั้นนอก โดยใช้ผนังของตู้เย็นเป็นตัวระบายความร้อนไปในตัว

8. อีแวปอเรเตอร์ เป็นส่วนที่ติดไว้ในตู้เย็นทำความเย็น โดยมีพัดลมเป่าลมเย็นให้หมุนเวียนภายในตู้ ดังภาพประกอบ 9 แผนผังการเดินท่อระบบทำความเย็นของตู้เย็น



ภาพประกอบ 9 แผนผังการเดินท่อระบบทำความเย็นของตู้เย็น  
(สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2545 : 75)

## 2.2 ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน (Resistance Temperature Detector : RTD)

ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน และเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานสามารถใช้แทนกันได้ในการอธิบายถึงตัวตรวจจับอุณหภูมิที่เป็นโลหะลักษณะเป็นลวดเส้นเล็กๆ หรือแบบฟิล์มบาง ซึ่งความต้านทานของมันเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ สามารถหาค่าอุณหภูมิของตัวมันได้จากค่าความต้านทานที่วัดได้ โดยใช้สมการหรือตารางการสอบเทียบ

### 2.2.1 หลักการเบื้องต้นตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน

เอก ไชยสวัสดิ์. (2542 : 27 – 40) ได้แบ่งวัสดุออกได้เป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor) สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) หรือฉนวน (Insulator) ตามการนำไฟฟ้าของมันที่อุณหภูมิห้อง โลหะเกือบทุกชนิดจะมีความต้านทานจำเพาะ (Resistivity) ประมาณ  $10^{-3}$  ถึง  $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$

โลหะทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทุกๆ อุณหภูมิ (ยกเว้นที่อุณหภูมิต่ำมากๆ) การนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับกับการต้านทานต่อการไหลของกระแส ความต้านทานของตัวนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โอห์ม ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกันตามกฎของโอห์ม (เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 27)

$$R = E/I$$

เมื่อ  $R$  คือความต้านทานที่มีหน่วยเป็นโอห์ม  $E$  คือ ความต่างศักย์มีหน่วยเป็น โวลต์  $I$  คือ กระแสมีหน่วยเป็น แอมแปร์ โลหะต่างชนิดกันจะมีค่าความต้านทานจำเพาะที่ต่างกันอย่างกว้างขวางด้วยความต้านทานของตัวนำจะแปรผันตรงกับความยาวของตัวนำ แต่แปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของตัวนำนั้น (เอก ไชยสวัสดิ์.2542 :27)

$$R = \rho L/A$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานของตัวนำ  $\rho$  คือ ความต้านทานจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็นโอห์ม เมตร  $L$  คือ ความยาวของตัวนำ มีหน่วยเป็นเมตร  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ มีหน่วยเป็นตาราง เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวนำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สำหรับโลหะนั้นค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานจำเพาะมีค่าเป็นบวก นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $R$  ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับสารกึ่งตัวนำ โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานจำเพาะมีค่าเป็นลบ โดยปกติในช่วงอุณหภูมิจำกัดใกล้ๆ  $0^{\circ}\text{C}$  อาจถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเชิงเส้น (เอก ไชยสวัสดิ์.2542 :28)

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ  $t$  (มีหน่วยเป็นโอห์ม)  $R_0$  คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง (มีหน่วยเป็นโอห์ม)  $\Delta t$  เป็นอุณหภูมิจากอุณหภูมิอ้างอิง  $t_0$  (เป็นองศาเซลเซียส)  $\alpha$  เป็น สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิของความต้านทานของวัสดุ (มีหน่วยเป็น (โอห์ม/โอห์ม) /  $^{\circ}\text{C}$  หรือ ( $^{\circ}\text{C}$ ) หรือ (K)  $^{-1}$  ดังตาราง6 แสดงความต้านทานจำเพาะ และสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิของ โลหะสามัญหลายชนิดทั้งที่เป็นธาตุและโลหะผสม  
ตาราง 6 แสดงความต้านทานจำเพาะ และสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะสามัญหลายชนิด ทั้งที่เป็นธาตุและโลหะผสม

| วัสดุ           | $\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1})$ | $\rho (\mu\Omega\text{-cm})$ |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|
| นิกเกิล         | 0.0067                           | 6.85                         |
| เหล็ก (โลหะผสม) | 0.002 to 0.006                   | 10                           |
| ทังสเตน         | 0.0048                           | 5.65                         |
| อลูมิเนียม      | 0.0045                           | 2.65                         |
| ทองแดง          | 0.0043                           | 1.67                         |
| ตะกั่ว          | 0.0042                           | 20.6                         |
| เงิน            | 0.0041                           | 1.59                         |
| ทอง             | 0.004                            | 2.35                         |
| ทองคำขาว        | 0.00392                          | 10.5                         |
| ปรอท            | 0.00099                          | 98.4                         |
| แมงกานีส        | $\pm 0.00002$                    | 44                           |
| คาร์บอน         | -0.0007                          | 1400                         |
| อิเล็กโตรไลต์   | -0.02 to -0.09                   | Variable                     |
| เทอร์มิสเตอร์   | -0.068 to +0.14                  | $10^9$                       |

### 2.2.2 ชนิดของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน

หลักการเลือกโลหะมาทำเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานควรพิจารณาคุณสมบัติ

ดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ความไวในการวัดสูง สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องแม่นยำ
2. มีความต้านทานจำเพาะสูง ทำให้ไม่ต้องใช้สายโลหะยาวเกินไป ขนาดจะเล็กกะทัดรัด และช่วยให้ได้ความไวในการวัดที่ดีด้วย
3. มีความคงทนถาวร แม้จะใช้เป็นเวลานานหรือใช้ในอุณหภูมิช่วงกว้างมากๆ ก็ไม่ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเสื่อมหรือเปลี่ยนแปลงไป
4. มีความต้านทานไฟฟ้าสัมพันธ์กับอุณหภูมิเป็นเชิงเส้นตรง หรือใกล้เคียง เพื่อให้สเกลที่เครื่องวัดเป็นเชิงเส้นตรง สะดวกแก่การปรับค่าความต้านทานในการปรับจุดศูนย์เป็นต้น
5. มีความสัมพันธ์ของความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เป็นค่าคงมีแน่นอน คือ มีฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) น้อย หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ณ อุณหภูมิหนึ่งจะต้องมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แน่นอนเพียงค่าเดียว
6. ทำเป็นเส้นได้ง่าย และมีความแข็งแรงในเชิงโครงสร้าง และถ้าเป็นไปได้ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่อความร้อนต่ำ
7. มีความบริสุทธิ์สูง

โลหะที่นำมาทำตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน

โลหะที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน คือ ทองคำขาว นิกเกิล และทองแดง โลหะเหล่านี้มีข้อดีคือ สามารถผลิตให้มีความบริสุทธิ์ได้ค่อนข้างสูง ผลที่ตามมาคือ สามารถผลิตให้ลักษณะจำเพาะความต้านทานที่มีความสามารถสร้างใหม่ (Reproducibility) สูงมาก

การเปลี่ยนความต้านทานไฟฟ้าของโลหะต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ และความต้านทานจำเพาะของทองคำขาวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1821 แต่การประยุกต์ใช้ทองคำขาวเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน สำหรับวัดอุณหภูมิได้เกิดขึ้นครั้งแรกอีก 50 ปีต่อมา ปีค.ศ. 1871 มีการใช้ทองคำขาวเป็นวัสดุมาตรฐานใช้ในเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน ซึ่งนิยมสเกลอุณหภูมิในทางปฏิบัติสำหรับนานาชาติ (ITS90) จากจุดสามสถานะของไฮโดรเจน ( $-259.3467^{\circ}\text{C}$ ) ไม่ใช่เพราะว่ามันมีสัมประสิทธิ์ความต้านทานจำเพาะสูง แต่ที่ใช้เพราะมีเสถียรภาพต่อการใช้งานดี ความจริงแล้วโดยทั่วไปสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่มีค่าสูงเป็นสิ่งไม่จำเป็นในวัสดุที่ทำเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน เพราะค่าความต้านทานสามารถหาค่าโดยให้มีระดับความแม่นยำสูงได้ด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม และจะมีวงจรอย่างเพียงพอเป็นไปได้ว่าทองคำขาวซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานจำเพาะสูงที่สุดจะถือได้ว่าเป็นวัสดุที่ดีที่สุดที่ใช้สำหรับการสร้างเทอร์โมมิเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานจำเพาะที่มีค่าสูงนี้เป็นสิ่งที่บอกถึงความบริสุทธิ์ของทองคำขาวว่ามีค่าสูงด้วยเช่นกัน การปรากฏของสารไม่บริสุทธิ์ในเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ขณะที่การแพร่หรือการระเหยเป็นไอจะเกิดขึ้นในขณะใช้งาน ทำให้ผลที่ตามมาคือเทอร์โมมิเตอร์ขาดเสถียรภาพ ค่าสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิของความต้านทานจำเพาะจะมีความไวต่อความเครียดภายในวัสดุ จึงจำเป็นที่จะต้องนำทองคำขาวมาอบที่อุณหภูมิสูงกว่า ค่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุด ผลรวมของการอบอย่างเพียงพอ และความบริสุทธิ์ (มากกว่า 99.99%) ทำให้อัตราส่วนของความต้านทานที่จุดเป็นไอและจุดน้ำแข็งมีค่าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วน  $R_{100}/R_0$  นี้ต้องเกิน

1.39250 (ใน ITS - 90 ต้องการให้เทอร์โมมิเตอร์เป็นไปตามเกณฑ์สำหรับความไว  $W$  ( $29.7646^{\circ}\text{C}$ )  $\geq$  1.11807 และที่อุณหภูมิสูง  $W$  ( $961.78^{\circ}\text{C}$ )  $\geq$  4.2844 เมื่อ  $W(t_{90})$  คืออัตราส่วนความต้านทาน  $R(t_{90}) / R(0.01^{\circ}\text{C})$  จุดที่สำคัญคือในการติดตั้งต้องไม่ให้มันได้รับแรงเค้นในขณะใช้งาน มันไม่ออกซิไดซ์ แต่ต้องป้องกันการปนเปื้อน สาเหตุพื้นฐานที่สุดของการปนเปื้อนของเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานทองคำขาวคือ สัมผัสกับทราย (Silica) ในบรรยากาศที่วัดซึ่ง ซึ่งในบรรยากาศนี้ทรายจะถูกกัดเป็นซิลิคอน (Si) ซึ่งจะเข้าผสมกับทองคำขาวทำให้เปราะ แตกง่าย

นิเกิลจะเป็นทางเลือกราคาถูกแทนทองคำขาว สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน มันมีพิสัยการใช้งานจำกัดอยู่ในช่วง - 100 องศาเซลเซียส ถึง + 350 องศาเซลเซียส โดยมีค่า  $R_0$  เท่ากับ 50 , 100 , 120 , และ  $600 \Omega$  ที่  $0^{\circ}\text{C}$  แต่สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิของนิเกิลสูงกว่าของทองคำขาว 50 % ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับเครื่องวัดแบบบาง การใช้งานเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานนิเกิลจะพบมากในระบบทำความร้อนและปรับอากาศ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวตรวจวัดของเทอร์โมมิเตอร์ต้องมีค่าต่ำพอที่จะจำกัดการเกิดความร้อนขึ้นภายในตัวมัน อย่างไรก็ตามในการประยุกต์บางแบบ เช่น Flow Meter , Anemometer และ Psychrometer จะใช้ผลของ Self Heating โดยที่อุณหภูมิสุดท้ายของตัวตรวจวัดจะเป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลของของไหลหรืออากาศของกระบวนการ

ทองแดงอาจใช้เป็นตัวตรวจวัดที่ใช้สำหรับอุณหภูมิในช่วง - 200 ถึง  $250^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่า  $R_0$  เท่ากับ  $10 \Omega$  ที่  $20^{\circ}\text{C}$  แม้จะมีความเป็นเชิงเส้นดีและราคาถูก แต่ทองแดงจะมีข้อเสียคือ มีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ เมื่อทำเป็นตัวตรวจวัดจะมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวก นอกจากนั้นมันยังมีความต้านทานต่อการกัดกร่อน(Corrosion) ต่ำ เป็นผลให้ลักษณะจำเพาะทางไฟฟ้าไม่เสถียร การประยุกต์หลักของมันสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานคือ ใช้ในเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อตัวมันอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการควบคุม

ข้อได้เปรียบเสียเปรียบของการตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน คือ มีความเป็นเชิงเส้นตลอดพิสัยการใช้งานดี มีพิสัยของอุณหภูมิใช้งานกว้างและสามารถวัดอุณหภูมิสูง มีความสามารถสลับเปลี่ยน (Interchangeable) ตลอดช่วงพิสัยกว้างกว่า ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิอื่นๆ มีเสถียรภาพที่ดีที่อุณหภูมิสูง

ข้อเสียเปรียบของการใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน คือ มีความไวต่ำ มีราคาสูงกว่าทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิอื่นๆ ต้องการการต่อแบบสามหรือสี่สาย

### 2.2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบความต้านทานทองคำขาวในงานอุตสาหกรรม

ในทางปฏิบัติค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิจะไม่เป็นเชิงเส้นตรง จากสูตร (เอกไชยสวัสดิ์, 2542 : 31)

$$R_t = R(1 + At + Bt^2)$$

เมื่อ  $A = 3.92 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$  และ  $B = -5.88 \times 10^{-7} / (^{\circ}\text{C})^2$  จากนั้นจะได้

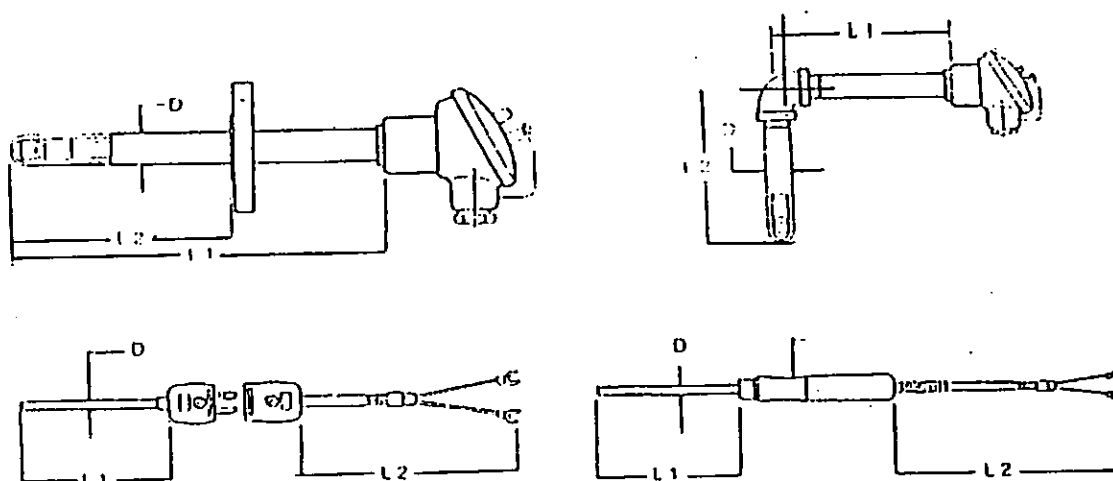
$$t = \left( \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \right) 100 + \delta \left( \frac{t}{100} \right) \left( \frac{t}{100} - 1 \right)$$

เมื่อ  $t$  คืออุณหภูมิที่วัดเป็นองศาเซลเซียส  $R_t$ ,  $R_{100}$  และ  $R_0$  คือ  $R$  ที่  $t$  °C  $R$  ที่  $t$  °C  $R$  ที่ 100 °C และ  $R$  ที่ 0 °C ตามลำดับ  $\delta$  เป็นค่าคงที่ ที่แสดงการเบี่ยงเบนเล็กน้อยจากเส้นตรง ( $\delta = -1.5$ ) สมการนี้จะใช้เป็นส่วนในการนิยามอุณหภูมิ IPTS จากจุดน้ำแข็งถึงจุดแอนติโมนี (630.74 °C) จากจุดออกซิเจน (-182.96 °C) ถึง จุดน้ำแข็ง สมการข้างต้นจะให้ผลไม่ตึงนัก ในปีค.ศ. 1925 Van Dusen ได้เสนอเพิ่มเติมที่สาม ( $Ct^3$ ,  $C = 4.33 \times 10^{-10} / (^\circ C)^3$ ) แก่สมการ Callendar ทำให้ความแม่นยำในฟิลิปดิงกล่าวดีขึ้น (เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 32)

$$t = \left( \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \right) 100 + \delta \left( \frac{t}{100} \right) \left( \frac{t}{100} - 1 \right) + \beta \left( \frac{t}{100} - 1 \right) \left( \frac{t}{100} \right)^3$$

ค่า  $\beta$  จะหาจากที่จุดออกซิเจน ( $\beta = 0$  ที่  $t > 0$  และ  $\beta = 0.11$  ที่  $t < 0$ ) สมการข้างต้น ถูกแทนด้วยโพลีเมียบลันดับยี่สิบ (เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 32)

ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานทองคำขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีลักษณะเป็นหัววัด (Probe) ซึ่งประกอบด้วย ตัวต้านทานตรวจรู้อุณหภูมิ ปลอกหุ้มตัวต้านทาน สายต่อ (อาจเป็นแบบ 2 สาย 3 สาย หรือ 4 สาย) และปลายสำหรับต่อสายดังภาพประกอบ 10 ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานทองคำขาวในอุตสาหกรรม



ภาพประกอบ 10 ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานทองคำขาวในอุตสาหกรรม  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 32)

ตัวต้านทานตรวจอุณหภูมิ (Sensing Element) จะมี 2 แบบ

1. แบบลวดพัน ทำจากลวดทองคำขาว 99.99 % บนแกนแก้วหรือเซรามิคปิดผนึกอยู่ในแคปซูลแก้ว หรือเซรามิค เพื่อป้องกันการปนเปื้อน และทำให้เกิดเสถียรภาพทางกลและไฟฟ้า ตัวต้านทานจะมีค่า  $\alpha = 0.00385 \Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$  (ยุโรป) หรือ  $\alpha = 0.00392 \Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$

2. แบบฟิล์มบาง ทำจากทองคำขาวที่เคลือบเป็นฟิล์มหนาประมาณ 1 ไมครอนบนฐานรองเซรามิค จากนั้นใช้เลเซอร์เล็มจนมีค่า  $R_0$  ที่เที่ยงตรง จากนั้นจึงปิดผนึกด้วยแก้วเพื่อป้องกัน

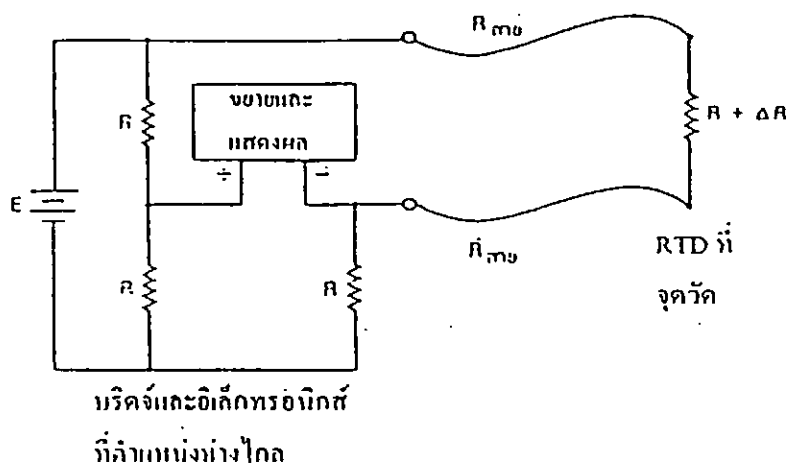
ตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทานทองคำขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีค่า  $R_0$  ( $\Omega$  ที่  $0^{\circ}\text{C}$ ) ให้เลือกหลายค่า เช่น 20 , 50 , 100 , 200 , 500 ....แต่แบบที่นิยมที่สุด คือ 100 โอห์ม (Pt100) โดยจะมีสาระในการเลือกดังนี้

1. พิสัยอุณหภูมิใช้งานจาก  $-200$  ถึง  $850^{\circ}\text{C}$  (แบบพิเศษสูงถึง  $962^{\circ}\text{C}$ )
2. สัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิเป็นเปอร์เซ็นต์/ $^{\circ}\text{C}$  ที่  $25^{\circ}\text{C} = \alpha = 0.39$
3. การสร้าง (Construction) : เป็นลวดทองคำขาวพัน (Wire Wound) หรือเป็นทองคำขาวบนฟิล์มบาง

4. Self – Heating :  $0.02$  ถึง  $0.75^{\circ}\text{C}/\text{mW}$  (ทั่วไป)
5. สายต่อ : ทองแดง อาจเป็นแบบสองสาย สามสาย หรือสี่สาย ขึ้นกับระบบ
6. การชดเชยความต้านทานสาย : ใช้แบบสามสาย หรือสี่สาย
7. ความแม่นยำ :  $0.6^{\circ}\text{C}$  ที่  $100^{\circ}\text{C}$
8. การแยกชุด :  $0.29$  ถึง  $0.39 \Omega/^{\circ}\text{C}$
9. Drift : ประมาณ  $0.01^{\circ}\text{C}$  ถึง  $0.1^{\circ}\text{C}$  ต่อปี

#### 2.2.4 การวัดความต้านทานของตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทาน

ตัวต้านทานตรวจอุณหภูมิจะเป็นอุปกรณ์ที่มี 2 สาย แต่เมื่อต่อตัวต้านทานกับสายขยายระยะ (Extension Wire) จะต้องพิจารณาการต่อว่าจะใช้การต่อแบบ 2 , 3 หรือ 4 สาย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวัดที่ต้องการ เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของมันแปรไปตามอุณหภูมิ เราจะวัดอุณหภูมิโดยอ้อมด้วยการอ่านค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน โดยใช้กระแสคงที่ผ่านตัวต้านทานตามกฎของโอห์ม ค่ากระแสที่ใช้ควรมีค่าน้อยเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้การเกิดความร้อนในตัวตรวจน้อยที่สุด ในทางปฏิบัติ ค่ากระแสสูงสุดมีค่าประมาณ 1 มิลลิแอมป์ ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $0.1$  โวลท์ ในตัวตรวจแบบ Pt 100 ที่  $0^{\circ}\text{C}$  จากนั้นจะต้องมีวงจรหรืออุปกรณ์ที่จะวัดค่าแรงดันที่แปรตามค่าอุณหภูมิ เนื่องจากปกติ มักคิดทั้งตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทานไว้กับจุดที่จะวัด ซึ่งอยู่ไกลออกไปจากเครื่องวัด วิธีวัดที่ง่ายที่สุดคือ ให้ตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทานเป็นแขนหนึ่งของวงจรวัดสโตน บริดจ์ ซึ่งหมายถึงใช้สายทองแดงต่อเชื่อมตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทาน จากจุดวัดไปยังเครื่องวัดโดยใช้สายต่อ 2 เส้นดังภาพประกอบ 11 การต่อตัวตรวจอุณหภูมิแบบความต้านทาน แบบ 2 สายไปยังวงจรวัดสโตน บริดจ์  $R_{\text{Pt}}$  จะแทนความต้านทานของสายต่อ



ภาพประกอบ 11 การต่อตัวตรวจจับสนุณหภูมิตามแบบความต้านทาน แบบ 2 สายไปยังวงจรวีลสโตนบริดจ์  
(เอก ไชยสวัสดิ์, 2542 : 34)

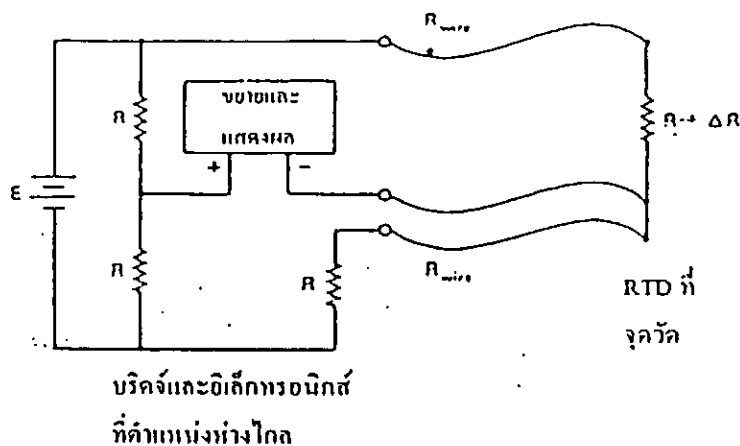
จากภาพประกอบพบว่าความต้านทาน  $R_x$  ที่ต้องการแทนที่จะเป็น  $R + \Delta R$  จะกลายเป็น  $R + \Delta R + 2 R_{สาย}$  ค่าที่อ่านได้จะมากกว่าค่าที่ควรจะเป็นอยู่เท่ากับ  $2 R_{สาย}$  ซึ่งค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิรายรอบดังตาราง 7 ความต้านทานของสายทองแดงที่  $25^\circ\text{C}$

ตาราง 7 ความต้านทานของสายทองแดงที่  $25^\circ\text{C}$

| ขนาดสาย   |                  |           | โอห์ม / ฟุต | โอห์ม / เมตร |
|-----------|------------------|-----------|-------------|--------------|
| AWG เบอร์ | เส้นผ่าศูนย์กลาง |           |             |              |
|           | นิ้ว             | มิลลิเมตร |             |              |
| 12        | 0.0808           | 2.05      | 0.0016      | 0.0052       |
| 14        | 0.0641           | 1.63      | 0.0026      | 0.0085       |
| 16        | 0.0508           | 1.29      | 0.0041      | 0.0134       |
| 18        | 0.0403           | 1.02      | 0.0065      | 0.0213       |
| 20        | 0.0320           | 0.81      | 0.0103      | 0.0338       |
| 22        | 0.0253           | 0.64      | 0.0165      | 0.0541       |
| 24        | 0.0201           | 0.51      | 0.0262      | 0.0860       |
| 26        | 0.0159           | 0.40      | 0.0418      | 0.1371       |
| 28        | 0.0126           | 0.32      | 0.0666      | 0.2185       |
| 30        | 0.0100           | 0.25      | 0.1058      | 0.3471       |

การต่อโดยใช้สายต่อ 3 เส้นจากตัวตรวจจับสนุณหภูมิตามแบบความต้านทานไปยังเครื่องวัด

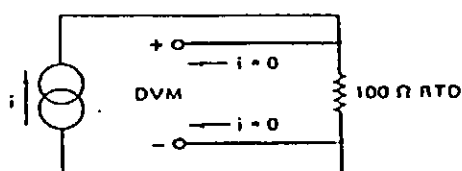
ดังภาพประกอบ การต่อตัวตรวจจับสนุณหภูมิตามแบบความต้านทานแบบ 3 สายจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต้านทานของสายต่อหมดไป เนื่องจาก  $R_{สาย}$  เส้นที่ 1 และ 2 จะปรากฏอนุกรมอยู่กับ  $R$  ในแขนสองแขนของบริดจ์ที่อยู่ติดกัน ทำให้สามารถหักล้างกันได้ ขณะที่  $R_{สาย}$  เส้นที่ 3 จะอยู่กับตัวตรวจจับสนุณหภูมิหรือกับแหล่งกำเนิดแรงดันเป็นผลให้ไม่มีผลกระทบ



ภาพประกอบ 12 การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 3 สาย

(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 35)

โดยการใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ร่วมกับโวลต์มิเตอร์ดิจิทัล จะช่วยให้การวัดความต้านทานของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานง่ายกว่าการวัดโดยใช้บริจดังภาพประกอบ การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 4 สาย



ภาพประกอบ 13 การต่อตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานแบบ 4 สาย

(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 35)

จากภาพประกอบ 13 แรงดันเอาต์พุตที่อ่านจากโวลต์มิเตอร์ดิจิทัลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความต้านทานของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน แม้ว่าวิธีนี้จะใช้สายต่อ 4 สาย แต่วิธีนี้จะเพิ่มความแม่นยำในการวัด (นอกเหนือจากความสะควรวดเร็วในการอ่านค่า) แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของสายต่อ เนื่องจากอุณหภูมิรอบรอบเปลี่ยนแปลง แต่เนื่องจากโวลต์มิเตอร์ดิจิทัลจะวัดเฉพาะแรงดันคร่อมตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน การเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อมสายต่อจะไม่มีผลต่อค่าที่อ่านจากโวลต์มิเตอร์ดิจิทัล นอกจากนั้นจะสามารถทำการอ่านค่าจากโวลต์มิเตอร์ดิจิทัลโดยอัตโนมัติ

#### 2.2.5 ข้อพิจารณาในทางปฏิบัติ

1. การติดตั้งระบบวัดของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานจะไม่ยุ่งยาก เนื่องจากไม่ต้องการสายหรือจุดต่ออ้างอิง นอกจากนั้นในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องวัดและเครื่องควบคุมที่มีความแม่นยำสูง มีการแยกชนิดดีกว่า และมีสมรรถนะสูงในราคาที่ลดลง

2. เนื่องจากโครงสร้างของตัวตรวจอุณหภูมิทำให้มันแตกหักง่ายกว่าเทอร์โมคัปเปิล จึงทำให้ต้องมีปลอกหุ้ม แต่อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้ตัวตรวจอุณหภูมิจะขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ทำปลอกหุ้มที่ใช้ เช่นถ้าหากใช้พวกสเตนเลส ไม่ควรใช้ที่อุณหภูมิ 500 °C เนื่องจากมีการปนเปื้อน

3. เนื่องจากจะต้องมีการป้อนกระแสผ่านตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน เพื่อให้เกิดแรงดันตกคร่อมสำหรับวัดกระแสจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน ทำให้ความต้านทานของตัวมันเปลี่ยนไป ผลคือทำให้เราได้ค่าอุณหภูมิที่ผิดพลาดเรียกว่าการกำเนิดความร้อนในตัว (Self – Heating) ค่าทั่วไปคือ  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  ต่อมิลลิวัตต์ในอากาศ ซึ่งถ้าตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน อยู่ในตัวกลางที่นำความร้อนมันจะส่งผ่านความร้อนสู่ตัวกลาง และความผิดพลาดจากการกำเนิดความร้อนในตัวจะมีค่าต่ำลงตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  ต่อมิลลิวัตต์ในอากาศจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียง  $1 / 10^{\circ}\text{C}$  ในอากาศที่ไหลด้วยอัตรา 1 เมตรต่อวินาที การลดความผิดพลาดเนื่องจากการกำเนิดความร้อนในตัวทำได้โดยใช้กระแสผ่านค่าต่ำสุดเท่าที่ยังคงให้การแยกชัดตามที่ต้องการ และใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานใหญ่ที่สุดเท่าที่ทำได้ที่ยังคงให้เวลาตอบสนองดีเมื่อนำตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานเข้าไปวัด อุณหภูมิที่ต้องการวัดจะเปลี่ยนแปลงไป การแบ่งอุณหภูมิไปในกรณีตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานจะมีมากกว่ากรณีเทอร์โมคัปเปิล เนื่องจากปกติ ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทานมีขนาดใหญ่กว่า

4. เมื่อต่อขยายระยะตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบความต้านทาน (ทองคำขาว) ไปยังเครื่องวัด จะเป็นการนำสายทองแดงต่อเข้ากับทองคำขาวอันจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อนที่จุดต่อ ทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป

5. สังเกตรหัสสีและการกำหนดปลายสาย

6. ในกรณีต้องใช้สายต่อยาวต้องแน่ใจว่า ความต้านทานของสายต่อไม่มากกว่าที่กำหนดที่อินพุทของเครื่องวัด

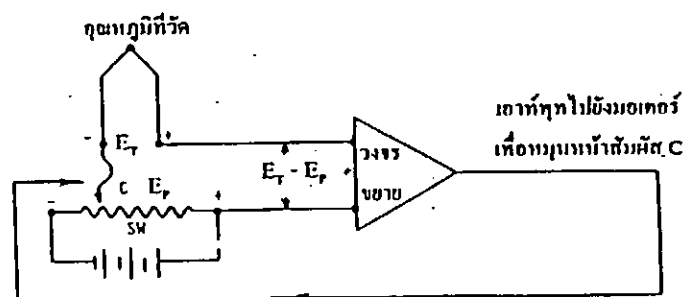
7. วัสดุฉนวนที่หุ้มสายต่อมีหลายแบบตามการประยุกต์ที่หลากหลาย เวลาใช้ต้องพิจารณาสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ และความชื้น

8. เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในค่าที่วัดให้ทำการตรวจสอบตัวตรวจรู้ สายต่อขยายระยะจุดต่อร่วม และเครื่องวัด บ่อยครั้งที่ปัญหาเกิดจากการต่อสายไม่ถูกต้อง หรือมาจากการสอบเทียบเครื่องวัดมากกว่าจะเกิดที่ตัวตรวจรู้

## 2.3 ระบบวัดและความคุมอุณหภูมิ

ระบบวัดและความคุมอุณหภูมิ (Temperature Instrumentation and Control)

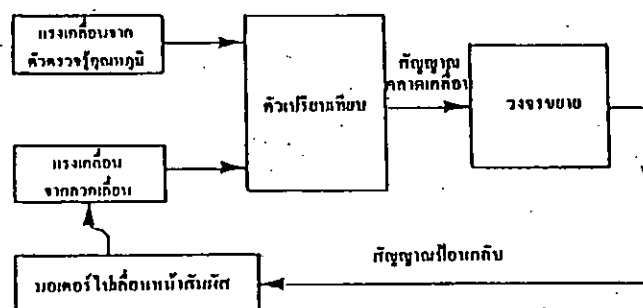
### 2.3.1 การวัดอุณหภูมิแบบป้อนกลับ



ภาพประกอบ 14 วงรอบป้อนกลับในโพเทนชิโอเมเตอร์

(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 122)

จากภาพแสดงการวัดค่าแรงดันเทอร์โมคัปเปิลในเครื่องบันทึกสัญญาณแบบโพเทนชิโอมิเตอร์ แรงดันจากเทอร์โมคัปเปิล ( $E_T$ ) จะมีขั้วที่ตรงกันข้ามกับแรงดันที่เกิดจากกระแสผ่านลวดต้านทาน SW ของโพเทนชิโอมิเตอร์ ( $E_P$ ) ถ้าหากทำการปรับด้วยมือโดยการปรับหน้าสัมผัส C จนกระทั่งแรงดันทั้งสองเท่ากัน (ขั้วตรงกันข้าม) ซึ่งจะแสดงโดยการที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลใน กัลวานอมิเตอร์ที่ใส่เข้าไปในวงจร ในกระบวนการปรับด้วยมือนี้เราจะต้องปรับหน้าสัมผัส C ไปทางซ้าย หรือขวามือ จนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุล กล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าเราจะต้องตรวจจับสัญญาณแตกต่าง คือความแตกต่างระหว่างแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลกับแรงดันตกคร่อมลวดต้านทานของโพเทนชิโอมิเตอร์ ( $E_T - E_P$ ) และปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ จนกระทั่งสัญญาณแตกต่างเข้าสู่ศูนย์ จะเห็นว่าผู้ปรับจะเป็นส่วนหนึ่งของวงรอบการควบคุม เพราะเราเป็นผู้อ่านค่ากระแส (ทิศทาง) และทำกริยาแก้ที่ที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงเราทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบและตัวแก้ โดยการเพิ่มวงจรรขยาย (Operational Amplifier) ซึ่งจะขยายสัญญาณแตกต่าง แล้วให้เอาท์พุทที่ต่อไปป้อนให้แก่มอเตอร์ซึ่งจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาตามสัญญาณแตกต่างที่ถูกขยาย การหมุนของมอเตอร์ทำให้หน้าสัมผัส C ของลวดเลื่อนเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวา เมื่อสอบเทียบลวดเคลื่อนจะสามารถแสดงค่าของแรงดันที่ตั้งไว้ได้ ถ้าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลเปลี่ยนแปลงไปก็จะเป็นสัญญาณแตกต่าง ซึ่งจะถูกรวบรวมไปทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของหน้าสัมผัส C เพื่อลดสัญญาณแตกต่างให้เป็นศูนย์

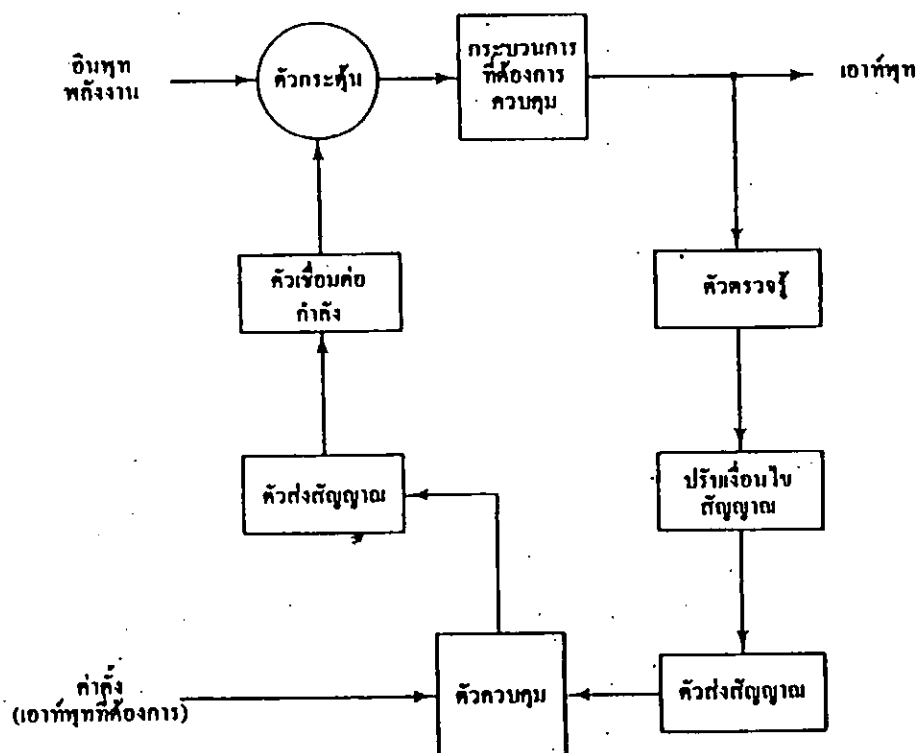


ภาพประกอบ 15 บล็อกไดอะแกรมแสดงหน้าที่ต่างๆ ของภาพประกอบ 14  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 122)

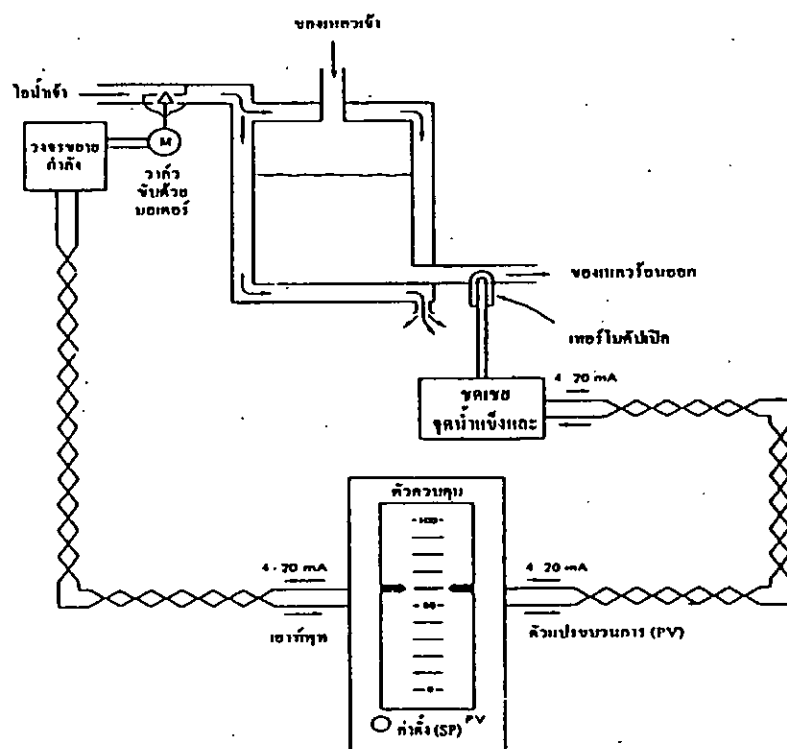
จากภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของวงรอบป้อนกลับของภาพประกอบ 15 กรณีนี้กริยาป้อนกลับจะเรียกว่าเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative) ซึ่งหมายถึงถ้าหากการตั้งหน้าสัมผัส C ทำให้  $E_P$  สูงเกิน  $E_T$  การป้อนกลับจะทำให้  $E_P$  มีค่าลดต่ำลง

### 2.3.2 การควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ

วงจรวัดอุณหภูมิถือได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการควบคุมแบบป้อนกลับ แต่เป็นการควบคุมเพื่อให้สามารถอ่านค่าอุณหภูมิของตัวเทอร์โมคัปเปิล และระบบควบคุมอัตโนมัติทำให้กระบวนการมีอุณหภูมิตามที่ต้องการดังภาพประกอบ 16 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 16 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิ  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 123)



ภาพประกอบ 17 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเหลวในถังแบบวงจรปิด  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 124)

จากภาพแสดงตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิของของเหลวในถัง เริ่มแรกจะต้องมีการวัดอุณหภูมิซึ่งในภาพทำโดยเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ภายในปลอกป้องกันเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นแรงดันที่มีค่าไม่มีมิลลิโวลต์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรายรอบและอุณหภูมิที่กำลังวัด วงจรชุดเซตจุดน้ำแข็งและส่งผ่านสัญญาณจะทำหน้าที่เซตเซตอุณหภูมิรายรอบ ขยายและแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยที่เมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ค่าต่ำสุด เอาต์พุตของตัวสัญญาณจะเป็น 4mA เมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ค่าสูงสุด ตัวส่งสัญญาณจะให้เอาต์พุตเป็น 20 mA

กระแสนาลอกจะถูกส่งผ่านคู่สายบิตเกลียว มีการซีลด์ไปยังตัวควบคุม (Controller) ปกติตัวควบคุมจะอยู่ในห้องควบคุม ซึ่งอาจอยู่ห่างจากจุดวัดเป็นร้อยเมตร ตัวควบคุมจะเปรียบเทียบกับตัวแปรกระบวนการ (กรณีนี้คืออุณหภูมิ) กับค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) ทำการคำนวณค่าเอาต์พุตค่าใหม่แล้วส่งผ่าน (เป็นกระแส 4 – 20 mA) ไปยังตัวกระตุ้น สัญญาณนี้จะถูกขยายและนำไปขับมอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วปรับปริมาณของไอน้ำที่นำไปให้ความร้อนแก่ของเหลว ในระหว่างการควบคุมอาจจะมีการรบกวน เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของไอน้ำ การเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของของเหลว หรือ การเปลี่ยนระดับของของเหลวในถังตัว ควบคุมจะต้องเปลี่ยนเอาต์พุตเพื่อรักษาให้อุณหภูมิของของเหลวในถังยังคงเท่ากับค่าที่ตั้งเอาไว้เสมอ

### 2.3.3 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

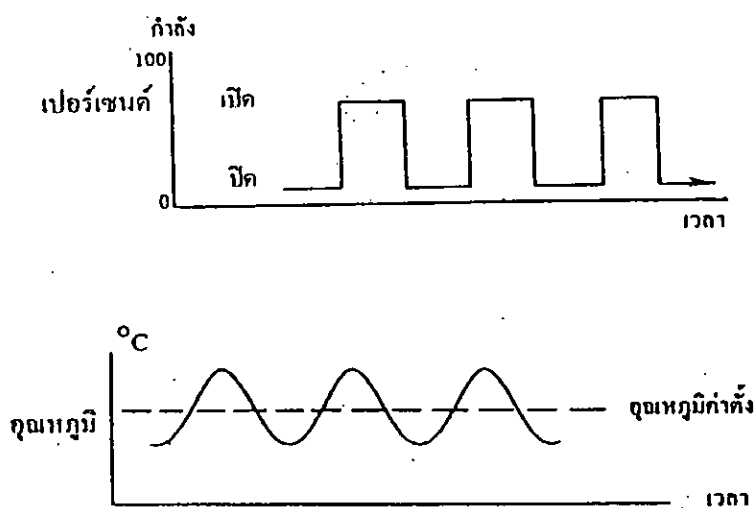
หน้าที่พื้นฐานของตัวควบคุมอุณหภูมิคือ ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้กับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แม้ว่าตัวควบคุมเป็นเพียงส่วนประกอบหนึ่งในระบบควบคุม แต่ในการเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมจะต้องวิเคราะห์ระบบทั้งหมด โดยพิจารณาแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ชนิดของตัวตรวจวัดที่ใช้ เช่น ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบความต้านทานหรือเทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น การเลือกต้องพิจารณาพิสัยของอุณหภูมิที่ต้องการ การแยกชุด ความแม่นยำของการวัดที่ต้องการ
2. ตำแหน่งของตัวตรวจวัด ตำแหน่งที่ถูกต้องของตัวตรวจวัดเทียบกับงานและแหล่งกำเนิดความร้อนจะมีความสำคัญที่สุดสำหรับการควบคุมที่ดี ถ้าทั้งสามอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจะสามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีความแม่นยำสูงถึงขีดจำกัดของตัวควบคุมได้โดยไม่มียาก อย่างไรก็ตามถ้าแหล่งกำเนิดความร้อนอยู่ห่างจากงาน แล้ววางตัวตรวจวัดอยู่ที่ตำแหน่งที่หลากหลายระหว่างนั้นจะทำให้ได้ความแม่นยำของการควบคุมที่แตกต่างกันค่อนข้างกว้าง

ก่อนเลือกตำแหน่งของตัวตรวจวัดจะต้องหาว่าความร้อนที่ต้องการจะเป็นแบบคงค่าหรือแปรไปเรื่อยๆ ถ้าความร้อนที่ต้องการเป็นลักษณะคงตัว การวางตำแหน่งตัวตรวจวัดใกล้กับแหล่งกำเนิดความร้อนจะรักษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ขึ้นงานให้ต่ำสุด แต่ถ้าความร้อนที่ต้องการเป็นลักษณะแปรไป การวางตำแหน่งตัวตรวจวัดใกล้ขึ้นงานจะทำให้ตัวตรวจวัดสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงความต้องการความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากการมีผลล้าหลังเชิงความร้อน (Thermal Lag) ระหว่างตัวแหล่งกำเนิด และตัวตรวจวัดสูงขึ้น จะเกิด Overshoot หรือ Undershoot มากขึ้น ทำให้การแปรของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะกว้างขึ้น การขยายนี้จะลดลงโดยเลือกอัลกอริทึมการควบคุมให้ดีขึ้น เช่น เป็นสัดส่วนแบบป้อนกลับ

3. อัลกอริทึม (โหมด) การควบคุม หมายถึง วิธีที่ตัวควบคุมพยายามทำให้อุณหภูมิของระบบสู่ระดับที่ต้องการ วิธีสามัญในการควบคุมคือ แบบเปิด - ปิด (on - Off) แบบสัดส่วน (Proportional) แบบสัดส่วนแบบป้อนกลับ (Proportional + Integral + Derivative)

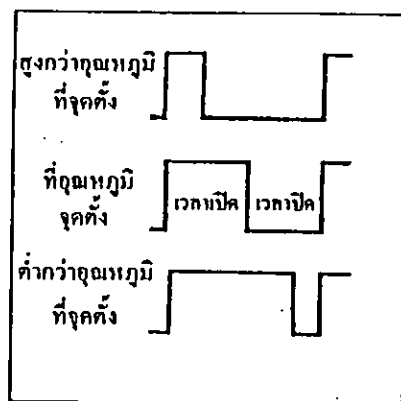
3.1 แบบเปิด - ปิดเป็นวิธีการควบคุมแบบง่ายที่สุด เอาท์พุทจะมีเพียงเปิดหรือปิด ไม่มีสถานะระหว่างกลาง ตัวควบคุมแบบเปิด - ปิด จะสวิตช์เอาท์พุทเพียงเมื่อค่าอุณหภูมิที่วัดข้ามค่าที่ตั้งไว้ สำหรับการควบคุมแบบให้ความร้อน เอาท์พุทจะเปิดเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ เพราะว่าอุณหภูมิข้ามค่าที่ตั้งไว้เพื่อจะเปลี่ยนสถานะของเอาท์พุท ดังนั้นอุณหภูมิของกระบวนการจะมีลักษณะแกว่งอย่างตอเนื่องดังภาพประกอบ 18 ก) แสดงเอาท์พุทที่มีเพียง 2 สถานะ ข) ค่าอุณหภูมิจากการควบคุมแบบเปิด - ปิด



ภาพประกอบ 18 ก) แสดงเอาท์พุทที่มีเพียง 2 สถานะ ข) ค่าอุณหภูมิจากการควบคุมแบบเปิด - ปิด  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 126)

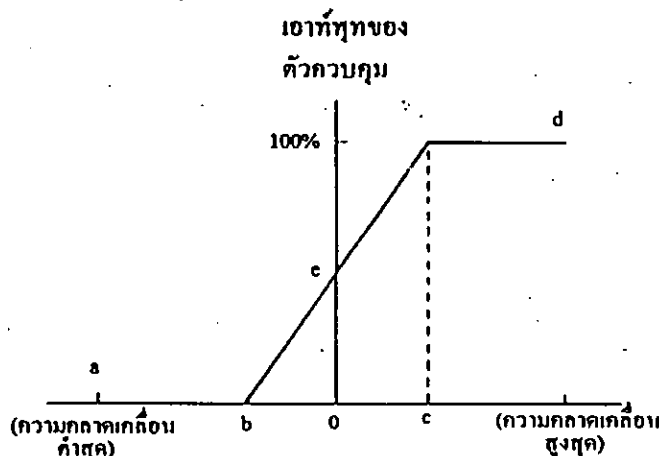
การแกว่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะต้องมีการใส่ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เข้าไปเพื่อป้องกันการเสียบายของคอนแทกเทอร์และวาล์ว จากการที่ต้องเปิด - ปิดอย่างรวดเร็ว ปกติจะใช้การควบคุมแบบเปิด - ปิด ในที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมที่ละเอียดเที่ยงตรง ในที่ซึ่งมวลของระบบมากในลักษณะที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้ามาก หรือใช้เป็นตัวเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าขีดจำกัดที่กำหนด

3.2 แบบสัดส่วน การควบคุมแบบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดการแกว่ง (Cycling) ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีการควบคุมแบบเปิด - ปิด ขณะที่อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าตั้ง ตัวควบคุมแบบนี้จะลดกำลังเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่ตัวกำเนิดความร้อน ให้ความร้อนจากตัวกำเนิดลดลง และค่าจะไม่พุ่งเกินค่าตั้งแต่จะเข้าใกล้และรักษาอุณหภูมิที่เสถียร กริยาสัดส่วนนี้อาจทำได้โดยการเปิด - ปิดเอาท์พุทในช่วงเวลาสั้นๆ โดยแปรอัตราส่วนของเวลาเปิดกับเวลาปิด เพื่อควบคุมอุณหภูมิ วิธีนี้เรียกว่า วิธีสัดส่วนเวลา (Time Proportional) คาบเวลาระหว่างสองช่วงเปิดที่ติดกันเรียกว่า Cycle Time หรือ Duty Cycle กริยาสัดส่วนจะเกิดขึ้นภายในแถบสัดส่วน (Proportional Band) บริเวณค่าที่ตั้งภายนอกแถบนั้น ตัวควบคุมจะทำหน้าที่เป็นแบบเปิด - ปิด คือเอาท์พุทจะเปิดเต็มที่ (ที่ต่ำกว่าแถบ) และปิดเต็มที่ (ที่สูงกว่าแถบ) อย่างไรก็ตามที่ภายในแถบ สัดส่วนเอาท์พุทจะเปิดหรือปิดในอัตราส่วนของความแตกต่างของค่าวัดจากค่าที่ตั้ง สำหรับที่ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง (ตรงกลางของแถบสัดส่วน) อัตรา เปิด : ปิด ของเอาท์พุทจะเป็น 1 : 1 นั่นคือเวลาเปิดจะเท่ากับเวลาปิด ถ้าอุณหภูมิแตกต่างจากค่าที่ตั้งไว้ เวลาเปิด และปิดจะแปรไปเป็นสัดส่วนของค่าอุณหภูมิที่แตกต่าง เอาท์พุทจะมีช่วงเวลาปิดยาวกว่า ดังภาพประกอบ 19 การควบคุมแบบสัดส่วนเวลา



ภาพประกอบ 19 การควบคุมแบบสัดส่วนเวลา  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 127)

การกำหนดแถบสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของฟิลลอินพุท บางทีเรียกว่าค่าอัตราขยาย (Gain) ซึ่งเป็นส่วนกลับของแถบ เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นแบบรีเลย์ ไฟฟ้ากล หรือสารกึ่งตัวนำ ตัวควบคุมแบบสัดส่วนอีกแบบคือแบบที่ให้เอาท์พุทสัดส่วนที่เป็นแบบอนาลอกคือ ให้เอาท์พุทเป็นกระแส 4 ถึง 20 mA หรือแรงดัน 1 ถึง 5 โวลท์กระแสตรง ตัวควบคุมแบบนี้จะให้เอาท์พุทเป็นระดับขนาดที่แปรไป ซึ่งจะต่างกับแบบ Time Proportion ที่ให้เอาท์พุทเป็นเวลาเปิด - ปิดที่แปรไป



ภาพประกอบ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบสัดส่วนต่อค่า  $V_E$   
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 128)

จากภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_E$  (ค่าจากการวัดลบด้วยค่าที่ตั้งไว้) การควบคุมแบบนี้จะเหมือนกับการควบคุมแบบเปิด - ปิด ในกรณี  $V_E$  มีค่ามาก ถ้า  $V_E$  เป็นลบมากจะทำให้เอาท์พุทของตัวควบคุมปิดหมด (เช่นที่จุด a) เมื่อ  $V_E$  อยู่ในช่วง b ถึง c ตัวควบคุมจะตอบสนองในลักษณะเป็นเชิงเส้น ถ้า  $V_E$  ที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ รอบค่าศูนย์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมอย่างเป็นสัดส่วน ซึ่งทำให้ตัวควบคุม ควบคุมกระบวนการได้ละเอียดขึ้น ค่าที่สำคัญสำหรับตัวควบคุมแบบสัดส่วนคือค่าแถบสัดส่วน (Proportional Band) ซึ่งนิยามว่าการเปลี่ยนแปลงใน  $V_E$  เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าสุดสเกลที่ทำให้เอาท์พุทเปลี่ยนจากปิดเต็มที่ เป็นเปิดเต็มที่ เช่น 10 % PB หมายถึง ถ้า  $V_E$  เปลี่ยนแปลงไป 10 % ของการเปลี่ยนแปลง  $V_E$  เต็มสเกลจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุท 100 % และจากภาพประกอบ 18 คำนี้อัตราขยาย (เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 128)

$$\begin{aligned}
 K_p &= \frac{\text{การเปลี่ยนเอาต์พุตของตัวควบคุม}}{\text{การเปลี่ยนของ } V_E} \\
 &= \frac{100\%}{10\%} = 10 \\
 &= \frac{1}{PB}
 \end{aligned}$$

หรือ  $V_{out} = K_p V_E$

มีข้อสังเกต ขณะ  $V_E = 0$  เอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่าอยู่ค่าหนึ่งคือค่าที่จุด  $c = V_0$

ข้อได้เปรียบประการหนึ่งของการควบคุมแบบสัดส่วนคือ ใช้งานง่าย ผู้ควบคุมอาจจะต้องทำการปรับเล็กน้อย (Manual Reset) เพื่อให้ค่าอุณหภูมิเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ เมื่อเวลา Initial Start up หรือถ้าเงื่อนไขของกระบวนการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ระบบที่เกิดการแกว่งของอุณหภูมิกว้าง ควรจะใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (ซึ่งอาจเป็นแบบสัดส่วนอย่างง่าย หรือแบบสัดส่วนแบบป้อนกลับ ขึ้นอยู่กับกระบวนการและความเที่ยงตรงที่ต้องการ) กระบวนการที่มีเวลาล้าหลังยาวหรือมีอัตราการเพิ่มสูงสุดค่ามาก (เช่น Heat Exchanger) ต้องการแถบสัดส่วนที่กว้างเพื่อกำจัดการออสซิลเลท แถบสัดส่วนที่กว้าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไหล ทำให้มีค่าออฟเซตใหญ่ เพื่อกำจัดออฟเซตเหล่านี้ เราสามารถใช้การรีเซตอัตโนมัติ (Integral) เราจะใช้กริยา Derivative กับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงยาว เพื่อเร่งการกลับสู่ค่าที่ตั้งไว้ ภายหลังจากมีการรบกวนกระบวนการ

3.3 สัดส่วนแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบนี้รวมเอาการควบคุมแบบสัดส่วนเข้ากับการปรับ 2 ชนิดเพิ่มเติมเข้าไป (Integral , Derivative) เพื่อช่วยให้ตัวควบคุมสามารถชดเชยการเปลี่ยนแปลงในระบบได้อย่างอัตโนมัติ

กริยา Integral เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Automatic Reset ตามหน้าที่ที่จะกำจัดความคลาดเคลื่อนตกค้าง ในกรณีการควบคุมแบบสัดส่วน กริยา Integral จะให้อัตราการเปลี่ยน (Rate of Change) เอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับ  $V_E$  (เอก ไชยสวัสดิ์ .2542 : 129)

$$\frac{dv_{out}}{dt} = K_i V_E$$

หรือ

$$V_{out} = K_i \int V_E dt + V_0$$

ดังนั้นถ้า  $V_E$  มีค่ามาก เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อแก้ความแตกต่าง ถ้า  $V_E$  มีค่าน้อยลง เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงช้าลง การเปลี่ยนแปลงจะกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง  $V_E$  เข้าสู่ศูนย์ การเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตจะเข้าสู่ศูนย์ด้วย หมายถึง ตัวควบคุมจะรักษาค่าเอาต์พุตไว้

ดังภาพประกอบ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ I

มีข้อสังเกตคือ กริยาแบบนี้จะไม่สามารถใช้โดยลำพังคือ จะต้องใช้ร่วมกับการควบคุมชนิดอื่น เนื่องจากถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลง  $V_E$  เอาท์พุทจะเป็นศูนย์ ดังนั้นแม้  $V_E$  จะมีค่ามาก แต่คงที่ (หมายถึง มีความแตกต่างค่ามากระหว่างค่าวัดกับค่าที่ตั้งไว้) แต่จะไม่มีเอาท์พุท เนื่องจากกริยาอนุพันธ์นี้เลย

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนแบบป้อนกลับจะมีอัลกอริทึมการควบคุมเป็น (เอก ไชยสวัสดิ์ .2542 132)

$$V_{out} = K_p V_E + K_i \int V_E dt + K_d \frac{dV_E}{dt} + V_o$$

การควบคุมแบบสัดส่วนแบบป้อนกลับ จะให้การควบคุมที่แม่นยำและเสถียรกว่าตัวควบคุมแบบเปิด - ปิด หรือแบบสัดส่วน การควบคุมแบบนี้จะเหมาะที่สุดกับระบบที่มีมวลค่อนข้างต่ำ (ซึ่งจะมีปฏิกิริยา ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนของพลังงานที่เพิ่มเข้าไปในระบบ) นอกจากนั้นจะใช้ในระบบที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ตัวควบคุมจะชดเชยปริมาณพลังงานที่มีหรือมวลที่จะควบคุม เนื่องจากการเปลี่ยนค่าที่ตั้ง (Set Point) บ่อยครั้ง ปกติจะต้องตั้ง (Tune) ค่า  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกระบวนการ ตัวควบคุมสมัยใหม่จะมีความสามารถในการปรับค่าดังกล่าวโดยอัตโนมัติ

4. ชนิดของฮาร์ดแวร์ทางเอาท์พุท (ในตัวควบคุม) ฮาร์ดแวร์เอาท์พุทในตัวควบคุม อุณหภูมิมีหลายรูปแบบ การตัดสินใจเลือกชนิดของฮาร์ดแวร์ควบคุมขึ้นกับตัวทำความร้อนที่ใช้ และกำลัง ของตัวทำความร้อน ขึ้นกับอัลกอริทึมการควบคุมที่เลือก และขึ้นกับฮาร์ดแวร์ภายนอกตัวควบคุมสำหรับ จัดการกับโหลด ฮาร์ดแวร์เอาท์พุทในตัวควบคุมที่นิยมใช้คือ

#### 4.1 แบบสัดส่วนเวลา หรือแบบเปิด - ปิด

##### 4.1.1 รีเลย์ไฟฟ้าทางกล

##### 4.1.2 ไทรแอด (รีเลย์กึ่งตัวนำไฟสลัป)

##### 4.1.3 ไตรเวอร์ (รีเลย์กึ่งตัวนำไฟตรง)

#### 4.2 แบบสัดส่วนอนาล็อก

##### 4.2.1 4 – 20 มิลลิแอมป์กระแสตรง

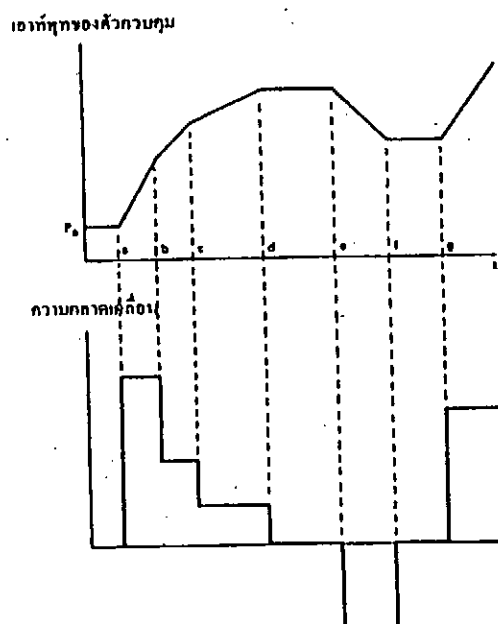
##### 4.2.2 0 – 5 โวลท์ หรือ 0 – 10 โวลท์กระแสตรง

ฮาร์ดแวร์เอาท์พุทนอกตัวควบคุมที่ทำให้สามารถดูแลจัดการโหลดคือ

1. คอนแทกเตอร์ทางกล
2. รีเลย์กึ่งตัวนำควบคุมโดยไฟสลัป
3. รีเลย์กึ่งตัวนำควบคุมโดยไฟตรง
4. ตัวควบคุมกำลังใช้ SCR (แบบข้ามจุดศูนย์)
5. ตัวควบคุมกำลังใช้ SCR (แบบมุมเฟสเริ่มทำงาน)

#### 2.3.4 ตัวส่งสัญญาณแบบวงรอบกระแส

การส่งสัญญาณแบบวงรอบกระแสเมื่อมีความจำเป็นต้องขับกลไกของตัวรับสัญญาณทั้งระยะ ทางไกล มีการใช้กระแสสูงถึง 200 มิลลิแอมป์ในการขับอุปกรณ์ไฟฟ้าไฮดรอลิกสำหรับตัวแสดงผล หรือ เครื่องบันทึกสัญญาณจะใช้กระแสประมาณ 50 มิลลิแอมป์ การใช้การควบคุมกระบวนการแบบอิเล็กทรอนิกส์ และการตั้งมาตรฐานวงรอบกระแสค่า 20 มิลลิแอมป์ ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยคือ ก) การลัด วงจรรวมสายจะไม่ทำให้เกิดประกายไฟขึ้น และ ข) การเลือกค่าศูนย์อยู่ที่ 40 มิลลิแอมป์ ทำให้สามารถ ตรวจจับการเปิดวงจรได้

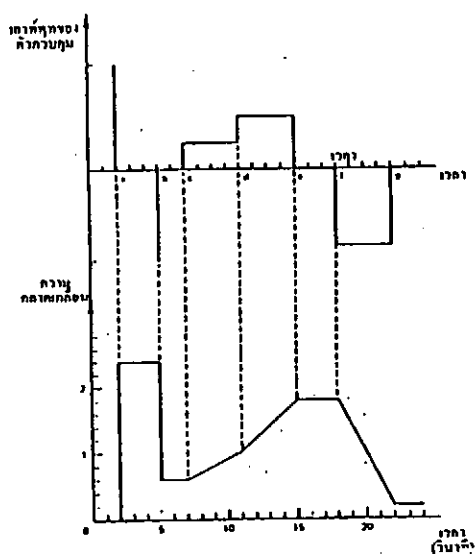


ภาพประกอบ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ I  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 130)

กริยาอนุพันธ์ (Derivative) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กริยาอัตรา (Rate) เนื่องจากเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $V_E$  (เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 130)

$$V_{out} = \frac{K_D dv_E}{dt}$$

ดังนั้นถ้า  $V_E$  มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่ามาก เช่น ในกรณี  $V_E$  เปลี่ยนแปลงลักษณะเป็นขั้น เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเข้าสู่ค่าอิมพัลส์ ดังภาพประกอบ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของกริยาควบคุมแบบอนุพันธ์

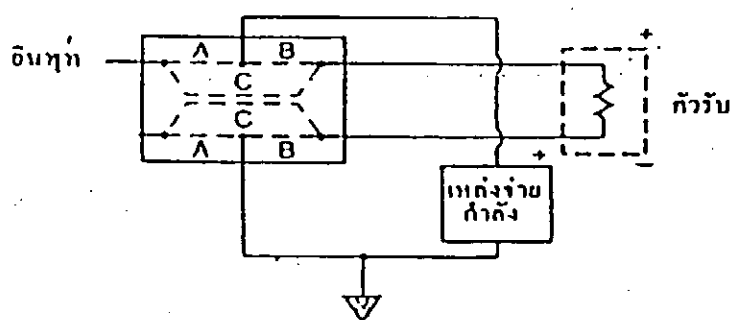
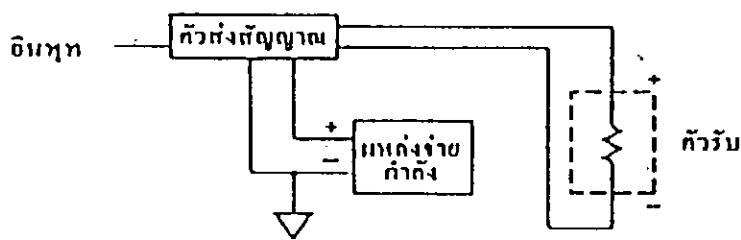
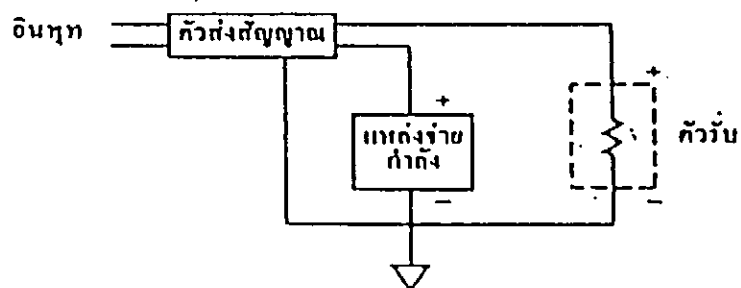
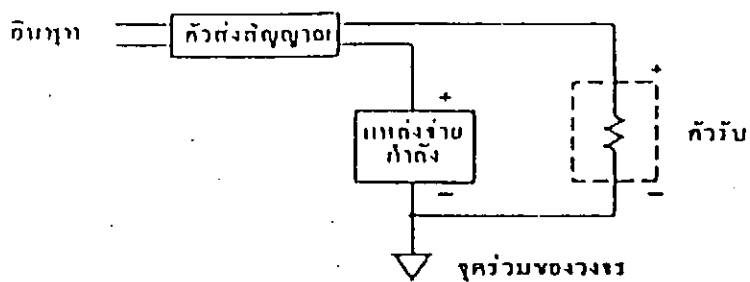


ภาพประกอบ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของกริยาควบคุมแบบอนุพันธ์  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 131)

การเฝ้าตรวจอุณหภูมิของกระบวนการที่อยู่ไกลออกไป อุปกรณ์ตรวจอุณหภูมิแบบสามัญ เช่น เทอร์โมคัปเปิล หรือ ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบต้านทานจะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจะต้องมีการขยาย และปรับเงื่อนไขสัญญาณเหล่านี้ก่อนที่จะส่งผ่านสายทองแดงธรรมดาไปยังตัวรับที่อยู่ปลายทาง เช่น มิเตอร์ คาตาล็อกเกอร์ เครื่องบันทึกสัญญาณ คอมพิวเตอร์ หรือตัวควบคุม ถ้าทำการส่งสัญญาณที่ผ่านการขยายและปรับเงื่อนไขไปในลักษณะเป็นการส่งแรงดันออกไปเป็นระยะไกล ในโรงงานจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ซึ่งแม้จะสามารถใช้สายชิลด์ แต่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับสาย นอกจากนั้นสายส่งจะมีความต้านทานของสาย ทำให้จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดที่มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในค่าสูงมาก เพื่อป้องกันการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากความต้านทานของสาย แต่ถ้าหากมิเตอร์มีอิมพีแดนซ์สูงมาก สัญญาณรบกวนที่เข้ามาสู่ระบบจะสูงขึ้น แต่ถ้าหากเราใช้สัญญาณเอาต์พุตไปขับตัวกำเนิดกระแสวงรอบกระแสจะทำการจัดการสูญเสีย เนื่องจากความต้านทานของสาย เพราะว่าแรงดันที่ตกคร่อมในสายไม่ส่งผลกระทบต่อกระแสสัญญาณรบกวนจะถูกจำกัด โดยความทนต่อสัญญาณรบกวนของตัวกำเนิดกระแส มิเตอร์ที่นำมาต่อก็ไม่จำเป็นต้องมีอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งสามารถต้านทานการนำสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สายชิลด์

#### 1. ตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สาย

ตัวส่งสัญญาณจะมีหลายชนิด เช่น แบบ 2 สาย 3 สาย 4 สาย หรือแบบแยกจาก (Isolated) แต่แบบที่นิยมจะเป็นแบบ 2 สาย โดยที่ตัวส่งสัญญาณจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง (ที่อยู่ห่างออกไป) เป็นสัดส่วนกับตัวตรวจจับที่อิมพุทของมัน สัญญาณที่ส่งไปก็คือกระแสของแหล่งกำลังที่เปลี่ยนแปลง ตัวส่งสัญญาณ เช่น ชนิดที่มีอิมพุทเป็นเทอร์โมคัปเปิลจะดึงกระแส 4 มิลลิแอมป์จากแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง เมื่อวัดอุณหภูมิต่ำสุดของกระบวนการ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สายจะดึงกระแสสูงขึ้น (อย่างเป็นสัดส่วน) จนถึง 20 มิลลิแอมป์ สัญญาณ 20 มิลลิแอมป์นี้จะสมนัยกับอุณหภูมิสูงสุดที่ตรวจรู้ โดยเทอร์โมคัปเปิลนี้ วงจรปรับเงื่อนไขสัญญาณในตัวส่งสัญญาณจะกำหนดพิสัยของอุณหภูมิที่สัญญาณกระแสเอาต์พุตจะแทนค่าภาพประกอบ 23 ตัวส่งสัญญาณแบบต่างๆ



| การแยกทางไฟฟ้า | การมีอยู่ของเส้นกาว |   |   |
|----------------|---------------------|---|---|
|                | A                   | B | C |
| แยกเต็มที      | .                   | . | . |
| แยกที่อินพุต   | .                   | / | . |
| แยกที่เอาพุต   | /                   | . | . |
| แยกกำลัง       | .                   | . | / |
| ไม่แยก         | /                   | / | . |

ภาพประกอบ 23 ตัวส่งสัญญาณแบบต่างๆ  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 134)

## 2. ข้อได้เปรียบของการใช้ตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สาย

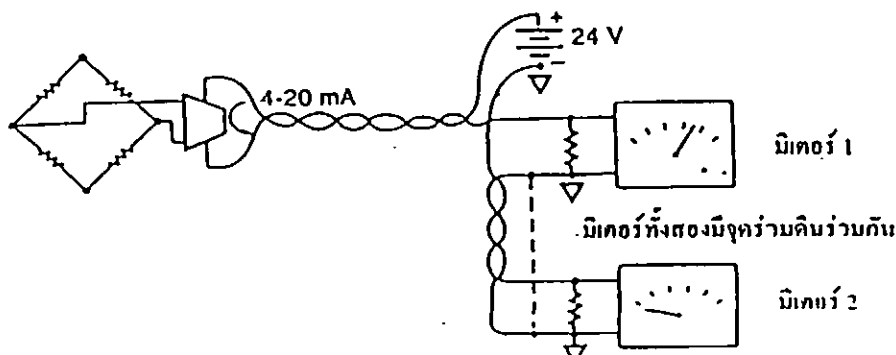
2.1 ไม่ต้องการกำลังกระแสสลับที่ตำแหน่งห่างไกล เพื่อให้ตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สายทำงาน เพราะตัวส่งสัญญาณจะได้รับกำลังระดับต่ำ (4 – 20 มิลลิแอมป์) จึงไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังอื่นที่ตำแหน่งห่างไกล แรงดันกระแสตรง 14 โวลท์ที่จำเป็นในการทำงานเป็นค่าสามัญมาตรฐาน สำหรับโรงงานที่มีเครื่องมือวัดจำนวนมากอยู่แล้ว

2.2 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าและการลดคุณภาพของสัญญาณจะไม่เป็นปัญหาสำหรับผู้ใช้ตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สาย สัญญาณเอาต์พุตที่เป็นกระแสของตัวส่งสัญญาณจะมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนรอบรอบ โดยปกติสัญญาณรบกวนใดๆ ที่ปรากฏในกระแสเอาต์พุตจะถูกกำจัดโดย Common – Mode Rejection ของอุปกรณ์ด้านรับ นอกจากนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลง (ลดหายไป) ตามระยะทางเหมือนเช่นกรณีสัญญาณแรงดัน

2.3 ราคาของสายจะลดลงเมื่อใช้ตัวส่งสัญญาณแบบ 2 สาย สัญญาณที่สร้างขึ้นโดย เทอร์โมคัปเปิล โดยปกติจะมีขนาดเล็ก จึงต้องการสายที่มีการชีลด์ ถ้าหากต้องส่งเป็นระยะไกลๆ ซึ่งถ้าไม่ใช้สายชีลด์จะทำให้เกิดการรบกวนสูง นอกจากนั้นถ้าหากต้องการส่งสัญญาณระยะไกลจำเป็นต้องใช้สายขนาดใหญ่ (เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากแรงดันตกคร่อมสายเนื่องจากความต้านทาน)

## 3. ปัญหาเรื่องวงรอบดิน (Ground Loop)

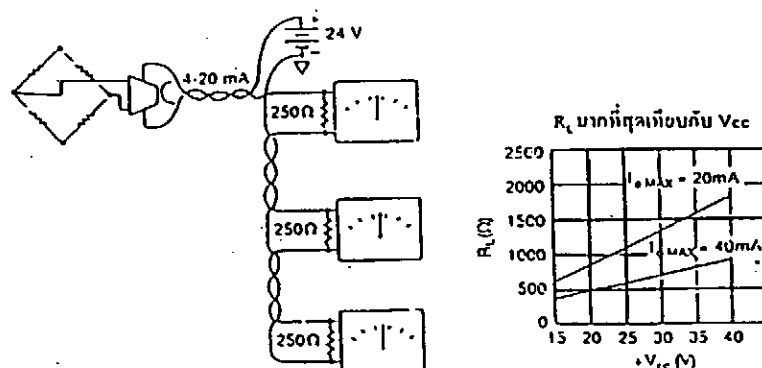
การฝังแท่งตัวนำ 2 แท่งลงดินที่ 2 จุดที่แตกต่างกัน และทำการต่อโวลท์มิเตอร์ ระหว่างแท่งทั้งสองมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้น ความต่างศักย์นี้จะเกิดขึ้นที่ทุกๆ 2 จุดใดๆ บนผิวโลก เมื่อเราพยายามวัดกระบวนการทำงานที่อยู่ตำแหน่งที่ห่างไกลออกไป ค่าแรงดันแตกต่างกันจะทำให้เกิดกระแสคลาดเคลื่อนตามสายซึ่งเรียกว่าสัญญาณวงรอบดินทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่ตัวแสดงค่าเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงรอบดินให้เลือกตัวส่งสัญญาณ 2 สายแบบแยกจาก ตัวส่งสัญญาณชนิดนี้จะแยกจากสัญญาณจากตัวตรวจรู้จากวงรอบกระแสเอาต์พุต โดยอิเล็กทรอนิกส์แสง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถลงดินทั้งตัวตรวจรู้และด้านหนึ่งของวงรอบกระแส การต่อตัวรับมากกว่า 1 ตัวอนุกรมกัน ถ้าหากต่อตัวรับตัวที่หนึ่งลงดิน (ที่ตัวต้านทานตรวจรู้) จะต้องมีการแยกจากตัวรับตัวที่สองที่ต่ออนุกรมอยู่ มิฉะนั้นตัวต้านทานตรวจรู้จะลัดวงจร และไม่มีแรงดันปรากฏ เนื่องจากกระแสทั้งหมดจะไม่ผ่านไปยังตัวรับดังภาพประกอบ 24 ความผิดพลาดเนื่องจากวงรอบดินทำให้เกิดการลัดวงจรมิเตอร์ 2



ภาพประกอบ 24 ความผิดพลาดเนื่องจากวงรอบดินทำให้เกิดการลัดวงจรมิเตอร์ 2

(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 136)

การต่อใช้งานไม่ควรจะต่อตัวต้านทานหลายๆ ตัวอนุกรมกัน โดยปกติจะมีการกำหนดค่าความต้านทานสูงสุดเทียบกับค่าแรงดันที่จ่ายแก่ตัวส่งสัญญาณ ดังภาพประกอบ 25 การหาความต้านทานในสายที่ยอมให้มีได้



ภาพประกอบ 25 การหาความต้านทานในสายที่ยอมให้มีได้  
(เอก ไชยสวัสดิ์. 2542 : 136)

การใช้ควรรวมความต้านทานของสายต่อเข้าไปในการคำนวณสายเบอร์ 22 (AWG) แบบคู่ที่เกลียวยาว 160 เมตร จะทำให้เกิดความต้านทานต่อคู่สายมากกว่า 16 โอห์มอนุกรมกับโหลด

วิธีการวัดสัญญาณกระแส ทำโดยการใส่ตัวต้านทานคร่อมสาย จากนั้นอ่านค่าโดยโวลท์มิเตอร์แบบตัวเลข (DVM) หรือตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล ผู้ใช้ควรเลือกตัวต้านทานอย่างระมัดระวัง เพราะสามารถทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากกำลังสูญเสียภายในตัวต้านทานเอง ทำให้มันร้อนขึ้น และเปลี่ยนค่าตามสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิ เราจึงควรพยายามเลือกตัวต้านทานที่มีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิต่ำ และมีพิคัดกำลังเพียงพอ แต่ถ้าหากไม่สามารถหาได้อาจใช้ตัวต้านทานค่าสูงหลายตัวขนานกันเพื่อลดกำลังสูญเสียที่ตัวต้านทานแต่ละตัวให้ต่ำที่สุด อีกวิธีหนึ่งในการอ่านค่ากระแส ทำโดยใช้วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน วงจรนี้มีข้อได้เปรียบที่ไม่เพิ่มแรงดันตกคร่อมอนุกรมกับวงจรรอบ และสามารถลบออฟเซตศูนย์จากเอาต์พุต นอกจากนั้นโดยปกติจะไม่ใช้โหมดเครื่องวัดกระแสของ DVM ในการวัดกระแส นอกจากในการวัดแบบหยาบ เครื่องมือวัดเหล่านี้จะมีความแม่นยำถึงความละเอียดเพียง 8 หรือ 9 บิต (0.4 % หรือ 0.2 % ตามลำดับ)

## 2.4 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่ป้องกันความร้อน มีหลักการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในและภายในออกสู่ภายนอก ซึ่งฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุป้องกัน การถ่ายเทความร้อน ความร้อนไม่สามารถไหลผ่านได้ ที่ใช้กันระหว่างโครงตู้ชั้นนอกและชั้นในของตู้เย็น ทำจากโฟมแผ่นหรือโฟมฉัด (Rigid Polyurethane Foam) ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากภายนอกตู้ ไม่ให้ถ่ายเทของภายในตู้ รักษาระดับความเป็นภายในตู้ให้มีอุณหภูมิต่ำตามที่ต้องการเสมอ ตู้เย็นทั่วไปจะมีฉนวนหนา ประมาณ 30-35 มิลลิเมตร

การถ่ายเทความร้อนเป็นวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทของ พลังงาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่าง วัตถุ เนื่องจากความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนจึงช่วยให้การวิเคราะห์พลังงานของ ระบบได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็นสามแบบคือ การนำความร้อน การพา ความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

1. การนำความร้อน คือ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อบริเวณใดมีความแตกต่างของ ระดับอุณหภูมิในวัตถุใดๆ ต้องมีการถ่ายเทพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำได้ ส่วนค่าการนำความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่นั้นจะแปรผันโดยตรงกับ ค่าความชันของอุณหภูมิ (ค่าความชันของอุณหภูมิจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิต่อ หน่วยความยาว) และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (เอก ไชยสวัสดิ์ .2542 : 138)

$$Q_2/A \propto dt/dx$$

$$Q_2 = k_a \cdot dt/dx$$

|       |         |   |                                        |
|-------|---------|---|----------------------------------------|
| เมื่อ | $Q_2$   | = | อัตราการนำความร้อน                     |
|       | $dt/dx$ | = | ความชันของอุณหภูมิทางการไหลของความร้อน |
|       | $A$     | = | พื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อน          |
|       | $K$     | = | ค่าการนำความร้อนของวัตถุแต่ละชนิด      |

จากสมการจะเห็นว่า  $k$  ซึ่งเป็นค่าการนำความร้อนของวัตถุนั้นจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและ ประเภทของวัสดุแต่ละชนิดดังแสดงในตาราง 8 นั้นเป็นการแสดงค่าความร้อน ( $k$ ) ของวัสดุบางชนิด จะเห็น ว่าในกรณีที่วัสดุเป็นของเหลวและก๊าซจะมีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ของโมเลกุลนั้นคือ มีการพาความร้อนไปพร้อมกับโมเลกุลนั้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นค่าความร้อนของของเหลว และก๊าซจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าวัสดุที่มีค่านำความร้อนสูงขึ้นเท่าใดจะมีการนำความร้อนสูงขึ้นตาม หรือถ้าจะกล่าวอย่างง่าย ๆ คือ วัสดุใดที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีก็จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย และในบรรดา ของแข็งด้วยกันนั้นโลหะบริสุทธิ์ (เช่น ทองแดง เงิน และอลูมิเนียม) จะมีอัตราการนำความร้อนที่สูงมาก ประมาณ 200 – 300 kcal/m.h °C โลหะเหล่านั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะมีผลต่อค่าการนำความร้อนกล่าวคือ ค่าการนำความร้อนจะมีค่าลดลง ซึ่งแตกต่างจากวัสดุชนิดอื่น (วัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน) ที่มีอุณหภูมิสูง ขึ้นค่าอัตราการนำความร้อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

ตาราง 8 ค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ ที่ 0 °C

| วัสดุ                   | ค่าการนำความร้อน $k$ |
|-------------------------|----------------------|
|                         | $W / m.C$            |
| โลหะ :                  |                      |
| เงิน (บริสุทธิ์)        | 410                  |
| ทองแดง (บริสุทธิ์)      | 385                  |
| อะลูมิเนียม (บริสุทธิ์) | 202                  |
| นิกเกิล (บริสุทธิ์)     | 93                   |
| เหล็ก (บริสุทธิ์)       | 73                   |
| เหล็กกล้าคาร์บอน 1% C   | 43                   |

ตาราง 8 (ต่อ)

| วัสดุ                                       | ค่าการนำความร้อน k |
|---------------------------------------------|--------------------|
|                                             | W / m.C            |
| ตะกั่ว (บริสุทธิ์)                          | 35                 |
| เหล็กกล้าโครม - นิกเกิล (18% Cr , 8% Ni)    | 16.3               |
| โลหะที่เป็นของแข็ง :                        |                    |
| ควอตซ์ , แกนขนาน                            | 41.6               |
| แนกไนไซด์                                   | 4.15               |
| หินอ่อน                                     | 2.08 – 2.94        |
| หินทราย                                     | 1.83               |
| กระจก , หน้าต่าง                            | 0.78               |
| เมเปิลหรือโอ๊ค                              | 0.17               |
| ซีลีเนียม                                   | 0.059              |
| ใยแก้ว                                      | 0.038              |
| ของเหลว :                                   |                    |
| ปรอท                                        | 8.21               |
| น้ำ                                         | 0.556              |
| แอมโมเนีย                                   | 0.540              |
| น้ำมันหล่อลื่น SAE 50                       | 0.147              |
| ฟรียอน 12 , CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 0.073              |
| ก๊าซ                                        |                    |
| ไฮโดรเจน                                    | 0.175              |
| ฮีเลียม                                     | 0.141              |
| อากาศ                                       | 0.024              |
| ไอน้ำ (อิ่มตัว)                             | 0.0206             |
| คาร์บอนไดออกไซด์                            | 0.0146             |

## 2. การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนอาศัยการเคลื่อนที่ของก๊าซหรือของเหลว เช่น ถ้าเราเอาแผ่นโลหะนั้นเย็นลงเร็วกว่าเมื่อวางไว้ในบริเวณที่มีอากาศอยู่หนึ่ง ปรากฏการณ์ดังกล่าวพบว่า ความร้อนได้ถูกพาออกไปจากแผ่นโลหะนั้น และยิ่งอากาศที่พัดผ่านนั้นมีความเร็วมากขึ้นก็ยิ่งทำให้มีการพาความร้อนออกไปจากแผ่นโลหะมากยิ่งขึ้น

ถ้าให้  $T_w$  = อุณหภูมิของแผ่นโลหะความร้อนและ  $T_{\infty}$  = อุณหภูมิของของไหล เราจะได้การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนนั้นจะแปรตามความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองคือ

$$Q_c/A \propto T_w - T \text{ หรือ } Q_c = h \cdot A (T_w - T_{\infty})$$

เมื่อ  $h$  เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยเฉลี่ย และจะมีค่าแปรตามสภาพของตัวกลางขณะนั้น (การเคลื่อนที่ของตัวกลางที่พาความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 สภาวะคือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ และการพาความร้อนแบบบังคับ) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุที่เป็นของไหลบางชนิด อาจพิจารณาได้จากตาราง 9 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุที่เป็นของไหลบางชนิด

ตาราง 9 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุที่เป็นของไหลบางชนิด

| ชนิดของของไหล                                    | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W / (m^2 \cdot K)$ |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| อากาศที่มีการพาแบบธรรมชาติ                       | 5 - 25                                        |
| อากาศที่มีการพาแบบบังคับหรือไอน้ำความร้อนยิ่งยวด | 30 - 300                                      |
| น้ำมันที่มีการพาแบบบังคับ                        | 60 - 1,800                                    |
| น้ำที่มีการพาแบบบังคับ                           | 300 - 6,000                                   |
| น้ำระหว่างต้ม                                    | 3,000 - 60,000                                |
| ไอน้ำระหว่างการควบแน่น                           | 6,000 - 120,000                               |

### 3. การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายความร้อนที่มีลักษณะแตกต่างกับการนำความร้อนและการพาความร้อนคือ จะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปสู่อีกบริเวณหนึ่ง โดยอาศัยหลักกลไกของการแผ่รังสีด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$$Q_r = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4)$$

จากสมการเป็นสมการที่ใช้กับการแผ่รังสีของวัตถุค่าเท่านั้น ส่วนวัตถุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่สีดำ เช่น สีเทาเราอาจใช้สมการนี้ที่เรียกว่า ค่าการแผ่รังสีของวัตถุ เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของผิวสีเทาและสีดำแบบอุดมคติ นอกจากนี้ในการแผ่รังสีความร้อนจากผิวของวัตถุอีกชนิดหนึ่งได้ทั้งหมด แต่มีบางส่วนสูญหายไป ในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจะต้องพิจารณาถึงแฟกเตอร์ทั้งสองนี้ด้วย ดังนั้นสมการจะกลายเป็น

$$Q_r = \sigma \cdot A \cdot F_{1-2} \cdot E (T_1^4 - T_2^4)$$

เมื่อ  $\sigma$  = ค่าคงที่ของสเตฟานโบลทซ์แมน =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ w / (m}^2 \cdot \text{K}^4)$  เมื่อ  $E$  = emissivity ของวัสดุซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของวัสดุว่าจะมีปฏิกิริยาอย่างไรต่อรังสีความร้อนนั้นๆ เช่น การสะท้อนกลับ การดูดกลืน หรือการส่งผ่านไปทั้งหมด จากสภาพความเป็นจริงแล้วเราอาจกล่าวได้ว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่อาจจะเกิดขึ้นรวมทั้งสามแบบก็ได้ เช่น การถ่ายเทความร้อนของหลังคาบ้าน เราอาจเขียนความสัมพันธ์ของพลังงานที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักความสมดุลของพลังงานได้เป็น

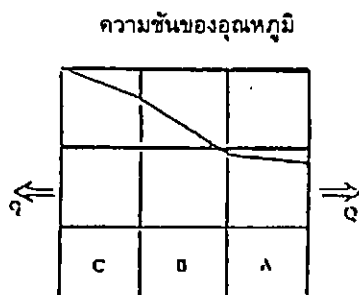
$$Q_{r1} = Q_{r2} + Q_c + Q_z$$

#### 2.4.1 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนของสารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ซึ่งการทำฉนวนกันความร้อนนี้อาศัยหลักการที่ว่า จงพยายามหลีกเลี่ยงการใช้สารหรือวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี แต่เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทได้หลายวิธี ดังนั้นการป้องกัน

จึงควรกระทำได้หลายวิธี และเลือกใช้จำนวนให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ก่อนที่จะกล่าวถึงชนิดของ  
จำนวนกันความร้อนและเทคนิคในการเลือกใช้

$$\begin{array}{lll} \text{ถ้าให้} & dx & = \text{ความหนาของผนัง} \\ & T_1 \text{ และ } T_2 & = \text{อุณหภูมิที่ผิวของผนังทั้งสองด้าน} \end{array}$$



ภาพประกอบ 26 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่ประกอบขึ้นจากวัสดุหลายชนิด  
(ประเสริฐ ภูนั้นทพงษ์. 2533 : 85)

ตามกฎจะได้  $Q = kA/dx (T_2 - T_1)$

ถ้าผนังมีหลายชั้นก็ใช้วัสดุต่างชนิดกันดังนั้นค่าความชันจะใช้วัสดุต่างชนิดกัน และการไหลของ  
ความร้อนจะเขียนได้เป็น

$$Q = k_A \cdot A \cdot T_2 - T_1 / dx_A$$

$$Q = k_B \cdot A \cdot T_3 - T_2 / dx_B$$

$$Q = k_C \cdot A \cdot T_4 - T_3 / dx_C$$

ดังนั้น 
$$Q = \frac{T_1 - T_4}{dx_A / h_A \cdot A + dx_B / k_B \cdot A + dx_C / k_C \cdot A}$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าการไหลของความร้อนจะเท่ากันทุกชั้นตอน ดังนั้นสมการดังกล่าวจะมีความ  
คล้ายคลึงทางไฟฟ้ามาก

$$\text{ความร้อนที่ไหล} = \frac{\text{ผลต่างของความร้อน}}{\text{ความต้านทานความร้อน}}$$

ในที่นี้  $dx / k \cdot A$  เป็นความต้านทานความร้อน

จากสมการกล่าวได้ว่า ความต้านทานความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อนนั้น หากมีค่าสูงย่อม  
ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านนั้นได้น้อย นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขที่จำเป็นอื่นๆ อีกบางประการ สำหรับการเลือก  
วัสดุในงานฉนวนกันความร้อนคือ ต้องมีอัตราการนำความร้อนต่ำ มีความหนาแน่นต่ำ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้

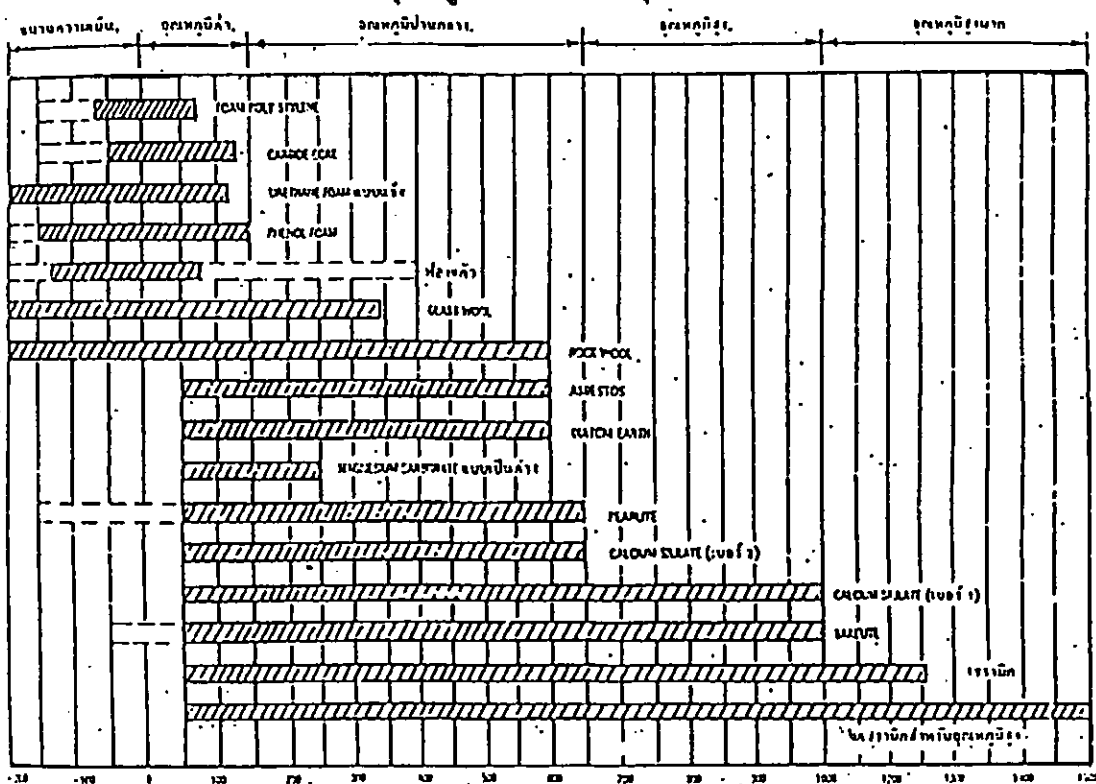
งานกว้าง มีอัตราการดูดน้ำและความชื้นต่ำ ไม่ลุกลไหม้และมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนสภาพทางฟิสิกส์ และเคมีเพื่อใช้งานได้นาน

#### 2.4.2 ชนิดของวัสดุฉนวนกันความร้อน

วัสดุที่เลือกใช้นั้นตามปกติจะเป็นวัสดุที่มีเส้นใยหรือผงต่างๆ จัดอยู่ระหว่างชั้นอากาศ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการพาและการแผ่รังสีความร้อน รวมทั้งอาศัยคุณสมบัติของอากาศที่เป็นตัวนำความร้อนที่เลว ดังนั้น ชนิดของวัสดุฉนวนนี้มักจำแนกตามรูปและชนิดของวัสดุที่ใช้ ซึ่งในที่นี้แบ่งตามรูปของสารที่ใช้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุฉนวนแบบเส้นใย เป็นวัสดุฉนวนที่เกิดจากการจัดวางตัวของเส้นใยและภายในจะมีอากาศแทรกอยู่ ซึ่งปัจจุบันมักใช้เส้นใยทนความร้อนของสารอนินทรีย์
2. วัสดุฉนวนแบบผง ปัจจุบันใช้แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate) ที่เกิดจาก Diatom Earth และหินปูนผสมกันแล้วทำให้แข็งตัว วัสดุชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ในท้องตลาดมาก
3. วัสดุฉนวนแบบเป็นฟองอากาศ เป็นวัสดุที่มีฟองอากาศเล็กๆ แทรกอยู่ในชั้นอากาศอีก ซึ่งก๊าซที่ใช้อัดเป็นฟองอากาศนี้จะแตกต่างกันตามการใช้งานและคุณสมบัติของวัสดุ คือ ถ้าเป็นสารอนินทรีย์ อาจใช้ฟองแก้ว หรือเซรามิก แต่ถ้าเป็นสารอินทรีย์ก็มีฟองของ Urethane Resin Polystyrene Phenol
4. วัสดุฉนวนแบบชั้นอากาศ เป็นวัสดุฉนวนแบบมีชั้นอากาศตามปกติมักจะมีขนาดบางๆ เช่น กระดาษลูกฟูก พลาสติกฟิล์ม ที่ฉาบผิวด้วยอะลูมิเนียม ซึ่งวัสดุฉนวนแบบนี้มักใช้เป็นฉนวนกันการแผ่รังสีความร้อนเป็นส่วนใหญ่

ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้งานของวัสดุฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆ อาจพิจารณาได้จากภาพประกอบ 27 ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้งานของวัสดุฉนวนกันความร้อน



ภาพประกอบ 27 ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้งานของวัสดุฉนวนกันความร้อน

(ประเสริฐ ภู่มั่นทอง, 2533 : 87)

วัสดุฉนวนชนิดที่ใช้กันทั่วไปทางอุตสาหกรรมนั้นมักจะกำหนดขีดจำกัดการใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดของวัสดุแต่ละชนิดไว้ พิจารณาได้จากการทนความร้อนวัสดุเป็นหลัก (รวมทั้งจุดหลอมเหลวถึงจุดเยือกแข็งด้วย) ทั้งนี้เพราะโลหะต่างๆ มักจะขยายตัวมักจะขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่วัสดุฉนวนต่างๆ มักจะเกิดการหดตัว ซึ่งหากความแตกต่างนี้มีถึงระดับหนึ่งจะทำให้ชิ้นฉนวนแตกได้ นั่นคือทำให้มีการสูญเสียความร้อนมาก ดังนั้นฉนวนอุณหภูมิต่ำมักจะทำการป้องกันความชื้นควบคู่กันด้วย

#### 2.4.3 ปัจจัยสำคัญในการเลือก

ค่าอัตราของการนำความร้อนของวัสดุฉนวน ซึ่งเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่สำคัญมากในการประเมินความหนาของวัสดุฉนวนความร้อน สำหรับกรณีที่มีค่าอัตราการนำความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิปกติคือ เงิน ซึ่งมีอัตราการนำความร้อนเป็น  $361 \text{ kcal/m.h}^{\circ}\text{C}$  และสารที่มีค่าอัตราความร้อนต่ำสุดคือ แก๊สฟรอน ซึ่งมีค่าประมาณ  $6.4 \times 10^{-3} \text{ kcal/m.h}^{\circ}\text{C}$

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ความหนาแน่นของวัสดุที่ต้องมีค่าต่ำไม่ลุกไหม้ น้ำและความชื้นซึมผ่านได้น้อย ราคาถูก

#### 2.4.4 ความหนาของฉนวน

ความหนาของฉนวน สามารถพิจารณาความหนาของฉนวนโดยมีหลัก 3 ประการคือ ค่าความร้อนสูญเสียที่ยอมให้ได้ อุณหภูมิผิว และราคาของฉนวนที่ใช้

#### 2.5. มอเตอร์พัดลมไฟฟ้า

มอเตอร์พัดลมที่ใช้กับงานปรับอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือมอเตอร์พัดลมแบบแรงเหวี่ยงและพัดลมแบบแอกเซียล การเคลื่อนที่ของลมในใบพัดแบบแรงเหวี่ยงจะเคลื่อนที่แนวรัศมีตั้งฉากกับเพลาส่วนการเคลื่อนที่ของลมในใบพัดแบบแอกเซียลจะเคลื่อนที่ในแนวขนานกับเพลลา พัดลมแบบแรงเหวี่ยง ในงานจริงพัดลมแบบแรงเหวี่ยงยังแบ่งย่อยออกไปอีกหลายอย่าง แต่ทุกอย่างยังคงใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกัน พัดลมแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในงานปรับอากาศแบ่งเป็น ใบพัดโค้งเอียงไปข้างหน้า ใบพัดเอียงไปข้างหลัง ชนิดตรง และใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดแอร์ฟอยล์



ภาพประกอบ 28 แสดงพัดลมแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในงานปรับอากาศ  
(สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2545 : 307)

พัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหน้า หมายถึง พัดลมที่มีใบพัดโค้งโดยที่ปลายของใบพัดอยู่ด้านหน้า เมื่อเทียบกับทิศทางการหมุน พัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดใบตรง หมายถึง พัดลมที่มีใบพัดเป็นแผ่นราบและปลายของใบพัดอยู่ด้านหลังเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุน พัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหลัง

ชนิดแอร์ฟอยล์ หมายถึง พัดลมที่ปลายของใบพัดอยู่ด้านหลังเมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางการหมุนเช่นเดียวกัน แต่ลักษณะของใบพัดมีความโค้งคล้ายกับความโค้งของใบพัดเครื่องบิน พัดลมแบบดังกล่าวสามารถลดความปั่นป่วนของกระแสลมภายในพัดลมจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดเสียงดังด้วย ในงานปรับอากาศโดยทั่วไปจะใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงทั้ง 3 แบบนี้ พัดลมใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดใบตรงและชนิดแอร์ฟอยล์ส่วนมากจะนิยมใช้กับพัดลมที่มีขนาดใหญ่ คือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้วขึ้นไป ทั้งนี้เพราะว่าพัดลมแบบดังกล่าวใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนน้อยและมีเสียงที่เกิดขึ้นน้อยกว่าแบบใบพัดเอียงไปข้างหน้า ในทางกลับกันพัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหน้านิยมใช้กับพัดลมขนาดเล็ก เพราะสามารถใช้ความเร็วรอบต่ำได้มอเตอร์พัดลมไฟฟ้าเป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งเฟส 220 โวลต์ มีขนาด 22 วัตต์ 1/34 แรงม้า ส่วนประกอบที่สำคัญมี สเตเตอร์ โรเตอร์ และฝาครอบหัวท้าย

สเตเตอร์ ส่วนที่เป็นแกนขอลวดจะทำด้วยแผ่นเหล็กบางลามิเนตนำมาอัดติดกันเป็นรูปทรงกระบอกด้านในของแกนจะมีส่วนที่ยื่นออกไป เพื่อทำหน้าที่รองรับขลวดแม่เหล็ก และทำหน้าที่เป็นขั้วแม่เหล็กแบบเซเลินโพล ที่เซเลินโพลจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ เซ็ตเตดโพล (Shaded pole) และอันเซ็ตเตดโพล (Unshaded pole) เซ็ตเตดโพลจะมีพื้นที่ผิวหน้าของขั้วแม่เหล็กแคบและมีไว้สำหรับพันขลวดเซ็ตเตด (Shaded coil) ขอลวดนี้จะทำด้วยแผ่นทองแดงแบนสามไว้อย่างแน่น สำหรับอันเซ็ตเตดจะมีพื้นที่ผิวหน้าของขั้วแม่เหล็กและพันด้วยขลวดอันเซ็ตเตด บางทีเรียกว่า ขอลวดเมน (Main Winding)

โรเตอร์ เป็นแบบสไลด์เรจเกจโดยมีสลิตสำหรับฝังตัวนำจะมีลักษณะเฉียงกับแนวแกนเพลลาและยึดติดแน่นกับเพลลา

ฝาปิดหัวท้ายทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว หลักการทำงาน เมื่อเริ่มป้อนไฟสลับหนึ่งเฟสเข้าขลวดเมน กระแสไฟฟ้าไหลเข้าจะเริ่มมีค่าสูงขึ้นเรื่อยตามลักษณะรูปคลื่นไซน์ ไซกไนควงมีขอวาพิจารณาหา ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ที่พบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกจากขั้วแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กจะเป็นขั้วเหนือ (N) ขณะที่เกิดเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กนั้น ที่เซ็ตเตดโพลจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมาหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านเซ็ตเตดโพลตามกฎของเลนซ์ แต่เส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านอันเซ็ตเตดโพลจะไม่หมดไปแต่กลับจะบิดเบนไปรวมตัวกับเส้นแรงแม่เหล็กของส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านอันเซ็ตเตดโพลอยู่แล้วให้เข้มข้นมากขึ้น ความหนาแน่นสูงสุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง A กระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุด เมื่อกระแสไฟสูงสุดจะไม่เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเหนียวขึ้นที่เซ็ตเตดโพล ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้มอเตอร์จะพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กมากที่สุดประมาณกึ่งกลางขั้ว B เมื่อกระแสไฟที่ป้อนให้มอเตอร์สูงสุดแล้วก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟขณะนี้ จะน้อยลง เส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็จะตัดกับขอลวดเซ็ตเตด เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเหนียวขึ้นมาเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขลวดเมน ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านเซ็ตเตดโพลมีความเข้มข้นสูงสุดตำแหน่ง C

สูตรคำนวณหาความเร็วรอบ (ณรงค์ ขอนตะวัน.2530 : 144 – 149)

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| N | $\frac{120f}{P}$                 |
| N | ความเร็วรอบของมอเตอร์ รอบ / นาที |
| F | ความถี่                          |
| P | จำนวนขั้วแม่เหล็ก                |

จะเท่ากับ  $F = 50\text{Hz}$  ,  $P = 4\text{นิ้ว}$

$(120 \times 50) / 4 = 1,500$  รอบ / นาที ความเร็วรอบที่ใช้เท่ากับ 1,500 รอบ / นาที

### 3. อัลตราโซนิกส์

อัลตราโซนิกส์เป็นอุปกรณ์การทำงานโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดความถี่และนำความถี่ที่เกิดขึ้นมาใช้ได้หลายด้านด้วยกัน เช่น

#### 3.1 วิศวกรรมอัลตราโซนิกส์

อัลตราโซนิกส์ คือ การนำลักษณะการสั่นทางกล (mechanical vibration) ที่มีความถี่สูงมาใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการ ลักษณะการสั่นของอนุภาคโดยทั่วไปจะมีช่วงความถี่ต่างๆ กัน ช่วงความถี่ที่อนุภาคเกิดการสั่นแล้วมนุษย์สามารถได้ยินเสียงคลื่นได้ยินเรียกว่า คลื่นเสียง ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ (Hz) ถึงประมาณ 15 – 20 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) ขึ้นกับความสามารถในการได้ยินของแต่ละบุคคลในขณะที่การสั่นของอนุภาคด้วยความถี่ที่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่า คลื่นใต้เสียงหรืออินทราซาวด์ (intra sound) และความถี่ที่สูงกว่ามนุษย์ได้ยินเรียกว่า คลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราซาวด์ (ultra sound) ในวิศวกรรมอัลตราโซนิกส์ที่มีการนำเอาลักษณะของการสั่นสะท้อนของอนุภาคมาใช้งาน ไม่สามารถที่จะกำหนดขอบเขตของความถี่ในการสั่นที่ชัดเจนลงไปได้ เนื่องจากความสามารถในการได้ยินของคนแตกต่างกัน ประกอบกับมีการนำเอาความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินมาใช้ในวิศวกรรมอัลตราโซนิกส์ ถ้าความถี่ที่นำมาใช้ต่ำกว่าช่วง 30 – 500 เฮิรตซ์ เราเรียกลักษณะนั้นว่า การทำงานเนื่องจากการสั่น ความถี่ที่ใช้งานในวิศวกรรมอัลตราโซนิกส์มักนิยมความถี่ที่สูงกว่าที่มนุษย์ได้ยิน เนื่องจากไม่มีเสียงรบกวนในขณะทำงาน และความถี่สูงจะเพิ่มประสิทธิภาพให้สามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ อุปกรณ์ที่ใช้มีกำลังทำงานบางประเภทจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงและความยาวคลื่นสั้น เช่น การตรวจสอบรอยแตกในวัสดุชนิดต่างๆ เนื่องจาก การทดสอบรอยร้าว คลื่นเสียงที่ใช้ต้องมีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับขนาดของรอยร้าว นั้น

#### 3.2 การนำคลื่นอัลตราโซนิกส์ไปใช้ประโยชน์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่ต้องการกำลังของพลังงานอัลตราโซนิกส์ ในกลุ่มนี้เป็นการนำไปใช้ในทางกลหรือเปลี่ยนพลังงานอัลตราโซนิกส์เป็นพลังงานความร้อน เช่น การเชื่อมโลหะ การลดการเกิดการเสียดสี การเจาะ การบำบัดทางกายภาพ กำลังงานที่ใช้ในการใช้ประโยชน์ดังกล่าวจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ไม่กี่วัตต์ในห้องปฏิบัติการจนถึงพันวัตต์ในโรงงานอุตสาหกรรม
2. กลุ่มการใช้งานที่ต้องการกำลังอัลตราโซนิกส์น้อยระดับไมโครวัตต์หรือมิลลิวัตต์ เครื่องมือประเภทนี้จะใช้ในการผลิตและตรวจจับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกส์ เพื่อการวัดปริมาณทางกลหรือจับสัญญาณจากระบบต่างๆ เช่น การใช้สัญญาณสะท้อน (pulse – echo) ในการตรวจสอบรอยร้าวในอุปกรณ์ขนาดใหญ่

#### 3.3 กลไกการเกิด cavitation

Cavitation หมายถึง การเกิดช่องว่าง (cavity) ช่องว่างในที่นี้หมายถึงฟองอากาศในของเหลว เช่น การต้มน้ำให้เดือด เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำจนถึงอุณหภูมิที่น้ำกำลังเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ จะเกิดฟองอากาศเล็กตามผนังของหม้อต้มน้ำ และอุณหภูมิเพิ่มสูงถึงจุดเดือด ฟองอากาศเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ฟองอากาศมีการขยายและไม่เสถียรก็จะแตกออกทันที พร้อมกับผลึกตัวออกสู่มิวน้ำและกลายเป็นไอ

คลื่นอัลตราโซนิกส์สามารถกระตุ้นให้เกิดกระบวนการ cavitation ได้เนื่องจากการรบกวนทางกล เช่นการทำให้เกิดการเปลี่ยนของความดันให้มีค่าสูงและต่ำกว่าความดันของเหลวที่คลื่นอัลตราโซนิกส์

เคลื่อนที่ผ่านไป การลดของความดันช่วยให้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กมากๆ โตขึ้นได้ ความดันที่สูงกว่าความดันในของเหลวทำให้ฟองอากาศที่กำลังขยายขนาดแตกออก การแตกออกของฟองอากาศอย่างทันทีทันใดจะกลายเป็นลักษณะเฉพาะของการเกิด cavitation การแตกของฟองอากาศอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ตรงกลางของฟองอากาศ

กระบวนการทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคส์ คลื่นเสียงไม่ได้ทำหน้าที่ทำความสะอาด แต่การทำความสะอาดจะเกิดจากความดันที่เกิดขึ้น ขณะฟองอากาศแตก และคลื่นเสียงเป็นตัวช่วยให้เกิดฟองอากาศโดยให้พลังงานแก่ฟองอากาศอย่างช้าๆ ฟองอากาศอาจโตภายใต้อิทธิพลของคลื่นเสียงจนกระทั่งมีขนาด  $10^{-3}$  เซนติเมตร ถึง  $10^{-2}$  เซนติเมตร ดังนั้นการเกิดแรงดันที่ตำแหน่งเดิมจะมีค่าสูงและแรงดันที่เกิดโดยรวมในการแตกของฟองอากาศจะมีประสิทธิภาพสูงในบริเวณพื้นที่แคบ

ตำแหน่งแรง cavitation สูงสุดคือ จุดตรงกลางของฟองอากาศที่แตกมีค่าประมาณ 75,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และอุณหภูมิบริเวณเดียวกันมีค่าประมาณ 13,000 °F แต่อุณหภูมิที่วัดได้ในขณะทำความสะอาดจะต่ำกว่าเนื่องจากระยะเวลาในการสั่นมากทำให้ความร้อนและแรงดันที่เกิดไม่สูงตามคำนวณจากทฤษฎี เมื่อพิจารณาฟองอากาศที่เกิดการแตกแต่ละฟองปริมาณฟองมีจำนวนมาก และการแตกแต่ละวินาทีปริมาณพลังงานและอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นโดยรวมจะมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้

ตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มของพลังงานอัลตราโซนิคส์ในการเกิด cavitation มีดังนี้

1. อุณหภูมิของเหลว
2. ความดันแอฟที่อยู่ในของเหลว
3. ขนาดของฟองอากาศ
4. จำนวนนิวเคลียสที่ทำให้เกิดฟองอากาศ
5. ความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้
6. ความเข้มของคลื่นเสียง (Intensity of sound field)
7. การสูญเสียลักษณะเฉพาะของฟองอากาศในของเหลว
8. แรงตึงผิวของของเหลว
9. ความดันไอของของเหลว
10. ความเข้มข้นและอัตราการแพร่ของก๊าซที่ละลายน้ำ
11. Cohesive strength ของของเหลว
12. ความหนืดของของเหลว
13. ความหนาแน่นของของเหลว
14. อัตราการส่งผ่านความร้อนไปยังของเหลว
15. การกระจายความเข้มของเสียงและความดันในบริเวณฟองอากาศแตก

#### 3.4 สารเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

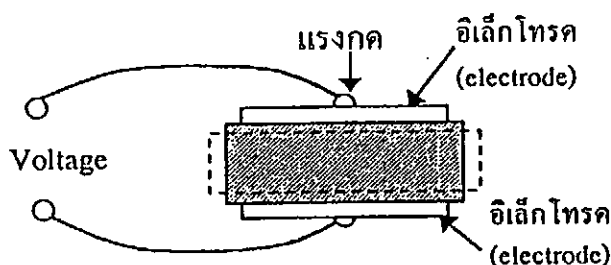
สารเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และในทางกลับกันเป็นหัวใจสำคัญในการกำหนดคลื่นอัลตราโซนิคส์ สารเพียโซอิเล็กทริกที่มีการนำมาใช้โดยทั่วไปมี 2 ลักษณะคือ สารเพียโซอิเล็กทริกที่เกิดจากธรรมชาติ และสารเพียโซอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ขึ้นต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้เกิดขั้วทางไฟฟ้า จึงแสดงสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก

สารเพียโซอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้แก่ ควอตซ์ โรเชลล์ ซอลต์ ลิเทียมซัลเฟต และทัวร์มาลีน เป็นต้น

### 1. คุณสมบัติของสารเพียโซอิเล็กทริก

ในการนำสารเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภทต้องพิจารณาคุณสมบัติของสารดังรายการต่อไปนี้

1.1 ค่า Electromechanical Coupling Coefficient ,  $k$  เป็นค่าที่ใช้วัดความสามารถของผลึกหรือสารเซรามิกในการเปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งเป็นรูปหนึ่ง เช่น พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ค่า  $k$  เป็นค่าที่พิจารณาจากพลังงานให้แก่ผลึกและผลึกสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานรูปอื่น เมื่อเทียบกับพลังงานที่ให้เข้าไปเป็นเท่าใดดังภาพประกอบ 29 ลักษณะการให้แรงแก่ผลึกและการจ่ายกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 29 ลักษณะการให้แรงแก่ผลึกและการจ่ายกระแสไฟฟ้า

(ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และคณะ. 2543 : 16)

เมื่อให้แรงกระทำจากภายนอก ผลึกหรือสารเซรามิกจะถูกบีบในลักษณะเหมือนสปริงที่ถูกกดด้วยแรงจากภายนอก เมื่อมีการต่อขั้วจากอิเล็กโทรดออกไป ประจุไฟฟ้าจะถูกส่งออกไปภายนอก แต่เมื่อเอาขั้วที่ต่อกับวงจรภายนอกออก ผลึกจะขยายตัวเหมือนผลึกเมื่อก่อนผ่านกระแสไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าก็จะหมดไป ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ป้อนให้กับผลึกและพลังงานที่ออกจากผลึกเป็นดังนี้

$$K^2 = \frac{\text{พลังงานที่เปลี่ยนเป็นประจุไฟฟ้า}}{\text{พลังงานกลที่ให้ผลึก}}$$

และความสัมพันธ์ในทางกลับกันเป็นความจริงในกรณีที่ให้กระแสไฟฟ้าแก่ผลึกเพียโซอิเล็กทริกแล้วผลึกจะสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือการสั่นของผลึกได้ดังสมการ

$$K^2 = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใส่ในผลึก}}$$

1.2 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant ,  $K$ ) เป็นค่าความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าที่ระหว่างชั้นผลึกที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 เปรียบเทียบกับประจุไฟฟ้าที่เก็บโดยอากาศระหว่าง

ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะแตกต่างกัน ถ้าสภาวะการวัดแตกต่างกันและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของผลึกก็ต่างกัน เช่น การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกผลึกอิสระที่ไม่ถูกยึด ( $K_{free}$ ) มีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่วัดจากผลึกที่ถูกยึดแน่น ( $K_{clamp}$ ) ดังสมการ

$$(K_{free})(1 - k^2) = (K_{clamp})$$

1.3 ค่าคงที่เพียโซอิเล็กตริก "d" และ "g" เป็นค่าที่มีการใช้อย่างทั่วไป ค่าคงที่เพียโซอิเล็กตริก "d" คือค่าที่ใช้วัดปริมาณประจุที่จ่ายออกมาจากขั้วไฟฟ้าที่ติดอยู่กับแผ่นเพียโซอิเล็กตริกบริเวณที่รับแรง หรือค่าของการเกิด deflection) ของสารเพียโซอิเล็กตริก เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่สารเพียโซอิเล็กตริก มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อนิวตัน ในกรณีเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ค่า "d" ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลมีหน่วยเป็นเมตรต่อโวลต์

ค่าคงที่เพียโซอิเล็กตริก g เป็นค่าใช้แสดงปริมาณสนามไฟฟ้าที่ให้ออกมาจากผลึก เมื่อมีแรงกระทำดังสมการ

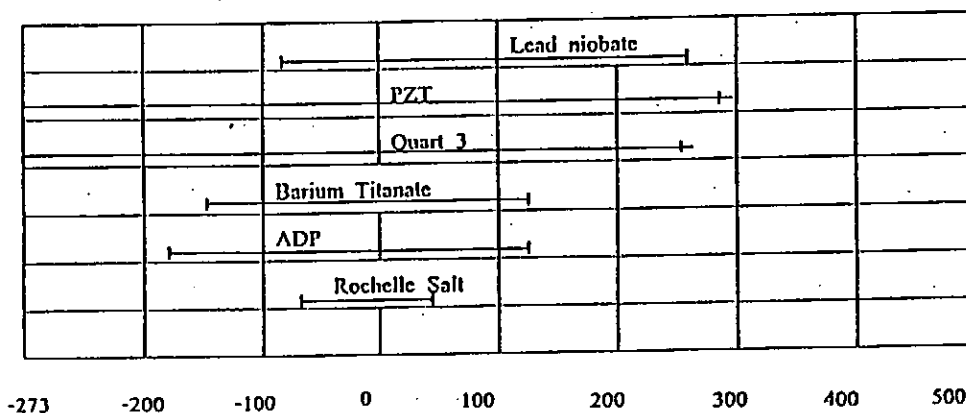
$$g = \frac{\text{โวลต์ / เมตร}}{\text{นิวตัน / ตารางเมตร}}$$

ค่าคงที่ g และ d สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการ

$$g = \frac{d}{K \epsilon_0}$$

จะเห็นได้ว่าถ้าค่าคงที่ d เป็นค่าคงที่ของสาร ค่า g จะมีค่าสูง ถ้าสารนั้นมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ จะเหมาะกับการใช้เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) ในกรณีที่มีค่า d สูง เหมาะกับการใช้งานด้าน processing เช่น เป็นตัวกำเนิดคลื่นอัลตราซาวด์ เป็นต้น

1.4 อุณหภูมิคูรี (curie temperature) สารเพียโซอิเล็กตริกทั้งชนิดที่เป็นผลึกจากธรรมชาติหรือสารเซรามิกที่สังเคราะห์จะมีอุณหภูมิในการใช้งานจำกัด อุณหภูมิที่ใช้งานจะต้องเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี เนื่องจากการที่สารได้รับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรีจะทำให้โครงสร้างภายในเนื้อสารเกิดการเปลี่ยนแปลง และความเป็นขั้วไฟฟ้าของสารจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และสารนั้นอาจหมดสภาพความเป็นสารทรานสดิวเซอร์ ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของสารทรานสดิวเซอร์ทั้งที่ผลิตขึ้นและในธรรมชาติ ดังภาพประกอบ 30 ช่วงอุณหภูมิที่สารมีสมบัติเพียโซอิเล็กตริก

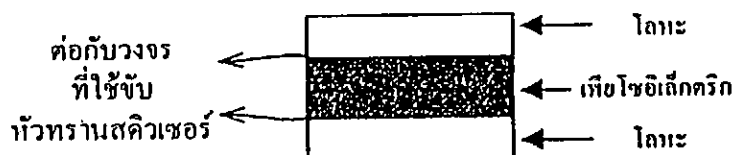


ภาพประกอบ 30 ช่วงอุณหภูมิที่สารมีสมบัติเพียโซอิเล็กตริก

(ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และคณะ. 2543 : 18)

## 2. การประกอบหัวทรานสดิวเซอร์

ส่วนประกอบของหัวทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วยสารเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ต่อกับแผ่นโลหะ 2 แผ่น แบบแซนวิช ดังภาพประกอบ 31 ส่วนประกอบของหัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



ภาพประกอบ 31 ส่วนประกอบของหัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

(ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และคณะ. 2543 : 18)

ลักษณะการประกอบหัวทรานสดิวเซอร์ดังกล่าวให้ผลคือ ใช้สารเพียโซอิเล็กทริกปริมาณน้อย และต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่าการประกอบหัวทรานสดิวเซอร์แบบอื่น โดยให้ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าคงเดิม การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากความสูญเสียทางไฟฟ้าของสารทรานสดิวเซอร์เกิดขึ้นได้ดีกว่า ทำให้อายุการใช้งานของทรานสดิวเซอร์นานขึ้น ดังนั้นในการเลือกชนิดของโลหะที่ใช้ประกอบเป็นหัวทรานสดิวเซอร์จึงมีความสำคัญมาก โลหะที่ใช้ประกอบเป็นหัวทรานสดิวเซอร์จะต้องมีค่าความหนาแน่นและค่า elastic constant ที่แตกต่างกันของโลหะแผ่นบนและโลหะที่ใช้เป็นขั้วแผ่นล่าง โลหะที่ใช้เป็นขั้วที่มีผลคูณของค่าความหนาแน่นกับค่า Young ' s modulus ต่ำจะขยายแรงสั่นสะเทือนได้มากกว่า ความหนาแน่นของแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วทั้งด้านบนและด้านล่างจะใช้ประมาณหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นที่เกิดเป็นคลื่นนิ่งจากการสั่นของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเมื่อให้ไฟฟ้าเข้าไป ค่าความเร็วเสียงที่ใช้ในการคำนวณค่า  $\frac{1}{4}$  ของความยาวคลื่นสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) และค่า  $\frac{1}{4}$  ของความยาวคลื่นคำนวณจากสมการ (2) (ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และคณะ. 2543 : 16)

$$C = \sqrt{E \rho} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{4f} (\sqrt{E \rho}) \quad (2)$$

โดยที่ E คือ ค่า Young ' s modulus

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของสาร ค่า  $\frac{1}{4}$  ของความยาวคลื่น

f คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ ที่ได้จากสารทรานสดิวเวอร์

การขยายสัญญาณของการเคลื่อนที่ได้จากการใช้วัสดุที่แตกต่างกันในการประกอบหัวทรานสดิวเซอร์ คำนวณได้จากสมการ (ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และคณะ. 2543 : 18)

$$M = \frac{\rho_1 C_1}{\rho_2 C_2} = \sqrt{\frac{E_1 \rho_1}{E_2 \rho_2}}$$

โดยที่  $\rho_1$ ,  $C_1$ ,  $E_1$  คือ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็วของคลื่นเสียง (bar) และค่า Young ' s modulus ของวัสดุชนิดที่ 1 และ  $\rho_2$ ,  $C_2$ ,  $E_2$  เป็นค่าความหนาแน่น ค่าความเร็วของคลื่นเสียง และค่า Young ' s modulus ของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ถ้า  $\rho_1 C_1 > \rho_2 C_2$  หรือ  $E_1 \rho_1 > E_2 \rho_2$  แสดงว่าความหนาแน่นและ Young ' s modulus ที่ต่างกันทำให้เกิดการขยายสัญญาณ หรือการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นได้

#### 4. ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมความชื้น

การหาประสิทธิภาพตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ควบคุม เนื่องจากการทดลองการควบคุมความชื้นของตู้ จึงจะได้นำเอาคุณสมบัติอัลตราโซนิกส์มาเป็นตัวควบคุมความชื้น

การกำหนดเกณฑ์ของอุปกรณ์ควบคุมความชื้น ด้วยการปรับตั้งค่าความชื้นตั้งแต่ 40-60 % RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 5$  % RH ( The American society for Testing and Method. 1995 : 575-597) (Method B)

ผู้วิจัยจึงได้นำเกณฑ์ดังกล่าวมากำหนด เป็นการปรับตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าตั้งแต่ 40-60 % RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส และมีค่าความแปรปรวน  $\pm 5$  % RH

##### 4.1 มาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing and Materials) E337

มาตรฐานการวัดอุณหภูมิและความชื้นของมาตรฐาน ASTM มีวิธีการวัดและปฏิบัติคือ วัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ต่ำกระเปาะเปียก อุณหภูมิตำแหน่งแห้งและแรงดันอากาศปกติของความชื้นสัมพัทธ์มีวิธีการวัดและเตรียมการดังนี้

4.1.1 วิธีการที่ A ตั้งการไหลเวียนของอากาศและรักษาอากาศจนกระทั่งอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำลง (กับปรอทของเทอร์โมมิเตอร์ประมาณ 2 นาที) อ่านเทอร์โมมิเตอร์อย่างถูกต้องแม่นยำเที่ยงตรงได้จากอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ทั้งหมดมีค่าผิดพลาดได้  $\pm 0.2$  องศาเซลเซียสหรือดีกว่านั้น การตั้งค่าของอุณหภูมิทั้งหมดผิดพลาดได้ไม่เกิน  $\pm 0.2$  องศาเซลเซียสหรือดีกว่านั้น และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 3$  % RH สำหรับค่าความผิดพลาดของความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ  $\pm 2$  % RH เมื่อวัดจากกระเปาะแห้ง ซึ่งรวมถึงค่าทั้งหมดที่ไม่แน่นอน  $\pm 0.2$  องศาเซลเซียสหรือดีกว่าและที่อุณหภูมิค่าความผิดพลาดทั้งหมดเท่ากันประมาณ  $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส หรือดีกว่านั้น

4.1.2 วิธีการที่ B ถือเครื่องมือให้แห้งตัวและวัดกลางแจ้งที่มีลมพัดและในที่ลม ทำการการแกว่งเทอร์โมมิเตอร์จนได้ความเร็วที่ได้ตั้งไว้ของกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง อ่านเทอร์โมมิเตอร์ด้วยความเที่ยงตรงจากอุณหภูมิกระเปาะแห้งซึ่งผิดพลาดทั้งหมด  $\pm 0.6$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิค่าประมาณ  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียสหรือดีกว่าสำหรับความชื้นสัมพัทธ์  $\pm 5$  % RH

4.1.3 กระบวนการ ที่ตั้ง/สถานที่ หลีกเลี่ยงสถานที่ที่ใกล้กับเครื่องจักรและที่ที่ได้รับความร้อนหรือที่ที่ได้รับรังสี ควรตั้งในที่ที่มีอากาศไหลเวียน การเตรียมการ กระเปาะต้องมีความชื้นและมีน้ำหล่ออยู่เสมอก่อนที่จะเริ่มทำการวัดควรทำความสะอาดเครื่องมือก่อนด้วยน้ำสะอาด เพื่อลดความสกปรกจากเศษแก้วและพลาสติก เมื่อเครื่องมือเปียกควรเช็ดและทำการแยกเครื่องมือ ขนาดเล็กและแก้วกระเปาะเปียกที่ไม่ได้ใช้งานควรแช่น้ำให้หลายวนาที เพื่อให้ผ้าที่หุ้มกระเปาะเปียกไม่ควรจับผ้าที่หุ้มกระเปาะด้วยมือซึ่งอาจจะทำให้เกิดความชื้นและสกปรกได้การทำความสะดวกกระเปาะแห้งต้องทำความสะอาดมือให้แห้ง การวัดที่เพิ่มขึ้นของไฮโครมิเตอร์ แยกพัดลมออกเพื่อให้อุณหภูมิค่าสุดท้ายของกระเปาะเปียกแล้วอ่านค่าจะได้ค่าคงที่ การอ่าน

ไซโครมิเตอร์ ขณะที่แยกพัดลมควรว่านเทอร์โมมิเตอร์อย่างรวดเร็วและระมัดระวังควรว่านกระเปาะเปียกก่อน มีค่าความผิดพลาดประมาณ 0.15 องศาเซลเซียสผลของความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าความผิดพลาดประมาณ 1 % RH ขณะที่เริ่มอ่านควรวางอย่าให้ร่างกายสัมผัสกับเทอร์โมมิเตอร์และให้เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง สำหรับการวัดแบบปกติตัวอย่างในการเปรียบเทียบระยะเวลากับเวลาในการวัดโดยการอ่านซ้ำก็จะได้ผลที่ครอบคลุมทั้งหมดหรือถ้าจำเป็นจะต้องอ่านซ้ำเพื่อความแน่นอนและได้ผลดีที่สุดซึ่งไม่น้อยกว่า 0.2 องศาเซลเซียส และมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 3$  % RH หรือไม่มากกว่า 0.1 องศาเซลเซียส สำหรับความผิดพลาด 2 % RH การวัดที่อยู่ภายใต้การแกว่งอย่างรวดเร็ว ให้นับจำนวนการอ่านที่สูงสุดอย่างน้อย 2 รอบ การวัดขณะที่เปลี่ยนหรือเริ่มการวัดในขณะที่มีการเปลี่ยนการวัดจะทำให้การอ่านไม่สมบูรณ์ การตรวจสอบการอ่าน เพื่อให้การอ่านมีความเที่ยงตรงซึ่งบางครั้งอาจจะต้องทำการอ่านถึง 3 ครั้ง ถ้าอยู่ในขณะที่แกว่งอาจจะต้องอ่านซ้ำหลายๆครั้งเพื่อความถูกต้อง ถ้าอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดควรว่าน 2 รอบ ถ้าผ้าที่หุ้มกระเปาะเปียกแห้งควรทำให้เปียกซ้ำ เพื่อเป็นตัวชี้วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก

## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### งานวิจัยภายในประเทศ

วีรชัย เลิศสถาพรสุข (2543 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้แช่ผักขึ้นพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบและสร้างตู้แช่ผักขึ้นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขนาดความจุ 10 ลิตร ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEC1 - 12704 จำนวน 1 โมดูลควบคุมสภาวะในการทดสอบที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 30 องศาเซลเซียส ด้วยการระบายความร้อนด้วยน้ำ ผลการทดสอบด้วยการจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงพบว่าตู้แช่ผักขึ้นสามารถลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส มาที่ 4 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ลดความชื้นภายในตู้จาก 60 % RH มาอยู่ที่ 44.5 %RH มีค่าการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 50.5 วัตต์ และออกแบบขนาดระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ LOEP 10 % ได้ขนาดแผง 334.91 Wp และขนาดแบตเตอรี่ 509.18 Ah ผลการทดสอบตู้แช่ผักขึ้นต้นแบบโดยใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่จาก 25 องศาเซลเซียส มาที่ 4 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 40 นาที ลดความชื้นภายในตู้จาก 46.5 %RH มาอยู่ที่ 33 %RH ถึง 34 %RH ค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน 1108.95 Wh/day คิดเป็น 81.4 % ของกำลังไฟฟ้าใช้งานสูงสุด ทำให้ระบบตู้แช่ผักขึ้นเทอร์โมอิเล็กทริกต้นแบบสามารถลดอุณหภูมิให้อยู่ในระดับใช้เก็บรักษาผักขึ้น (0 – 8 องศาเซลเซียส) ได้

เด่นพงศ์ สังขวาสิ (2538 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของตู้เย็นและแนวทางการปรับปรุงเพื่อประหยัดพลังงานพบว่า การใช้พลังงานของตู้เย็นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทำความเย็นเพิ่ม และภาระทำความเย็นจะเกิดจากความร้อนเข้าสู่ผนังภายใน 59 % ความร้อนจากโคมกัณฑ์ 39 % และความร้อนจากการเปิดประตูตู้เย็น 2 % การปรับปรุงโดยเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนจาก 3.5 เซนติเมตรเป็น 6 เซนติเมตร ทำให้ลดการใช้ไฟฟ้าลง 25 %

ประเสริฐ วิโรจน์ชีวิน (2538 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากครีบริบายเครื่องยนตรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ระหว่างกระบอกสูบเอียงกับกระบอกสูบนอน 0 องศาพบว่า การติดตั้งครีบริบายขนานกับทิศทางการไหลของอากาศที่ปะทะกับตัวเครื่องยนตรถจักรยานยนต์ที่ตัวเครื่องยนตรถและฐานครีบริบายจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าในขณะความเร็วรอบเท่ากันเนื่องจากอากาศสามารถระบายความร้อนออกจากตัวเครื่องยนตรถได้มากกว่า ทำให้ชิ้นส่วนสึกหรอน้อย

เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพมากกว่าและอายุการใช้งานนานกว่า

ศรภา จันธิกุล (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการผลิตกุนเชียงปลาจากปลาดุกอุยเทศและการเก็บรักษาพบว่า กุนเชียงปลาดุกอุยที่บรรจุในสภาพบรรยากาศ  $60\% \text{CO}_2 + 40\% \text{N}_2$  และอุณหภูมิที่  $4 - 6^\circ\text{C}$  มีอายุการเก็บนานกว่า 91 วัน และเก็บในสภาพบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 63 วัน นานกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศหรืออุณหภูมิห้อง ซึ่งเก็บได้เพียง 28 วัน ส่วนการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิห้องเก็บได้เพียง 4 วัน

สาธิต หมาณเส้น (2542 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ภาวะที่เกิดจากความชื้นภายในห้องปรับอากาศที่มีห้องน้ำภายในพบว่า ทั้งสองอุณหภูมิที่ทำการทดลองระดับความชื้นภายในห้องน้ำแบบจำลองที่ 3 มีระดับความชื้นที่สูงสุด รองลงมาคือแบบจำลองที่ 2 , 4 และ 1 ตามลำดับ จากการศึกษาภาวะความชื้นจากแบบจำลองที่ 2 เป็นแบบที่มีผลภาวะการปรับอากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากความชื้นสามารถรั่วไหลเข้ามาในห้องปรับอากาศ เนื่องจากความชื้นสามารถรั่วเข้ามาภายในห้องโดยผ่านช่องระบายอากาศบริเวณประตูห้องน้ำ ส่วนในแบบจำลองที่ 1 และ 4 ความชื้นภายในห้องจะลดลง เนื่องจากพัดลมดูดอากาศภายในห้องนำดูดไปทิ้งภายนอกห้อง

จากผลการทดลองทั้ง 2 อุณหภูมิพบว่า การใช้พลังงานด้วยคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบจำลองที่ 1 มีการใช้พลังงานมากที่สุด และแบบจำลองที่ 4 , 2 และ 3 ตามลำดับ

วัลลภ สำราญบำรุง (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนพลาสติค โดยวิธีพ่นสเปรย์น้ำเป็นหมอก เพื่อเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนเป็นผลให้อุณหภูมิลดต่ำลง จากการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างและทดสอบสมรรถนะในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน ผลการทดสอบเมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่พ่นสเปรย์เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และ 27 องศาเซลเซียส พบว่า ในกรณีที่ไม่มีภาระระบายอากาศภายในโรงเรือนลดลง 3 - 6 องศาเซลเซียส และ 8 - 11 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่มีการระบายอากาศอุณหภูมิในโรงเรือนลดลงจาก 53.5 องศาเซลเซียสเหลือเพียง 27.5 องศาเซลเซียส โดยที่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น 13 % เมื่ออัตราการระบายอากาศ  $1.125 \text{ m}^3/\text{s}$  ผลการเปรียบเทียบการจำลองค่าของข้อมูลการทดสอบพบว่ามีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิสูงสุด 2 % และค่าความชื้น 3 % สรุปได้ว่าการพ่นสเปรย์น้ำเป็นหมอกเป็นวิธีการที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ และสามารถทำนายค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้วิจัยมานี้

#### งานวิจัยภายนอกประเทศ

บีน (Goldsmlid , H J. 1986 : 199 ; citing Bean. 1962 : *Industrial Electron* : 132) ได้ทำการศึกษาเรื่องการนำโมดูลไฟฟ้าพลังความร้อนแบบ 12 คู่ ใช้ทำความเย็นในตู้แช่ทางการแพทย์ (Medical Cold Box) โดยใช้กระแสไฟฟ้า 9 แอมแปร์ที่แรงดันไฟฟ้า 1.8 โวลท์ พื้นที่ทำความเย็นมีปริมาตร  $230 \times 100 \text{ mm}^3$ . โดยทำความเย็นที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$  จากอุณหภูมิปกติที่  $27^\circ\text{C}$  พบว่า อุณหภูมิจะลดลงเป็นส่วนมาก (90%) ใช้เวลาประมาณ 80 นาที หลังจากเปิดสวิทช์ โดยใช้กล่องตู้แช่เป็นตัวระบายความร้อน

มัลโควาติ (Malcovati. 1997 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษารองรับการเชื่อมโยงอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้าพลังความร้อนในอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ (Complementary Metal - Oxide Semiconductor) โดยวิจัยออกแบบวงจรเชื่อมโยงลงในอุปกรณ์ตรวจจับทางไฟฟ้าพลังความร้อน โดยลงอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน 3 แบบคือ อุปกรณ์ตรวจจับอินฟราเรด อุปกรณ์ตรวจจับกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ หรือตัวแปลงผันทางความร้อน (Thermal Converter) และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Multisensor for Heating) การระบายอากาศและปรับอากาศ

(HVAC) ในวงจรรวมใช้หลักการรวมสัญญาณแบบซิกมา – เดลต้า สัญญาณขาออกเป็นดิจิทัลแบบสัดส่วน ใช้งานได้ทั้ง 3 ส่วน มีอำนาจจำแนกที่  $0.2\%/^{\circ}\text{C}$  , ความชื้นสัมพัทธ์ 1 % และ 0.01 m/s ตามลำดับ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยได้ศึกษาถึงหลักการเบื้องต้นของความชื้น คุณสมบัติของความชื้น การเกิดความชื้น การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น การลดและการเพิ่มความชื้นภายในห้องทดลอง อุปกรณ์การวัดค่าความชื้น อุปกรณ์การสร้างความชื้น ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของความชื้น เช่น ไฮโครเมตริกชาร์ท เอ็นทอลปี ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง วิธีการวัดค่าความชื้น การลดและการเพิ่มความชื้น อุปกรณ์ที่เป็นตัวสร้างความชื้นเช่น ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ คอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์ อีแวนพอเรเตอร์ สารทำความเย็น ประโยชน์การนำไปใช้งาน ทำให้ทราบแนวคิด วิธีการและข้อบกพร่องต่างๆ และนำมาปรับปรุงพัฒนาออกแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพควบคุมความชื้นได้ 40-60 % RH ที่ 15-30 องศาเซลเซียส มีค่าความความชื้นแปรปรวน  $\pm 5\% \text{RH}$

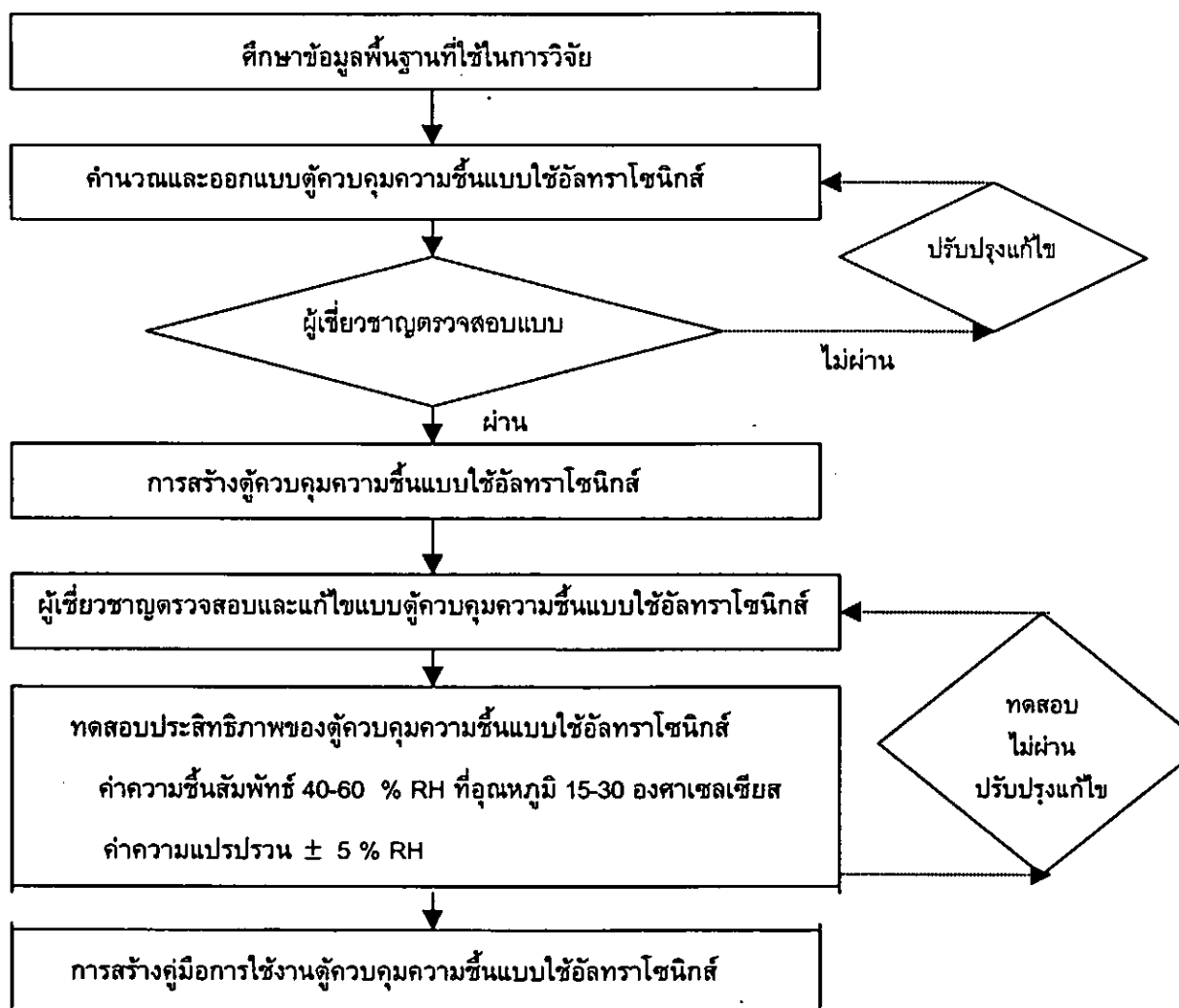
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาดำเนินการทดลอง การออกแบบและการสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย
2. คำนวณและออกแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
4. กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้สร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
5. การสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
6. ทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
7. การวิเคราะห์ข้อมูล

สามารถเขียนเป็นขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้



ภาพประกอบ 32 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

## 1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

1.1 ศึกษาค้นคว้า ตำราและงานทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ การสร้างและพัฒนา ตู้ควบคุม อุณหภูมิและความชื้น

1.2 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ควบคุมความชื้นเพื่อจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ ที่เหมาะสมมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์เพื่อทดสอบการทำงาน

## 2. คำนวณและออกแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

2.1 การคำนวณหาขนาดความเพรสเซอร์

2.1.1 สารทำความเย็นที่ใช้ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน

2.1.2 คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติก (Hermetic) R-134 A 220 โวลท์ 1 เฟส 1450 รอบ ต่อนาที (R.P.M.)

2.1.3 ภาระทางความร้อนในการลดความชื้นจะประกอบไปด้วย

ความร้อนสัมผัส (sensible heat process-heating or coling)

$$\text{สูตร } Q_s = m_a^0 (h_b - h_a)$$

การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40 % RH อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส อ่านแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังนี้  
เอนทัลปีจำเพาะของอากาศ ( $h_b$ ) = 58 kJ/kg Dry Air (ที่  $T_{db} = 30$  องศาเซลเซียส, 40 % RH)

อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศในการลดอุณหภูมิ ที่  $T_{db} = 30$  องศาเซลเซียส, 40 % RH เปอร์เซนต์ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเอนทัลปีจำเพาะของอากาศ ( $h_a$ ) = 42.2 kJ/kg Dry Air

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า } Q_s &= 0.0859 \text{ kg/s} \times (58 - 42.2) \text{ kJ/kg} \\ &= 1.357 \text{ kJ/s, kW.}\end{aligned}$$

ความร้อนแฝง (latent heat process)

$$\text{สูตร } Q_L = m_a^0 (h_c - h_b)$$

การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60 % RH อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส อ่านแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังนี้  
เอนทัลปีจำเพาะของอากาศ ( $h_c$ ) = 72 kJ/kg Dry Air (ที่  $T_{db} = 30$  องศาเซลเซียส, 60 % RH)

อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศในการลดอุณหภูมิ ที่  $T_{db} = 30$  องศาเซลเซียส, 60 % RH มีค่าเอนทัลปีจำเพาะของอากาศ ( $h_b$ ) = 58 kJ/kg Dry Air

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า } Q_L &= 0.0859 \text{ kg/s} \times (72 - 58) \text{ kJ/kg} \\ &= 1.2026 \text{ kJ/s, kW.}\end{aligned}$$

ความร้อนรวม (total heat process)  $Q_T = Q_s + Q_L$

$$\begin{aligned}&= 1.357 \text{ kJ/s} + 1.2026 \text{ kJ/s} \\ &= 2.56 \text{ kW.}\end{aligned}$$

ความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 2.56 kW. ใช้คอมเพรสเซอร์ 1/8 แรงม้า 220 โวลท์ 1 เฟส

2.2 การคำนวณหาขนาดของคอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ = ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ (kW) + กำลังที่ให้กับมอเตอร์ (kW)

ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ = 1.45 kW.

กำลังที่ให้กับมอเตอร์ = 0.66 kW.

$$\text{แทนค่า} = 2.11 \text{ kW.}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทประมาณ (Q}_{\text{cond}}) = 2.11 \text{ kW.}$$

### 2.3 การคำนวณหาขนาดของอีแวปอเรเตอร์

ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ที่เลือกใช้ = 1450 วัตต์

ความสามารถของอีแวปอเรเตอร์ที่ต้องการใช้งาน (Q<sub>EVAP</sub>) = 1450 วัตต์

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) = 39.89 W/m<sup>2</sup> องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของอากาศผ่านเข้าอีแวปอเรเตอร์โดยประมาณ (Te) = 30 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์ที่ต้องการ (TL) = 15 องศาเซลเซียส (ที่ DB = 30 องศาเซลเซียส, 40 % RH)

อุณหภูมิของสารทำความเย็นในท่อ (Tr) = +12 องศาเซลเซียส จากความสามารถของคอมเพรสเซอร์ โดยมีค่าการใช้งานระหว่าง 0- +12 องศาเซลเซียส

$$\text{สูตร} \quad TD = \frac{(T_e - T_r) - (T_L - T_r)}{\frac{\ln(T_e - T_r)}{(T_L - T_r)}}$$

$$TD = \frac{(30 - 12) - (15 - 12)}{\frac{\ln(30 - 12)}{(15 - 12)}}$$

$$TD = 8.37 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{แทนค่า } Q_{\text{evap}} = A \cdot U \cdot TD$$

$$A = Q/U \cdot TD$$

$$A = \frac{1450}{39.89 \times 8.37}$$

$$A = 4.34 \text{ m}^2 \text{ (พื้นที่ที่ต้องการเป็นอย่างน้อย)}$$

### 2.4 การคำนวณหาขนาดของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

กำหนดขนาดของตู้ให้ตู้มีขนาด กว้างxลึกxสูง ภายนอก 730x460x535 มิลลิเมตร ภายในขนาด 447x316x455 มีความจุ 60 ลิตร หรือ 2.27 คิวบิกฟุต ทำด้วยสังกะสีเคลือบสีหนา 1.5 มิลลิเมตร พับขึ้นรูป

#### 2.5 การคำนวณหาความหนาของฉนวนกันความร้อนของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

การเลือกฉนวน เป็นแผ่นใยแก้ว กำหนดให้อุณหภูมิภายใน 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศรอบๆ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % RH มีการแผ่รังสี E=0.5

คุณสมบัติของฉนวน สามารถตัด ประกอบ และติดตั้ง ด้านทานความเร็วอากาศได้ดีโดยปราศจากการขัดถู มีชั้นการแพร่กระจายเปลวไฟน้อยกว่า 25 มีสภาพเป็นเชื้อเพลิงไม่เกิน 50 มีการกระจายควันไม่เกิน 50 มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของอากาศประมาณ 0.021 สภาพนำความร้อนของฉนวนที่ 10°C ประมาณ 0.0346 W/m-K ใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงได้ (ตาราง ก้าวกลกรรม. 2537 : 196-197)

อุณหภูมิบรรยากาศระเปาะแห้ง  $25^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % RH จุดน้ำค้าง =  $14^{\circ}\text{C}$  (จากแผนภาพไซโครเมตริก) ได้อุณหภูมิพื้นผิว =  $14^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}\text{การแผ่รังสี ณ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ที่ } 25^{\circ}\text{C} &= \sigma T^4 \\ &= 5.67 \times 10^{-8} (25 + 273.15)^4 = 448 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{การแผ่รังสี ณ อุณหภูมิพื้นผิว } 14^{\circ}\text{C} = 385 \text{ W/m}^2$$

$$\text{การแผ่รังสีสุทธิ} = 448 - 385 = 63 \text{ W/m}^2$$

สภาพการดูดซึมรังสี ปัจจัยสภาพแผ่รังสีของพื้นผิว  $\epsilon = 0.5$

$$\text{การแผ่รังสีจริง} = 63 \times 0.5 = 31.5 \text{ W/m}^2$$

$$\text{อุณหภูมิกระเปาะแห้ง-อุณหภูมิพื้นผิว} = 25 - 14 = 11^{\circ}\text{C}$$

จาก  $Q/A = hc\Delta t$  ความร้อนที่ได้รับโดยการพาความร้อน

$$\text{เมื่อ } hc = 7.3 \text{ พื้นผิวด้านล่างได้ } 80.3 \text{ W/m}^2 + 31.5 \text{ W/m}^2 = 111.8 \text{ W/m}^2$$

$$\text{เมื่อ } hc = 4.6 \text{ พื้นผิวด้านข้างได้ } 50.6 \text{ W/m}^2 + 31.5 \text{ W/m}^2 = 82.1 \text{ W/m}^2$$

$$\text{เมื่อ } hc = 5.3 \text{ พื้นผิวด้านบนได้ } 58.3 \text{ W/m}^2 + 31.5 \text{ W/m}^2 = 89.8 \text{ W/m}^2$$

$$\text{อุณหภูมิใช้งาน คือ } 0^{\circ}\text{C} \text{ ดังนั้น } \Delta t = 14 - 0 = 14^{\circ}\text{C}$$

$$\text{สภาพต้านทานความร้อน } R = \Delta t/q$$

$$\text{สำหรับกรณีด้านล่าง} = 14/111.8 = 0.1252 \times 0.0346 = 0.00433$$

$$\text{สำหรับกรณีด้านล่าง} = 14/82.1 = 0.1705 \times 0.0346 = 0.00590$$

$$\text{สำหรับกรณีด้านล่าง} = 14/89.8 = 0.1559 \times 0.0346 = 0.00539$$

ควรรีไซคนวโนโยแกวมีความหนา 40 mm

## 2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและสร้าง

### 2.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

#### 2.6.1.1 เครื่องตรวจวงจรไฟฟ้าเพื่อใช้วัดแรงดันไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ

(DC/AC) ความต้านทาน ของวงจรไฟฟ้า

#### 2.6.1.2 เครื่องวัดความชื้นเป็นเครื่องที่ใช้วัดค่าความชื้นที่เกิดขึ้นภายในตู้ควบคุมความชื้น

#### 2.6.1.3 มีดตัดท่อหรือคัตเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับตัดท่อในระบบวงจรน้ำระบาย

ความร้อน

2.6.1.4 ริมเมอร์ใช้ปรับแต่งพื้นที่ผิวปากท่อ หลังจากที่ได้ตัดท่อไปแล้ว ปากท่อไม่เรียบ ก่อนที่จะนำไปใช้งานต้องปรับแต่งบริเวณปากท่อให้เรียบด้วยริมเมอร์

2.6.1.5 เครื่องมือบานแฟลร์ท้อ เป็นเครื่องมือที่ใช้บานแฟลร์ท้อทองแดงประกอบด้วย ตัวจับท้อทองแดง ซึ่งมีรูขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 1/4-5/8 นิ้ว เป็นชุดจับท้อให้แน่นใจขณะตอกหรือขันทำบานแฟลร์ ตัวขันหรือตอกเพื่อบานแฟลร์สามารถทำการบานแฟลร์ได้ทั้งชั้นเดียวหรือสองชั้นแล้วแต่งานที่จะนำไปใช้

2.6.1.6 เหล็กขยายท้อ เมื่อต้องการต่อท้อขนาดเดียวกันด้วยการเชื่อมประสานปากของท้อที่จะเอามาต่อกันนั้น จะต้องขยายด้านใดด้านหนึ่งให้โตพอที่จะนำปากท้ออันที่ไม่ได้ขยายใส่เข้าไปได้พอดี ซึ่งในครั้งนี้จะต้องใช้เหล็กขยายท้อ

2.6.1.7 เครื่องมือตัดท่อ เพื่อให้การตัดท่อเป็นไปตามที่ต้องการโดยไม่เกิดความเสียหายแก่ท่อ จะต้องใช้เครื่องมือตัดท่อ เพื่อใช้ในการตัดท่อทุกครั้ง เครื่องมือตัดท่อมักมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน และสามารถตัดท่อให้อยู่ในรูปและมุมมองต่าง ๆ กันอีกด้วย

2.6.1.8 ไขควงทดสอบไฟ ใช้สำหรับขึ้นและตรวจสอบว่าจุดใดจุดหนึ่งในระบบวงจรไฟฟ้า นั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่หรือไม่ ทำให้ทราบถึงอันตรายที่จะเกิดและเพิ่มความระมัดระวังให้มากขึ้น ในขณะปฏิบัติงาน

2.6.1.9 ไขควงชุด เป็นแบบที่สามารถเปลี่ยนปากได้โดยใช้ด้ามอันเดียวกัน

2.6.1.10 ค้อน เป็นเครื่องมือช่างทั่วไปใช้สำหรับตอกอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.6.1.11 สว่านไฟฟ้า เป็นเครื่องมือไฟฟ้าที่ใช้จับดอกสว่านขนาดต่าง ๆ เพื่อเจาะงาน เพื่อยึดหรือประกอบส่วนต่าง ๆ ด้วยสกรูกันนอต

2.6.1.12 ชุดดอกสว่าน เป็นดอกเจาะโลหะที่ใช้เจาะงานโลหะต่าง ๆ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน เป็นการเลือกใช้งานเพื่อความสะดวกในการเลือกใช้ขนาดต่างได้สะดวกในการเจาะ

2.6.1.13 เลื่อยเหล็ก เป็นเครื่องมือที่ใช้ตัดโลหะต่าง ๆ ตามที่ต้องการ

2.6.1.14 ชุดตะไบ เป็นเครื่องมือที่ใช้ตกแต่งโลหะให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ

2.6.1.15 คีมตัด เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตัดสายไฟฟ้า

2.6.1.16 คีมปากจิ้งจก เป็นเครื่องมือที่ใช้จับเป็นคีมที่มีปากยาวสามารถคิบบหรือจับงานในที่ลึก ๆ แขน ๆ มีทั้งปากแบนและปากแหลม

2.6.1.17 คีมย้ำ ใช้ย้ำแฉงหรือแท่นเครื่องให้ยึดติดกันแน่น

2.6.1.18 หัวแรงบัดกรี ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ

2.6.2 วัสดุที่ใช้ในการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

2.6.2.1 ตะกั่วบัดกรี

2.6.2.2 แผ่นปริ้น (Printed Circuit Board)

2.6.2.3 สายไฟ

2.6.2.4 เทปพันสายไฟ

2.6.2.5 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในการประกอบแผ่นปริ้นเช่นตาไก่ แท่นพลาสติกกรองแผ่นปริ้น ป้องกันการช็อต (Short Circuit) ท่อหด ทางปลา

2.6.2.6 แผ่นพลาสติกใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ ฟิวส์ หลอดไฟ สัญญาณ สวิตช์

2.6.2.7 ท่อน้ำใช้สำหรับให้น้ำไหลผ่านลงกระบอกควบคุมลูกลอย

2.6.2.8 ท่อ PCV ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาวขนาด 7 นิ้ว ใช้สำหรับควบคุมระดับน้ำ ที่ใส่หัวอัลตราโซนิกส์และสายอ่อนซิลิโคนทนความร้อนยาวขนาด 15 นิ้ว

2.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

2.6.3.1 คอมเพรสเซอร์แบบฮีโรเมติก(Hermetic) เทคมเซ่ ขนาด 1/8 แรงม้า 105วัตต์ ใช้แรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 Hz 1450 รอบต่อนาที (R.P.M)

2.6.3.2 คอนเดนเซอร์ แบบ Wire Type

2.6.3.3 อีแวปโปเรเตอร์ แบบ Fin & Tube Type

2.6.3.4 สารทำความเย็นที่ใช้ R-134 A

2.6.3.5 พัฒนาระบายอากาศ ขนาด 120x120x26 mm.การระบายลม 93 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ใช้ประกอบชุดแผ่นระบายความร้อน เพื่อช่วยดูดความร้อนภายในตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.6 ชุดถังเก็บน้ำขนาดความจุ 3.7 ลิตร ทำด้วยพลาสติก ใช้ประกอบกับโซลินอยล์เพื่อควบคุมระดับน้ำไหลเข้าผ่านมายังอัลตราโซนิกส์เพื่อทำการสร้างความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.7 พัฒนาระบายความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้น ขนาด 120x120x26 mm. ใช้ 1500 รอบต่อนาที แรงดัน 220 โวลต์ อัตราการกระจายความชื้น 93 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ใช้ติดตั้งภายในตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.8 โซลินอยล์วาล์ว ใช้แรงดันขนาด 220 โวลต์ 50 Hz 5 mA ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในถังน้ำผ่านมายังชุดอัลตราโซนิกส์เข้าสู่ตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.9 ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์ 30 แอมแปร์ แบบสวิตช์ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดกำเนิดความชื้นแบบอัลตราโซนิกส์

2.6.3.10 ลิ้มิตสวิตช์ ใช้แรงดันขนาด 220 โวลต์ ชนิดลากลอยแบบติดตั้งด้านข้าง OLH-3 แบบลากลอย AB-9449 ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการทำงานของโซลินอยล์ในการปล่อยน้ำจากถังน้ำ

2.6.3.11 ตัวควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบสัดส่วนเวลาป้อนกลับ(PID CONTROL) ใช้แรงดัน 220 โวลต์ 4-20 mA 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้น โดยการปรับตั้งค่าและรับสัญญาณจากตัวแปลงสัญญาณค่าความชื้นมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วอ่านค่ามาเป็นค่าความชื้น

2.6.3.12 ตัวเซ็นเซอร์ความชื้น 1 ชุด 2 OUTPUT ใช้สัญญาณ 4-20mA ทำหน้าที่ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นมายังตัวแปลงสัญญาณเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น ชนิด กรงนก มีค่าที่วัดอุณหภูมิได้ 0-100 ° C และวัดค่าความชื้นได้ 0-100 % RH

2.6.3.13 ตู้สังกะสีเคลือบสี ขนาด 535x460x730 mm.ภายในขนาด 455x316x447 mm.มีความจุ 60 ลิตร โดยใช้ฉนวนกันระหว่างภายนอกกับภายในชนิด Cyclopentane มีความหนาของฉนวน 40 mm.

2.6.3.14 ตัวควบคุมอุณหภูมิ(เทอร์โมสตาร์ท) ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ชนิดหน้าสัมผัส ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.15 ชุดสร้างความชื้นอัลตราโซนิกส์ ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์ ขนาดความถี่ 1.2 MHz เพิ่มความชื้น 70% ต่อพื้นที่ 4 ลูกบาศก์เมตร MODEL NO.AA-2024 20 W สามารถผลิตความชื้นได้สูงสุด 100 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ทำหน้าที่สร้างความชื้นเข้าสู่ภายในตู้ควบคุมความชื้นโดยอาศัยหลักการคลื่นความถี่ทำให้น้ำแตกตัวเป็นละอองไอน้ำหรือความชื้น

2.6.3.16 ฮีตเตอร์ชนิดแท่ง ขนาด 200 W 2 แท่ง ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ควบคุมความชื้นให้อุณหภูมิคงที่

2.6.3.17 หลอดไฟแสดงสัญญาณการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว เช่น คอมเพรสเซอร์ อัลตราโซนิกส์ ฮีตเตอร์ โซลินอยล์วาล์ว ขนาด 220 โวลต์ จำนวน 4 หลอด

2.6.3.18 โซลิสเตสเรลย์ ใช้ขนาด 24-240 โวลต์ ยี่ห้อ OMRON G3NA-210B 10 แอมป์ ใช้ในการควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

2.6.3.19 สวิตช์ ขนาด 220 โวลต์ 10 แอมป์ 1 ตัวใช้สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดของระบบไฟฟ้าในตู้ควบคุมความชื้น

2.6.3.20 ฟิวส์ ขนาด 220 โวลต์ 10 แอมป์ ใช้สำหรับควบคุมระบบไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนที่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรไหลมากเกินไปฟิวส์จะทำหน้าที่ตัดวงจรทั้งหมด

### 3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีน

หลังจากออกแบบขนาดของตู้ วัสดุและอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข (ภาคผนวก ข)

### 4. กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้สร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้ บริษัท บี.พี.เมโทรโลยี จำกัด เลขที่ 17/148 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 เป็นสถานที่ทำการศึกษาทดลอง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการทดลอง ตุลาคม 2546 - เมษายน 2547

### 5. การสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีน

การสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนเพื่อการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ดำเนินการสร้างและสั่งซื้อส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ควบคุมความชื้นมาประกอบเข้าด้วยกันโดยมีลำดับขั้นดังนี้

5.1 สั่งซื้อ วัสดุ อุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ตามแบบ (ภาคผนวก จ)

5.2 ประกอบอุปกรณ์ ชุดคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อีวัปอเรเตอร์ ตัวเซ็นเซอร์วัดความชื้น ลิมิทสวิตช์ ชุดอัลตราโซนิกสกรีน แท็งค์น้ำ โซลินอยล์วาล์ว ตัวควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุมความชื้นแบบสัดส่วน เวลาป้อนกลับ ชุดพัดลมกระจายความชื้น เข้ากับตู้ควบคุมความชื้น ฮีทเตอร์ ฟิวส์ สวิตช์ ปิด-เปิด หลอดไฟ สัญญาณแสดงการทำงาน สายไฟฟ้า โซลิสเตอเรลย์

5.3 เชื่อมต่อสายที่เป็นวงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้น

5.4 ทดลองการทำงานของตู้ควบคุมความชื้นหาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงแก้ไข

### 6. ทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนตามมาตรฐาน

#### ASTM E337 (Method B)

หลังจากที่ได้สร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนมาแล้ว ทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องการทำงานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีน (ภาคผนวก ฉ)

6.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์สามารถปรับค่าความชื้นได้ตั้งแต่ 40-60 % RH ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ความแปรปรวน  $\pm 5$  % RH โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนที่ถูกวัดต้องอยู่ในที่ร่ม และมีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส

6.2 ประสิทธิภาพและค่าความแปรปรวนจากค่าปรับตั้งค่าความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีนโดยการทดสอบ

6.3 การบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสกรีน

## 7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์จะวิเคราะห์จากระดับความชื้นสัมพัทธ์ (% RH) ที่ปรับตั้งภายในตู้ควบคุมความชื้นโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing And Materials) E 337 (Method B)

7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเหมาะสมในด้านการใช้งานโดยนำแบบประเมินผลมาดำเนินการวิเคราะห์ความเหมาะสมของอุปกรณ์ควบคุมความชื้นด้วยวิธีทางสถิติดังนี้

7.2.1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านความเหมาะสมด้านการใช้งาน

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| มากที่สุด  | 5 | คะแนน |
| มาก        | 4 | คะแนน |
| ปานกลาง    | 3 | คะแนน |
| น้อย       | 2 | คะแนน |
| น้อยที่สุด | 1 | คะแนน |

7.2.2 นำคะแนนที่ได้คำนวณ

7.2.2.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

7.2.2.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

7.2.3 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตาราง 10 เกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ

| คะแนนเฉลี่ยระหว่าง | แปลความ                             |
|--------------------|-------------------------------------|
| 4.51-5.00          | ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก        |
| 3.51-4.50          | ผลการประเมินอยู่ในระดับดี           |
| 2.51-3.50          | ผลการประเมินอยู่ในระดับดีพอใช้      |
| 1.51-2.50          | ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง |
| 1.00-1.50          | ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้    |

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อหาประสิทธิภาพควบคุมความชื้นและความเหมาะสมด้านการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญ คือ

1. ค่าเฉลี่ยใช้สูตร (ลัวัน และ อังคณา สายยศ.2538 : 73)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ  $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ย  
 $\sum x$  คือ ผลรวมของความชื้นทั้งหมด  
 $n$  คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบ

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตร (ล้วน และอังคณา สายยศ.2538 : 79)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความขึ้น

X คือ ข้อมูลความขึ้นแต่ละครั้งในการทดสอบ

$\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยความขึ้น

n คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบ

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาค้นคว้าเรื่องการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษารายละเอียดการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่มีอยู่ในปัจจุบัน และรวบรวมข้อมูล อุปกรณ์ต่างๆ กำหนดวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้าง กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการสร้าง ทดสอบ และแก้ไขปรับปรุงการทำงานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น ทดสอบวัดจริงต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง และบันทึกผลเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society of Testing And Materials) E 337 (Method B) และสามารถนำผลการทดลองที่ได้เกี่ยวกับการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ และนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

1. ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 40% RH, 15 °C @ 50 % RH ,15 °C @ 60 % RH,25 °C @ 40 % RH,25 °C @ 50 % RH,25 °C @ 60%RH และ 30 °C @ 40 % RH, 30 °C @ 50 % RH,30 °C @ 60 % RH ตามรายละเอียดดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 11 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 40% RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 13.14           | 15.93              | 15.88 | 8.08  | 26.56     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 13.15           | 16.00              | 15.94 | 8.19  | 26.55     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.16           | 16.11              | 16.04 | 8.26  | 26.45     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 13.17           | 16.20              | 16.15 | 8.37  | 26.40     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 13.18           | 16.28              | 16.27 | 8.49  | 26.44     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 13.19           | 16.37              | 16.32 | 8.59  | 26.44     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.20           | 16.45              | 16.39 | 8.68  | 26.45     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.21           | 16.52              | 16.53 | 8.76  | 26.50     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.22           | 16.61              | 16.60 | 8.84  | 26.51     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.23           | 16.68              | 16.62 | 8.92  | 26.41     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.24           | 16.76              | 16.71 | 8.99  | 26.20     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.25           | 16.82              | 16.80 | 9.07  | 26.45     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.26           | 16.86              | 16.85 | 9.18  | 26.23     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.27           | 16.92              | 16.90 | 9.19  | 26.45     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.28           | 16.95              | 16.92 | 9.24  | 26.15     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.29           | 16.97              | 16.96 | 9.27  | 26.50     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.30           | 17.00              | 17.01 | 9.29  | 26.45     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.31           | 17.02              | 16.94 | 9.26  | 26.45     | 34                   |

ตาราง 11 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 13.32           | 17.03              | 16.92 | 9.26  | 26.40     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.33           | 17.03              | 16.95 | 9.23  | 26.31     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.34           | 16.99              | 16.91 | 9.20  | 26.47     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.35           | 17.00              | 16.93 | 9.23  | 26.54     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.36           | 16.98              | 16.86 | 9.13  | 26.60     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.37           | 16.94              | 16.84 | 9.09  | 26.47     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.38           | 16.90              | 16.80 | 9.06  | 26.48     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.39           | 16.87              | 16.74 | 8.98  | 26.28     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 13.40           | 16.83              | 16.76 | 8.93  | 26.45     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 13.41           | 16.77              | 16.67 | 8.85  | 26.48     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 13.42           | 16.72              | 16.57 | 8.78  | 26.51     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 13.43           | 16.68              | 16.52 | 8.71  | 26.53     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 13.44           | 16.59              | 16.45 | 8.66  | 26.37     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 13.45           | 16.51              | 16.35 | 8.60  | 26.64     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.46           | 16.46              | 16.29 | 8.56  | 26.62     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.47           | 16.41              | 16.26 | 8.49  | 26.45     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.48           | 16.32              | 16.21 | 8.45  | 26.54     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.49           | 16.25              | 16.10 | 8.38  | 26.23     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.50           | 16.19              | 16.04 | 8.32  | 26.36     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.51           | 16.12              | 15.97 | 8.26  | 26.32     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.52           | 16.04              | 15.87 | 8.18  | 26.41     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.53           | 15.96              | 15.86 | 8.13  | 26.21     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.54           | 15.89              | 15.73 | 8.06  | 26.26     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.55           | 15.83              | 15.73 | 8.01  | 26.29     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.56           | 15.73              | 15.62 | 7.93  | 26.34     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.57           | 15.68              | 15.55 | 7.88  | 26.37     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 13.58           | 15.62              | 15.52 | 7.81  | 26.39     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 13.59           | 15.56              | 15.48 | 7.76  | 26.59     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.00           | 15.49              | 15.39 | 7.70  | 26.76     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 14.01           | 15.44              | 15.30 | 7.64  | 26.74     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 14.02           | 15.39              | 15.26 | 7.59  | 26.65     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 14.03           | 15.36              | 15.27 | 7.57  | 26.81     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.04           | 15.30              | 15.19 | 7.50  | 26.78     | 29                   |

ตาราง 11 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 14.05           | 15.30              | 15.19 | 7.49  | 26.74     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.06           | 15.33              | 15.19 | 7.44  | 26.75     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.07           | 15.31              | 15.20 | 7.47  | 26.80     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.08           | 15.32              | 15.20 | 7.45  | 26.47     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.09           | 15.34              | 15.25 | 7.46  | 26.35     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.10           | 15.37              | 15.26 | 7.44  | 26.45     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.11           | 15.40              | 15.35 | 7.51  | 26.22     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.12           | 15.44              | 15.33 | 7.51  | 26.24     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 14.13           | 15.48              | 15.35 | 7.55  | 26.25     | 29                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 16.23              | 16.13 | 8.40  | 26.46     | 32                   |

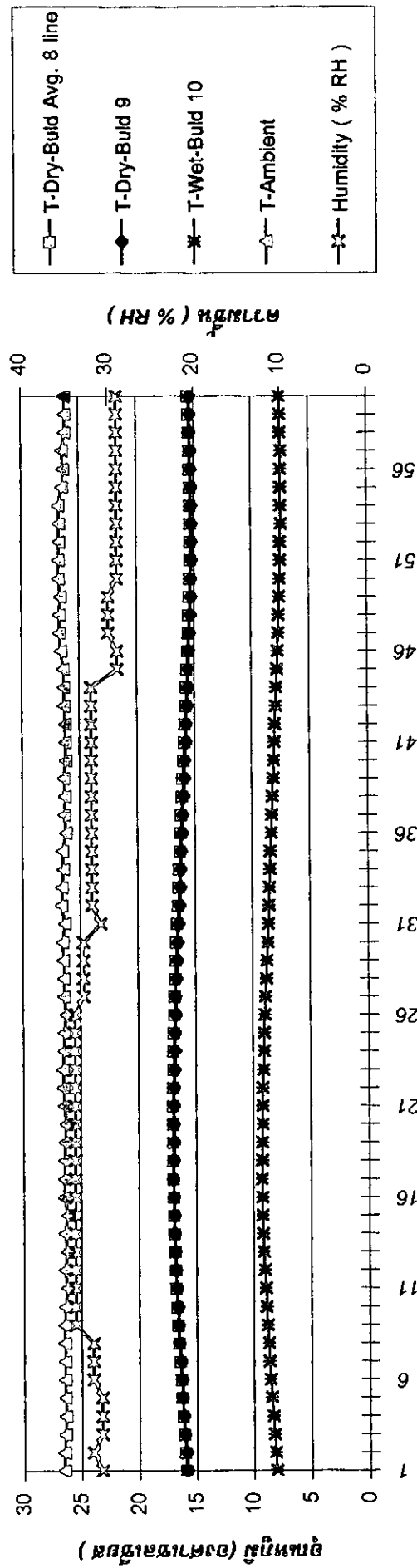
หมายเหตุ                      Td 9            หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
                                         Tw 10        หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
                                         T-Ambient   หมายถึง อุณหภูมิภายนอก

ตาราง 12 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 40 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 16.13                                                 | 8.40                                                   | 7.73                | 32 % RH                | ±2.50 %RH          | +8 %RH             |

จากตาราง 12 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 16.13 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 8.40 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 7.73 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 32 % RH มีค่าความแปรปรวน ± 2.50 % RH มีค่าความผิดพลาด + 8 % RH

# การวัดค่าความชื้น ที่ 15 องศาเซลเซียส @ 40 % RH



ภาพประกอบ 33 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 15 องศาเซลเซียส @ 40 % RH

ตาราง 13 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 50% RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 17.17           | 16.09              | 16.49 | 8.55  | 26.30     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.18           | 16.13              | 16.58 | 8.57  | 26.34     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.19           | 16.19              | 16.64 | 8.58  | 26.35     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.20           | 16.25              | 16.68 | 8.58  | 26.41     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.21           | 16.33              | 16.75 | 8.57  | 26.31     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.22           | 16.41              | 16.84 | 8.60  | 26.21     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.23           | 16.50              | 16.88 | 8.64  | 26.19     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.24           | 16.58              | 16.97 | 8.67  | 26.20     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 17.25           | 16.65              | 17.02 | 8.69  | 26.31     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 17.26           | 16.74              | 17.13 | 8.76  | 26.34     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.27           | 16.80              | 17.17 | 8.80  | 26.25     | 29                   |
| 14 เมษายน 2547 17.28           | 16.88              | 17.17 | 8.79  | 26.36     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.29           | 16.97              | 17.31 | 8.87  | 26.23     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.30           | 17.06              | 17.31 | 8.88  | 26.35     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.31           | 17.10              | 17.36 | 8.93  | 26.34     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.32           | 17.18              | 17.46 | 9.00  | 26.21     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.33           | 17.22              | 17.53 | 9.01  | 26.31     | 28                   |
| 14 เมษายน 2547 17.34           | 17.26              | 17.55 | 9.04  | 26.34     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.35           | 17.33              | 17.60 | 9.12  | 26.31     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.36           | 17.35              | 17.61 | 9.14  | 26.35     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.37           | 17.37              | 17.66 | 9.20  | 26.36     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.38           | 17.39              | 17.65 | 9.26  | 26.28     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.39           | 17.40              | 17.60 | 9.27  | 26.29     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.40           | 17.42              | 17.60 | 9.27  | 26.31     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.41           | 17.41              | 17.66 | 9.27  | 26.24     | 30                   |
| 14 เมษายน 2547 17.42           | 17.37              | 17.58 | 9.32  | 26.26     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.43           | 17.37              | 17.60 | 9.39  | 26.27     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 17.44           | 17.34              | 17.55 | 9.40  | 26.21     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 17.45           | 17.30              | 17.57 | 9.41  | 26.20     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 17.46           | 17.26              | 17.48 | 9.44  | 26.31     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.47           | 17.23              | 17.46 | 9.46  | 26.35     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.48           | 17.20              | 17.47 | 9.44  | 26.30     | 31                   |

ตาราง 13 (ต่อ)

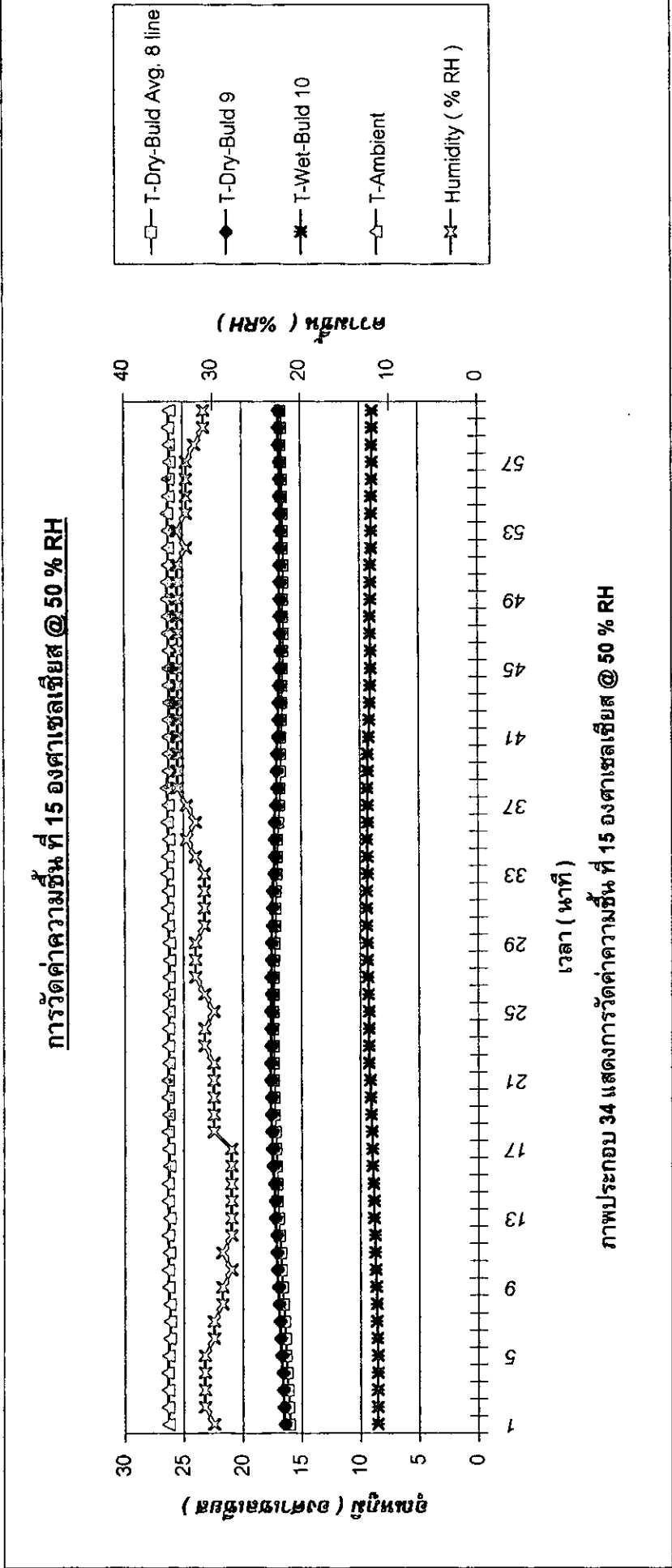
| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 17.49           | 17.13              | 17.36 | 9.39  | 26.38     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 17.50           | 17.07              | 17.30 | 9.42  | 26.34     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 17.51           | 17.05              | 17.29 | 9.44  | 26.24     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 17.52           | 17.00              | 17.30 | 9.39  | 26.39     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 17.53           | 16.89              | 17.17 | 9.35  | 26.31     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 17.54           | 16.85              | 17.09 | 9.40  | 26.45     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 17.55           | 16.82              | 17.10 | 9.36  | 26.28     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 17.56           | 16.79              | 17.08 | 9.35  | 26.24     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 17.57           | 16.76              | 16.99 | 9.27  | 26.26     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 17.58           | 16.71              | 16.92 | 9.23  | 26.28     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 17.59           | 16.67              | 16.94 | 9.21  | 26.23     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.00           | 16.64              | 16.90 | 9.15  | 26.28     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.01           | 16.63              | 16.85 | 9.12  | 26.24     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.02           | 16.56              | 16.74 | 9.10  | 26.21     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.03           | 16.55              | 16.81 | 9.14  | 26.30     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.04           | 16.55              | 16.81 | 9.13  | 26.31     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.05           | 16.56              | 16.78 | 9.09  | 26.35     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.06           | 16.55              | 16.78 | 9.08  | 26.34     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.07           | 16.55              | 16.80 | 9.08  | 26.27     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.08           | 16.55              | 16.79 | 9.03  | 26.26     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 18.09           | 16.57              | 16.75 | 9.03  | 26.24     | 34                   |
| 14 เมษายน 2547 18.10           | 16.60              | 16.82 | 9.01  | 26.35     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 18.11           | 16.61              | 16.84 | 8.99  | 26.21     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 18.12           | 16.62              | 16.80 | 8.95  | 26.20     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 18.13           | 16.65              | 16.80 | 8.94  | 26.14     | 33                   |
| 14 เมษายน 2547 18.14           | 16.69              | 16.91 | 8.96  | 26.15     | 32                   |
| 14 เมษายน 2547 18.15           | 16.68              | 16.89 | 8.93  | 26.21     | 31                   |
| 14 เมษายน 2547 18.16           | 16.73              | 16.90 | 8.93  | 26.12     | 31                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 16.85              | 17.12 | 9.07  | 26.28     | 31                   |

หมายเหตุ

Td 9 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

Tw 10 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก

T-Ambient หมายถึง อุณหภูมิภายนอก



ตาราง 14 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 50 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------------|
| 17.12                                                 | 9.07                                                   | 8.05                | 31 % RH                | ± 3 %RH            | +19 %RH        |

จากตาราง 14 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 17.12 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 9.07 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 8.05 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 31 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 3 % RH มีค่าความผิดพลาด + 19 %RH

ตาราง 15 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 60% RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 21.25           | 16.72              | 16.86 | 10.18 | 26.14     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.26           | 16.71              | 16.85 | 10.19 | 26.10     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.27           | 16.71              | 16.83 | 10.19 | 26.00     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.28           | 16.70              | 16.81 | 10.17 | 26.15     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.29           | 16.73              | 16.86 | 10.19 | 26.18     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.30           | 16.75              | 16.87 | 10.19 | 26.10     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.31           | 16.71              | 16.82 | 10.19 | 26.20     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.32           | 16.72              | 16.83 | 10.20 | 26.21     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.33           | 16.73              | 16.90 | 10.22 | 26.24     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.34           | 16.73              | 16.86 | 10.19 | 26.27     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.35           | 16.68              | 16.79 | 10.21 | 26.16     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.36           | 16.71              | 16.85 | 10.23 | 26.15     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.37           | 16.74              | 16.90 | 10.23 | 26.21     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.38           | 16.72              | 16.88 | 10.21 | 26.24     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.39           | 16.71              | 16.85 | 10.23 | 26.26     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.40           | 16.73              | 16.90 | 10.22 | 26.21     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.41           | 16.72              | 16.90 | 10.18 | 26.20     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.42           | 16.71              | 16.85 | 10.20 | 26.19     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.43           | 16.69              | 16.84 | 10.19 | 26.14     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.44           | 16.71              | 16.83 | 10.17 | 26.18     | 41                   |

ตาราง 15 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 21.45           | 16.74              | 16.89 | 10.17 | 26.15     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.46           | 16.72              | 16.88 | 10.17 | 26.13     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.47           | 16.73              | 16.92 | 10.15 | 26.09     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 21.48           | 16.74              | 16.89 | 10.13 | 26.14     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 21.49           | 16.68              | 16.83 | 10.16 | 26.20     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.50           | 16.64              | 16.77 | 10.19 | 26.13     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.51           | 16.68              | 16.83 | 10.20 | 26.10     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.52           | 16.70              | 16.83 | 10.20 | 26.17     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.53           | 16.65              | 16.79 | 10.20 | 26.24     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.54           | 16.67              | 16.81 | 10.23 | 26.13     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.55           | 16.68              | 16.85 | 10.23 | 26.24     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.56           | 16.70              | 16.90 | 10.20 | 26.28     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 21.57           | 16.69              | 16.82 | 10.18 | 26.21     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.58           | 16.69              | 16.80 | 10.18 | 26.15     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 21.59           | 16.70              | 16.86 | 10.17 | 26.20     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.00           | 16.72              | 16.86 | 10.16 | 26.19     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.01           | 16.69              | 16.81 | 10.17 | 26.14     | 42                   |
| 14 เมษายน 2547 22.02           | 16.71              | 16.85 | 10.17 | 26.12     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.03           | 16.73              | 16.88 | 10.18 | 26.24     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.04           | 16.72              | 16.86 | 10.16 | 26.24     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.05           | 16.73              | 16.88 | 10.18 | 26.26     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.06           | 16.75              | 16.91 | 10.15 | 26.17     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.07           | 16.77              | 16.90 | 10.15 | 26.11     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.08           | 16.77              | 16.88 | 10.14 | 26.13     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.09           | 16.75              | 16.88 | 10.17 | 26.19     | 41                   |
| 14 เมษายน 2547 22.10           | 16.78              | 16.90 | 10.13 | 26.15     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.11           | 16.79              | 16.96 | 10.18 | 26.11     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.12           | 16.78              | 16.92 | 10.16 | 26.10     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.13           | 16.78              | 16.93 | 10.14 | 26.19     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.14           | 16.79              | 16.92 | 10.12 | 26.09     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.15           | 16.80              | 16.95 | 10.16 | 26.23     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.16           | 16.78              | 16.91 | 10.13 | 26.24     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.17           | 16.79              | 16.95 | 10.12 | 26.15     | 40                   |

ตาราง 15 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 14 เมษายน 2547 22.18           | 16.78              | 16.97 | 10.12 | 26.20     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.19           | 16.77              | 16.93 | 10.14 | 26.26     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.20           | 16.77              | 16.90 | 10.13 | 26.18     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.21           | 16.75              | 16.90 | 10.11 | 26.16     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.22           | 16.75              | 16.91 | 10.13 | 26.15     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.23           | 16.74              | 16.92 | 10.16 | 26.17     | 40                   |
| 14 เมษายน 2547 22.24           | 16.74              | 16.89 | 10.14 | 26.14     | 40                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 16.73              | 16.87 | 10.17 | 26.17     | 41                   |

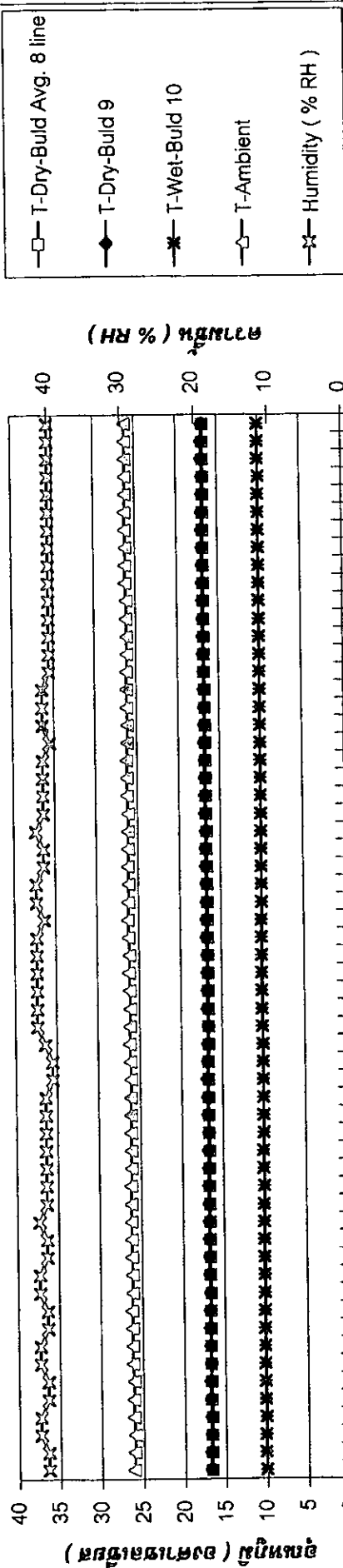
หมายเหตุ                      Td 9            หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
                                          Tw 10        หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
                                          T-Ambient    หมายถึง อุณหภูมิภายนอก

ตาราง 16 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 60 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------------|
| 16.87                                                 | 10.17                                                  | 6.70                | 41 % RH                | ± 1 %RH            | +19 %RH        |

จากตาราง 16 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 16.87 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 10.17 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 6.70 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 41 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1 % RH และมีค่าความผิดพลาด + 19 % RH

# การวัดค่าความชื้น ที่ 15 องศาเซลเซียส @ 60 % RH



ภาพประกอบ 35 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 15 องศาเซลเซียส 60 % RH

ตาราง 17 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 40 % RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 14.05           | 25.84              | 25.69 | 16.55 | 26.26     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.06           | 25.80              | 25.63 | 16.52 | 26.24     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.07           | 25.79              | 25.61 | 16.55 | 26.21     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.08           | 25.76              | 25.59 | 16.53 | 26.30     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.09           | 25.74              | 25.55 | 16.52 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.10           | 25.72              | 25.51 | 16.43 | 26.34     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.11           | 25.69              | 25.49 | 16.39 | 26.35     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.12           | 25.64              | 25.37 | 16.33 | 26.37     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.13           | 25.60              | 25.38 | 16.40 | 26.33     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.14           | 25.59              | 25.38 | 16.38 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.15           | 25.55              | 25.31 | 16.32 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.16           | 25.51              | 25.25 | 16.29 | 26.32     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.17           | 25.50              | 25.22 | 16.28 | 26.37     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.18           | 25.47              | 25.16 | 16.23 | 26.25     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.19           | 25.45              | 25.22 | 16.24 | 26.28     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.20           | 25.42              | 25.15 | 16.18 | 26.24     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.21           | 25.38              | 25.08 | 16.14 | 26.34     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.22           | 25.37              | 25.09 | 16.09 | 26.33     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.23           | 25.34              | 25.12 | 16.09 | 26.37     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.24           | 25.30              | 25.02 | 16.05 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.25           | 25.29              | 24.97 | 16.02 | 26.38     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 14.26           | 25.30              | 25.06 | 16.04 | 26.35     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.27           | 25.30              | 25.05 | 16.04 | 26.30     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.28           | 25.27              | 25.01 | 15.99 | 26.28     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.29           | 25.27              | 25.01 | 15.96 | 26.29     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.30           | 25.26              | 25.06 | 16.00 | 26.27     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.31           | 25.27              | 25.04 | 16.01 | 26.25     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.32           | 25.27              | 25.02 | 16.01 | 26.34     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.33           | 25.30              | 25.07 | 16.00 | 26.34     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.34           | 25.29              | 25.13 | 16.03 | 26.37     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.35           | 25.32              | 25.14 | 16.07 | 26.35     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.36           | 25.33              | 25.14 | 16.05 | 26.24     | 37                   |

ตาราง 17 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 14.37           | 25.37              | 25.21 | 16.07 | 26.21     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.38           | 25.38              | 25.25 | 16.09 | 26.23     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.39           | 25.41              | 25.24 | 16.09 | 26.22     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.40           | 25.43              | 25.26 | 16.09 | 26.25     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.41           | 25.48              | 25.35 | 16.11 | 26.24     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.42           | 25.50              | 25.39 | 16.12 | 26.24     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.43           | 25.53              | 25.40 | 16.14 | 26.29     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.44           | 25.56              | 25.42 | 16.15 | 26.27     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.45           | 25.59              | 25.46 | 16.19 | 26.26     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.46           | 25.62              | 25.54 | 16.22 | 26.24     | 36                   |
| 13 เมษายน 2547 14.47           | 25.65              | 25.54 | 16.25 | 26.23     | 36                   |
| 13 เมษายน 2547 14.48           | 25.66              | 25.57 | 16.27 | 26.21     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.49           | 25.70              | 25.59 | 16.28 | 26.20     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.50           | 25.71              | 25.62 | 16.36 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.51           | 25.74              | 25.60 | 16.37 | 26.29     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.52           | 25.76              | 25.71 | 16.44 | 26.28     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.53           | 25.77              | 25.68 | 16.42 | 26.31     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.54           | 25.78              | 25.65 | 16.39 | 26.29     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.55           | 25.81              | 25.67 | 16.43 | 26.20     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.56           | 25.82              | 25.72 | 16.42 | 26.11     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.57           | 25.78              | 25.63 | 16.44 | 26.10     | 38                   |
| 13 เมษายน 2547 14.58           | 25.82              | 25.85 | 16.49 | 26.09     | 37                   |
| 13 เมษายน 2547 14.59           | 25.80              | 25.61 | 16.52 | 26.27     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 15.00           | 25.80              | 25.63 | 16.51 | 26.28     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 15.01           | 25.78              | 25.60 | 16.51 | 26.22     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 15.02           | 25.79              | 25.55 | 16.49 | 26.23     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 15.03           | 25.78              | 25.55 | 16.46 | 26.21     | 39                   |
| 13 เมษายน 2547 15.04           | 25.77              | 25.55 | 16.45 | 26.24     | 39                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 25.56              | 25.37 | 16.26 | 26.32     | 37                   |

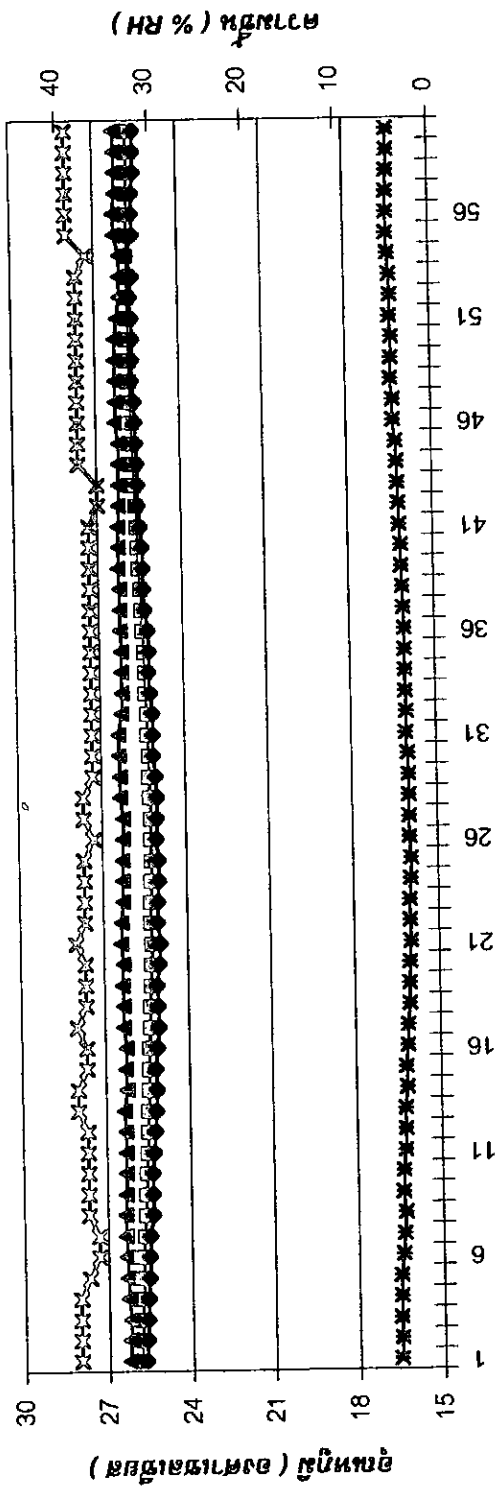
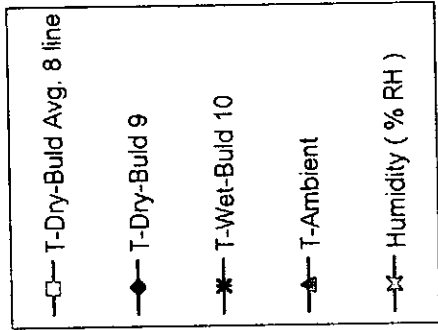
หมายเหตุ

Td 9 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

Tw 10 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก

T-Ambient หมายถึง อุณหภูมิภายนอก

การวัดค่าความชื้น ที่ 25 องศาเซลเซียส @ 40 % RH



เวลา ( นาที )  
 ภาพประกอบ 36 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 25 องศาเซลเซียส @ 40 % RH

ตาราง 18 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 40 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.37                                                 | 16.26                                                  | 9.11                | 37% RH                 | ±1.00 %RH          | +3 %RH             |

จากตาราง 18 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 25.37 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 16.26 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 9.11 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 37 %RH มีค่าความแปรปรวน  $\pm 1$  % RH มีค่าความผิดพลาด + 3 %RH

ตาราง 19 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 50 % RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 18.11           | 24.76              | 24.69 | 18.23 | 26.30     | 54                   |
| 13 เมษายน 2547 18.12           | 24.84              | 24.74 | 18.19 | 26.24     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.13           | 24.80              | 24.67 | 18.10 | 26.28     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.14           | 24.77              | 24.67 | 18.18 | 26.26     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.15           | 24.86              | 24.82 | 18.17 | 26.27     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.16           | 24.90              | 24.78 | 18.10 | 26.28     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.17           | 24.79              | 24.60 | 18.15 | 26.24     | 54                   |
| 13 เมษายน 2547 18.18           | 24.92              | 24.92 | 18.17 | 26.30     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.19           | 25.03              | 24.98 | 18.11 | 26.34     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.20           | 24.93              | 24.74 | 18.12 | 26.36     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.21           | 25.05              | 24.91 | 18.23 | 26.21     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.22           | 25.14              | 25.06 | 18.25 | 26.24     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.23           | 25.11              | 24.99 | 18.34 | 26.35     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.24           | 25.15              | 24.98 | 18.32 | 26.26     | 53                   |
| 13 เมษายน 2547 18.25           | 25.25              | 25.14 | 18.26 | 26.31     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.26           | 25.24              | 25.06 | 18.25 | 26.25     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.27           | 25.25              | 24.97 | 18.24 | 26.28     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.28           | 25.32              | 25.13 | 18.26 | 26.29     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.29           | 25.32              | 25.17 | 18.22 | 26.24     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.30           | 25.27              | 25.09 | 18.30 | 26.21     | 52                   |

ตาราง 19 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 18.31           | 25.36              | 25.33 | 18.31 | 26.31     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.32           | 25.38              | 25.28 | 18.24 | 26.25     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.33           | 25.26              | 25.07 | 18.28 | 26.28     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.34           | 25.34              | 25.21 | 18.30 | 26.33     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.35           | 25.42              | 25.25 | 18.27 | 26.31     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.36           | 25.31              | 25.17 | 18.28 | 26.39     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.37           | 25.34              | 25.22 | 18.34 | 26.32     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.38           | 25.41              | 25.34 | 18.35 | 26.34     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.39           | 25.40              | 25.23 | 18.29 | 26.37     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.40           | 25.35              | 25.20 | 18.35 | 26.35     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.41           | 25.40              | 25.32 | 18.38 | 26.34     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.42           | 25.42              | 25.31 | 18.30 | 26.31     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.43           | 25.28              | 25.05 | 18.31 | 26.30     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.44           | 25.35              | 25.18 | 18.35 | 26.31     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.45           | 25.41              | 25.29 | 18.37 | 26.35     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.46           | 25.27              | 25.03 | 18.29 | 26.38     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 18.47           | 25.31              | 25.09 | 18.21 | 26.34     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.48           | 25.37              | 25.32 | 18.31 | 26.29     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.49           | 25.31              | 25.25 | 18.25 | 26.31     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.50           | 25.26              | 25.11 | 18.31 | 26.38     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.51           | 25.34              | 25.28 | 18.30 | 26.37     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.52           | 25.34              | 25.23 | 18.22 | 26.31     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.53           | 25.26              | 25.06 | 18.25 | 26.34     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.54           | 25.35              | 25.11 | 18.28 | 26.26     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.55           | 25.36              | 25.20 | 18.22 | 26.24     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.56           | 25.26              | 25.09 | 18.23 | 26.27     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.57           | 25.34              | 25.20 | 18.26 | 26.26     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 18.58           | 25.36              | 25.23 | 18.23 | 26.21     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 18.59           | 25.25              | 24.96 | 18.22 | 26.23     | 52                   |
| 13 เมษายน 2547 19.00           | 25.32              | 25.15 | 18.26 | 26.27     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 19.01           | 25.36              | 25.19 | 18.19 | 26.21     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 19.02           | 25.25              | 24.97 | 18.18 | 26.23     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 19.03           | 25.32              | 25.23 | 18.25 | 26.19     | 50                   |

ตาราง 19 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 19.04           | 25.39              | 25.28 | 18.18 | 26.24     | 49                   |
| 13 เมษายน 2547 19.05           | 25.28              | 25.10 | 18.17 | 26.23     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 19.06           | 25.33              | 25.16 | 18.20 | 26.21     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 19.07           | 25.36              | 25.23 | 18.16 | 26.20     | 49                   |
| 13 เมษายน 2547 19.08           | 25.27              | 25.05 | 18.19 | 26.16     | 51                   |
| 13 เมษายน 2547 19.09           | 25.35              | 25.16 | 18.16 | 26.28     | 50                   |
| 13 เมษายน 2547 19.10           | 25.32              | 25.17 | 18.20 | 26.21     | 50                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 25.24              | 25.09 | 18.24 | 26.28     | 51                   |

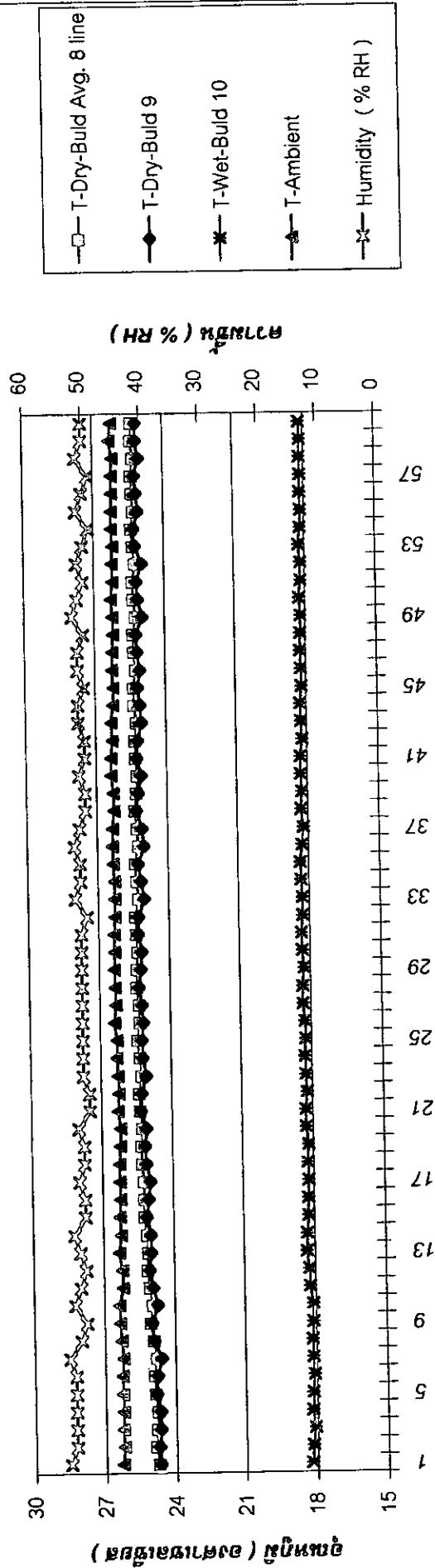
หมายเหตุ                      Td 9        หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
                                         Tw 10        หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
                                         T-Ambient    หมายถึง    อุณหภูมิภายนอก

ตาราง 20    สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 50 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.09                                                 | 18.24                                                  | 6.85                | 51% RH                 | ±2.50 %RH          | −1 %RH             |

จากตาราง 20    สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 25.09 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 18.24 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 6.85 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 51 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1 % RH มีค่าความผิดพลาด −1 % RH

# การวัดค่าความชื้นที่ 25 องศาเซลเซียส @ 50 % RH



ภาพประกอบ 37 แสดงการวัดค่าความชื้นที่ 25 องศาเซลเซียส @ 50 % RH

ตาราง 21 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 60 % RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 22.24           | 25.60              | 25.29 | 19.50 | 26.13     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 22.25           | 25.54              | 25.20 | 19.51 | 26.14     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 22.26           | 25.59              | 25.40 | 19.50 | 26.24     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 22.27           | 25.40              | 25.13 | 19.52 | 26.15     | 59                   |
| 13 เมษายน 2547 22.28           | 25.36              | 25.08 | 19.53 | 26.20     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.29           | 25.41              | 25.24 | 19.51 | 26.23     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 22.30           | 25.19              | 24.82 | 19.54 | 26.09     | 62                   |
| 13 เมษายน 2547 22.31           | 25.19              | 24.94 | 19.54 | 26.20     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.32           | 25.26              | 25.09 | 19.64 | 26.23     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.33           | 25.11              | 24.78 | 19.56 | 26.21     | 62                   |
| 13 เมษายน 2547 22.34           | 25.12              | 24.85 | 19.54 | 26.24     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.35           | 25.19              | 25.06 | 19.52 | 26.20     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.36           | 25.07              | 24.76 | 19.55 | 26.23     | 62                   |
| 13 เมษายน 2547 22.37           | 25.12              | 24.83 | 19.47 | 26.25     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.38           | 25.23              | 25.06 | 19.43 | 26.26     | 59                   |
| 13 เมษายน 2547 22.39           | 25.13              | 24.91 | 19.52 | 26.29     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.40           | 25.12              | 24.90 | 19.53 | 26.24     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.41           | 25.17              | 25.00 | 19.51 | 26.23     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.42           | 25.00              | 24.66 | 19.50 | 26.21     | 62                   |
| 13 เมษายน 2547 22.43           | 25.09              | 24.87 | 19.51 | 26.31     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.44           | 25.16              | 25.00 | 19.53 | 26.30     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.45           | 25.03              | 24.70 | 19.52 | 26.28     | 62                   |
| 13 เมษายน 2547 22.46           | 25.14              | 24.94 | 19.54 | 26.24     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.47           | 25.22              | 25.06 | 19.54 | 26.21     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.48           | 25.13              | 24.80 | 19.50 | 26.22     | 61                   |
| 13 เมษายน 2547 22.49           | 25.28              | 25.10 | 19.52 | 26.23     | 59                   |
| 13 เมษายน 2547 22.50           | 25.40              | 25.25 | 19.50 | 26.27     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 22.51           | 25.37              | 25.09 | 19.51 | 26.30     | 60                   |
| 13 เมษายน 2547 22.52           | 25.49              | 25.27 | 19.53 | 26.24     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 22.53           | 25.63              | 25.48 | 19.54 | 26.28     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 22.54           | 25.63              | 25.41 | 19.50 | 26.25     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 22.55           | 25.77              | 25.63 | 19.52 | 26.21     | 57                   |

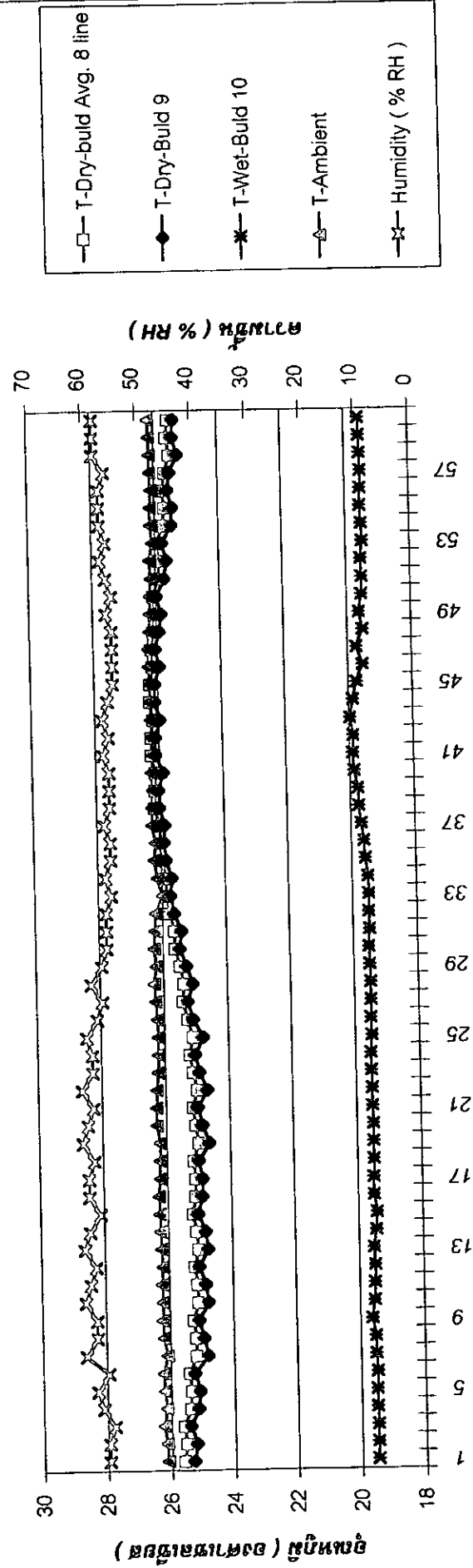
ตาราง 21 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 13 เมษายน 2547 22.56           | 25.86              | 25.74 | 19.51 | 26.00     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 22.57           | 25.86              | 25.69 | 19.53 | 26.14     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 22.58           | 25.98              | 25.86 | 19.60 | 26.24     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 22.59           | 26.03              | 25.91 | 19.63 | 26.18     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.00           | 26.05              | 25.87 | 19.70 | 26.29     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.01           | 26.18              | 26.02 | 19.76 | 26.27     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.02           | 26.17              | 26.05 | 19.78 | 26.24     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.03           | 26.14              | 25.90 | 19.89 | 26.26     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.04           | 26.25              | 26.11 | 19.91 | 26.19     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.05           | 26.25              | 26.11 | 19.90 | 26.24     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.06           | 26.19              | 25.96 | 19.99 | 26.25     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.07           | 26.27              | 26.12 | 19.89 | 26.27     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.08           | 26.26              | 26.10 | 19.76 | 26.25     | 55                   |
| 13 เมษายน 2547 23.09           | 26.16              | 25.94 | 19.56 | 26.28     | 55                   |
| 13 เมษายน 2547 23.10           | 26.19              | 26.07 | 19.75 | 26.29     | 55                   |
| 13 เมษายน 2547 23.11           | 26.12              | 25.92 | 19.54 | 26.24     | 55                   |
| 13 เมษายน 2547 23.12           | 26.07              | 25.86 | 19.64 | 26.21     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.13           | 26.10              | 26.00 | 19.56 | 26.20     | 55                   |
| 13 เมษายน 2547 23.14           | 25.93              | 25.74 | 19.54 | 26.16     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.15           | 25.90              | 25.66 | 19.56 | 26.20     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.16           | 25.95              | 25.79 | 19.50 | 26.09     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.17           | 25.77              | 25.48 | 19.52 | 26.14     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.18           | 25.69              | 25.45 | 19.55 | 26.15     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.19           | 25.76              | 25.58 | 19.54 | 26.12     | 57                   |
| 13 เมษายน 2547 23.20           | 25.68              | 25.51 | 19.52 | 26.14     | 56                   |
| 13 เมษายน 2547 23.21           | 25.52              | 25.26 | 19.54 | 26.15     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 23.22           | 25.60              | 25.42 | 19.55 | 26.16     | 58                   |
| 13 เมษายน 2547 23.23           | 25.54              | 25.37 | 19.57 | 26.18     | 58                   |
| เฉลี่ย                         | 25.61              | 25.40 | 19.58 | 26.26     | 58                   |

หมายเหตุ

Td 9 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
Tw 10 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
T-Ambient หมายถึง อุณหภูมิภายนอก

การวัดค่าความชื้น ที่ 25 องศาเซลเซียส @ 60 % RH



ภาพประกอบ 38 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 25 องศาเซลเซียส @ 60 % RH

ตาราง 22 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 60 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.40                                                 | 19.58                                                  | 5.82                | 58 % RH                | ±3.50 %RH          | +2 %RH             |

จากตาราง 22 สรุปผลการทดสอบวัตถุอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 25.40องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 19.52 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 5.82 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 58 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 3.50 % RH และมีค่าความผิดพลาด + 2 % RH

ตาราง 23 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 40% RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 15.10           | 30.02              | 30.25 | 20.24 | 26.15     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.11           | 30.04              | 30.21 | 20.24 | 26.10     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.12           | 30.07              | 30.24 | 20.26 | 26.25     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.13           | 30.09              | 30.28 | 20.26 | 26.24     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.14           | 30.11              | 30.29 | 20.29 | 26.24     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.15           | 30.12              | 30.26 | 20.30 | 26.00     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.16           | 30.14              | 30.33 | 20.37 | 26.18     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.17           | 30.14              | 30.33 | 20.33 | 26.20     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.18           | 30.16              | 30.34 | 20.38 | 26.15     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.19           | 30.15              | 30.31 | 20.37 | 26.26     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.20           | 30.16              | 30.31 | 20.38 | 26.27     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.21           | 30.17              | 30.33 | 20.36 | 26.29     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.22           | 30.15              | 30.26 | 20.34 | 26.30     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.23           | 30.16              | 30.22 | 20.32 | 26.41     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.24           | 30.17              | 30.31 | 20.34 | 26.39     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.25           | 30.12              | 30.23 | 20.34 | 26.35     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 15.26           | 30.14              | 30.17 | 20.33 | 26.37     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.27           | 30.14              | 30.20 | 20.38 | 26.25     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.28           | 30.15              | 30.27 | 20.44 | 26.24     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.29           | 30.14              | 30.24 | 20.39 | 26.39     | 40                   |

ตาราง 23 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 15.30           | 30.08              | 30.08 | 20.31 | 26.35     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.31           | 30.06              | 30.09 | 20.34 | 26.34     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.32           | 30.05              | 30.10 | 20.34 | 26.21     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.33           | 30.02              | 30.02 | 20.31 | 26.29     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.34           | 30.02              | 30.00 | 20.29 | 26.34     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.35           | 30.01              | 29.99 | 20.24 | 26.40     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.36           | 29.99              | 29.99 | 20.23 | 26.41     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.37           | 29.93              | 29.93 | 20.21 | 26.51     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.38           | 29.94              | 29.95 | 20.23 | 26.45     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.39           | 29.93              | 29.94 | 20.20 | 26.45     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.40           | 29.90              | 29.91 | 20.17 | 26.43     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.41           | 29.86              | 29.84 | 20.17 | 26.40     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.42           | 29.88              | 29.82 | 20.17 | 26.39     | 41                   |
| 15 เมษายน 2547 15.43           | 29.87              | 29.86 | 20.15 | 26.35     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.44           | 29.83              | 29.83 | 20.14 | 26.30     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.45           | 29.81              | 29.81 | 20.14 | 26.24     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.46           | 29.83              | 29.80 | 20.12 | 26.25     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.47           | 29.83              | 29.81 | 20.06 | 26.23     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.48           | 29.81              | 29.80 | 20.08 | 26.28     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.49           | 29.82              | 29.80 | 20.10 | 26.26     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.50           | 29.84              | 29.86 | 20.10 | 26.24     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.51           | 29.82              | 29.84 | 20.09 | 26.21     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.52           | 29.84              | 29.90 | 20.14 | 26.20     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.53           | 29.84              | 29.84 | 20.11 | 26.32     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.54           | 29.86              | 29.91 | 20.11 | 26.31     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.55           | 29.88              | 29.93 | 20.10 | 26.34     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.56           | 29.88              | 29.93 | 20.12 | 26.38     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.57           | 29.89              | 29.93 | 20.13 | 26.40     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.58           | 29.90              | 29.96 | 20.09 | 26.24     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 15.59           | 29.93              | 29.98 | 20.12 | 26.21     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 16.00           | 29.94              | 30.00 | 20.12 | 26.28     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 16.01           | 29.95              | 30.01 | 20.15 | 26.27     | 40                   |
| 15 เมษายน 2547 16.02           | 29.96              | 30.05 | 20.14 | 26.27     | 39                   |

ตาราง 23 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 16.03           | 29.98              | 30.06 | 20.15 | 26.24     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.04           | 30.00              | 30.07 | 20.18 | 26.18     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.05           | 30.01              | 30.07 | 20.16 | 26.20     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.06           | 30.03              | 30.13 | 20.18 | 26.21     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.07           | 30.05              | 30.15 | 20.19 | 26.24     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.08           | 30.05              | 30.15 | 20.17 | 26.28     | 39                   |
| 15 เมษายน 2547 16.09           | 30.03              | 30.09 | 20.17 | 26.26     | 39                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 29.99              | 30.06 | 20.22 | 26.29     | 40                   |

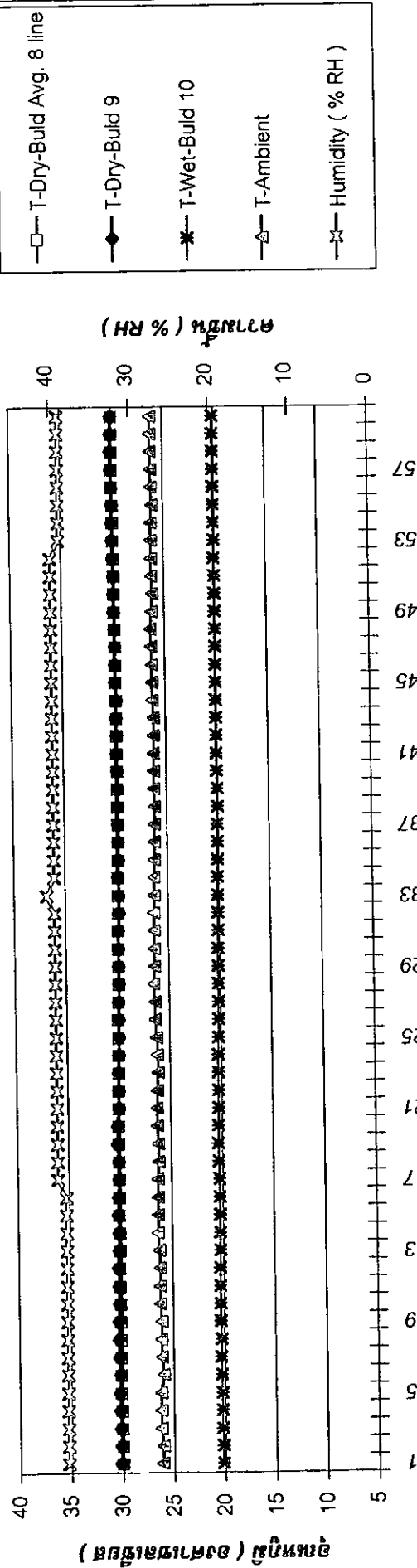
หมายเหตุ                      Td 9        หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
                                         Tw 10      หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
                                         T-Ambient    หมายถึง    อุณหภูมิภายนอก

ตาราง 24    สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 40 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 30.06                                                 | 20.22                                                  | 9.84                | 40% RH                 | ± 1 %RH            | 0 %RH              |

จากตาราง 24 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 30.06 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 20.22 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 9.84 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 40 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1 % RH ไม่มีความผิดพลาด

การวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 40 % RH



ภาพประกอบ 39 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 40 % RH

ตาราง 25 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 50 % RH

| วันที่ / เวลา (น.)   | อุณหภูมิ | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|----------------------|----------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 19.20 |          | 29.64              | 29.21 | 21.39 | 26.34     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.21 |          | 29.73              | 29.35 | 21.36 | 26.32     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.22 |          | 29.63              | 29.24 | 21.34 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.23 |          | 29.69              | 29.34 | 21.43 | 26.30     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.24 |          | 29.78              | 29.45 | 21.39 | 26.33     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.25 |          | 29.72              | 29.35 | 21.37 | 26.24     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.26 |          | 29.82              | 29.54 | 21.43 | 26.20     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.27 |          | 29.85              | 29.47 | 21.38 | 26.25     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.28 |          | 29.78              | 29.32 | 21.41 | 26.24     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.29 |          | 29.89              | 29.56 | 21.43 | 26.26     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.30 |          | 29.90              | 29.61 | 21.38 | 26.27     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.31 |          | 29.88              | 29.60 | 21.45 | 26.28     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.32 |          | 29.95              | 29.60 | 21.46 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.33 |          | 29.94              | 29.63 | 21.42 | 26.35     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.34 |          | 29.91              | 29.54 | 21.49 | 26.29     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.35 |          | 30.01              | 29.68 | 21.49 | 26.34     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.36 |          | 29.86              | 29.46 | 21.46 | 26.25     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.37 |          | 29.94              | 29.65 | 21.56 | 26.31     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.38 |          | 30.01              | 29.78 | 21.52 | 26.30     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.39 |          | 29.89              | 29.46 | 21.50 | 26.28     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.40 |          | 29.97              | 29.61 | 21.57 | 26.34     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.41 |          | 30.01              | 29.69 | 21.51 | 26.30     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.42 |          | 29.82              | 29.33 | 21.54 | 26.27     | 51                   |
| 15 เมษายน 2547 19.43 |          | 29.88              | 29.49 | 21.56 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.44 |          | 29.92              | 29.55 | 21.50 | 26.20     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.45 |          | 29.78              | 29.22 | 21.51 | 26.16     | 50                   |
| 15 เมษายน 2547 19.46 |          | 29.88              | 29.42 | 21.49 | 26.10     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.47 |          | 29.81              | 29.40 | 21.47 | 26.24     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.48 |          | 29.76              | 29.32 | 21.51 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.49 |          | 29.84              | 29.49 | 21.49 | 26.30     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.50 |          | 29.68              | 29.11 | 21.41 | 26.28     | 50                   |
| 15 เมษายน 2547 19.51 |          | 29.74              | 29.33 | 21.51 | 26.27     | 49                   |

ตาราง 25 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|-------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 19.52          | 29.82              | 29.51 | 21.46 | 26.31     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.53          | 29.69              | 29.27 | 21.42 | 26.29     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.54          | 29.78              | 29.46 | 21.46 | 26.34     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.55          | 29.85              | 29.53 | 21.39 | 26.21     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.56          | 29.66              | 29.20 | 21.42 | 26.23     | 50                   |
| 15 เมษายน 2547 19.57          | 29.75              | 29.40 | 21.48 | 26.25     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 19.58          | 29.82              | 29.50 | 21.40 | 26.28     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 19.59          | 29.68              | 29.28 | 21.41 | 26.24     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.00          | 29.77              | 29.45 | 21.43 | 26.23     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.01          | 29.73              | 29.33 | 21.33 | 26.20     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.02          | 29.67              | 29.25 | 21.41 | 26.24     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.03          | 29.77              | 29.47 | 21.39 | 26.26     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.04          | 29.65              | 29.16 | 21.36 | 26.28     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.05          | 29.71              | 29.31 | 21.46 | 26.20     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.06          | 29.80              | 29.42 | 21.39 | 26.18     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.07          | 29.68              | 29.24 | 21.35 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.08          | 29.74              | 29.34 | 21.41 | 26.13     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.09          | 29.82              | 29.47 | 21.35 | 26.15     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.10          | 29.68              | 29.16 | 21.36 | 26.20     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.11          | 29.77              | 29.49 | 21.44 | 26.23     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.12          | 29.82              | 29.52 | 21.38 | 26.24     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.13          | 29.69              | 29.20 | 21.38 | 26.17     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.14          | 29.80              | 29.45 | 21.41 | 26.15     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.15          | 29.72              | 29.27 | 21.34 | 26.27     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.16          | 29.71              | 29.29 | 21.46 | 26.23     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.17          | 29.83              | 29.47 | 21.41 | 26.20     | 48                   |
| 15 เมษายน 2547 20.18          | 29.72              | 29.31 | 21.39 | 26.21     | 49                   |
| 15 เมษายน 2547 20.19          | 29.72              | 29.34 | 21.44 | 26.25     | 49                   |
| ค่าเฉลี่ย                     | 29.80              | 29.41 | 21.43 | 26.30     | 48                   |

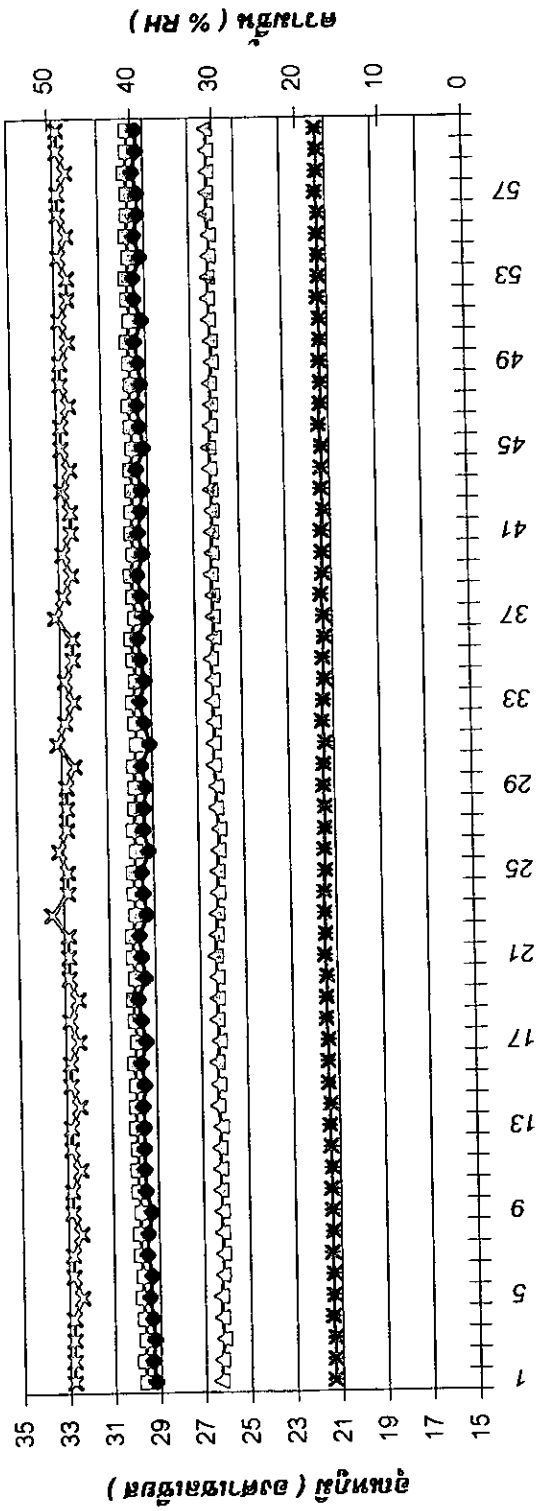
หมายเหตุ

Td 9 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

Tw 10 หมายถึง อุณหภูมิกระเปาะเปียก

T-Ambient หมายถึง อุณหภูมิภายนอก

การวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 50 % RH



ภาพประกอบ 40 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 50 % RH

ตาราง 26 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 50%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 29.41                                                 | 21.43                                                  | 7.98                | 48% RH                 | ±1.50 %RH          | + 2 %RH            |

จากตาราง 26 สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 29.41 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 21.43 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 7.98 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 48 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1.50 % RH และมีค่าความผิดพลาด + 2 % RH

ตาราง 27 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 60 % RH

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 11.49           | 30.01              | 29.80 | 22.84 | 26.54     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 11.50           | 29.42              | 28.77 | 22.85 | 26.52     | 60                   |
| 15 เมษายน 2547 11.51           | 29.46              | 29.12 | 22.76 | 26.57     | 58                   |
| 15 เมษายน 2547 11.52           | 29.21              | 28.86 | 22.48 | 26.50     | 58                   |
| 15 เมษายน 2547 11.53           | 28.71              | 28.05 | 22.50 | 26.53     | 62                   |
| 15 เมษายน 2547 11.54           | 28.78              | 28.45 | 22.31 | 26.49     | 58                   |
| 15 เมษายน 2547 11.55           | 28.37              | 27.79 | 22.23 | 26.57     | 62                   |
| 15 เมษายน 2547 11.56           | 28.33              | 27.86 | 22.22 | 26.56     | 61                   |
| 15 เมษายน 2547 11.57           | 28.34              | 27.98 | 22.10 | 26.54     | 60                   |
| 15 เมษายน 2547 11.58           | 28.00              | 27.33 | 22.21 | 26.61     | 64                   |
| 15 เมษายน 2547 11.59           | 28.24              | 27.92 | 22.23 | 26.62     | 61                   |
| 15 เมษายน 2547 12.00           | 28.02              | 27.42 | 22.24 | 26.64     | 64                   |
| 15 เมษายน 2547 12.01           | 28.03              | 27.57 | 22.25 | 26.56     | 63                   |
| 15 เมษายน 2547 12.02           | 28.23              | 28.01 | 22.22 | 26.54     | 61                   |
| 15 เมษายน 2547 12.03           | 28.00              | 27.32 | 22.26 | 26.55     | 64                   |
| 15 เมษายน 2547 12.04           | 28.29              | 27.97 | 22.24 | 26.57     | 60                   |
| 15 เมษายน 2547 12.05           | 28.27              | 27.86 | 22.21 | 26.56     | 61                   |
| 15 เมษายน 2547 12.06           | 28.25              | 27.75 | 22.19 | 26.58     | 62                   |
| 15 เมษายน 2547 12.07           | 28.56              | 28.31 | 22.10 | 26.60     | 58                   |
| 15 เมษายน 2547 12.08           | 28.45              | 28.07 | 22.08 | 26.59     | 60                   |

ตาราง 27 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 12.09           | 28.58              | 28.26 | 21.56 | 26.57     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.10           | 28.88              | 28.61 | 21.71 | 26.53     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.11           | 28.72              | 28.13 | 21.51 | 26.51     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.12           | 28.98              | 28.67 | 21.65 | 26.61     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.13           | 29.10              | 28.82 | 21.92 | 26.64     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.14           | 28.98              | 28.49 | 21.73 | 26.65     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.15           | 29.27              | 29.06 | 22.16 | 26.64     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.16           | 29.29              | 29.03 | 22.10 | 26.68     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.17           | 29.25              | 28.83 | 22.09 | 26.69     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.18           | 29.54              | 29.31 | 22.41 | 26.70     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.19           | 29.38              | 29.02 | 22.00 | 26.78     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.20           | 29.46              | 29.09 | 22.09 | 26.75     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.21           | 29.57              | 29.20 | 22.30 | 26.73     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.22           | 29.35              | 28.75 | 22.09 | 26.74     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.23           | 29.59              | 29.23 | 22.33 | 26.71     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.24           | 29.49              | 28.95 | 22.12 | 26.64     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.25           | 29.43              | 28.92 | 22.25 | 26.61     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.26           | 29.63              | 29.29 | 22.21 | 26.68     | 54                   |
| 15 เมษายน 2547 12.27           | 29.34              | 28.67 | 22.24 | 26.74     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.28           | 29.51              | 29.11 | 22.36 | 25.58     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.29           | 29.54              | 29.19 | 22.20 | 26.64     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.30           | 29.40              | 28.86 | 22.33 | 26.54     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.31           | 29.62              | 29.29 | 22.32 | 26.57     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.32           | 29.38              | 28.72 | 22.25 | 26.63     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.33           | 29.53              | 29.19 | 22.40 | 26.54     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.34           | 29.57              | 29.17 | 22.29 | 26.59     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.35           | 29.35              | 28.73 | 22.40 | 26.63     | 58                   |
| 15 เมษายน 2547 12.36           | 29.60              | 29.24 | 22.38 | 26.61     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.37           | 29.43              | 28.80 | 22.36 | 26.68     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.38           | 29.53              | 29.05 | 22.45 | 26.74     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.39           | 29.63              | 29.16 | 22.39 | 26.71     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.40           | 29.48              | 28.81 | 22.56 | 26.69     | 59                   |
| 15 เมษายน 2547 12.41           | 29.73              | 29.30 | 22.56 | 26.66     | 56                   |

ตาราง 27 (ต่อ)

| อุณหภูมิ<br>วันที่ / เวลา (น.) | Td เฉลี่ย<br>8 จุด | Td 9  | Tw 10 | T-Ambient | ค่าความชื้น<br>(%RH) |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-----------|----------------------|
| 15 เมษายน 2547 12.42           | 29.57              | 29.01 | 22.51 | 26.67     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.43           | 29.62              | 29.07 | 22.67 | 26.64     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.44           | 29.82              | 29.42 | 22.58 | 26.63     | 55                   |
| 15 เมษายน 2547 12.45           | 29.56              | 28.90 | 22.65 | 26.61     | 59                   |
| 15 เมษายน 2547 12.46           | 29.81              | 29.35 | 22.71 | 26.66     | 56                   |
| 15 เมษายน 2547 12.47           | 29.76              | 29.12 | 22.66 | 26.64     | 57                   |
| 15 เมษายน 2547 12.48           | 29.69              | 29.09 | 22.81 | 26.56     | 59                   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 29.13              | 28.69 | 22.25 | 26.62     | 57.22                |

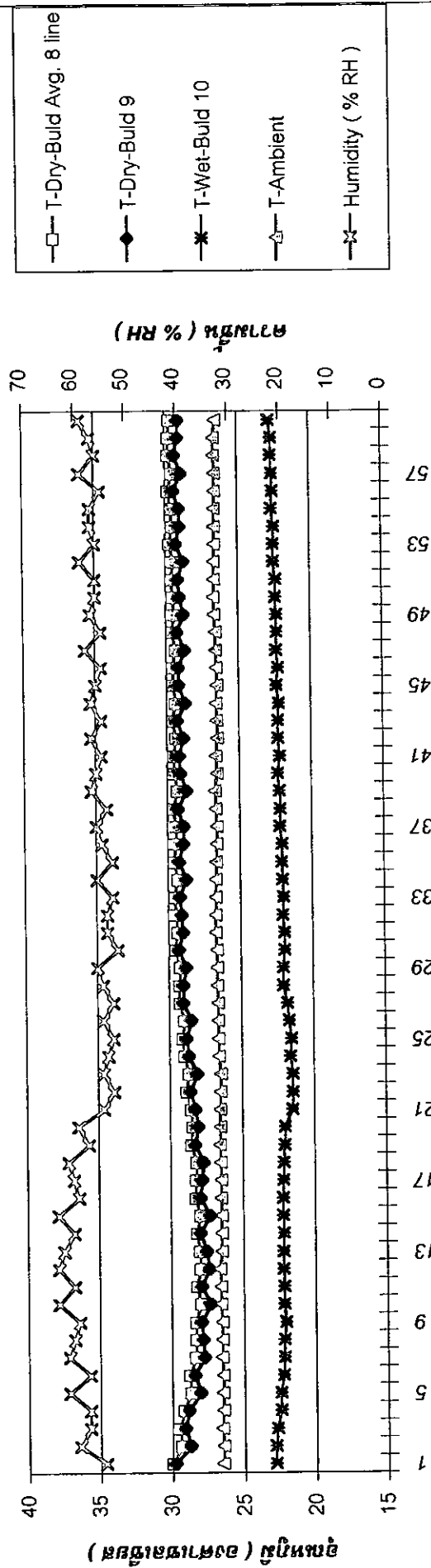
หมายเหตุ                      Td 9        หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
                                         Tw 10      หมายถึง    อุณหภูมิกระเปาะเปียก  
                                         T-Ambient หมายถึง    อุณหภูมิภายนอก

ตาราง 28    สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 60 %RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้น<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 28.69                                                 | 22.25                                                  | 6.44                | 57% RH                 | ± 5 %RH            | + 3 %RH            |

จากตาราง 28    สรุปผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 % RH ได้ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 28.69 องศาเซลเซียส ผลรวมของอุณหภูมิกระเปาะเปียก เท่ากับ 22.25 องศาเซลเซียส ผลต่างที่ได้เท่ากับ 6.44 สามารถนำผลต่างที่ได้มาเปิดตารางค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 Table X3.1 ได้ค่าความชื้นเท่ากับ 57 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 5 % RH มีค่าความผิดพลาด + 3 % RH

การวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 60 % RH



ภาพประกอบ 41 แสดงการวัดค่าความชื้น ที่ 30 องศาเซลเซียส @ 60 % RH

ตาราง 29 สรุปผลรวมการวัดค่าความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามมาตรฐาน ASTM E337

| ค่าที่ปรับตั้ง | ผลรวมของ<br>อุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>( °C) | ผลรวมของ<br>อุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>( °C) | ผลต่าง | ค่าความชื้น<br>เฉลี่ย<br>(%RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| 15 °C @ 40%RH  | 16.13                                        | 8.40                                          | 7.73   | 32% RH                         | ± 2.50%RH          | +8 %RH             |
| 15 °C @ 50%RH  | 17.12                                        | 9.07                                          | 8.05   | 31% RH                         | ± 3 %RH            | +19% RH            |
| 15 °C @ 60%RH  | 16.87                                        | 10.17                                         | 6.70   | 41% RH                         | ± 1 %RH            | +19% RH            |
| 25 °C @ 40%RH  | 25.37                                        | 16.26                                         | 9.11   | 37% RH                         | ± 1 %RH            | +3% RH             |
| 25 °C @ 50%RH  | 25.09                                        | 18.24                                         | 6.85   | 51% RH                         | ± 2.50%RH          | -1% RH             |
| 25 °C @ 60%RH  | 25.40                                        | 19.58                                         | 5.82   | 58% RH                         | ± 3.50%RH          | +2% RH             |
| 30 °C @ 40%RH  | 30.06                                        | 20.22                                         | 9.84   | 40% RH                         | ± 1 %RH            | 0 % RH             |
| 30 °C @ 50%RH  | 29.41                                        | 21.43                                         | 7.98   | 48% RH                         | ± 1.50%RH          | +2% RH             |
| 30 °C @ 60%RH  | 28.69                                        | 22.25                                         | 6.44   | 57% RH                         | ± 5 %RH            | +3% RH             |

จากตาราง 29 สรุปผลการวัดค่าความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นต่ำ ความชื้นภายในตู้จะมีค่าต่ำมากที่อุณหภูมิต่ำเมื่อปรับตั้งค่า 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 % RH ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 32 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 2.50 %RH ค่าความผิดพลาด +8 %RH เป็นไปตามสมมุติฐาน 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 %RH ค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 31 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 3 %RH มีความผิดพลาด + 19 %RH และ ที่ 15 องศาเซลเซียสความชื้น 60 %RH ค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้เท่ากับ 41 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1 %RH มีค่าความผิดพลาด + 19 %RH ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้น 40,50,60 % RH เป็นไปตามสมมุติฐานการปรับตั้ง ที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 % RH ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่า เท่ากับ 37 %RH มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ ± 1 %RH มีค่าความผิดพลาด +3 %RH เป็นไปตาม สมมุติฐานที่ตั้งไว้ ที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 % RH ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 51 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 2.50 % RH มีค่าความผิดพลาด - 1 %RH เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 % RH ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 58 %RH มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ ± 3.50 %RH มีค่าความผิดพลาด + 2 %RH เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้น 40 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้เท่ากับ 40 %RH มีค่าความแปรปรวน ± 1 % RH ไม่มีค่าความ ผิดพลาด ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้น 50 %RH ค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 48 % RH มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ ± 1.50 % RH มีค่าความผิดพลาด +2 %RH เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ และที่ 30 องศาเซลเซียส

ตาราง 31 การวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านความปลอดภัย                           | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|-------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| 2   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการใช้ไฟฟ้า        | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 3   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการสัมผัส          | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| รวม |                                           | 3.89      | 0.33 | ดี      |

จากตาราง 31 สามารถวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.67$ ) มีระบบป้องกันอันตรายจากการสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ด้านความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.89$ )

ตาราง 32 การวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านโครงสร้าง                             | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|-------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | สามารถถอดและแยกประกอบอุปกรณ์ของเครื่องได้ | 3.00      | 0.00 | พอใช้   |
| 2   | มีความแข็งแรงของโครงสร้าง                 | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 3   | มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเหมาะสม      | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| 4   | ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม           | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 5   | มีรูปทรงที่สวยงาม                         | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| รวม |                                           | 3.60      | 0.50 | ดี      |

จากตาราง 32 สามารถวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ สามารถถอดและแยกประกอบอุปกรณ์ของเครื่องได้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.00$ ) มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.67$ ) มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.33$ ) มีรูปทรงที่สวยงาม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ด้านโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.60$ )

ตาราง 33 การวิเคราะห์ด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านการใช้งาน                            | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | มีขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอย่างเหมาะสม | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 2   | ใช้เวลาในการตรวจสอบเหมาะสม               | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 3   | มีความสะดวกในการใช้งานเครื่อง            | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 4   | มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง       | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 5   | สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้ | 4.33      | 0.58 | ดี      |
| รวม |                                          | 3.59      | 0.63 | ดี      |

ตาราง 31 การวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านความปลอดภัย                           | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|-------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| 2   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการใช้ไฟฟ้า        | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 3   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการสัมผัส          | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| รวม |                                           | 3.89      | 0.33 | ดี      |

จากตาราง 31 สามารถวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) มีระบบการป้องกันเมื่อเกิดระบบไฟฟ้าผิดปกติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.67$ ) มีระบบป้องกันอันตรายจากการสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ด้านความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.89$ )

ตาราง 32 การวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านโครงสร้าง                             | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|-------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | สามารถถอดและแยกประกอบอุปกรณ์ของเครื่องได้ | 3.00      | 0.00 | พอใช้   |
| 2   | มีความแข็งแรงของโครงสร้าง                 | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 3   | มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเหมาะสม      | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| 4   | ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม           | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 5   | มีรูปทรงที่สวยงาม                         | 4.00      | 0.00 | ดี      |
| รวม |                                           | 3.60      | 0.50 | ดี      |

จากตาราง 32 สามารถวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ สามารถถอดและแยกประกอบอุปกรณ์ของเครื่องได้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.00$ ) มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.67$ ) มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.33$ ) มีรูปทรงที่สวยงาม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ด้านโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.60$ )

ตาราง 33 การวิเคราะห์ด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านการใช้งาน                            | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | มีขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอย่างเหมาะสม | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 2   | ใช้เวลาในการตรวจสอบเหมาะสม               | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 3   | มีความสะดวกในการใช้งานเครื่อง            | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| 4   | มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง       | 3.33      | 0.58 | พอใช้   |
| 5   | สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้ | 4.33      | 0.58 | ดี      |
| รวม |                                          | 3.59      | 0.63 | ดี      |

จากตาราง 33 สามารถวิเคราะห์ด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ มีขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอย่างเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.33$ ) ใช้เวลาในการตรวจสอบเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.33$ ) มีความสะดวกในการใช้งานเครื่อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.67$ ) มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.33$ ) สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.33$ ) ด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 3.59$ )

ตาราง 34 การวิเคราะห์ด้านการบำรุงรักษาของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

| ข้อ | ด้านการบำรุงรักษา                               | $\bar{x}$ | SD   | แปลความ |
|-----|-------------------------------------------------|-----------|------|---------|
| 1   | เป็นอุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา หาซื้อง่าย ราคาถูก | 3.00      | 0.00 | พอใช้   |
| 2   | การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องทำได้ง่าย         | 3.00      | 0.00 | พอใช้   |
| 3   | มีความสะดวกในการถอดแยกชิ้นส่วนอุปกรณ์           | 3.00      | 0.00 | พอใช้   |
| 4   | มีจุดตรวจและซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ น้อย     | 3.67      | 0.58 | ดี      |
| รวม |                                                 | 3.16      | 0.38 | พอใช้   |

จากตาราง 34 สามารถวิเคราะห์ด้านการบำรุงรักษาของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา หาซื้อง่าย ราคาถูก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.00$ ) การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องทำได้ง่าย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.00$ ) มีความสะดวกในการถอดแยกชิ้นส่วนอุปกรณ์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.00$ ) มีจุดตรวจและซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ น้อย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ( $\bar{x} = 4.00$ ) ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 3.16$ )

## 2.2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ผู้วิจัยได้นำข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านมารวบรวมและเรียงตามลำดับดังนี้

2.2.1 มีแนวคิดที่ดีในการนำเทคโนโลยีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรม แต่ควรปรับปรุงเรื่องความจุของเครื่องให้มีขนาดที่ใหญ่มากกว่านี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก

2.2.2 ถ้าเครื่องสามารถนำมารองรับในอุตสาหกรรมความชื้นและอุณหภูมิได้ถือว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ดี

2.2.3 เป็นนวัตกรรมที่ดี เนื่องจากวงการอุตสาหกรรมไทยต้องนำเครื่องควบคุมความชื้นเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งราคาค่อนข้างสูง ถ้าสามารถผลิตได้เองก็เป็นการลดต้นทุนการผลิตในวงการอุตสาหกรรมได้

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยการสร้างอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น ระบบวงจรไฟฟ้า ระบบวงจรน้ำยาระบายความร้อน และทำการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น นำตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและกรอกแบบประเมินความคิดเห็นในด้านความเหมาะสมในการใช้งาน โดยได้ดำเนินการเป็นลำดับขั้นดังต่อไปนี้

#### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ASTM (The American Society for Testing And Materials ) E337 (Method B)

#### ความสำคัญของการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ ได้ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ เพื่อเป็นแบบให้กับเจ้าของสถานประกอบการขนาดใหญ่ ขนาดเล็กและบุคคลที่สนใจที่ต้องการควบคุมความชื้น

#### สมมติฐานของการวิจัย

ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ มาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing And Materials) E337 (Method B) มีค่าความแปรปรวน  $\pm 5 \% RH$  ที่ 40 - 60 % RH ที่อุณหภูมิ 15 - 30 องศาเซลเซียส

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย การศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ดังนี้

- 1.1 ศึกษาค้นคว้า ตำราและงานทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ การสร้างและพัฒนาตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

- 1.2 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ควบคุมความชื้นเพื่อจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสมมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์เพื่อทดสอบการทำงาน

2. กำหนดและออกแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์มีดังนี้ การกำหนดหาขนาดคอมเพรสเซอร์ ขนาดตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ จัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ ผู้วิจัยได้ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศไทย

3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ผู้วิจัยออกแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและแก้ไข จากนั้นผู้วิจัยแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องของแบบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

4. กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้สร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ผู้วิจัยใช้บริษัท บี.พี.เมโทรโลยี จำกัด เลขที่ 17/148 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 เป็นสถานที่ทำการศึกษาทดลอง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการสร้างและทดลอง ประมาณเดือน ตุลาคม 2546 – เดือน เมษายน 2547

5. การสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ดำเนินการสร้างและสั่งซื้อส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ควบคุมความชื้นมาประกอบเข้าด้วยกันโดยมีลำดับขั้นดังนี้ สั่งซื้อ วัสดุ อุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ ประกอบอุปกรณ์ ชุดคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อีแวปโปเรเตอร์ ตัวเซ็นเซอร์ วัดความชื้น ลิมิตสวิตช์ ชุดอัลตราโซนิกส์ แท่งน้ำ โซลินอยล์วาล์ว ตัวควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุมความชื้นแบบสัดส่วนเวลาป้อนกลับ ชุดพัดลมกระจายความชื้น เข้ากับตู้ควบคุมความชื้น ฮีทเตอร์ ฟิวส์ สวิตช์ ปิดเปิด หลอดไฟสัญญาณ สายไฟฟ้า โซลิสเตอรีเลย์ จากนั้นเชื่อมต่อสายที่เป็น วงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้น และทดลองการทำงานของตู้ควบคุมความชื้นหาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงแก้ไข

6. ทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยการทดลองปรับตั้ง ความชื้นและอุณหภูมิ ทดสอบ 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ทดลองจำนวน 9 ครั้ง ใช้เครื่องวัดเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T11 หัว โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E337 (Method B) เป็นบางส่วน โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ถูกวัดต้องอยู่ในที่ร่ม และมีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของเครื่องควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ และสร้างแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านกายภาพทั่วไป

7. การวิเคราะห์ข้อมูล นำระดับอุณหภูมิภายในตู้ที่ได้จากการทดลองทั้ง 9 ครั้ง คือ ที่อุณหภูมิ  $15^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  และ  $30^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  มาทำการวิเคราะห์ค่าของความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ และวิเคราะห์ข้อมูลความเหมาะสมทางด้านกายภาพทั่วไป จากผู้เชี่ยวชาญโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล

### สรุปผลการศึกษาค้นคว้า

ผู้วิจัยได้พัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ตามตารางการการปรับตั้งอุณหภูมิที่  $15^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  และ  $30^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  มาทำการวิเคราะห์ค่า และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมานำเสนอเป็นหัวข้อ เพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยดังนี้

1. การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยใช้ตู้มีขนาดภายนอก กว้างxลึกxสูง 535X460X730 มิลลิเมตร ภายในตู้ขนาด กว้างxลึกxสูง 455X316X447 ตู้มีโครงสร้างทำด้วยสังกะสีความจุ 60 ลิตร อัลตราโซนิกส์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลท์ สร้างความชื้นขนาด 20 วัตต์ สามารถให้ความชื้นได้สูงสุด 100 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ติดตั้งในตู้ควบคุมความชื้น และทำการวัดระดับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกใช้เวลาในการตรวจวัด 1 ชั่วโมงต่อเนื่องเพื่อหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASTM E337 (Method B) โดยตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ที่ถูกต้องต้องอยู่ในที่ร่ม มีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส และมีความเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่เกิน  $\pm 5\%$  และศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานทางด้านกายภาพทั่วไปของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ 4 ด้านคือ ด้านความปลอดภัย ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งาน และด้านบำรุงรักษา โดยมีผู้เชี่ยวชาญด้านอุณหภูมิและความชื้นจำนวน 3 ท่านเป็นผู้ประเมิน

2. ตามมาตรฐาน ASTM (The American Society For Testing and Materials) E337 (Method B) ด้วยการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง เป็นการวัดผล 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ผลที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

2.1 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 40 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 16.13-8.40 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 7.73 ตามมาตรฐาน ASTM E337 กำหนดค่าความชื้นได้เท่ากับ 32 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 2.50$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 8 %RH

2.2 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 17.12-9.07 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 8.05 ตามมาตรฐาน ASTM E337 กำหนดค่าความชื้นได้เท่ากับ 31 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 3$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 19 %RH

2.3 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 16.87-10.17 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 6.70 ตามมาตรฐาน ASTM E337 กำหนดค่าความชื้นได้เท่ากับ 41 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ ค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 1$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 19 %RH

2.4 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 40 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 25.37-16.26 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 9.77 ตามมาตรฐาน ASTM E337 กำหนดค่าความชื้นได้เท่ากับ 37 % RH ซึ่งไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 1$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 3 %RH

2.5 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายใน

ตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 25.09-18.24 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 6.85 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นได้เท่ากับ 51 % RH ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ ค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 2.50$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ - 1 %RH

2.6 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 25.40-19.58 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 5.82 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นได้เท่ากับ 58 % RH ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 3.50$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 2 %RH

2.7 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 40 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 30.06-20.22 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 9.84 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นได้เท่ากับ 40 % RH ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 40 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 1$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0 %RH

2.8 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 29.41-21.43 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 7.98 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นได้เท่ากับ 48 % RH ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 50 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 1.50$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 2 %RH

2.9 ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH ค่าความชื้นที่วัดได้ภายในตู้ควบคุมความชื้นวัดเทียบกลางตู้กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกเท่ากับ 28.69-22.25 °C ตามลำดับได้ผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 6.44 ตามมาตรฐาน ASTM E337 คำนวณค่าความชื้นได้เท่ากับ 57 % RH ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 60 % RH ได้ มีค่าแปรปรวนเท่ากับ  $\pm 5$  %RH และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ + 3 %RH

3. ผลจากการประเมินทางกายภาพทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุณหภูมิและความชื้น แบ่งออกเป็น 4 ด้านคือ ด้านความปลอดภัย ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา สามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ด้านความปลอดภัย ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุณหภูมิและความชื้นได้ประเมินผลของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสอยู่ในเกณฑ์ดี มีระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.89

3.2 ด้านโครงสร้าง ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุณหภูมิและความชื้นได้ประเมินผลของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสอยู่ในเกณฑ์ดี มีระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.60

3.3 ด้านการใช้งาน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุณหภูมิและความชื้นได้ประเมินผลของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสอยู่ในเกณฑ์ดี มีระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.59

3.4 ด้านการบำรุงรักษา ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุณหภูมิและความชื้นได้ประเมินผลของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกสอยู่ในเกณฑ์พอใช้ มีระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.16

สรุปผลการประเมินทางกายภาพทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญด้านอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ดี มีระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.56

## อภิปรายผล

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ จำนวน 9 การทดลอง ที่  $15^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  และ  $30^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  ทำการวัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกภายในตู้ควบคุมความชื้น 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ได้ค่าประสิทธิภาพการทำความชื้นสามารถนำผลมาอภิปรายได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการทำความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ที่  $15^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $15^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  วัดค่าอุณหภูมิ ทั้งหมด 11 จุด จุดที่ 1-10 วัดค่าอุณหภูมิ ภายในตามวิธีการสอบเทียบตู้ควบคุมความชื้น จุดที่ 1-9 เป็นการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งส่วน จุดที่ 10 เป็นการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก จุดที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกตู้ควบคุมความชื้น ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เฉลี่ยไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้ซึ่งค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้มากทั้ง 3 ค่านี้ไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้เนื่องจาก ความชื้นที่ได้เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทั้ง 3 ค่าการวัดนี้ไม่สามารถควบคุมความชื้นได้มีสาเหตุเนื่องมาจากที่อุณหภูมิที่ต่ำค่าความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นจะมีค่าความชื้นน้อยและจะถูกคอยล์เย็นภายในตู้ควบคุมความชื้นดูดความชื้นไปเป็นน้ำแข็งทำให้ความชื้นภายในตู้ลดลง ถ้าแรงดันภายในตู้ไม่สามารถที่จะเพิ่มได้มีผลทำให้ความเย็นจะทำให้อากาศหนัก ความชื้นจะลดลง สอดคล้องกับทฤษฎีของสอนง อัมเมม (2528 : 360) เรื่องการทำความเย็นและปรับอากาศ ถ้าต้องการจะ ใช้งานต้องมีการปรับเทียบจึงจะสามารถใช้งานได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัลลภ สุราญบำรุง (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนพลาสติก โดยวิธีพ่นสเปรย์น้ำ เป็นหมอก เพื่อเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนเป็นผลให้อุณหภูมิลดลง ผลการทดสอบเมื่อควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำ ที่พ่นสเปรย์เท่ากับ 20 องศาเซลเซียสและ 27 องศาเซลเซียส พบว่าในกรณีที่ไม่มีภาระระบายอากาศ ภายในโรงเรือนลดลง 3-6 องศาเซลเซียสและ 8-11 องศาเซลเซียส การระบายอุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลง จาก 53.5 องศาเซลเซียสเหลือเพียง 27.5 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น 13 % เมื่ออัตราการ ระบายอากาศ  $1.125 \text{ m}^3/\text{s}$

2. ประสิทธิภาพการทำความชื้นของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ที่  $25^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $25^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  และ  $30^{\circ}\text{C} @ 40\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 50\% \text{ RH}$ ,  $30^{\circ}\text{C} @ 60\% \text{ RH}$  วัดค่าอุณหภูมิ ทั้งหมด 11 จุด จุดที่ 1-10 วัดค่าอุณหภูมิภายในตามวิธีการสอบเทียบตู้ควบคุมความชื้น จุดที่ 1-9 เป็นการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งส่วน จุดที่ 10 เป็นการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก จุดที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกตู้ควบคุมความชื้น ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ มีค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E337 (Method B) สามารถใช้งานได้ ทั้ง 6 ค่า การวัดนี้มี ประสิทธิภาพ และเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการวัดค่าความชื้นจะมีค่าความแปรปรวน  $\pm 5\% \text{ RH}$  เนื่องจากถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าด้วยเรื่อง ระบบการวัดอุณหภูมิของเอก ไชยสวัสดิ์. (2542 : 128) ได้กล่าวว่าความเย็นทำให้อากาศหนัก ความร้อน

ทำให้อากาศเบา จากทฤษฎีดังกล่าวทำให้ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นทั้ง 6 ค่ามีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะช่วงของอุณหภูมิที่วัดอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงคือ  $25^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิในช่วงนี้อากาศจะเบาความชื้นจะลอยตัวสูงขึ้นและประกอบกับมีแรงดันจากพัดลมกระจายความชื้นที่เหมาะสม ทำให้ค่าของความชื้นที่วัดได้มีค่าความแปรปรวนน้อยและเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวีรชัย เลิศสถาพรสุข (2543 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาค่าความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้แช่ผักขึ้นพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าตู้แช่ผักขึ้นสามารถลดอุณหภูมิจาก  $25^{\circ}\text{C}$  มาที่  $4^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที มีผลทำให้ความชื้น 60 %RH ลดลงมาอยู่ที่ 44.5 %RH ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนความชื้นจะเปลี่ยนแปลงตามเสมอ

3. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ด้านความปลอดภัย พบว่า มีความปลอดภัยของอุปกรณ์หลังและมีการป้องกันระบบกระแสไฟฟ้าไหลเกินภายในวงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้น เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง ฟิวส์ ขนาด 10 แอมป์ไว้กับระบบวงจรไฟฟ้า ก่อนที่กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่วงจร ซึ่งมีความปลอดภัยสูง ถ้ากระแสไฟฟ้าเกิดผิดปกติไปจากเดิม คือ 220-240 โวลต์ ฟิวส์ที่ ติดตั้งไว้จะ ทำงานตัดวงจรไฟฟ้าทันที เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ อุปกรณ์หลัก และ มีการต่อสายดินเดินไว้เพื่อป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์บกพร่องจะเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดิน และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 455-2537 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2538 : 3) ไว้ดีมากและแน่นอน ส่วนอัลตราโซนิกส์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ซึ่งเป็นการลดแรงดันไฟฟ้าลงให้ปลอดภัย มีระบบควบคุมระดับน้ำด้วยลิมิตสวิตช์ เพื่อการป้องกันน้ำที่อยู่ในแทงค์น้ำอาจฉลี่ยไหลเข้าภายในตู้ เป็นระบบควบคุมที่ดี ซึ่งผู้วิจัยให้ความสำคัญกับความปลอดภัยมาเป็นอันดับแรก ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี

4. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในด้านโครงสร้างของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ พบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากส่วนประกอบของตู้ควบคุมความชื้นมีโครงสร้างทำด้วยสังกะสีเคลือบสี ทนต่อการกัดกร่อน และยังมีน้ำหนักเบา ทั้งภายในและภายนอกจึงทำให้โครงสร้างของตู้มีความมั่นคงแข็งแรง มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม โดยใช้ตู้ที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีการผลิตที่ครั้งละมากๆ และมีการออกแบบที่ทันสมัย การออกแบบใช้เทคโนโลยีระดับสูงที่เหมาะสม ต้องผ่านกระบวนการหลายตรวจสอบหลายขั้นตอน ใช้การลงทุนสูง จะเห็นได้ว่ารูปทรงมีความสวยงาม สามารถที่จะยกหรือเคลื่อนย้ายได้สะดวกสบาย เพราะตู้ควบคุมความชื้น มีขนาดภายนอก (กว้างXลึกXสูง ) 535X470X730 มิลลิเมตร มีพื้นที่ใช้สอยภายใน 455X316X447 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักโดยประมาณ 42 กิโลกรัม

5. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในด้านการใช้งานของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ พบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี เพราะว่าเนื่องจากตู้ใช้ตัวควบคุมเป็นระบบดิจิทัล มีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นได้ตามต้องการ เพราะมีการออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีการระบบการชดเชยค่าแก้ไขได้เมื่อค่าที่ตั้งไว้ไม่ได้ตามต้องการเพื่อที่จะสอบเทียบ และมีโปรแกรมคำนวณภายในตัวเอง ใช้ระบบควบคุมเป็น PID CONTROL ซึ่งทำให้สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่ง เอก ไชยสวัสดิ์ ได้ เขียนไว้ในเรื่อง ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบสัดส่วนเวลา (เอก ไชยสวัสดิ์ .2542 : 126) สามารถใช้งานได้ด้วยความจุ 60 ลิตร มีปริมาตรที่เหมาะสมกับการใช้งาน ในงานที่มีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนัก สามารถที่จะเคลื่อนย้ายได้ไม่ยาก มีชั้นวางอุปกรณ์การทดสอบหรือสอบเทียบได้จำนวน ที่พอเหมาะสมกับงานปริมาณพอเหมาะสามารถทำความสะดวกได้ง่ายประตูเปิดด้านหน้าติดกระจกใสสามารถมองเห็นอุปกรณ์ทดสอบได้อย่างชัดเจน

6. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในด้านการบำรุงรักษาของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ พบว่า อยู่ในเกณฑ์พอใช้ เนื่องมาจากการตู้ควบคุมความชื้นมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เป็นสาเหตุทำให้พื้นที่ ที่ในการติดตั้งอุปกรณ์หลัก เช่น ชุดเรกติไฟเออร์ โซลิสเตสรีเลย์ ตัวคอนโทรลวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นมีพื้นที่ติดตั้งมีจำกัด ต้องใช้เวลาในการวางแผนผังตำแหน่งการติดตั้งมาก เพื่อให้มีพื้นที่ที่พอเพียงกับอุปกรณ์หลัก ให้มีความเหมาะสม ส่วนเรื่องการถอดประกอบนั้นเป็นเรื่องที่ย่างยากพอสมควรที่จะถอนออกมาซ่อมบำรุงรักษา แต่ก็สามารถทำได้คงใช้เวลาถอดประกอบพอสมควร ควรที่จะติดตั้งแผงควบคุมใหม่ให้ใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะให้มีพื้นที่เพียงพอที่จะ ติดตั้งอุปกรณ์หลักและ สามารถถอดประกอบได้ง่ายขึ้นสะดวกในการซ่อมบำรุงรักษา

## ข้อเสนอแนะทั่วไป

ผลจากการวิจัย ผู้วิจัยขอเสนอแนะความคิดเห็น เพื่อให้เกิดแนวคิดเพิ่มเติม เกี่ยวกับงานวิจัยที่จะเกิดขึ้นต่อไป

1. ควรปรับปรุงพื้นที่การใช้งานภายในตู้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อประโยชน์ในการติดตั้งอุปกรณ์หลัก และมีพื้นที่ใช้สอยที่มากขึ้น
2. ควรปรับปรุงระบบการไหลเวียนของอากาศภายในตู้และคอยล์เย็นให้เหมาะสม
3. ควรปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งฮีทเตอร์ เพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสม
4. ควรปรับปรุงการติดตั้งตำแหน่งของแก๊งค์น้ำให้เหมาะสม
5. ควรติดตั้งระบบดูดความชื้นในกรณีความชื้นในตู้มีความชื้นมากและต้องการให้ความชื้นลดลง
6. ถ้าจะใช้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ เช่น  $15^{\circ}\text{C}$  ควรปรับเทียบให้สามารถควบคุมความชื้นเฉพาะค่าที่ต้องการก่อน เช่น ที่ความชื้น 40 % RH หรือ 50% RH และ 60 %RH เฉพาะค่าปรับเป็นการเฉพาะ จึงจะสามารถควบคุมความชื้นที่ระดับอุณหภูมิต่ำได้
7. ควรใช้พัดลมที่มีการปรับความเร็วรอบได้ เพื่อความเหมาะสมกับความชื้นต่ำ

## ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบอื่นๆ เช่น ไอน้ำ ระบบแรงดัน
2. ควรศึกษาระบบการกำจัดความชื้นที่เกิน คงสภาพความชื้นและใช้เวลาการดูดและปล่อยความชื้นอย่างรวดเร็ว

## บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- คมสันต์ ดีประสิทธิ์และคณะ. (2546). *เครื่องควบคุมความชื้นในห้องปิด*. วิทยานิพนธ์ อส.บ. (เครื่องต้นกำลังอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์. (2543). *การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและการจัดทำงบประมาณ*. กรุงเทพฯ. : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิตและคณะ. (2543). *การพัฒนาเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิคส์ทาง การแพทย์*. กรุงเทพฯ. : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2523). *การทำความเย็นและปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ : ก. วิจารณ์.
- ณรงค์ ขอนตะวัน. (2530). *มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ*. กรุงเทพฯ : เอราวัฒการพิมพ์
- เด่นพงศ์ สังขวาสี. (2538). *การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของตู้เย็นและแนวทางการปรับปรุง เพื่อประหยัดพลังงาน*. วิทยานิพนธ์ วท.ม (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). กรุงเทพฯ : บัณฑิต วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ธนาวุธ จารุทัศน์. (2522). *การถนอมอาหาร เล่ม1. พิมพ์ครั้งที่2*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ประเสริฐ ภู่มั่นทพงษ์. (2533). *การเลือกวัสดุทนความร้อน*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เทคนิค.
- ประเสริฐ วิโรจน์ชีวิน. (2536). *การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของครีบริบาย ครีบริบายยนต์ รถจักรยานยนต์2จังหวะ แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ระหว่างกระบอกสูบเอียงกับนอน*. ในรวมบทความอวทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2538. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525.(2530). พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ. : อักษรเจริญทัศน์.
- ยุทธพงษ์ ไกยวรรณ. (2541). *พื้นฐานการบริหารและระบบการผลิตในงานอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ. พิมพ์ดีจำกัด.
- ล้วน และอังคณา สายยศ. (2538). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาสน์.
- วิฑูรย์ สิมะโชติ และ วีรพงษ์ เฉลิจระรัตน์. (2542). *วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรง งาน*. พิมพ์ครั้งที่11. กรุงเทพฯ: บริษัท ส.เอเซียเพรส.
- วีรชัย เลิศสถาพรสุข. (2543). *การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริคมาใช้สำหรับ ระบบตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ศราภา ฉันทกุล. (2539). *"การผลิตกุนเชียงปลาจากปลาดุกอุยเทศและการเก็บรักษา"*. บทความอวทยานิพนธ์ภาคปลาย ปีการศึกษา 2538. 136. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตร ศาสตร์.
- สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี. (2543). *คู่มือการอบรมการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้น*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ฝึกอบรม สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี.

สนอง อิ่มเอม. (2528). *เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศรถยนต์*. พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ : อมรินทร์การพิมพ์.

สมศักดิ์ สุโมทยกุล. (2542). *หลักการงานและเทคนิคการตรวจซ่อมเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เอก ไชยสวัสดิ์. (2542). *การวัดและเครื่องวัดอุณหภูมิ*. กรุงเทพฯ. : หจก.ฤทธิ์ศรีการพิมพ์.

“อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า “ . (2537). *อุตสาหกรรมสาร*. 37 (4) : 45-54.

Goldsmid, H.J. (1986). *Electronic Refrigeration* London : Pion Limited.

Household refrigerating appliances-Refrigerators with or without low temperature compartment-

Characteristics and test methods. (1998). London : British Standards Institution.

Malcovati,Piero. (1997, Spring). “ *CMOS Thermoelectric Sencer Interfaces*,” Dissertation Abstracts International- C . (CD-ROM). 58(1). : 1997. Available : UMI ; Dissertation Abstracts (1997).

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

**จดหมายของความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม**



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๗ พฤศจิกายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รักษาการผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรฐานวิชา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินฯ

เนื่องด้วย นายสุทัศน์ รอดพุง นิติระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาคู่มือควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายกำชัย สิงหาภิวัฒน์ นักวิชาการ 6 และ นางอภิญญา หล้าเตจา นักวิชาการ 6 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินฯ ให้ นายสุทัศน์ รอดพุง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-2624322 มือถือ 01-9014754



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๗ พฤศจิกายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินฯ

เนื่องด้วย นายสุทัศน์ รอดพุง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาสู่ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นางลักษณี ปลั่งแสงมาศ รักษาการผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินฯ ให้ นายสุทัศน์ รอดพุง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-2624322 มือถือ 01-9014754



บันทึกข้อความ  
Memorandum

เรื่อง ขออนุมัติให้พนักงานเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินของนักศึกษาปริญญาโท  
เรียน ผอ. ผ่าน ร.รอง ผอ. บริการ  
จาก นางลักขมีย์ ปลั่งแสงมาศ วันที่ 9 มีนาคม 2547  
From Date

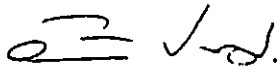
ตามที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้ทำหนังสือ เลขที่ ศร 0519.12/7271 , ศร 0519.12/7273 และ ศร 0519.12/7274 ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2546 จำนวน 7 ฉบับ ขออนุญาตให้พนักงานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาปริญญาโท โดยมีรายชื่อดังต่อไปนี้

1. นางลักขมีย์ ปลั่งแสงมาศ รักษาการผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา
  - 1.1 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบบบรรจุของเหลวที่ใช้ในงานสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ของนายธีระพงษ์ สมประจบ
  - 1.2 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ของนายพงษ์พันธ์ ประสิทธิ์เมตต์
  - 1.3 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง ตู้ควบคุมความชื้น แบบใช้อัลตราโซนิกส์ ของนายสุทัศน์ รอดพุง
2. นางอภิญญา หล้าเตจา นักวิชาการ 6 ประจำห้องปฏิบัติการมาตรฐานทางแสงและอุณหภูมิ
  - 2.1 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบบบรรจุของเหลวที่ใช้ในงานสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ของนายธีระพงษ์ สมประจบ
  - 2.2 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ของนายพงษ์พันธ์ ประสิทธิ์เมตต์
  - 2.3 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง ตู้ควบคุมความชื้น แบบใช้อัลตราโซนิกส์ ของนายสุทัศน์ รอดพุง
3. นายกำชัย สิงห์วิวัฒน์ นักวิชาการ 6 ประจำห้องปฏิบัติการมาตรฐานทางแสงและอุณหภูมิ
  - 3.3 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบบบรรจุของเหลวที่ใช้ในงานสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ของนายธีระพงษ์ สมประจบ
  - 3.4 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ของนายพงษ์พันธ์ ประสิทธิ์เมตต์

- 3.5 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง ผู้ควบคุมความชื้น แบบใช้อัลตราโซนิค  
ของนายสุทัศน์ รอดพุง
4. นางสาวสิริรัตน์ ถาวรรัตน์ นักวิชาการ 7 ประจำห้องปฏิบัติการมาตรฐานวิศวกรรมทางกล  
4.1 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบบบรรจุของเหลวที่ใช้ใน  
งานสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ของนายธีระพงษ์ สมประจบ
5. นางสาวกิริณา เหลืองศิริคุณ นักวิชาการ 6 ประจำห้องปฏิบัติการมาตรฐานวิศวกรรมทางกล  
5.1 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน เรื่อง อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบบบรรจุของเหลวที่ใช้ใน  
งานสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ของนายธีระพงษ์ สมประจบ

สทม. เห็นว่าเป็นโอกาสที่ วว. จะได้ให้การสนับสนุนทางวิชาการแก่สถาบันการศึกษา จึงใคร่ขอ  
อนุมัติให้พนักงานดังรายชื่อข้างต้นเป็นผู้ตรวจแบบประเมินตามที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอความ  
อนุเคราะห์มา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ลงชื่อ..... 

(นางลักขมีย์ ปลั่งแสงมาศ)

รักษาการผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา



ที่ วท 5201/ 1988

วว.

19 เมษายน 2547

เรื่อง อนุญาตให้พนักงานเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน

เรียน คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

อ้างถึง หนังสือมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ ศร 0519.12/7273 ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2546

ตามหนังสือที่อ้างถึง ขอความอนุเคราะห์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) พิจารณาอนุญาตให้ นางลักษมี ปลั่งแสงมาศ รักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรฐานทางแสงและอุณหภูมิ นักวิชาการ 6 และ นายกำชัย สิงหาภิวัฒน์ นักวิชาการ 6 เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ให้แก่นายสุทัศน์ รอดพยุง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา ความละเอียดทราบแล้ว นั้น

วว. พิจารณาแล้วยินดียินยอมอนุญาตให้พนักงานดังกล่าวข้างต้น มาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินฯ

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นางลักษมี ปลั่งแสงมาศ)

ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการมาตรฐานทางแสงและอุณหภูมิ  
รักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรฐาน

ศูนย์ทดสอบและมาตรฐาน

โทร. 0 2579 1121-30 ต่อ 5217 (สุมาลี)

โทรสาร 0 2579 8592

E-mail : sumalee@tistr.or.th

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ถนนพหลโยธิน ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐

โทร. (๖๖) ๐ ๒๕๗๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๗๙ ๙๐๐๙

E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

ภาคผนวก ข  
ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ประวัติผู้เชี่ยวชาญกรอกแบบสอบถาม

1. ชื่อ ดร.ลักษมี ปลั่งแสงมาศ  
 ตำแหน่ง รักษาการผู้อำนวยการศูนย์ทดสอบและมาตรฐาน  
 วุฒิทางการศึกษา Ps.D.(University of Florida Materials Science)  
 ประสบการณ์การทำงาน 22 ปี  
 หน่วยงานที่สังกัด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
 เชี่ยวชาญด้าน มาตรฐาน,มาตรฐานและโพลิเมอร์
2. ชื่อ คุณกำชัย สิงหาภิวัฒน์  
 ตำแหน่ง นักวิชาการ 6  
 วุฒิทางการศึกษา วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยมหิดล  
 ประสบการณ์การทำงาน 15 ปี  
 หน่วยงานที่สังกัด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
 เชี่ยวชาญด้าน อุณหภูมิ แสงและความชื้น
3. ชื่อ คุณอภิญา หล้าเตจา  
 ตำแหน่ง นักวิชาการ 6  
 วุฒิทางการศึกษา วท.ม.(เทคโนโลยีอุณหภาพ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ประสบการณ์การทำงาน 12 ปี  
 หน่วยงานที่สังกัด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
 เชี่ยวชาญด้าน อุณหภูมิ แสงและความชื้น

**ภาคผนวก ค**

- 1. แบบสอบถามเรื่องการพัฒนาผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์**
- 2. ผลการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์**

แบบประเมินการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

แบบประเมินการพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

- คำชี้แจงแบบประเมินแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้
- ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน
  - ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ
  - ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ประกอบด้วย 4 ด้านดังนี้

- 1. ด้านความปลอดภัย
- 2. ด้านโครงสร้าง
- 3. ด้านการใช้งาน
- 4. ด้านการบำรุงรักษา

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างเพื่อเป็นเครื่องมือประกอบการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ว่ามีความเหมาะสมในด้านต่างๆ เพียงใด

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ 4 ด้าน

กรุณาทำเครื่องหมาย X ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ โดยมีการกำหนดระดับคะแนนไว้ดังนี้

|         |         |                                |
|---------|---------|--------------------------------|
| ระดับ 5 | หมายถึง | ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก   |
| ระดับ 4 | หมายถึง | ผลการประเมินอยู่ในระดับดี      |
| ระดับ 3 | หมายถึง | ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง |
| ระดับ 2 | หมายถึง | ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย    |
| ระดับ 1 | หมายถึง | ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อยมาก |

| ข้อ | รายละเอียดการประเมิน                      | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | น้อย | น้อยมาก |
|-----|-------------------------------------------|-------|----|---------|------|---------|
|     | <b>ด้านความปลอดภัย</b>                    |       |    |         |      |         |
| 1   | มีระบบป้องกันเมื่อเกิดไฟฟ้าผิดปกติ        |       |    |         |      |         |
| 2   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการใช้ไฟฟ้า        |       |    |         |      |         |
| 3   | มีระบบป้องกันอันตรายจากการสัมผัส          |       |    |         |      |         |
|     | <b>ด้านโครงสร้าง</b>                      |       |    |         |      |         |
| 4   | สามารถถอดและแยกประกอบอุปกรณ์ของเครื่องได้ |       |    |         |      |         |
| 5   | มีความแข็งแรงของโครงสร้าง                 |       |    |         |      |         |
| 6   | มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเหมาะสม      |       |    |         |      |         |
| 7   | ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม           |       |    |         |      |         |
| 8   | มีรูปทรงสวยงาม                            |       |    |         |      |         |

| ข้อ | รายละเอียดการประเมิน                            | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | น้อย | น้อยมาก |
|-----|-------------------------------------------------|-------|----|---------|------|---------|
|     | ด้านการใช้งาน                                   |       |    |         |      |         |
| 9   | มีขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอย่างเหมาะสม        |       |    |         |      |         |
| 10  | ใช้เวลาในการตรวจสอบเหมาะสม                      |       |    |         |      |         |
| 11  | มีความสะดวกในการใช้งานเครื่อง                   |       |    |         |      |         |
| 12  | มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง              |       |    |         |      |         |
| 13  | สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้        |       |    |         |      |         |
|     | ด้านการบำรุงรักษา                               |       |    |         |      |         |
| 14  | เป็นอุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา หาซื้อง่าย ราคาถูก |       |    |         |      |         |
| 15  | การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องทำได้ง่าย         |       |    |         |      |         |
| 16  | มีความสะดวกในการถอดแยกชิ้นส่วนอุปกรณ์           |       |    |         |      |         |
| 17  | มีจุดตรวจและซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ น้อย     |       |    |         |      |         |

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตาราง 35 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 40% RH  
วันที่ 14 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10  | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 13.14    | 15.48 | 15.47 | 15.67 | 16.49 | 15.97 | 16.30 | 15.91 | 16.23 | 15.88 | 8.08 | 26.56 |
| 13.15    | 15.61 | 15.58 | 15.73 | 16.54 | 16.05 | 16.33 | 15.98 | 16.25 | 15.94 | 8.19 | 26.55 |
| 13.16    | 15.86 | 15.69 | 15.81 | 16.61 | 16.17 | 16.41 | 16.07 | 16.31 | 16.04 | 8.26 | 26.45 |
| 13.17    | 16.01 | 15.81 | 15.93 | 16.65 | 16.32 | 16.48 | 16.13 | 16.35 | 16.15 | 8.37 | 26.40 |
| 13.18    | 16.17 | 15.94 | 16.01 | 16.68 | 16.36 | 16.53 | 16.19 | 16.40 | 16.27 | 8.49 | 26.44 |
| 13.19    | 16.31 | 16.05 | 16.06 | 16.73 | 16.45 | 16.59 | 16.31 | 16.48 | 16.32 | 8.59 | 26.44 |
| 13.20    | 16.45 | 16.15 | 16.19 | 16.80 | 16.53 | 16.62 | 16.38 | 16.53 | 16.39 | 8.68 | 26.45 |
| 13.21    | 16.57 | 16.22 | 16.26 | 16.85 | 16.61 | 16.72 | 16.40 | 16.53 | 16.53 | 8.76 | 26.50 |
| 13.22    | 16.73 | 16.35 | 16.35 | 16.92 | 16.64 | 16.77 | 16.49 | 16.61 | 16.60 | 8.84 | 26.51 |
| 13.23    | 16.75 | 16.41 | 16.38 | 17.01 | 16.79 | 16.86 | 16.62 | 16.68 | 16.62 | 8.92 | 26.41 |
| 13.24    | 16.85 | 16.51 | 16.50 | 17.06 | 16.82 | 16.93 | 16.69 | 16.78 | 16.71 | 8.99 | 26.20 |
| 13.25    | 16.94 | 16.56 | 16.58 | 17.13 | 16.85 | 16.97 | 16.72 | 16.80 | 16.80 | 9.07 | 26.45 |
| 13.26    | 16.95 | 16.61 | 16.60 | 17.16 | 16.88 | 17.03 | 16.78 | 16.87 | 16.85 | 9.18 | 26.23 |
| 13.27    | 16.98 | 16.69 | 16.67 | 17.20 | 16.96 | 17.07 | 16.85 | 16.93 | 16.90 | 9.19 | 26.45 |
| 13.28    | 17.01 | 16.68 | 16.73 | 17.27 | 16.99 | 17.13 | 16.86 | 16.97 | 16.92 | 9.24 | 26.15 |
| 13.29    | 17.04 | 16.75 | 16.74 | 17.30 | 17.01 | 17.15 | 16.84 | 16.95 | 16.96 | 9.27 | 26.50 |
| 13.30    | 16.97 | 16.77 | 16.76 | 17.34 | 17.05 | 17.18 | 16.93 | 17.02 | 17.01 | 9.29 | 26.45 |
| 13.31    | 16.97 | 16.80 | 16.78 | 17.38 | 17.07 | 17.19 | 16.95 | 17.07 | 16.94 | 9.26 | 26.45 |
| 13.32    | 16.92 | 16.79 | 16.82 | 17.39 | 17.12 | 17.24 | 16.95 | 17.11 | 16.92 | 9.26 | 26.40 |
| 13.33    | 16.83 | 16.78 | 16.83 | 17.42 | 17.11 | 17.27 | 16.93 | 17.11 | 16.95 | 9.23 | 26.31 |
| 13.34    | 16.68 | 16.72 | 16.80 | 17.42 | 17.07 | 17.26 | 16.96 | 17.10 | 16.91 | 9.20 | 26.47 |
| 13.35    | 16.66 | 16.73 | 16.80 | 17.43 | 17.09 | 17.27 | 16.96 | 17.14 | 16.93 | 9.23 | 26.54 |
| 13.36    | 16.56 | 16.69 | 16.79 | 17.43 | 17.08 | 17.28 | 16.93 | 17.16 | 16.86 | 9.13 | 26.60 |
| 13.37    | 16.46 | 16.68 | 16.75 | 17.43 | 17.02 | 17.27 | 16.89 | 17.15 | 16.84 | 9.09 | 26.47 |
| 13.38    | 16.30 | 16.55 | 16.71 | 17.43 | 17.03 | 17.25 | 16.90 | 17.16 | 16.80 | 9.06 | 26.48 |
| 13.39    | 16.22 | 16.51 | 16.70 | 17.43 | 16.98 | 17.23 | 16.89 | 17.17 | 16.74 | 8.98 | 26.28 |
| 13.40    | 16.14 | 16.46 | 16.67 | 17.43 | 16.91 | 17.20 | 16.75 | 17.13 | 16.76 | 8.93 | 26.45 |
| 13.41    | 15.97 | 16.39 | 16.61 | 17.42 | 16.86 | 17.20 | 16.71 | 17.13 | 16.67 | 8.85 | 26.48 |
| 13.42    | 15.85 | 16.35 | 16.58 | 17.39 | 16.84 | 17.16 | 16.69 | 17.07 | 16.57 | 8.78 | 26.51 |
| 13.43    | 15.73 | 16.26 | 16.57 | 17.38 | 16.79 | 17.18 | 16.65 | 17.06 | 16.52 | 8.71 | 26.53 |
| 13.44    | 15.57 | 16.17 | 16.47 | 17.33 | 16.63 | 17.08 | 16.58 | 17.05 | 16.45 | 8.66 | 26.37 |
| 13.45    | 15.40 | 16.03 | 16.38 | 17.28 | 16.54 | 17.06 | 16.52 | 17.00 | 16.35 | 8.60 | 26.64 |
| 13.46    | 15.29 | 15.98 | 16.32 | 17.22 | 16.51 | 17.01 | 16.51 | 16.98 | 16.29 | 8.56 | 26.62 |
| 13.47    | 15.21 | 15.94 | 16.28 | 17.21 | 16.45 | 16.96 | 16.44 | 16.94 | 16.26 | 8.49 | 26.45 |
| 13.48    | 15.05 | 15.81 | 16.20 | 17.15 | 16.33 | 16.91 | 16.36 | 16.88 | 16.21 | 8.45 | 26.54 |

ตาราง 35 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10  | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 13.49        | 14.93 | 15.75 | 16.09 | 17.11 | 16.28 | 16.88 | 16.31 | 16.84 | 16.10 | 8.38 | 26.23 |
| 13.50        | 14.77 | 15.66 | 16.04 | 17.09 | 16.24 | 16.83 | 16.23 | 16.78 | 16.04 | 8.32 | 26.36 |
| 13.51        | 14.67 | 15.56 | 16.00 | 17.02 | 16.11 | 16.79 | 16.22 | 16.76 | 15.97 | 8.26 | 26.32 |
| 13.52        | 14.57 | 15.47 | 15.93 | 16.99 | 16.02 | 16.71 | 16.09 | 16.71 | 15.87 | 8.18 | 26.41 |
| 13.53        | 14.40 | 15.36 | 15.82 | 16.92 | 15.93 | 16.67 | 16.03 | 16.62 | 15.86 | 8.13 | 26.21 |
| 13.54        | 14.29 | 15.27 | 15.77 | 16.88 | 15.90 | 16.63 | 15.98 | 16.60 | 15.73 | 8.06 | 26.26 |
| 13.55        | 14.20 | 15.21 | 15.71 | 16.83 | 15.77 | 16.57 | 15.92 | 16.53 | 15.73 | 8.01 | 26.29 |
| 13.56        | 14.07 | 15.11 | 15.61 | 16.77 | 15.60 | 16.50 | 15.86 | 16.46 | 15.62 | 7.93 | 26.34 |
| 13.57        | 13.99 | 15.02 | 15.51 | 16.71 | 15.61 | 16.50 | 15.81 | 16.40 | 15.55 | 7.88 | 26.37 |
| 13.58        | 13.91 | 14.96 | 15.51 | 16.65 | 15.51 | 16.42 | 15.74 | 16.39 | 15.52 | 7.81 | 26.39 |
| 13.59        | 13.87 | 14.89 | 15.42 | 16.58 | 15.40 | 16.37 | 15.68 | 16.34 | 15.48 | 7.76 | 26.59 |
| 14.00        | 13.82 | 14.84 | 15.36 | 16.54 | 15.27 | 16.32 | 15.64 | 16.25 | 15.39 | 7.70 | 26.61 |
| 14.01        | 13.78 | 14.78 | 15.29 | 16.45 | 15.28 | 16.26 | 15.60 | 16.22 | 15.30 | 7.64 | 26.64 |
| 14.02        | 13.76 | 14.74 | 15.27 | 16.40 | 15.20 | 16.21 | 15.47 | 16.18 | 15.26 | 7.59 | 26.50 |
| 14.03        | 13.78 | 14.70 | 15.23 | 16.37 | 15.14 | 16.20 | 15.41 | 16.12 | 15.27 | 7.57 | 26.51 |
| 14.04        | 13.76 | 14.66 | 15.19 | 16.31 | 15.08 | 16.11 | 15.39 | 16.05 | 15.19 | 7.50 | 26.49 |
| 14.05        | 13.80 | 14.64 | 15.15 | 16.29 | 15.19 | 16.08 | 15.37 | 16.03 | 15.19 | 7.49 | 26.51 |
| 14.06        | 13.84 | 14.64 | 15.14 | 16.30 | 15.29 | 16.09 | 15.41 | 16.05 | 15.19 | 7.44 | 26.53 |
| 14.07        | 13.86 | 14.65 | 15.11 | 16.27 | 15.26 | 16.06 | 15.37 | 16.00 | 15.20 | 7.47 | 26.45 |
| 14.08        | 13.95 | 14.67 | 15.11 | 16.24 | 15.28 | 16.05 | 15.39 | 15.98 | 15.20 | 7.45 | 26.50 |
| 14.09        | 14.04 | 14.70 | 15.16 | 16.25 | 15.28 | 15.98 | 15.41 | 15.98 | 15.25 | 7.46 | 26.39 |
| 14.10        | 14.19 | 14.77 | 15.17 | 16.21 | 15.31 | 16.03 | 15.44 | 15.98 | 15.26 | 7.44 | 26.45 |
| 14.11        | 14.25 | 14.79 | 15.19 | 16.22 | 15.36 | 16.06 | 15.44 | 15.98 | 15.35 | 7.51 | 26.22 |
| 14.12        | 14.38 | 14.88 | 15.23 | 16.23 | 15.42 | 16.01 | 15.49 | 15.99 | 15.33 | 7.51 | 26.24 |
| 14.13        | 14.50 | 14.90 | 15.25 | 16.26 | 15.52 | 16.07 | 15.52 | 15.95 | 15.35 | 7.55 | 26.25 |
| ค่าเฉลี่ย    | 15.40 | 15.78 | 16.04 | 16.90 | 16.24 | 16.71 | 16.23 | 16.62 | 16.13 | 8.40 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 1.19  | 0.77  | 0.60  | 0.42  | 0.69  | 0.43  | 0.55  | 0.41  | 0.63  | 0.64 |       |
| ค่าสูงสุด    | 17.04 | 16.80 | 16.83 | 17.43 | 17.12 | 17.28 | 16.96 | 17.17 | 17.01 | 9.29 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 13.76 | 14.64 | 15.11 | 16.21 | 15.08 | 15.98 | 15.37 | 15.95 | 15.19 | 7.44 |       |
| ผลต่าง       | 3.2   | 2.16  | 1.72  | 1.22  | 2.04  | 1.30  | 1.59  | 1.22  | 1.82  | 1.85 |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 36 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 40%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 16.13                                                 | 8.40                                                   | 7.73                | 32% RH                       | ±2.50%RH           | +8%RH              |

ตาราง 37 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 50% RH  
วันที่ 14 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10  | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 17.17    | 14.70 | 12.66 | 17.42 | 17.24 | 15.54 | 17.18 | 16.14 | 17.40 | 16.49 | 8.55 | 26.30 |
| 17.18    | 14.81 | 12.89 | 17.39 | 17.22 | 15.60 | 17.26 | 16.06 | 17.34 | 16.58 | 8.57 | 26.34 |
| 17.19    | 14.90 | 13.09 | 17.35 | 17.24 | 15.71 | 17.28 | 16.10 | 17.36 | 16.64 | 8.58 | 26.35 |
| 17.20    | 15.00 | 13.28 | 17.36 | 17.27 | 15.86 | 17.39 | 16.10 | 17.33 | 16.68 | 8.58 | 26.41 |
| 17.21    | 15.20 | 13.53 | 17.37 | 17.29 | 15.92 | 17.50 | 16.12 | 17.32 | 16.75 | 8.57 | 26.31 |
| 17.22    | 15.34 | 13.75 | 17.42 | 17.38 | 16.05 | 17.51 | 16.09 | 17.34 | 16.84 | 8.60 | 26.21 |
| 17.23    | 15.44 | 14.00 | 17.42 | 17.42 | 16.19 | 17.59 | 16.18 | 17.39 | 16.88 | 8.64 | 26.19 |
| 17.24    | 15.60 | 14.18 | 17.46 | 17.51 | 16.28 | 17.62 | 16.22 | 17.40 | 16.97 | 8.67 | 26.20 |
| 17.25    | 15.72 | 14.40 | 17.46 | 17.51 | 16.37 | 17.66 | 16.26 | 17.41 | 17.02 | 8.69 | 26.31 |
| 17.26    | 15.84 | 14.62 | 17.48 | 17.58 | 16.47 | 17.76 | 16.29 | 17.45 | 17.13 | 8.76 | 26.34 |
| 17.27    | 15.96 | 14.81 | 17.46 | 17.61 | 16.58 | 17.77 | 16.40 | 17.48 | 17.17 | 8.80 | 26.25 |
| 17.28    | 16.07 | 14.95 | 17.53 | 17.70 | 16.69 | 17.85 | 16.40 | 17.54 | 17.17 | 8.79 | 26.36 |
| 17.29    | 16.20 | 15.19 | 17.55 | 17.75 | 16.79 | 17.93 | 16.48 | 17.57 | 17.31 | 8.87 | 26.23 |
| 17.30    | 16.27 | 15.33 | 17.61 | 17.83 | 16.94 | 18.07 | 16.55 | 17.59 | 17.31 | 8.88 | 26.35 |
| 17.31    | 16.31 | 15.47 | 17.65 | 17.89 | 16.96 | 18.08 | 16.57 | 17.62 | 17.36 | 8.93 | 26.34 |
| 17.32    | 16.45 | 15.63 | 17.67 | 17.91 | 17.06 | 18.20 | 16.58 | 17.67 | 17.46 | 9.00 | 26.21 |
| 17.33    | 16.47 | 15.72 | 17.67 | 17.91 | 17.13 | 18.24 | 16.64 | 17.71 | 17.53 | 9.01 | 26.31 |
| 17.34    | 16.55 | 15.82 | 17.65 | 17.90 | 17.18 | 18.27 | 16.68 | 17.71 | 17.55 | 9.04 | 26.34 |
| 17.35    | 16.65 | 15.91 | 17.71 | 17.99 | 17.27 | 18.34 | 16.76 | 17.76 | 17.60 | 9.12 | 26.31 |
| 17.36    | 16.66 | 15.98 | 17.71 | 18.00 | 17.32 | 18.33 | 16.75 | 17.75 | 17.61 | 9.14 | 26.35 |
| 17.37    | 16.67 | 16.01 | 17.73 | 18.03 | 17.29 | 18.38 | 16.76 | 17.76 | 17.66 | 9.20 | 26.36 |
| 17.38    | 16.69 | 16.08 | 17.73 | 18.04 | 17.35 | 18.39 | 16.79 | 17.81 | 17.65 | 9.26 | 26.28 |
| 17.39    | 16.73 | 16.12 | 17.71 | 18.03 | 17.37 | 18.41 | 16.83 | 17.81 | 17.60 | 9.27 | 26.29 |
| 17.40    | 16.73 | 16.14 | 17.76 | 18.10 | 17.35 | 18.44 | 16.80 | 17.82 | 17.60 | 9.27 | 26.31 |
| 17.41    | 16.66 | 16.10 | 17.75 | 18.12 | 17.32 | 18.49 | 16.79 | 17.81 | 17.66 | 9.27 | 26.24 |
| 17.42    | 16.64 | 16.07 | 17.70 | 18.09 | 17.28 | 18.41 | 16.79 | 17.77 | 17.58 | 9.32 | 26.26 |
| 17.43    | 16.60 | 16.08 | 17.73 | 18.07 | 17.25 | 18.38 | 16.81 | 17.80 | 17.60 | 9.39 | 26.27 |
| 17.44    | 16.54 | 15.99 | 17.72 | 18.08 | 17.20 | 18.38 | 16.78 | 17.81 | 17.55 | 9.40 | 26.21 |
| 17.45    | 16.49 | 15.89 | 17.66 | 18.05 | 17.15 | 18.35 | 16.74 | 17.78 | 17.57 | 9.41 | 26.20 |
| 17.46    | 16.42 | 15.85 | 17.65 | 18.02 | 17.11 | 18.29 | 16.76 | 17.74 | 17.48 | 9.44 | 26.31 |
| 17.47    | 16.38 | 15.84 | 17.63 | 17.95 | 17.04 | 18.24 | 16.75 | 17.74 | 17.46 | 9.46 | 26.35 |
| 17.48    | 16.33 | 15.78 | 17.63 | 17.96 | 17.01 | 18.26 | 16.66 | 17.71 | 17.47 | 9.44 | 26.30 |
| 17.49    | 16.23 | 15.61 | 17.57 | 17.91 | 16.93 | 18.22 | 16.64 | 17.66 | 17.36 | 9.39 | 26.38 |
| 17.50    | 16.15 | 15.55 | 17.53 | 17.89 | 16.86 | 18.13 | 16.60 | 17.62 | 17.30 | 9.42 | 26.34 |

ตาราง 37 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10  | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 17.51        | 16.13 | 15.53 | 17.51 | 17.86 | 16.82 | 18.14 | 16.57 | 17.61 | 17.29 | 9.44 | 26.24 |
| 17.52        | 16.06 | 15.47 | 17.48 | 17.81 | 16.73 | 18.10 | 16.51 | 17.57 | 17.30 | 9.39 | 26.39 |
| 17.53        | 15.92 | 15.24 | 17.41 | 17.71 | 16.68 | 17.96 | 16.46 | 17.50 | 17.17 | 9.35 | 26.31 |
| 17.54        | 15.86 | 15.20 | 17.33 | 17.64 | 16.63 | 17.91 | 16.47 | 17.49 | 17.09 | 9.40 | 26.45 |
| 17.55        | 15.81 | 15.17 | 17.35 | 17.65 | 16.58 | 17.89 | 16.40 | 17.46 | 17.10 | 9.36 | 26.28 |
| 17.56        | 15.77 | 15.16 | 17.28 | 17.65 | 16.48 | 17.84 | 16.39 | 17.42 | 17.08 | 9.35 | 26.24 |
| 17.57        | 15.74 | 15.14 | 17.31 | 17.64 | 16.48 | 17.77 | 16.37 | 17.40 | 16.99 | 9.27 | 26.26 |
| 17.58        | 15.70 | 15.01 | 17.25 | 17.56 | 16.48 | 17.74 | 16.35 | 17.37 | 16.92 | 9.23 | 26.28 |
| 17.59        | 15.65 | 14.99 | 17.22 | 17.52 | 16.39 | 17.68 | 16.28 | 17.33 | 16.94 | 9.21 | 26.23 |
| 18.00        | 15.63 | 15.01 | 17.18 | 17.50 | 16.39 | 17.63 | 16.26 | 17.30 | 16.90 | 9.15 | 26.28 |
| 18.01        | 15.58 | 14.96 | 17.17 | 17.47 | 16.37 | 17.67 | 16.28 | 17.29 | 16.85 | 9.12 | 26.24 |
| 18.02        | 15.58 | 14.83 | 17.14 | 17.45 | 16.28 | 17.55 | 16.22 | 17.24 | 16.74 | 9.10 | 26.21 |
| 18.03        | 15.60 | 14.92 | 17.12 | 17.42 | 16.22 | 17.53 | 16.16 | 17.20 | 16.81 | 9.14 | 26.30 |
| 18.04        | 15.56 | 14.94 | 17.09 | 17.41 | 16.25 | 17.60 | 16.15 | 17.18 | 16.81 | 9.13 | 26.31 |
| 18.05        | 15.58 | 14.99 | 17.07 | 17.33 | 16.30 | 17.62 | 16.17 | 17.18 | 16.78 | 9.09 | 26.35 |
| 18.06        | 15.63 | 14.96 | 17.06 | 17.35 | 16.26 | 17.63 | 16.14 | 17.15 | 16.78 | 9.08 | 26.34 |
| 18.07        | 15.61 | 15.02 | 17.02 | 17.32 | 16.25 | 17.62 | 16.13 | 17.16 | 16.80 | 9.08 | 26.27 |
| 18.08        | 15.66 | 15.12 | 16.98 | 17.29 | 16.28 | 17.64 | 16.11 | 17.12 | 16.79 | 9.03 | 26.26 |
| 18.09        | 15.66 | 15.18 | 17.02 | 17.33 | 16.32 | 17.63 | 16.15 | 17.13 | 16.75 | 9.03 | 26.24 |
| 18.10        | 15.72 | 15.24 | 17.07 | 17.37 | 16.28 | 17.55 | 16.15 | 17.16 | 16.82 | 9.01 | 26.35 |
| 18.11        | 15.76 | 15.32 | 17.02 | 17.35 | 16.33 | 17.62 | 16.12 | 17.15 | 16.84 | 8.99 | 26.21 |
| 18.12        | 15.78 | 15.37 | 17.00 | 17.35 | 16.43 | 17.62 | 16.14 | 17.11 | 16.80 | 8.95 | 26.20 |
| 18.13        | 15.83 | 15.45 | 17.06 | 17.38 | 16.42 | 17.64 | 16.17 | 17.14 | 16.80 | 8.94 | 26.14 |
| 18.14        | 15.88 | 15.55 | 17.07 | 17.38 | 16.45 | 17.66 | 16.15 | 17.16 | 16.91 | 8.96 | 26.15 |
| 18.15        | 15.90 | 15.59 | 17.00 | 17.31 | 16.46 | 17.67 | 16.19 | 17.15 | 16.89 | 8.93 | 26.21 |
| 18.16        | 15.91 | 15.65 | 17.03 | 17.37 | 16.56 | 17.72 | 16.24 | 17.16 | 16.90 | 8.93 | 26.12 |
| ค่าเฉลี่ย    | 15.95 | 15.16 | 17.40 | 17.65 | 16.63 | 17.89 | 16.41 | 17.47 | 17.12 | 9.07 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.50  | 0.82  | 0.25  | 0.29  | 0.47  | 0.35  | 0.26  | 0.24  | 0.34  | 0.27 |       |
| ค่าสูงสุด    | 16.73 | 16.14 | 17.76 | 18.12 | 17.37 | 18.49 | 16.83 | 17.82 | 17.66 | 9.46 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 14.70 | 12.66 | 16.98 | 17.22 | 15.54 | 17.18 | 16.06 | 17.11 | 16.49 | 8.55 |       |
| ผลต่าง       | 2.03  | 3.48  | 0.78  | 0.90  | 1.83  | 1.31  | 0.77  | 0.71  | 1.17  | 0.91 |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 38 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 50%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความผิด<br>พลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 17.12                                                 | 9.07                                                   | 8.05                | 31% RH                       | ± 3 %RH            | +19 %RH            |

ตาราง 39 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 15 °C @ 60% RH  
วันที่ 14 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21.25    | 15.97 | 15.60 | 17.05 | 17.39 | 16.45 | 17.60 | 16.38 | 17.17 | 16.86 | 10.18 | 26.14 |
| 21.26    | 16.00 | 15.67 | 17.06 | 17.37 | 16.47 | 17.54 | 16.32 | 17.14 | 16.85 | 10.19 | 26.10 |
| 21.27    | 15.99 | 15.70 | 17.05 | 17.39 | 16.47 | 17.52 | 16.27 | 17.13 | 16.83 | 10.19 | 26.00 |
| 21.28    | 15.98 | 15.63 | 17.04 | 17.38 | 16.45 | 17.53 | 16.32 | 17.14 | 16.81 | 10.17 | 26.15 |
| 21.29    | 16.01 | 15.67 | 17.08 | 17.38 | 16.49 | 17.55 | 16.33 | 17.16 | 16.86 | 10.19 | 26.18 |
| 21.30    | 16.03 | 15.72 | 17.07 | 17.39 | 16.51 | 17.61 | 16.33 | 17.18 | 16.87 | 10.19 | 26.10 |
| 21.31    | 16.00 | 15.65 | 17.02 | 17.39 | 16.49 | 17.56 | 16.29 | 17.16 | 16.82 | 10.19 | 26.20 |
| 21.32    | 16.00 | 15.69 | 17.08 | 17.38 | 16.47 | 17.58 | 16.32 | 17.17 | 16.83 | 10.20 | 26.21 |
| 21.33    | 16.02 | 15.66 | 17.08 | 17.36 | 16.49 | 17.57 | 16.32 | 17.16 | 16.90 | 10.22 | 26.24 |
| 21.34    | 16.01 | 15.70 | 17.07 | 17.40 | 16.50 | 17.61 | 16.29 | 17.15 | 16.86 | 10.19 | 26.27 |
| 21.35    | 15.95 | 15.62 | 17.02 | 17.35 | 16.44 | 17.57 | 16.27 | 17.12 | 16.79 | 10.21 | 26.16 |
| 21.36    | 16.00 | 15.66 | 17.04 | 17.35 | 16.46 | 17.57 | 16.33 | 17.12 | 16.85 | 10.23 | 26.15 |
| 21.37    | 15.98 | 15.65 | 17.07 | 17.40 | 16.54 | 17.63 | 16.34 | 17.16 | 16.90 | 10.23 | 26.21 |
| 21.38    | 15.96 | 15.61 | 17.06 | 17.43 | 16.49 | 17.63 | 16.28 | 17.13 | 16.88 | 10.21 | 26.24 |
| 21.39    | 15.95 | 15.65 | 17.07 | 17.40 | 16.46 | 17.60 | 16.30 | 17.13 | 16.85 | 10.23 | 26.26 |
| 21.40    | 15.99 | 15.66 | 17.11 | 17.42 | 16.45 | 17.59 | 16.32 | 17.14 | 16.90 | 10.22 | 26.21 |
| 21.41    | 15.94 | 15.62 | 17.09 | 17.43 | 16.46 | 17.59 | 16.27 | 17.14 | 16.90 | 10.18 | 26.20 |
| 21.42    | 15.94 | 15.63 | 17.08 | 17.43 | 16.44 | 17.56 | 16.28 | 17.14 | 16.85 | 10.20 | 26.19 |
| 21.43    | 15.94 | 15.63 | 17.09 | 17.44 | 16.39 | 17.52 | 16.27 | 17.13 | 16.84 | 10.19 | 26.14 |
| 21.44    | 15.94 | 15.62 | 17.08 | 17.42 | 16.47 | 17.60 | 16.28 | 17.14 | 16.83 | 10.17 | 26.18 |
| 21.45    | 15.96 | 15.68 | 17.07 | 17.43 | 16.51 | 17.65 | 16.30 | 17.18 | 16.89 | 10.17 | 26.15 |
| 21.46    | 15.93 | 15.64 | 17.07 | 17.45 | 16.48 | 17.65 | 16.26 | 17.15 | 16.88 | 10.17 | 26.13 |
| 21.47    | 15.94 | 15.64 | 17.09 | 17.44 | 16.46 | 17.67 | 16.29 | 17.13 | 16.92 | 10.15 | 26.09 |
| 21.48    | 15.98 | 15.67 | 17.13 | 17.46 | 16.46 | 17.61 | 16.33 | 17.17 | 16.89 | 10.13 | 26.14 |
| 21.49    | 15.89 | 15.52 | 17.08 | 17.45 | 16.38 | 17.56 | 16.27 | 17.15 | 16.83 | 10.16 | 26.20 |
| 21.50    | 15.86 | 15.50 | 17.05 | 17.40 | 16.38 | 17.50 | 16.24 | 17.08 | 16.77 | 10.19 | 26.13 |
| 21.51    | 15.92 | 15.57 | 17.09 | 17.43 | 16.39 | 17.54 | 16.27 | 17.09 | 16.83 | 10.20 | 26.10 |
| 21.52    | 15.94 | 15.60 | 17.09 | 17.42 | 16.44 | 17.55 | 16.31 | 17.12 | 16.83 | 10.20 | 26.17 |
| 21.53    | 15.88 | 15.51 | 17.06 | 17.40 | 16.35 | 17.51 | 16.27 | 17.08 | 16.79 | 10.20 | 26.24 |
| 21.54    | 15.87 | 15.54 | 17.07 | 17.42 | 16.41 | 17.61 | 16.23 | 17.08 | 16.81 | 10.23 | 26.13 |
| 21.55    | 15.93 | 15.58 | 17.10 | 17.41 | 16.35 | 17.53 | 16.26 | 17.08 | 16.85 | 10.23 | 26.24 |
| 21.56    | 15.92 | 15.61 | 17.08 | 17.40 | 16.43 | 17.58 | 16.27 | 17.09 | 16.90 | 10.20 | 26.28 |
| 21.57    | 15.90 | 15.57 | 17.08 | 17.43 | 16.42 | 17.58 | 16.24 | 17.13 | 16.82 | 10.18 | 26.21 |
| 21.58    | 15.92 | 15.63 | 17.09 | 17.42 | 16.42 | 17.53 | 16.25 | 17.11 | 16.80 | 10.18 | 26.15 |

ตาราง 39 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21.59        | 15.95 | 15.62 | 17.10 | 17.41 | 16.45 | 17.56 | 16.26 | 17.11 | 16.86 | 10.17 | 26.20 |
| 22.00        | 15.96 | 15.68 | 17.12 | 17.44 | 16.47 | 17.55 | 16.25 | 17.13 | 16.86 | 10.16 | 26.19 |
| 22.01        | 15.91 | 15.60 | 17.12 | 17.42 | 16.46 | 17.59 | 16.20 | 17.09 | 16.81 | 10.17 | 26.14 |
| 22.02        | 15.95 | 15.68 | 17.08 | 17.40 | 16.44 | 17.59 | 16.25 | 17.13 | 16.85 | 10.17 | 26.12 |
| 22.03        | 15.98 | 15.68 | 17.09 | 17.39 | 16.45 | 17.62 | 16.29 | 17.15 | 16.88 | 10.18 | 26.24 |
| 22.04        | 15.96 | 15.69 | 17.10 | 17.43 | 16.48 | 17.60 | 16.27 | 17.11 | 16.86 | 10.16 | 26.24 |
| 22.05        | 15.97 | 15.70 | 17.08 | 17.39 | 16.50 | 17.63 | 16.28 | 17.13 | 16.88 | 10.18 | 26.26 |
| 22.06        | 16.01 | 15.73 | 17.13 | 17.46 | 16.52 | 17.62 | 16.27 | 17.11 | 16.91 | 10.15 | 26.17 |
| 22.07        | 16.07 | 15.68 | 17.14 | 17.46 | 16.57 | 17.63 | 16.33 | 17.13 | 16.90 | 10.15 | 26.11 |
| 22.08        | 16.10 | 15.69 | 17.11 | 17.45 | 16.56 | 17.63 | 16.31 | 17.17 | 16.88 | 10.14 | 26.13 |
| 22.09        | 16.06 | 15.68 | 17.11 | 17.45 | 16.55 | 17.59 | 16.27 | 17.17 | 16.88 | 10.17 | 26.19 |
| 22.10        | 16.10 | 15.66 | 17.15 | 17.48 | 16.54 | 17.63 | 16.34 | 17.18 | 16.90 | 10.13 | 26.15 |
| 22.11        | 16.13 | 15.67 | 17.17 | 17.48 | 16.55 | 17.63 | 16.34 | 17.19 | 16.96 | 10.18 | 26.11 |
| 22.12        | 16.09 | 15.67 | 17.12 | 17.48 | 16.59 | 17.68 | 16.32 | 17.17 | 16.92 | 10.16 | 26.10 |
| 22.13        | 16.07 | 15.68 | 17.12 | 17.50 | 16.56 | 17.66 | 16.32 | 17.15 | 16.93 | 10.14 | 26.19 |
| 22.14        | 16.11 | 15.68 | 17.13 | 17.45 | 16.59 | 17.68 | 16.35 | 17.20 | 16.92 | 10.12 | 26.09 |
| 22.15        | 16.10 | 15.68 | 17.16 | 17.50 | 16.58 | 17.67 | 16.35 | 17.19 | 16.95 | 10.16 | 26.23 |
| 22.16        | 16.04 | 15.63 | 17.17 | 17.52 | 16.58 | 17.69 | 16.32 | 17.18 | 16.91 | 10.13 | 26.24 |
| 22.17        | 16.08 | 15.64 | 17.14 | 17.47 | 16.55 | 17.71 | 16.36 | 17.21 | 16.95 | 10.12 | 26.15 |
| 22.18        | 16.09 | 15.60 | 17.18 | 17.48 | 16.52 | 17.68 | 16.35 | 17.18 | 16.97 | 10.12 | 26.20 |
| 22.19        | 16.06 | 15.61 | 17.14 | 17.47 | 16.55 | 17.63 | 16.38 | 17.18 | 16.93 | 10.14 | 26.26 |
| 22.20        | 16.05 | 15.63 | 17.14 | 17.49 | 16.54 | 17.63 | 16.35 | 17.19 | 16.90 | 10.13 | 26.18 |
| 22.21        | 16.01 | 15.54 | 17.18 | 17.51 | 16.52 | 17.60 | 16.33 | 17.17 | 16.90 | 10.11 | 26.16 |
| 22.22        | 16.06 | 15.57 | 17.14 | 17.47 | 16.50 | 17.56 | 16.34 | 17.17 | 16.91 | 10.13 | 26.15 |
| 22.23        | 16.00 | 15.55 | 17.12 | 17.49 | 16.50 | 17.57 | 16.34 | 17.19 | 16.92 | 10.16 | 26.17 |
| 22.24        | 16.00 | 15.56 | 17.11 | 17.47 | 16.54 | 17.62 | 16.33 | 17.17 | 16.89 | 10.14 | 26.14 |
| ค่าเฉลี่ย    | 15.99 | 15.64 | 17.10 | 17.43 | 16.48 | 17.60 | 16.30 | 17.15 | 16.87 | 10.17 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.07  | 0.05  | 0.04  | 0.04  | 0.06  | 0.05  | 0.04  | 0.03  | 0.05  | 0.03  |       |
| ค่าสูงสุด    | 16.13 | 15.73 | 17.18 | 17.52 | 16.59 | 17.71 | 16.38 | 17.21 | 16.97 | 10.23 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 15.86 | 15.50 | 17.02 | 17.35 | 16.35 | 17.50 | 16.20 | 17.08 | 16.77 | 10.11 |       |
| ผลต่าง       | 0.27  | 0.23  | 0.16  | 0.17  | 0.24  | 0.21  | 0.18  | 0.13  | 0.20  | 0.12  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 40 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 15 °C@ 60%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| 16.87                                                 | 10.17                                                  | 6.70                | 41% RH                       | ± 1 %RH            | +19 %RH        |

ตาราง 41 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 40% RH  
วันที่ 13 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14.05    | 25.43 | 25.60 | 25.84 | 26.22 | 25.77 | 26.07 | 25.74 | 26.18 | 25.69 | 16.55 | 26.26 |
| 14.06    | 25.42 | 25.54 | 25.80 | 26.18 | 25.75 | 26.02 | 25.73 | 26.16 | 25.63 | 16.52 | 26.24 |
| 14.07    | 25.41 | 25.54 | 25.83 | 26.19 | 25.66 | 25.97 | 25.71 | 26.21 | 25.61 | 16.55 | 26.21 |
| 14.08    | 25.34 | 25.50 | 25.76 | 26.15 | 26.68 | 25.98 | 25.67 | 26.17 | 25.59 | 16.53 | 26.30 |
| 14.09    | 25.29 | 25.47 | 25.71 | 26.15 | 25.68 | 25.95 | 25.68 | 26.15 | 25.55 | 16.52 | 26.31 |
| 14.10    | 25.30 | 25.45 | 25.72 | 26.13 | 25.67 | 25.96 | 25.64 | 26.10 | 25.51 | 16.43 | 26.34 |
| 14.11    | 25.28 | 25.41 | 25.69 | 26.10 | 25.62 | 25.91 | 25.60 | 26.07 | 25.49 | 16.39 | 26.35 |
| 14.12    | 25.22 | 25.35 | 25.59 | 26.08 | 25.61 | 25.88 | 25.58 | 26.05 | 25.37 | 16.33 | 26.37 |
| 14.13    | 25.16 | 25.33 | 25.56 | 26.06 | 25.58 | 25.84 | 25.55 | 25.98 | 25.38 | 16.40 | 26.33 |
| 14.14    | 25.15 | 25.30 | 25.59 | 26.06 | 25.53 | 25.79 | 25.53 | 26.00 | 25.38 | 16.38 | 26.31 |
| 14.15    | 25.12 | 25.25 | 25.49 | 26.00 | 25.51 | 25.77 | 24.49 | 25.97 | 25.31 | 16.32 | 26.31 |
| 14.16    | 25.05 | 25.22 | 25.44 | 25.97 | 25.52 | 25.77 | 25.44 | 25.95 | 25.25 | 16.29 | 26.32 |
| 14.17    | 25.03 | 25.20 | 25.45 | 25.95 | 25.51 | 25.73 | 25.45 | 25.93 | 25.22 | 16.28 | 26.37 |
| 14.18    | 25.03 | 25.17 | 25.43 | 25.93 | 25.47 | 25.73 | 25.39 | 25.89 | 25.16 | 16.23 | 26.25 |
| 14.19    | 24.98 | 25.13 | 25.38 | 25.91 | 25.43 | 25.70 | 25.38 | 25.89 | 25.22 | 16.24 | 26.28 |
| 14.20    | 24.92 | 25.10 | 25.31 | 25.92 | 25.45 | 25.69 | 25.39 | 25.86 | 25.15 | 16.18 | 26.24 |
| 14.21    | 24.91 | 25.08 | 25.33 | 25.85 | 25.41 | 25.60 | 25.36 | 28.82 | 25.08 | 16.14 | 26.34 |
| 14.22    | 24.90 | 25.05 | 25.31 | 25.91 | 25.36 | 25.59 | 25.31 | 25.79 | 25.09 | 16.09 | 26.33 |
| 14.23    | 24.86 | 25.01 | 25.25 | 25.84 | 25.31 | 25.53 | 25.31 | 25.80 | 25.12 | 16.09 | 26.37 |
| 14.24    | 24.82 | 24.97 | 25.20 | 25.79 | 25.34 | 25.52 | 25.28 | 25.74 | 25.02 | 16.05 | 26.31 |
| 14.25    | 24.83 | 24.97 | 25.18 | 25.77 | 25.33 | 25.52 | 25.30 | 25.75 | 24.97 | 16.02 | 26.38 |
| 14.26    | 24.85 | 24.98 | 25.22 | 25.76 | 25.30 | 25.50 | 25.26 | 25.73 | 25.06 | 16.04 | 26.35 |
| 14.27    | 24.85 | 25.02 | 25.20 | 25.74 | 25.30 | 25.49 | 25.26 | 25.75 | 25.05 | 16.04 | 26.30 |
| 14.28    | 24.82 | 24.98 | 25.19 | 25.73 | 25.33 | 25.48 | 25.26 | 25.67 | 25.01 | 15.99 | 26.28 |
| 14.29    | 24.85 | 24.97 | 25.19 | 25.69 | 25.30 | 25.45 | 25.26 | 25.68 | 25.01 | 15.96 | 26.29 |
| 14.30    | 24.82 | 24.97 | 25.18 | 25.72 | 25.27 | 25.44 | 25.24 | 25.64 | 25.06 | 16.00 | 26.27 |
| 14.31    | 24.83 | 24.99 | 25.18 | 25.70 | 25.29 | 25.46 | 25.26 | 25.66 | 25.04 | 16.01 | 26.25 |
| 14.32    | 24.83 | 25.00 | 25.19 | 25.72 | 25.31 | 25.45 | 25.30 | 25.65 | 25.02 | 16.01 | 26.34 |
| 14.33    | 24.91 | 25.03 | 25.26 | 25.74 | 25.33 | 25.51 | 25.29 | 25.60 | 25.07 | 16.00 | 26.34 |
| 14.34    | 24.88 | 25.05 | 25.22 | 25.73 | 25.30 | 25.46 | 25.25 | 25.62 | 25.13 | 16.03 | 26.37 |
| 14.35    | 24.92 | 25.09 | 25.21 | 25.73 | 25.34 | 25.49 | 25.32 | 25.65 | 25.14 | 16.07 | 26.35 |
| 14.36    | 24.98 | 25.09 | 25.27 | 25.71 | 25.36 | 25.47 | 25.35 | 25.62 | 25.14 | 16.05 | 26.24 |
| 14.37    | 25.03 | 25.12 | 25.32 | 25.74 | 25.39 | 25.52 | 25.35 | 25.65 | 25.21 | 16.07 | 26.21 |
| 14.38    | 25.04 | 25.17 | 25.29 | 25.72 | 25.39 | 25.54 | 25.37 | 25.68 | 25.25 | 16.09 | 26.23 |

ตาราง 41 (ต่อ)

| เวลา (น)         | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14.39            | 25.06 | 25.21 | 25.31 | 25.78 | 25.42 | 25.56 | 25.42 | 25.68 | 25.24 | 16.09 | 26.22 |
| 14.40            | 25.10 | 25.24 | 25.35 | 25.76 | 25.47 | 25.59 | 25.43 | 25.71 | 25.26 | 16.09 | 26.25 |
| 14.41            | 25.17 | 25.29 | 25.39 | 25.80 | 25.47 | 25.61 | 25.45 | 25.78 | 25.35 | 16.11 | 26.24 |
| 14.42            | 25.18 | 25.32 | 25.38 | 25.80 | 25.48 | 25.65 | 25.47 | 25.79 | 25.39 | 16.12 | 26.24 |
| 14.43            | 25.21 | 25.37 | 25.44 | 25.84 | 25.54 | 25.64 | 25.53 | 25.79 | 25.40 | 16.14 | 26.29 |
| 14.44            | 25.26 | 25.41 | 25.50 | 25.84 | 25.58 | 25.68 | 25.54 | 25.79 | 25.42 | 16.15 | 26.27 |
| 14.45            | 25.29 | 25.46 | 25.55 | 25.89 | 25.57 | 25.70 | 25.54 | 25.81 | 25.46 | 16.19 | 26.26 |
| 14.46            | 25.33 | 25.50 | 25.52 | 25.90 | 25.61 | 25.72 | 25.61 | 25.83 | 25.54 | 16.22 | 26.24 |
| 14.47            | 25.37 | 25.54 | 25.56 | 25.93 | 25.66 | 25.73 | 26.67 | 25.89 | 25.54 | 16.25 | 26.23 |
| 14.48            | 25.42 | 25.56 | 25.57 | 25.93 | 25.66 | 25.74 | 25.65 | 25.87 | 25.57 | 16.27 | 26.21 |
| 14.49            | 25.48 | 25.60 | 25.59 | 25.98 | 25.70 | 25.78 | 25.68 | 25.91 | 25.59 | 16.28 | 26.20 |
| 14.50            | 25.44 | 25.61 | 25.62 | 25.99 | 25.73 | 25.81 | 25.70 | 25.89 | 25.62 | 16.36 | 26.31 |
| 14.51            | 25.49 | 25.64 | 25.65 | 25.98 | 25.77 | 25.83 | 25.76 | 25.94 | 25.60 | 16.37 | 26.29 |
| 14.52            | 25.51 | 25.66 | 25.69 | 26.02 | 25.77 | 25.86 | 25.73 | 25.92 | 25.71 | 16.44 | 26.28 |
| 14.53            | 25.53 | 25.69 | 25.68 | 26.01 | 25.77 | 25.86 | 25.75 | 25.95 | 25.68 | 16.42 | 26.31 |
| 14.54            | 25.51 | 25.72 | 25.67 | 26.03 | 25.80 | 25.88 | 25.80 | 25.99 | 25.65 | 16.39 | 26.29 |
| 14.55            | 25.59 | 25.71 | 25.73 | 26.07 | 25.83 | 25.89 | 25.79 | 25.97 | 25.67 | 16.43 | 26.20 |
| 14.56            | 25.61 | 25.75 | 25.72 | 26.07 | 25.81 | 25.91 | 25.79 | 25.99 | 25.72 | 16.42 | 26.11 |
| 14.57            | 25.55 | 25.69 | 25.65 | 26.08 | 25.78 | 25.90 | 25.77 | 26.00 | 25.63 | 16.44 | 26.10 |
| 14.58            | 25.53 | 25.70 | 25.67 | 26.10 | 25.81 | 25.94 | 25.81 | 25.98 | 25.85 | 16.49 | 26.09 |
| 14.59            | 25.52 | 25.68 | 25.69 | 26.11 | 25.83 | 25.91 | 25.83 | 26.02 | 25.61 | 16.52 | 26.27 |
| 15.00            | 25.54 | 25.69 | 25.69 | 26.08 | 25.81 | 25.90 | 25.80 | 26.02 | 25.63 | 16.51 | 26.28 |
| 15.01            | 25.49 | 25.68 | 25.66 | 26.09 | 25.80 | 25.89 | 25.79 | 26.01 | 25.60 | 16.51 | 26.22 |
| 15.02            | 25.51 | 25.70 | 25.68 | 26.12 | 25.84 | 25.90 | 25.80 | 26.00 | 25.55 | 16.49 | 26.23 |
| 15.03            | 25.50 | 25.67 | 25.68 | 26.11 | 25.84 | 25.91 | 25.78 | 25.97 | 25.55 | 16.46 | 26.21 |
| 15.04            | 25.47 | 25.65 | 25.66 | 26.10 | 25.80 | 25.90 | 25.77 | 25.99 | 25.55 | 16.45 | 26.24 |
| ค่าเฉลี่ย        | 25.20 | 25.35 | 25.48 | 25.93 | 25.56 | 25.72 | 25.53 | 25.88 | 25.37 | 16.26 |       |
| ค่า<br>เบี่ยงเบน | 0.26  | 0.27  | 0.21  | 0.16  | 0.19  | 0.18  | 0.20  | 0.16  | 0.24  | 0.19  |       |
| ค่าสูงสุด        | 25.61 | 25.75 | 25.84 | 26.22 | 25.84 | 26.07 | 25.83 | 26.21 | 25.85 | 16.55 |       |
| ค่าต่ำสุด        | 24.82 | 24.97 | 25.18 | 25.69 | 25.27 | 25.44 | 25.24 | 25.60 | 24.97 | 15.96 |       |
| ผลต่าง           | 0.79  | 0.78  | 0.66  | 0.53  | 0.57  | 0.63  | 0.59  | 0.61  | 0.88  | 0.59  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 42 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 40%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.37                                                 | 16.26                                                  | 9.11                | 37% RH                       | ± 1 %RH            | +3 %RH             |

ตาราง 43 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 50% RH  
วันที่ 13 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18.11    | 25.20 | 26.24 | 23.74 | 24.41 | 25.50 | 24.14 | 24.72 | 24.21 | 24.69 | 18.23 | 26.30 |
| 18.12    | 25.23 | 26.37 | 23.82 | 24.48 | 25.63 | 24.20 | 24.81 | 24.28 | 24.74 | 18.19 | 26.24 |
| 18.13    | 25.22 | 26.15 | 23.78 | 24.50 | 25.55 | 24.17 | 24.79 | 24.34 | 24.67 | 18.10 | 26.28 |
| 18.14    | 25.12 | 26.18 | 23.82 | 24.45 | 25.54 | 24.17 | 24.73 | 24.24 | 24.67 | 18.18 | 26.26 |
| 18.15    | 25.19 | 26.38 | 23.90 | 24.53 | 25.58 | 24.24 | 24.81 | 24.33 | 24.82 | 18.17 | 26.27 |
| 18.16    | 25.17 | 26.40 | 23.96 | 24.58 | 25.67 | 24.28 | 24.84 | 24.39 | 24.78 | 18.10 | 26.28 |
| 18.17    | 25.14 | 26.23 | 23.80 | 24.42 | 25.58 | 24.23 | 24.80 | 24.32 | 24.60 | 18.15 | 26.24 |
| 18.18    | 25.32 | 26.44 | 23.89 | 24.58 | 25.65 | 24.31 | 24.84 | 24.37 | 24.92 | 18.17 | 26.30 |
| 18.19    | 25.37 | 26.72 | 24.01 | 24.68 | 25.79 | 24.36 | 24.91 | 24.47 | 24.98 | 18.11 | 26.34 |
| 18.20    | 25.31 | 26.53 | 23.89 | 24.56 | 25.72 | 24.28 | 24.92 | 24.44 | 24.74 | 18.12 | 26.36 |
| 18.21    | 25.53 | 26.74 | 24.00 | 24.64 | 25.85 | 24.36 | 24.96 | 24.50 | 24.91 | 18.23 | 26.21 |
| 18.22    | 25.58 | 26.88 | 24.11 | 24.75 | 25.92 | 24.45 | 24.98 | 24.56 | 25.06 | 18.25 | 26.24 |
| 18.23    | 25.53 | 26.72 | 24.10 | 24.75 | 25.89 | 24.41 | 25.01 | 24.59 | 24.99 | 18.34 | 26.35 |
| 18.24    | 25.51 | 26.90 | 24.15 | 24.80 | 25.94 | 24.46 | 25.04 | 24.58 | 24.98 | 18.32 | 26.26 |
| 18.25    | 25.66 | 27.03 | 24.21 | 24.83 | 26.04 | 24.55 | 25.10 | 24.66 | 25.14 | 18.26 | 26.31 |
| 18.26    | 25.71 | 26.96 | 24.23 | 24.88 | 25.99 | 24.56 | 25.08 | 24.69 | 25.06 | 18.25 | 26.25 |
| 18.27    | 25.75 | 26.97 | 24.31 | 24.86 | 26.04 | 24.50 | 25.15 | 24.66 | 24.97 | 18.24 | 26.28 |
| 18.28    | 25.74 | 27.12 | 24.31 | 24.95 | 26.12 | 24.59 | 25.16 | 24.72 | 25.13 | 18.26 | 26.29 |
| 18.29    | 25.67 | 27.11 | 24.25 | 24.95 | 26.12 | 24.63 | 25.18 | 24.76 | 25.17 | 18.22 | 26.24 |
| 18.30    | 25.63 | 27.04 | 24.28 | 24.92 | 26.01 | 24.60 | 25.11 | 24.72 | 25.09 | 18.30 | 26.21 |
| 18.31    | 25.74 | 27.07 | 24.37 | 24.96 | 26.14 | 24.68 | 25.18 | 24.75 | 25.33 | 18.31 | 26.31 |
| 18.32    | 25.72 | 27.09 | 24.40 | 25.03 | 26.17 | 24.74 | 25.23 | 24.80 | 25.28 | 18.24 | 26.25 |
| 18.33    | 25.61 | 26.93 | 24.28 | 24.91 | 26.01 | 24.65 | 25.17 | 24.74 | 25.07 | 18.28 | 26.28 |
| 18.34    | 25.68 | 27.07 | 24.38 | 24.98 | 26.07 | 24.67 | 25.21 | 24.80 | 25.21 | 18.30 | 26.33 |
| 18.35    | 25.72 | 27.24 | 24.46 | 25.07 | 26.16 | 24.75 | 25.29 | 24.86 | 25.25 | 18.27 | 26.31 |
| 18.36    | 25.66 | 26.96 | 24.30 | 24.94 | 26.01 | 24.68 | 25.25 | 24.83 | 25.17 | 18.28 | 26.39 |
| 18.37    | 25.64 | 27.01 | 24.37 | 24.99 | 26.03 | 24.69 | 25.26 | 24.81 | 25.22 | 18.34 | 26.32 |
| 18.38    | 25.66 | 27.09 | 24.51 | 25.06 | 26.10 | 24.77 | 25.30 | 24.90 | 25.34 | 18.35 | 26.34 |
| 18.39    | 25.61 | 27.04 | 24.51 | 25.12 | 26.13 | 24.80 | 25.30 | 24.89 | 25.23 | 18.29 | 26.37 |
| 18.40    | 25.58 | 27.05 | 24.44 | 25.02 | 26.07 | 24.73 | 25.24 | 24.84 | 25.20 | 18.35 | 26.35 |
| 18.41    | 25.63 | 27.11 | 24.47 | 25.05 | 26.08 | 24.79 | 25.27 | 24.92 | 25.32 | 18.38 | 26.34 |
| 18.42    | 25.62 | 27.11 | 24.53 | 25.10 | 26.11 | 24.84 | 25.27 | 24.91 | 25.31 | 18.30 | 26.31 |
| 18.43    | 25.47 | 26.80 | 24.40 | 25.01 | 25.97 | 24.74 | 25.25 | 24.85 | 25.05 | 18.31 | 26.30 |
| 18.44    | 25.55 | 26.94 | 24.43 | 25.07 | 26.02 | 24.82 | 25.25 | 24.90 | 25.18 | 18.35 | 26.31 |

ตาราง 43 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18.45        | 25.63 | 27.02 | 24.48 | 25.14 | 26.06 | 24.84 | 25.29 | 24.95 | 25.29 | 18.37 | 26.35 |
| 18.46        | 25.47 | 26.68 | 24.38 | 25.03 | 25.94 | 24.74 | 25.27 | 24.87 | 25.03 | 18.29 | 26.38 |
| 18.47        | 25.58 | 26.81 | 24.39 | 25.03 | 26.03 | 24.77 | 25.25 | 24.87 | 25.09 | 18.21 | 26.34 |
| 18.48        | 25.63 | 26.87 | 24.42 | 25.08 | 26.01 | 24.81 | 25.30 | 24.93 | 25.32 | 18.31 | 26.29 |
| 18.49        | 25.56 | 26.64 | 24.46 | 25.07 | 25.92 | 24.79 | 25.24 | 24.83 | 25.25 | 18.25 | 26.31 |
| 18.50        | 25.58 | 26.67 | 24.40 | 24.99 | 25.94 | 24.75 | 25.20 | 24.72 | 25.11 | 18.31 | 26.38 |
| 18.51        | 25.61 | 26.78 | 24.45 | 25.07 | 26.00 | 24.80 | 25.24 | 24.80 | 25.28 | 18.30 | 26.37 |
| 18.52        | 25.58 | 26.72 | 24.52 | 25.11 | 25.96 | 24.85 | 25.22 | 24.88 | 25.23 | 18.22 | 26.31 |
| 18.53        | 25.50 | 26.62 | 24.51 | 24.99 | 25.87 | 24.78 | 25.20 | 24.83 | 25.06 | 18.25 | 26.34 |
| 18.54        | 25.56 | 26.81 | 24.55 | 25.06 | 25.97 | 24.86 | 25.28 | 24.92 | 25.11 | 18.28 | 26.26 |
| 18.55        | 25.60 | 26.79 | 24.52 | 25.09 | 26.01 | 24.87 | 25.27 | 24.93 | 25.20 | 18.22 | 26.24 |
| 18.56        | 25.52 | 26.59 | 24.42 | 25.00 | 25.88 | 24.81 | 25.19 | 24.84 | 25.09 | 18.23 | 26.27 |
| 18.57        | 25.56 | 26.71 | 24.47 | 25.11 | 25.97 | 24.85 | 25.24 | 24.92 | 25.20 | 18.26 | 26.26 |
| 18.58        | 25.65 | 26.71 | 24.44 | 25.10 | 26.03 | 24.90 | 25.28 | 24.94 | 25.23 | 18.23 | 26.21 |
| 18.59        | 25.62 | 26.50 | 24.36 | 25.03 | 25.90 | 24.80 | 25.22 | 24.86 | 24.96 | 18.22 | 26.23 |
| 19.00        | 25.69 | 26.60 | 24.44 | 25.04 | 25.98 | 24.82 | 25.25 | 24.95 | 25.15 | 18.26 | 26.27 |
| 19.01        | 25.68 | 26.63 | 24.52 | 25.10 | 26.01 | 24.88 | 25.27 | 24.96 | 25.19 | 18.19 | 26.21 |
| 19.02        | 25.64 | 26.35 | 24.39 | 25.02 | 25.91 | 24.80 | 25.26 | 24.89 | 24.97 | 18.18 | 26.23 |
| 19.03        | 25.74 | 26.54 | 24.40 | 25.04 | 25.96 | 24.84 | 25.25 | 24.92 | 25.23 | 18.25 | 26.19 |
| 19.04        | 25.77 | 26.65 | 24.54 | 25.15 | 26.01 | 24.91 | 25.23 | 24.95 | 25.28 | 18.18 | 26.24 |
| 19.05        | 25.58 | 26.36 | 24.39 | 25.04 | 25.97 | 24.88 | 25.26 | 24.92 | 25.10 | 18.17 | 26.23 |
| 19.06        | 25.69 | 26.56 | 24.42 | 25.10 | 25.98 | 24.90 | 25.24 | 24.93 | 25.16 | 18.20 | 26.21 |
| 19.07        | 25.69 | 26.58 | 24.43 | 25.13 | 26.05 | 24.95 | 25.24 | 24.98 | 25.23 | 18.16 | 26.21 |
| 19.08        | 25.59 | 26.48 | 24.42 | 25.04 | 25.92 | 24.84 | 25.22 | 24.91 | 25.05 | 18.19 | 26.19 |
| 19.09        | 25.62 | 26.64 | 24.46 | 25.15 | 25.99 | 24.87 | 25.28 | 24.98 | 25.16 | 18.16 | 26.28 |
| 19.10        | 25.65 | 26.46 | 24.44 | 25.10 | 25.98 | 24.93 | 25.22 | 24.97 | 25.17 | 18.20 | 26.21 |
| ค่าเฉลี่ย    | 25.56 | 26.74 | 24.30 | 24.93 | 25.94 | 24.66 | 25.15 | 24.75 | 25.16 | 18.24 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.17  | 0.28  | 0.23  | 0.21  | 0.16  | 0.23  | 0.17  | 0.22  | 0.49  | 0.07  |       |
| ค่าสูงสุด    | 25.77 | 27.24 | 24.55 | 25.15 | 26.17 | 24.95 | 25.30 | 24.98 | 25.34 | 18.38 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 25.12 | 26.15 | 23.74 | 24.41 | 25.50 | 24.14 | 24.72 | 24.21 | 24.60 | 18.10 |       |
| ผลต่าง       | 0.65  | 1.09  | 0.81  | 0.74  | 0.67  | 0.81  | 0.58  | 0.77  | 0.74  | 0.28  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 44 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 50%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.09                                                 | 18.24                                                  | 6.85                | 51% RH                       | ±2.50 %RH          | —1 %RH             |

ตาราง 45 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 25 °C @ 60% RH  
วันที่ 13 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 22.24    | 25.60 | 25.93 | 25.09 | 25.69 | 25.87 | 25.70 | 25.61 | 25.59 | 25.29 | 19.50 | 26.13 |
| 22.25    | 25.47 | 26.00 | 25.04 | 25.63 | 25.85 | 25.63 | 25.51 | 25.51 | 25.20 | 19.51 | 26.14 |
| 22.26    | 25.47 | 26.04 | 25.10 | 25.66 | 25.91 | 25.69 | 25.53 | 25.54 | 25.40 | 19.50 | 26.24 |
| 22.27    | 25.30 | 25.51 | 25.02 | 25.53 | 25.61 | 25.58 | 25.47 | 25.48 | 25.13 | 19.52 | 26.15 |
| 22.28    | 25.23 | 25.66 | 24.96 | 25.47 | 25.50 | 25.52 | 25.38 | 25.42 | 25.08 | 19.53 | 26.20 |
| 22.29    | 25.24 | 25.72 | 25.00 | 25.53 | 25.60 | 25.56 | 25.35 | 25.45 | 25.24 | 19.51 | 26.23 |
| 22.30    | 25.08 | 25.25 | 24.89 | 25.31 | 25.38 | 25.37 | 25.29 | 25.28 | 24.82 | 19.54 | 26.09 |
| 22.31    | 25.03 | 25.32 | 24.90 | 25.32 | 25.33 | 25.40 | 25.20 | 25.26 | 24.94 | 19.54 | 26.20 |
| 22.32    | 25.08 | 25.45 | 24.93 | 25.38 | 25.42 | 25.46 | 25.19 | 25.33 | 25.09 | 19.64 | 26.23 |
| 22.33    | 24.97 | 25.14 | 24.85 | 25.29 | 25.25 | 25.32 | 25.11 | 25.24 | 24.78 | 19.56 | 26.21 |
| 22.34    | 24.96 | 25.28 | 24.84 | 25.25 | 25.25 | 25.31 | 25.13 | 25.20 | 24.85 | 19.54 | 26.24 |
| 22.35    | 25.00 | 25.40 | 24.87 | 25.32 | 25.34 | 25.35 | 25.13 | 25.27 | 25.06 | 19.52 | 26.20 |
| 22.36    | 24.97 | 25.16 | 24.79 | 25.20 | 25.21 | 25.28 | 25.07 | 25.21 | 24.76 | 19.55 | 26.23 |
| 22.37    | 25.04 | 25.40 | 24.81 | 25.22 | 25.29 | 25.28 | 25.05 | 25.17 | 24.83 | 19.47 | 26.25 |
| 22.38    | 25.14 | 25.53 | 24.91 | 25.31 | 25.43 | 25.36 | 25.09 | 25.21 | 25.06 | 19.43 | 26.26 |
| 22.39    | 25.00 | 25.25 | 24.84 | 25.25 | 25.32 | 25.34 | 25.08 | 25.19 | 24.91 | 19.52 | 26.29 |
| 22.40    | 24.99 | 25.38 | 24.78 | 25.20 | 25.35 | 25.33 | 24.99 | 25.13 | 24.90 | 19.53 | 26.24 |
| 22.41    | 25.00 | 25.41 | 24.85 | 25.25 | 25.44 | 25.35 | 25.03 | 25.16 | 25.00 | 19.51 | 26.23 |
| 22.42    | 24.89 | 25.04 | 24.73 | 25.10 | 25.20 | 25.25 | 25.01 | 25.09 | 24.66 | 19.50 | 26.21 |
| 22.43    | 24.96 | 25.33 | 24.75 | 25.16 | 25.34 | 25.28 | 25.00 | 25.11 | 24.87 | 19.51 | 26.31 |
| 22.44    | 25.01 | 25.47 | 24.84 | 25.26 | 25.44 | 25.32 | 24.98 | 25.15 | 25.00 | 19.53 | 26.30 |
| 22.45    | 24.95 | 25.19 | 24.75 | 25.12 | 25.27 | 25.25 | 24.95 | 25.06 | 24.70 | 19.52 | 26.28 |
| 22.46    | 25.07 | 25.44 | 24.77 | 25.19 | 25.41 | 25.30 | 25.00 | 25.12 | 24.94 | 19.54 | 26.24 |
| 22.47    | 25.19 | 25.55 | 24.83 | 25.28 | 25.52 | 25.36 | 25.00 | 25.17 | 25.06 | 19.54 | 26.21 |
| 22.48    | 25.10 | 25.49 | 24.76 | 25.18 | 25.44 | 25.25 | 24.99 | 25.13 | 24.80 | 19.50 | 26.22 |
| 22.49    | 25.30 | 25.78 | 24.87 | 25.26 | 25.63 | 25.35 | 25.06 | 25.16 | 25.10 | 19.52 | 26.23 |
| 22.50    | 25.50 | 26.02 | 24.95 | 25.37 | 25.77 | 25.43 | 25.11 | 25.24 | 25.25 | 19.50 | 26.27 |
| 22.51    | 25.47 | 26.09 | 24.92 | 25.33 | 25.73 | 25.39 | 25.12 | 25.23 | 25.09 | 19.51 | 26.30 |
| 22.52    | 25.56 | 26.35 | 24.96 | 25.41 | 25.93 | 25.46 | 25.17 | 25.28 | 25.27 | 19.53 | 26.24 |
| 22.53    | 25.75 | 26.55 | 25.05 | 25.52 | 26.10 | 25.57 | 25.27 | 25.39 | 25.48 | 19.54 | 26.28 |
| 22.54    | 25.83 | 26.54 | 25.01 | 25.50 | 26.09 | 25.56 | 25.31 | 25.40 | 25.41 | 19.50 | 26.25 |
| 22.55    | 26.02 | 26.81 | 25.09 | 25.63 | 26.15 | 25.67 | 25.42 | 25.51 | 25.63 | 19.52 | 26.21 |
| 22.56    | 26.14 | 27.06 | 25.14 | 25.75 | 26.12 | 25.75 | 25.46 | 25.59 | 25.74 | 19.51 | 26.00 |
| 22.57    | 26.13 | 27.05 | 25.20 | 25.73 | 26.08 | 25.76 | 25.54 | 25.59 | 25.69 | 19.53 | 26.14 |

ตาราง 45 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 22.58        | 26.30 | 27.30 | 25.28 | 25.87 | 26.10 | 25.85 | 25.57 | 25.67 | 25.86 | 19.60 | 26.24 |
| 22.59        | 26.32 | 27.33 | 25.26 | 25.91 | 26.22 | 25.91 | 25.64 | 25.73 | 25.91 | 19.63 | 26.18 |
| 23.00        | 26.39 | 27.43 | 25.33 | 25.92 | 26.23 | 25.88 | 25.67 | 25.72 | 25.87 | 19.70 | 26.29 |
| 23.01        | 26.51 | 27.59 | 25.42 | 26.01 | 26.47 | 26.00 | 25.78 | 25.81 | 26.02 | 19.76 | 26.27 |
| 23.02        | 26.50 | 27.49 | 25.39 | 26.08 | 26.32 | 26.04 | 25.81 | 25.85 | 26.05 | 19.78 | 26.24 |
| 23.03        | 26.49 | 27.57 | 25.39 | 26.04 | 26.31 | 26.00 | 25.78 | 25.80 | 25.90 | 19.89 | 26.26 |
| 23.04        | 26.55 | 27.69 | 25.46 | 26.10 | 26.43 | 26.07 | 25.90 | 25.93 | 26.11 | 19.91 | 26.19 |
| 23.05        | 26.57 | 27.56 | 25.46 | 26.15 | 26.39 | 26.11 | 25.95 | 25.96 | 26.11 | 19.90 | 26.24 |
| 23.06        | 26.41 | 27.59 | 25.45 | 26.11 | 26.33 | 26.06 | 25.89 | 25.88 | 25.96 | 19.99 | 26.25 |
| 23.07        | 26.46 | 27.74 | 25.49 | 26.19 | 26.44 | 26.14 | 25.90 | 25.95 | 26.12 | 19.89 | 26.27 |
| 23.08        | 26.52 | 27.49 | 25.51 | 26.18 | 26.37 | 26.13 | 25.99 | 26.02 | 26.10 | 19.76 | 26.25 |
| 23.09        | 26.37 | 27.40 | 25.45 | 26.11 | 26.31 | 26.08 | 25.89 | 25.88 | 25.94 | 19.56 | 26.28 |
| 23.10        | 26.29 | 27.45 | 25.44 | 26.14 | 26.38 | 26.15 | 25.90 | 25.91 | 26.07 | 19.75 | 26.29 |
| 23.11        | 26.24 | 27.19 | 25.41 | 26.11 | 26.29 | 26.09 | 25.89 | 25.91 | 25.92 | 19.54 | 26.24 |
| 23.12        | 26.15 | 27.09 | 25.45 | 26.07 | 26.20 | 26.06 | 25.87 | 25.85 | 25.86 | 19.64 | 26.21 |
| 23.13        | 26.15 | 27.10 | 25.48 | 26.10 | 26.24 | 26.09 | 25.83 | 25.87 | 26.00 | 19.56 | 26.20 |
| 23.14        | 25.99 | 26.60 | 25.38 | 26.04 | 26.04 | 26.00 | 25.79 | 25.81 | 25.74 | 19.54 | 26.16 |
| 23.15        | 25.92 | 26.71 | 25.38 | 26.97 | 26.02 | 25.95 | 25.77 | 25.74 | 25.66 | 19.56 | 26.20 |
| 23.16        | 25.94 | 26.79 | 25.41 | 26.00 | 26.08 | 26.00 | 25.74 | 25.76 | 25.79 | 19.50 | 26.09 |
| 23.17        | 25.78 | 26.16 | 25.35 | 25.89 | 25.85 | 25.99 | 25.70 | 25.73 | 25.48 | 19.52 | 26.14 |
| 23.18        | 25.63 | 26.24 | 25.25 | 25.77 | 25.79 | 25.87 | 25.58 | 25.59 | 25.45 | 19.55 | 26.15 |
| 23.19        | 25.67 | 26.40 | 25.36 | 25.88 | 25.81 | 25.91 | 25.58 | 25.62 | 25.58 | 19.54 | 26.12 |
| 23.20        | 25.62 | 26.08 | 25.33 | 25.80 | 25.67 | 25.86 | 25.58 | 25.64 | 25.51 | 19.52 | 26.14 |
| 23.21        | 25.42 | 25.86 | 25.21 | 25.65 | 25.53 | 25.75 | 25.49 | 25.51 | 25.26 | 19.54 | 26.15 |
| 23.22        | 25.43 | 26.01 | 25.28 | 25.75 | 25.63 | 25.78 | 25.49 | 25.57 | 25.42 | 19.55 | 26.17 |
| 23.23        | 25.46 | 25.68 | 25.22 | 25.69 | 25.61 | 25.79 | 25.50 | 25.56 | 25.37 | 19.57 | 26.18 |
| ค่าเฉลี่ย    | 25.64 | 26.27 | 25.12 | 25.64 | 25.81 | 25.67 | 25.43 | 25.50 | 25.40 | 19.58 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.56  | 0.86  | 0.26  | 0.35  | 0.40  | 0.31  | 0.33  | 0.29  | 0.45  | 0.53  |       |
| ค่าสูงสุด    | 26.57 | 27.74 | 25.51 | 26.19 | 26.47 | 26.15 | 25.99 | 26.02 | 26.12 | 19.99 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 24.89 | 25.04 | 24.73 | 25.10 | 25.20 | 25.25 | 24.95 | 25.06 | 24.66 | 15.56 |       |
| ผลต่าง       | 1.68  | 2.70  | 0.78  | 1.09  | 1.27  | 0.90  | 1.04  | 0.96  | 1.46  | 0.56  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 46 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C@ 60%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 25.40                                                 | 19.58                                                  | 5.82                | 58% RH                       | ±3.50 %RH          | +3 %RH             |

ตาราง 47 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 40% RH  
วันที่ 15 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15.10    | 30.23 | 30.23 | 29.68 | 30.00 | 29.93 | 29.93 | 30.04 | 29.88 | 30.25 | 20.24 | 26.15 |
| 15.11    | 30.23 | 30.24 | 29.69 | 30.02 | 29.97 | 29.94 | 30.09 | 29.93 | 30.21 | 20.24 | 26.10 |
| 15.12    | 30.27 | 30.26 | 29.76 | 30.08 | 30.00 | 29.98 | 30.08 | 29.92 | 30.24 | 20.26 | 26.25 |
| 15.13    | 30.31 | 30.27 | 29.76 | 30.08 | 29.99 | 30.01 | 30.11 | 29.96 | 30.28 | 20.26 | 26.24 |
| 15.14    | 30.30 | 30.33 | 29.79 | 30.11 | 30.03 | 30.03 | 30.15 | 30.00 | 30.29 | 20.29 | 26.24 |
| 15.15    | 30.29 | 30.27 | 29.80 | 30.15 | 30.09 | 30.03 | 30.16 | 29.99 | 30.26 | 20.30 | 26.00 |
| 15.16    | 30.33 | 30.31 | 29.79 | 30.13 | 30.06 | 30.04 | 30.21 | 30.02 | 30.33 | 20.37 | 26.18 |
| 15.17    | 30.36 | 30.32 | 29.80 | 30.13 | 30.06 | 30.05 | 30.19 | 30.01 | 30.33 | 20.33 | 26.20 |
| 15.18    | 30.33 | 30.34 | 29.83 | 30.15 | 30.11 | 30.06 | 30.23 | 30.06 | 30.34 | 20.38 | 26.15 |
| 15.19    | 30.32 | 30.34 | 29.77 | 30.14 | 30.11 | 30.05 | 30.26 | 30.03 | 30.31 | 20.37 | 26.26 |
| 15.20    | 30.35 | 30.34 | 29.85 | 30.18 | 30.11 | 30.06 | 30.23 | 30.04 | 30.31 | 20.38 | 26.27 |
| 15.21    | 30.35 | 30.34 | 29.87 | 30.20 | 30.09 | 30.07 | 30.22 | 30.04 | 30.33 | 20.36 | 26.29 |
| 15.22    | 30.34 | 30.30 | 29.79 | 30.19 | 30.09 | 30.08 | 30.24 | 30.04 | 30.26 | 20.34 | 26.30 |
| 15.23    | 30.35 | 30.30 | 29.84 | 30.21 | 30.11 | 30.08 | 30.24 | 30.07 | 30.22 | 20.32 | 26.41 |
| 15.24    | 30.39 | 30.31 | 29.84 | 30.21 | 30.11 | 30.11 | 30.22 | 30.06 | 30.31 | 20.34 | 26.39 |
| 15.25    | 30.34 | 30.23 | 29.71 | 30.14 | 30.09 | 30.11 | 30.19 | 30.04 | 30.23 | 20.34 | 26.35 |
| 15.26    | 30.31 | 30.28 | 29.77 | 30.20 | 30.13 | 30.09 | 30.22 | 30.08 | 30.17 | 20.33 | 26.37 |
| 15.27    | 30.28 | 30.25 | 29.82 | 30.20 | 30.14 | 30.10 | 30.23 | 30.07 | 30.20 | 20.38 | 26.25 |
| 15.28    | 30.31 | 30.26 | 29.86 | 30.21 | 30.09 | 30.10 | 30.20 | 30.07 | 30.27 | 20.44 | 26.24 |
| 15.29    | 30.30 | 30.27 | 29.81 | 30.17 | 30.10 | 30.11 | 30.20 | 30.06 | 30.24 | 20.39 | 26.39 |
| 15.30    | 30.21 | 30.17 | 29.71 | 30.15 | 30.12 | 30.06 | 30.20 | 30.02 | 30.08 | 20.31 | 26.35 |
| 15.31    | 30.16 | 30.14 | 29.74 | 30.13 | 30.06 | 30.01 | 30.16 | 30.04 | 30.09 | 20.34 | 26.34 |
| 15.32    | 30.19 | 30.14 | 29.74 | 30.14 | 30.01 | 29.99 | 30.12 | 30.03 | 30.10 | 20.34 | 26.21 |
| 15.33    | 30.17 | 30.11 | 29.68 | 30.16 | 29.99 | 29.96 | 30.11 | 30.00 | 30.02 | 20.31 | 26.29 |
| 15.34    | 30.14 | 30.10 | 29.67 | 30.13 | 30.05 | 29.98 | 30.11 | 29.98 | 30.00 | 20.29 | 26.34 |
| 15.35    | 30.14 | 30.11 | 29.69 | 30.08 | 29.98 | 29.94 | 30.13 | 30.01 | 29.99 | 20.24 | 26.40 |
| 15.36    | 30.11 | 30.08 | 29.71 | 30.10 | 29.96 | 29.92 | 30.08 | 29.97 | 29.99 | 20.23 | 26.41 |
| 15.37    | 30.02 | 29.98 | 29.58 | 30.02 | 29.96 | 29.91 | 30.05 | 29.93 | 29.93 | 20.21 | 26.51 |
| 15.38    | 30.04 | 30.02 | 29.60 | 30.00 | 29.95 | 29.89 | 30.04 | 29.93 | 29.95 | 20.23 | 26.45 |
| 15.39    | 30.03 | 29.97 | 29.64 | 30.02 | 29.95 | 29.86 | 30.03 | 29.96 | 29.94 | 20.20 | 26.45 |
| 15.40    | 29.97 | 29.92 | 29.50 | 30.01 | 29.91 | 29.88 | 30.05 | 29.93 | 29.91 | 20.17 | 26.43 |
| 15.41    | 29.94 | 29.90 | 29.50 | 29.98 | 29.90 | 29.83 | 30.00 | 29.89 | 29.84 | 20.17 | 26.40 |
| 15.42    | 29.95 | 29.93 | 29.53 | 29.97 | 29.94 | 29.85 | 29.99 | 29.90 | 29.82 | 20.17 | 26.39 |
| 15.43    | 29.98 | 29.92 | 29.53 | 29.95 | 29.89 | 29.83 | 29.96 | 29.89 | 29.86 | 20.15 | 26.35 |

ตาราง 47 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15.44        | 29.88 | 29.86 | 29.49 | 29.94 | 29.82 | 29.80 | 29.92 | 29.89 | 29.83 | 20.14 | 26.30 |
| 15.45        | 29.85 | 29.83 | 29.46 | 29.92 | 29.85 | 29.80 | 29.95 | 29.85 | 29.81 | 20.14 | 26.24 |
| 15.46        | 29.91 | 29.88 | 29.51 | 29.93 | 29.85 | 29.79 | 29.95 | 29.86 | 29.80 | 20.12 | 26.25 |
| 15.47        | 29.90 | 29.87 | 29.51 | 29.93 | 29.86 | 29.81 | 29.93 | 29.87 | 29.81 | 20.06 | 26.23 |
| 15.48        | 29.86 | 29.85 | 29.43 | 29.89 | 29.84 | 29.82 | 29.92 | 29.87 | 29.80 | 20.08 | 26.28 |
| 15.49        | 29.86 | 29.86 | 29.50 | 29.90 | 29.83 | 29.76 | 29.97 | 29.87 | 29.80 | 20.10 | 26.26 |
| 15.50        | 29.94 | 29.87 | 29.52 | 29.89 | 29.85 | 29.80 | 29.95 | 29.84 | 29.86 | 20.10 | 26.24 |
| 15.51        | 29.90 | 29.85 | 29.50 | 29.91 | 29.82 | 29.77 | 29.94 | 29.86 | 29.84 | 20.09 | 26.21 |
| 15.52        | 29.93 | 29.89 | 29.55 | 29.93 | 29.84 | 29.76 | 29.93 | 29.86 | 29.90 | 20.14 | 26.20 |
| 15.53        | 29.93 | 29.91 | 29.54 | 29.90 | 29.89 | 29.78 | 29.96 | 29.85 | 29.84 | 20.11 | 26.32 |
| 15.54        | 29.97 | 29.93 | 29.57 | 29.87 | 29.89 | 29.79 | 29.94 | 29.86 | 29.91 | 20.11 | 26.31 |
| 15.55        | 29.98 | 29.95 | 29.55 | 29.89 | 29.90 | 29.81 | 29.98 | 29.89 | 29.93 | 20.10 | 26.34 |
| 15.56        | 29.99 | 29.99 | 29.53 | 29.90 | 29.92 | 29.80 | 29.96 | 29.86 | 29.93 | 20.12 | 26.38 |
| 15.57        | 30.00 | 29.99 | 29.60 | 29.91 | 29.95 | 29.81 | 29.98 | 29.87 | 29.93 | 20.13 | 26.40 |
| 15.58        | 30.05 | 30.01 | 29.59 | 29.89 | 29.91 | 29.82 | 29.98 | 29.88 | 29.96 | 20.09 | 26.24 |
| 15.59        | 30.07 | 30.04 | 29.65 | 30.00 | 29.87 | 29.83 | 30.01 | 29.91 | 29.98 | 20.12 | 26.21 |
| 16.00        | 30.07 | 30.06 | 29.64 | 29.98 | 29.93 | 29.85 | 30.05 | 29.91 | 30.00 | 20.12 | 26.28 |
| 16.01        | 30.08 | 30.05 | 29.69 | 29.96 | 29.91 | 29.86 | 30.05 | 29.91 | 30.01 | 20.15 | 26.27 |
| 16.02        | 30.10 | 30.08 | 29.70 | 29.97 | 29.91 | 29.87 | 30.04 | 29.95 | 30.05 | 20.14 | 26.27 |
| 16.03        | 30.11 | 30.11 | 29.72 | 30.02 | 29.95 | 29.91 | 30.05 | 29.91 | 30.06 | 20.15 | 26.24 |
| 16.04        | 30.11 | 30.13 | 29.72 | 30.03 | 29.96 | 29.93 | 30.09 | 29.97 | 30.07 | 20.18 | 26.18 |
| 16.05        | 30.14 | 30.12 | 29.74 | 29.98 | 29.96 | 29.93 | 30.13 | 30.03 | 30.07 | 20.16 | 26.20 |
| 16.06        | 30.20 | 30.14 | 29.76 | 30.02 | 29.96 | 29.94 | 30.12 | 30.02 | 30.13 | 20.18 | 26.21 |
| 16.07        | 30.16 | 30.14 | 29.78 | 30.05 | 30.00 | 29.99 | 30.11 | 30.04 | 30.15 | 20.19 | 26.24 |
| 16.08        | 30.19 | 30.15 | 29.77 | 30.01 | 30.01 | 29.98 | 30.16 | 30.07 | 30.15 | 20.17 | 26.28 |
| 16.09        | 30.21 | 30.11 | 29.74 | 30.05 | 29.99 | 29.98 | 30.12 | 30.01 | 30.09 | 20.17 | 26.26 |
| ค่าเฉลี่ย    | 30.13 | 30.10 | 29.67 | 30.04 | 29.98 | 29.93 | 30.08 | 29.96 | 30.06 | 20.22 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.16  | 0.16  | 0.12  | 0.11  | 0.09  | 0.11  | 0.10  | 0.08  | 0.18  | 0.10  |       |
| ค่าสูงสุด    | 30.39 | 30.34 | 29.87 | 30.21 | 30.14 | 30.11 | 30.26 | 30.08 | 30.34 | 20.44 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 29.85 | 29.83 | 29.43 | 29.87 | 29.82 | 29.76 | 29.92 | 29.84 | 29.80 | 20.06 |       |
| ผลต่าง       | 0.54  | 0.51  | 0.44  | 0.34  | 0.32  | 0.35  | 0.34  | 0.24  | 0.54  | 0.38  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 48 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 40%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 29.41                                                 | 20.22                                                  | 9.84                | 40% RH                       | ±1 %RH             | 0 %RH              |

ตาราง 49 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 50% RH  
วันที่ 15 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19.20    | 30.47 | 31.95 | 28.46 | 29.06 | 30.59 | 28.44 | 29.75 | 28.82 | 29.21 | 21.39 | 26.34 |
| 19.21    | 30.55 | 32.06 | 28.51 | 29.16 | 30.70 | 28.54 | 29.76 | 28.90 | 29.35 | 21.36 | 26.32 |
| 19.22    | 30.44 | 31.94 | 28.39 | 29.03 | 30.59 | 28.51 | 29.74 | 28.83 | 29.24 | 21.34 | 26.21 |
| 19.23    | 30.40 | 32.15 | 28.48 | 29.10 | 30.64 | 28.53 | 29.74 | 28.86 | 29.34 | 21.43 | 26.30 |
| 19.24    | 30.49 | 32.31 | 28.52 | 29.15 | 30.75 | 28.59 | 29.83 | 28.95 | 29.45 | 21.39 | 26.33 |
| 19.25    | 30.48 | 32.25 | 28.43 | 29.09 | 30.65 | 28.54 | 29.79 | 28.90 | 29.35 | 21.37 | 26.24 |
| 19.26    | 30.57 | 32.35 | 28.56 | 29.20 | 30.78 | 28.59 | 29.81 | 28.98 | 29.54 | 21.43 | 26.20 |
| 19.27    | 30.51 | 32.47 | 28.59 | 29.25 | 30.84 | 28.64 | 29.85 | 29.05 | 29.47 | 21.38 | 26.25 |
| 19.28    | 30.47 | 32.41 | 28.48 | 29.16 | 30.80 | 28.57 | 29.83 | 28.96 | 29.32 | 21.41 | 26.24 |
| 19.29    | 30.59 | 32.60 | 28.57 | 29.26 | 30.88 | 28.66 | 29.85 | 29.05 | 29.56 | 21.43 | 26.26 |
| 19.30    | 30.65 | 32.50 | 28.55 | 29.27 | 30.91 | 28.65 | 29.88 | 29.09 | 29.61 | 21.38 | 26.27 |
| 19.31    | 30.63 | 32.53 | 28.60 | 29.21 | 30.86 | 28.61 | 29.87 | 29.04 | 29.60 | 21.45 | 26.28 |
| 19.32    | 30.68 | 32.66 | 28.60 | 29.32 | 30.94 | 28.66 | 29.95 | 29.14 | 29.60 | 21.46 | 26.21 |
| 19.33    | 30.68 | 32.50 | 28.55 | 29.31 | 30.91 | 28.71 | 29.96 | 29.18 | 29.63 | 21.42 | 26.35 |
| 19.34    | 30.67 | 32.51 | 28.55 | 29.29 | 30.92 | 28.65 | 29.93 | 29.16 | 29.54 | 21.49 | 26.29 |
| 19.35    | 30.85 | 32.58 | 28.62 | 29.43 | 31.04 | 28.64 | 30.01 | 29.25 | 29.68 | 21.49 | 26.34 |
| 19.36    | 30.74 | 32.31 | 28.40 | 29.21 | 30.90 | 28.61 | 29.96 | 29.19 | 29.46 | 21.46 | 26.25 |
| 19.37    | 30.80 | 32.47 | 28.52 | 29.30 | 30.97 | 28.62 | 29.96 | 29.17 | 29.65 | 21.56 | 26.31 |
| 19.38    | 30.82 | 32.56 | 28.63 | 29.38 | 31.04 | 28.65 | 29.97 | 29.27 | 29.78 | 21.52 | 26.30 |
| 19.39    | 30.67 | 32.36 | 28.59 | 29.27 | 30.94 | 28.59 | 29.96 | 29.19 | 29.46 | 21.50 | 26.28 |
| 19.40    | 30.75 | 32.44 | 28.59 | 29.33 | 31.04 | 28.69 | 30.01 | 29.23 | 29.61 | 21.57 | 26.34 |
| 19.41    | 30.81 | 32.61 | 28.61 | 29.38 | 31.01 | 28.68 | 29.99 | 29.27 | 29.69 | 21.51 | 26.30 |
| 19.42    | 30.57 | 32.37 | 28.48 | 29.19 | 30.84 | 28.52 | 29.96 | 29.11 | 29.33 | 21.54 | 26.27 |
| 19.43    | 30.65 | 32.38 | 28.54 | 29.26 | 30.91 | 28.53 | 29.97 | 29.19 | 29.49 | 21.56 | 26.21 |
| 19.44    | 30.68 | 32.37 | 28.59 | 29.32 | 30.92 | 28.67 | 29.97 | 29.22 | 29.55 | 21.50 | 26.20 |
| 19.45    | 30.49 | 32.26 | 28.50 | 29.19 | 30.79 | 28.56 | 29.91 | 29.13 | 29.22 | 21.51 | 26.16 |
| 19.46    | 30.55 | 32.35 | 28.66 | 29.28 | 30.85 | 28.61 | 29.99 | 29.18 | 29.42 | 21.49 | 26.10 |
| 19.47    | 30.55 | 32.07 | 28.57 | 29.23 | 30.77 | 28.57 | 29.95 | 29.14 | 29.40 | 21.47 | 26.24 |
| 19.48    | 30.50 | 32.15 | 28.51 | 29.14 | 30.74 | 28.51 | 29.89 | 29.05 | 29.32 | 21.51 | 26.21 |
| 19.49    | 30.55 | 32.26 | 28.63 | 29.23 | 30.82 | 28.57 | 29.91 | 29.11 | 29.49 | 21.49 | 26.30 |
| 19.50    | 30.42 | 32.05 | 28.37 | 29.10 | 30.68 | 28.45 | 29.91 | 29.01 | 29.11 | 21.41 | 26.28 |
| 19.51    | 30.58 | 32.16 | 28.34 | 29.14 | 30.71 | 28.48 | 29.87 | 29.02 | 29.33 | 21.51 | 26.27 |
| 19.52    | 30.71 | 32.28 | 28.43 | 29.20 | 30.80 | 28.58 | 29.86 | 29.05 | 29.51 | 21.46 | 26.31 |
| 19.53    | 30.58 | 31.97 | 28.36 | 29.09 | 30.67 | 28.44 | 29.87 | 28.96 | 29.27 | 21.42 | 26.29 |

ตาราง 49 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19.54        | 30.69 | 32.18 | 28.35 | 29.12 | 30.80 | 28.53 | 29.92 | 29.01 | 29.46 | 21.46 | 26.34 |
| 19.55        | 30.80 | 32.16 | 28.39 | 29.23 | 30.89 | 28.63 | 29.95 | 29.06 | 29.53 | 21.39 | 26.21 |
| 19.56        | 30.62 | 31.86 | 28.28 | 29.06 | 30.66 | 28.47 | 29.85 | 28.94 | 29.20 | 21.42 | 26.23 |
| 19.57        | 30.61 | 32.02 | 28.40 | 29.14 | 30.73 | 28.51 | 29.89 | 29.01 | 29.40 | 21.48 | 26.25 |
| 19.58        | 30.74 | 32.11 | 28.45 | 29.17 | 30.79 | 28.58 | 29.92 | 29.09 | 29.50 | 21.40 | 26.28 |
| 19.59        | 30.61 | 31.89 | 28.36 | 29.03 | 30.61 | 28.45 | 29.86 | 28.99 | 29.28 | 21.41 | 26.24 |
| 20.00        | 30.68 | 32.08 | 28.44 | 29.10 | 30.73 | 28.54 | 29.86 | 29.04 | 29.45 | 21.43 | 26.23 |
| 20.01        | 30.67 | 31.93 | 28.42 | 29.10 | 30.67 | 28.54 | 29.86 | 29.06 | 29.33 | 21.33 | 26.20 |
| 20.02        | 30.59 | 31.92 | 28.36 | 29.02 | 30.64 | 28.45 | 29.83 | 29.00 | 29.25 | 21.41 | 26.24 |
| 20.03        | 30.80 | 32.05 | 28.38 | 29.08 | 30.76 | 28.54 | 29.82 | 29.05 | 29.47 | 21.39 | 26.26 |
| 20.04        | 30.66 | 31.87 | 28.33 | 29.03 | 30.60 | 28.43 | 29.79 | 29.00 | 29.16 | 21.36 | 26.28 |
| 20.05        | 30.67 | 32.00 | 28.40 | 29.03 | 30.65 | 28.49 | 29.84 | 29.04 | 29.31 | 21.46 | 26.20 |
| 20.06        | 30.75 | 32.12 | 28.44 | 29.13 | 30.78 | 28.62 | 29.86 | 29.10 | 29.42 | 21.39 | 26.18 |
| 20.07        | 30.79 | 31.76 | 28.33 | 29.05 | 30.64 | 28.44 | 29.83 | 29.02 | 29.24 | 21.35 | 26.21 |
| 20.08        | 30.82 | 31.87 | 28.44 | 29.06 | 30.73 | 28.54 | 29.84 | 29.05 | 29.34 | 21.41 | 26.13 |
| 20.09        | 30.89 | 31.99 | 28.47 | 29.15 | 30.81 | 28.59 | 29.88 | 29.11 | 29.47 | 21.35 | 26.15 |
| 20.10        | 30.83 | 31.76 | 28.33 | 29.04 | 30.65 | 28.46 | 29.88 | 29.01 | 29.16 | 21.35 | 26.20 |
| 20.11        | 30.86 | 31.86 | 28.43 | 29.10 | 30.71 | 28.57 | 29.86 | 29.05 | 29.49 | 21.44 | 26.23 |
| 20.12        | 30.90 | 31.85 | 28.49 | 29.17 | 30.77 | 28.63 | 29.89 | 29.12 | 29.52 | 21.38 | 26.24 |
| 20.13        | 30.78 | 31.73 | 28.36 | 29.07 | 30.69 | 28.53 | 29.86 | 29.01 | 29.20 | 21.38 | 26.17 |
| 20.14        | 30.93 | 31.87 | 28.42 | 29.16 | 30.76 | 28.60 | 29.92 | 29.10 | 29.45 | 21.41 | 26.15 |
| 20.15        | 30.81 | 31.75 | 28.37 | 29.08 | 30.67 | 28.58 | 29.88 | 29.07 | 29.27 | 21.34 | 26.27 |
| 20.16        | 30.79 | 31.75 | 28.34 | 29.06 | 30.70 | 28.53 | 29.86 | 29.03 | 29.29 | 21.46 | 26.23 |
| 20.17        | 30.92 | 31.93 | 28.45 | 29.17 | 30.84 | 28.61 | 29.92 | 29.12 | 29.47 | 21.41 | 26.20 |
| 20.18        | 30.80 | 31.73 | 28.33 | 29.07 | 30.73 | 28.58 | 29.88 | 29.06 | 29.31 | 21.39 | 26.21 |
| 20.19        | 30.72 | 31.90 | 28.40 | 29.07 | 30.65 | 28.55 | 29.84 | 29.01 | 29.34 | 21.44 | 26.25 |
| ค่าเฉลี่ย    | 30.67 | 32.15 | 28.47 | 29.17 | 30.78 | 28.56 | 29.88 | 29.06 | 29.41 | 21.43 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.14  | 0.27  | 0.10  | 0.10  | 0.12  | 0.07  | 0.07  | 0.10  | 0.15  | 0.06  |       |
| ค่าสูงสุด    | 30.93 | 32.66 | 28.66 | 29.43 | 31.04 | 28.71 | 30.01 | 29.27 | 29.78 | 21.57 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 30.40 | 31.73 | 28.28 | 29.02 | 30.59 | 28.43 | 29.74 | 28.82 | 29.11 | 21.33 |       |
| ผลต่าง       | 0.53  | 0.93  | 0.38  | 0.41  | 0.45  | 0.28  | 0.27  | 0.45  | 0.67  | 0.24  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 50 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 50%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 29.41                                                 | 21.43                                                  | 8.36                | 48% RH                       | ±1.50%RH           | + 2 %RH            |

ตาราง 51 ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งที่ 30 °C @ 60% RH  
วันที่ 15 เมษายน 2004

| เวลา (น) | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 11.49    | 30.49 | 31.34 | 29.30 | 30.02 | 29.53 | 29.60 | 30.18 | 29.84 | 29.80 | 22.84 | 26.54 |
| 11.50    | 29.86 | 30.32 | 28.87 | 29.47 | 28.90 | 29.20 | 29.91 | 29.45 | 28.77 | 22.85 | 26.52 |
| 11.51    | 29.79 | 30.37 | 28.97 | 29.54 | 28.88 | 29.21 | 29.83 | 29.44 | 29.12 | 22.76 | 26.57 |
| 11.52    | 29.51 | 29.62 | 28.84 | 29.43 | 28.52 | 29.09 | 29.72 | 29.32 | 28.86 | 22.48 | 26.50 |
| 11.53    | 28.98 | 29.05 | 28.28 | 28.95 | 28.07 | 28.68 | 29.41 | 28.93 | 28.05 | 22.50 | 26.53 |
| 11.54    | 28.96 | 29.09 | 28.28 | 29.03 | 28.11 | 28.73 | 29.35 | 29.01 | 28.45 | 22.31 | 26.49 |
| 11.55    | 28.58 | 28.24 | 28.02 | 28.76 | 27.58 | 28.40 | 29.16 | 28.78 | 27.79 | 22.23 | 26.57 |
| 11.56    | 28.47 | 28.45 | 27.93 | 28.59 | 27.62 | 28.36 | 29.02 | 28.65 | 27.86 | 22.22 | 26.56 |
| 11.57    | 28.53 | 28.29 | 27.91 | 28.61 | 27.63 | 28.43 | 28.97 | 28.68 | 27.98 | 22.10 | 26.54 |
| 11.58    | 28.22 | 27.92 | 27.71 | 28.29 | 27.30 | 28.03 | 28.76 | 28.40 | 27.33 | 22.21 | 26.61 |
| 11.59    | 28.45 | 28.39 | 27.90 | 28.42 | 27.60 | 28.20 | 28.77 | 28.50 | 27.92 | 22.23 | 26.62 |
| 12.00    | 28.40 | 27.99 | 27.71 | 28.23 | 27.37 | 28.01 | 28.70 | 28.39 | 27.42 | 22.24 | 26.64 |
| 12.01    | 28.31 | 28.23 | 27.67 | 28.17 | 27.44 | 27.93 | 28.64 | 28.30 | 27.57 | 22.25 | 26.56 |
| 12.02    | 28.55 | 28.50 | 27.81 | 28.33 | 27.66 | 28.15 | 28.68 | 28.42 | 28.01 | 22.22 | 26.54 |
| 12.03    | 28.55 | 28.32 | 27.60 | 28.07 | 27.47 | 27.92 | 28.58 | 28.15 | 27.32 | 22.26 | 26.55 |
| 12.04    | 28.92 | 28.85 | 27.76 | 28.25 | 27.84 | 28.11 | 28.64 | 28.29 | 27.97 | 22.24 | 26.57 |
| 12.05    | 29.06 | 28.50 | 27.81 | 28.30 | 27.79 | 28.08 | 28.67 | 28.34 | 27.86 | 22.21 | 26.56 |
| 12.06    | 29.02 | 28.81 | 27.73 | 28.17 | 27.91 | 27.96 | 28.65 | 28.21 | 27.75 | 22.19 | 26.58 |
| 12.07    | 29.37 | 29.31 | 27.99 | 28.39 | 28.27 | 28.18 | 28.82 | 28.42 | 28.31 | 22.10 | 26.60 |
| 12.08    | 29.33 | 28.97 | 27.92 | 28.33 | 28.14 | 28.14 | 28.78 | 28.36 | 28.07 | 22.08 | 26.59 |
| 12.09    | 29.44 | 29.47 | 27.97 | 28.37 | 28.40 | 28.14 | 28.81 | 28.36 | 28.26 | 21.56 | 26.57 |
| 12.10    | 29.83 | 29.96 | 28.22 | 28.60 | 28.84 | 28.40 | 28.93 | 28.54 | 28.61 | 21.49 | 26.53 |
| 12.11    | 29.74 | 29.59 | 28.13 | 28.42 | 28.72 | 28.28 | 29.00 | 28.44 | 28.13 | 21.51 | 26.51 |
| 12.12    | 30.00 | 30.11 | 28.28 | 28.66 | 29.07 | 28.45 | 29.03 | 28.53 | 28.67 | 21.65 | 26.61 |
| 12.13    | 30.12 | 30.36 | 28.30 | 28.78 | 29.23 | 28.53 | 29.14 | 28.66 | 28.82 | 21.58 | 26.64 |
| 12.14    | 30.12 | 30.20 | 28.16 | 28.66 | 29.15 | 28.46 | 29.14 | 28.48 | 28.49 | 21.73 | 26.65 |
| 12.15    | 30.41 | 30.72 | 28.35 | 28.86 | 29.39 | 28.64 | 29.32 | 28.69 | 29.06 | 21.84 | 26.64 |
| 12.16    | 30.47 | 30.54 | 28.38 | 28.95 | 29.45 | 28.73 | 29.35 | 28.75 | 29.03 | 22.10 | 26.68 |
| 12.17    | 30.48 | 30.56 | 28.36 | 28.86 | 29.53 | 28.65 | 29.34 | 28.68 | 28.83 | 22.09 | 26.69 |
| 12.18    | 30.83 | 30.96 | 28.58 | 29.10 | 29.80 | 28.85 | 29.51 | 28.88 | 29.31 | 22.01 | 26.70 |
| 12.19    | 30.54 | 30.61 | 28.49 | 29.06 | 29.60 | 28.81 | 29.49 | 28.83 | 29.02 | 22.00 | 26.78 |
| 12.20    | 30.58 | 30.94 | 28.46 | 29.11 | 29.79 | 28.80 | 29.49 | 28.86 | 29.09 | 22.09 | 26.75 |
| 12.21    | 30.73 | 30.91 | 28.59 | 29.23 | 30.02 | 28.95 | 29.56 | 28.97 | 29.20 | 22.02 | 26.73 |
| 12.22    | 30.55 | 30.62 | 28.40 | 29.00 | 29.89 | 28.72 | 29.53 | 28.67 | 28.75 | 22.09 | 26.74 |

ตาราง 51 (ต่อ)

| เวลา (น)     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   | T11   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12.23        | 30.72 | 30.98 | 28.55 | 29.22 | 30.26 | 28.91 | 29.61 | 28.82 | 29.23 | 22.16 | 26.71 |
| 12.24        | 30.65 | 30.60 | 28.47 | 29.16 | 30.25 | 28.87 | 29.59 | 28.87 | 28.95 | 22.12 | 26.64 |
| 12.25        | 30.47 | 30.61 | 28.45 | 29.09 | 30.17 | 28.81 | 29.55 | 28.79 | 28.92 | 22.25 | 26.61 |
| 12.26        | 30.66 | 30.96 | 28.61 | 29.26 | 30.34 | 28.94 | 29.64 | 29.00 | 29.29 | 22.21 | 26.68 |
| 12.27        | 30.42 | 30.43 | 28.34 | 29.00 | 30.00 | 28.75 | 29.57 | 28.85 | 28.67 | 22.24 | 26.74 |
| 12.28        | 30.55 | 30.75 | 28.43 | 29.14 | 30.25 | 28.84 | 29.57 | 28.94 | 29.11 | 22.36 | 26.58 |
| 12.29        | 30.64 | 30.58 | 28.52 | 29.20 | 30.22 | 28.88 | 29.64 | 29.03 | 29.19 | 22.20 | 26.64 |
| 12.30        | 30.49 | 30.56 | 28.38 | 29.05 | 30.08 | 28.76 | 29.59 | 28.86 | 28.86 | 22.33 | 26.54 |
| 12.31        | 30.72 | 30.84 | 28.49 | 29.26 | 30.34 | 28.92 | 29.67 | 29.05 | 29.29 | 22.32 | 26.57 |
| 12.32        | 30.53 | 30.29 | 28.33 | 29.08 | 30.07 | 28.80 | 29.63 | 28.98 | 28.72 | 22.25 | 26.63 |
| 12.33        | 30.60 | 30.66 | 28.49 | 29.16 | 30.23 | 28.84 | 29.63 | 28.95 | 29.19 | 22.40 | 26.54 |
| 12.34        | 30.66 | 30.66 | 28.50 | 29.21 | 30.30 | 28.89 | 29.69 | 29.09 | 29.17 | 22.29 | 26.59 |
| 12.35        | 30.46 | 30.41 | 28.25 | 29.03 | 30.02 | 28.69 | 29.58 | 28.94 | 28.73 | 22.40 | 26.63 |
| 12.36        | 30.69 | 30.84 | 28.39 | 29.25 | 30.30 | 28.87 | 29.66 | 29.12 | 29.24 | 22.38 | 26.61 |
| 12.37        | 30.61 | 30.39 | 28.35 | 29.09 | 30.18 | 28.78 | 29.67 | 29.00 | 28.80 | 22.36 | 26.68 |
| 12.38        | 30.59 | 30.75 | 28.42 | 29.18 | 30.26 | 28.85 | 29.67 | 29.04 | 29.05 | 22.45 | 26.74 |
| 12.39        | 30.71 | 30.83 | 28.51 | 29.29 | 30.32 | 28.91 | 29.75 | 29.16 | 29.16 | 22.39 | 26.71 |
| 12.40        | 30.53 | 30.81 | 28.44 | 29.06 | 30.21 | 28.70 | 29.73 | 29.01 | 28.81 | 22.56 | 26.69 |
| 12.41        | 30.73 | 31.24 | 28.65 | 29.28 | 30.50 | 28.89 | 29.78 | 29.18 | 29.30 | 22.56 | 26.66 |
| 12.42        | 30.60 | 30.85 | 28.51 | 29.20 | 30.26 | 28.84 | 29.81 | 29.01 | 29.01 | 22.51 | 26.67 |
| 12.43        | 30.63 | 31.19 | 28.55 | 29.22 | 30.44 | 28.79 | 29.76 | 28.94 | 29.07 | 22.67 | 26.64 |
| 12.44        | 30.81 | 31.43 | 28.73 | 29.38 | 30.64 | 28.96 | 29.87 | 29.15 | 29.42 | 22.58 | 26.63 |
| 12.45        | 30.58 | 30.97 | 28.53 | 29.15 | 30.26 | 28.81 | 29.84 | 29.02 | 28.90 | 22.65 | 26.61 |
| 12.46        | 30.80 | 31.47 | 28.69 | 29.42 | 30.59 | 28.94 | 29.87 | 29.20 | 29.35 | 22.71 | 26.66 |
| 12.47        | 30.80 | 31.21 | 28.66 | 29.39 | 30.56 | 28.93 | 29.89 | 29.25 | 29.12 | 22.66 | 26.64 |
| 12.48        | 30.67 | 31.26 | 28.59 | 29.25 | 30.45 | 28.80 | 29.90 | 29.17 | 29.09 | 22.81 | 26.56 |
| ค่าเฉลี่ย    | 29.99 | 30.09 | 28.33 | 28.93 | 29.30 | 28.65 | 29.38 | 28.83 | 28.69 | 22.25 |       |
| ค่าเบี่ยงเบน | 0.84  | 1.03  | 0.35  | 0.42  | 1.09  | 0.36  | 0.43  | 0.34  | 0.59  | 0.32  |       |
| ค่าสูงสุด    | 30.83 | 31.47 | 29.30 | 30.02 | 30.64 | 29.60 | 30.18 | 29.84 | 29.80 | 22.85 |       |
| ค่าต่ำสุด    | 28.22 | 27.92 | 27.60 | 28.07 | 27.30 | 27.92 | 28.58 | 28.15 | 27.32 | 21.49 |       |
| ผลต่าง       | 2.61  | 3.55  | 1.70  | 1.95  | 3.34  | 1.68  | 1.60  | 1.69  | 2.48  | 1.36  |       |

|          |     |     |                                                                 |
|----------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|
| หมายเหตุ | T1  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 1                           |
|          | T2  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 2                           |
|          | T3  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 3                           |
|          | T4  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 4                           |
|          | T5  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 5                           |
|          | T6  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 6                           |
|          | T7  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 7                           |
|          | T8  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 8                           |
|          | T9  | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 9                           |
|          | T10 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายในตู้ตำแหน่งที่ 10 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก |
|          | T11 | คือ | ค่าอุณหภูมิที่วัดภายนอกตู้                                      |

ตาราง 52 สรุปผลการวัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 30 °C@ 60%RH

| ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะแห้ง<br>(องศาเซลเซียส) | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ<br>กระเปาะเปียก<br>(องศาเซลเซียส) | ผลต่าง<br>ค่าเฉลี่ย | ค่าความชื้นเฉลี่ย<br>( % RH) | ค่าความ<br>แปรปรวน | ค่าความ<br>ผิดพลาด |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 28.69                                                 | 22.25                                                  | 6.44                | 57% RH                       | + 5 %RH            | ± 3 %RH            |

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้การคุ้มครองความลับแบบใช้อัลตราโซนิกส์

คู่มือการใช้งาน  
ผู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานด้านควบคุมความชื้นสำหรับเก็บเครื่องมือ และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางด้านอุตสาหกรรม ที่มีค่าอุณหภูมิที่  $25^{\circ}\text{C}$  และ  $30^{\circ}\text{C}$  ค่าความชื้น 40 % RH – 60 % RH ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและสะดวกในการใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้จัดทำคู่มือการใช้งานตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ซึ่งภายในคู่มือประกอบด้วยคำเตือนก่อนการใช้งาน ข้อมูลเฉพาะ ส่วนประกอบของตู้ การใช้งานตู้ และการเปิด – ปิดตู้

ผู้วิจัยหวังว่าคู่มือการใช้งานตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์จะช่วยให้ผู้อ่านใช้งานตู้ได้ง่ายขึ้น

สุทัศน์ รอดพยาง

สารบัญ

|                      | หน้า |
|----------------------|------|
| คำเตือนก่อนการใช้งาน | 1    |
| ข้อมูลเฉพาะ          | 1    |
| ส่วนประกอบของตู้     | 2    |
| การใช้งานตู้         | 3    |
| การเปิด – ปิดตู้     | 3    |

## คำแนะนำก่อนการใช้งาน

- เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟไหม้และไฟช็อต ไม่ควรวางตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ในที่ฝนสาดถึง หรือบริเวณที่เปียกชื้น
- ควรติดตั้งตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ในที่ร่ม มีอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส
- ควรติดตั้งตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์กับพื้นที่ใช้งานที่เรียบสม่ำเสมอและมั่นคง เพื่อป้องกันตุลัม
- ควรติดตั้งสายดินกับตัวตู้ เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า
- ไม่ควรเปิดประตูของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ขณะใช้งาน
- ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับระหว่าง 220 ถึง 240 โวลต์ ความถี่ 50 / 60 เฮิรตซ์เท่านั้น
- หากมีของเหลวเข้าไปในแผงควบคุมไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ หรือพัดลมระบายความร้อน รีบถอดปลั๊กไฟฟ้าออก จากนั้นให้ช่างผู้เชี่ยวชาญทำความสะอาด และทำการตรวจสอบตู้ทันที
- ถอดปลั๊กไฟฟ้าออกเมื่อไม่ต้องการใช้งานตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์เป็นเวลานานๆ โดยดึงที่ตัวปลั๊กเท่านั้น อย่าดึงที่สายไฟฟ้า
- ควรทำความสะอาดตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ทุกครั้งหลังการใช้งาน โดยใช้ผ้าสะอาด
- เมื่อเลิกใช้งานให้ใช้ผ้าคลุมตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ทุกครั้ง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปภายในแผงควบคุมไฟฟ้า

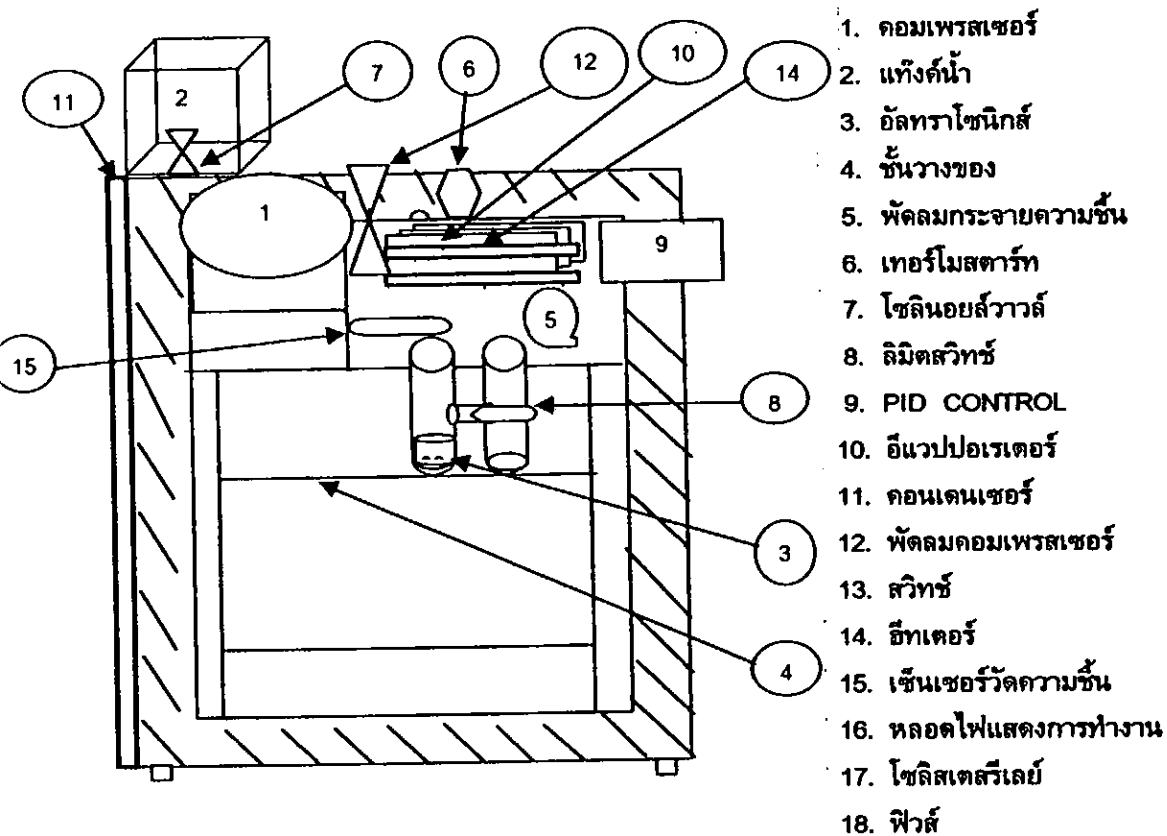
## ข้อมูลเฉพาะ

- เป็นตู้ควบคุมความชื้น ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบ PID Microprocessor แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เป็นตัวเลขไฟฟ้า (Digital display) แบบ LED โดยแสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้และค่าจริงขณะใช้งาน (ภายในChamber)
- ควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงอุณหภูมิ 15 - 30 องศาเซลเซียส และมีค่าความผิดพลาดที่  $25^{\circ}\text{C}$  ไม่เกิน  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 40 - 60%RH ค่าความผิดพลาดที่  $25^{\circ}\text{C}$  ไม่เกิน  $\pm 5\%\text{RH}$
- ตัวตู้ภายนอกและภายในทำด้วยเหล็ก ภายในตู้อัดแน่นกันความร้อนช่วงตรงกลางป้องกันความสูญเสียอุณหภูมิและความชื้นได้ดี ทำความสะอาดได้ง่าย มีขนาดกะทัดรัด
- ขนาดของตู้ภายนอกไม่น้อยกว่า กว้าง × ลึก × สูง (535 mm × 460 mm × 730 mm)
- ขนาดพื้นที่ใช้งานภายในไม่น้อยกว่า กว้าง × ลึก × สูง (455 mm × 316 mm × 447 mm)
- ความจุ 60 ลิตร
- ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 – 240 โวลต์ 50 เฮิรตซ์
- อัลตราโซนิกส์ขนาด 20 วัตต์ ให้ความชื้นสูงสุด 100 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์
- มีระบบและการกระจายความชื้นและอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งตู้ (พัดลมกระจายความชื้นและอุณหภูมิ)
- มีระบบความปลอดภัย (Safety) ประกอบด้วย

- ระบบ (Safety) ป้องกันความชื้นเกิน ตั้งและปรับได้เพื่อป้องกันตัวเครื่องและผู้ใช้งาน
- มีหลอดไฟสัญญาณแสดงการทำงานของความชื้นและอุณหภูมิ
- มีระบบป้องกันไฟฟ้าเวลาที่มีกระแสไฟฟ้าเกิน

### ส่วนประกอบของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

ส่วนประกอบของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ ตามภาพประกอบ 42 มีรายละเอียดดังนี้

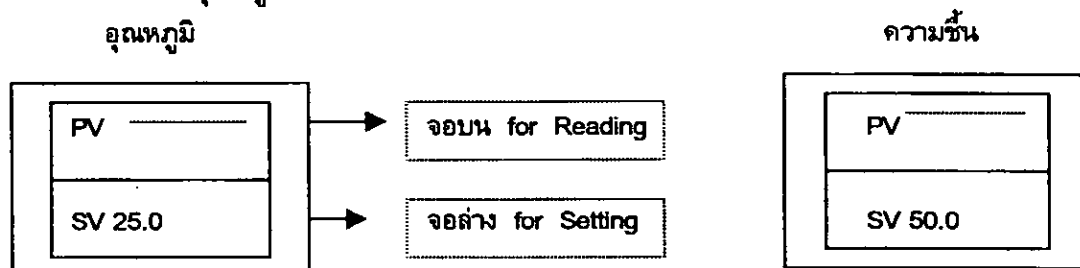


ภาพประกอบ 42 ส่วนประกอบของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

## การใช้งานตู้

- เสียบปลั๊กไฟฟ้า 220 โวลท์
- เปิดสวิตช์ Power
- ตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นโดยกดปุ่ม  $\leftarrow$  ไปตามตัวเลขอุณหภูมิและปรับค่าอุณหภูมิ
- กดปุ่ม  $\uparrow \downarrow$  ที่ตัวเลขอุณหภูมิตามความต้องการ
- เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นได้แล้วให้กดปุ่ม **ENT**

เช่น ถ้าต้องการอุณหภูมิ 25 °C ชื้นแรก ความชื้น 50 %RH ข้างบนและข้างล่าง



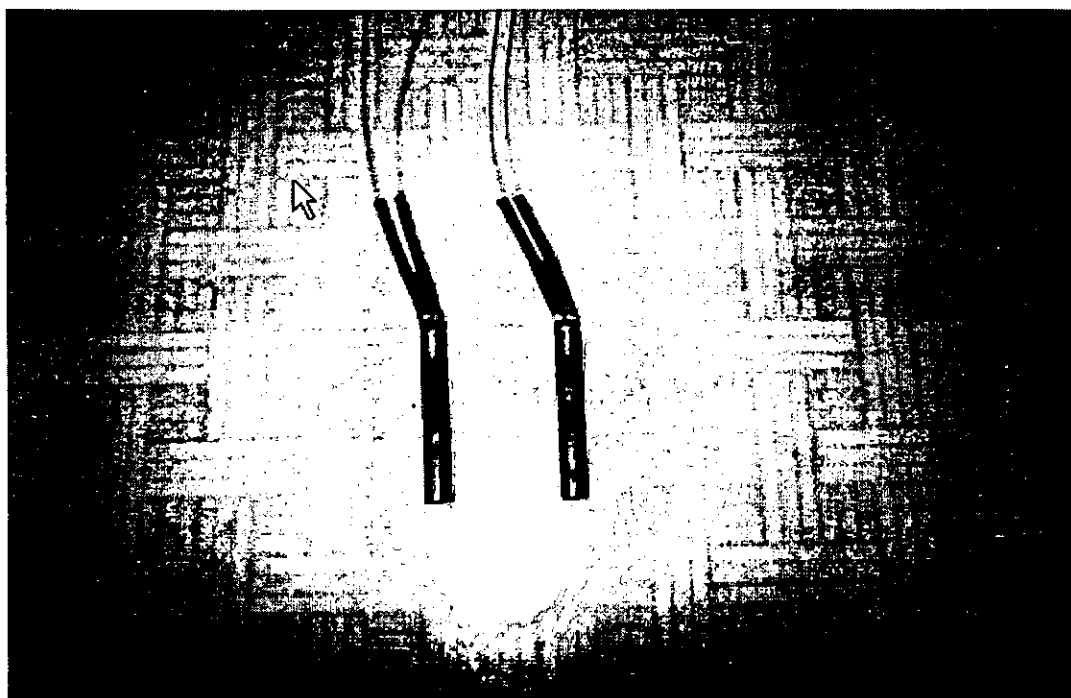
เราจะต้อง Set จอด้านล่างให้มีอุณหภูมิ 25 °C โดยการกด  $\leftarrow$  ไปตามตัวเลขที่ต้องการเปลี่ยน โดยการเลื่อนไปตามแนวราบ ต้องการเปลี่ยนตัวเลขใดให้หยุดที่ตัวนั้น และทำการเปลี่ยนค่าตัวนั้น โดยใช้ลูกศร  $\uparrow \downarrow$  ที่ตัวเลขนั้นจนกระทั่งจอล่างแสดงอุณหภูมิตามที่ต้องการ แล้วทำการกด **ENT** ส่วนการตั้งความชื้นก็ Set ในลักษณะเดียวกัน

## การเปิด - ปิดตู้

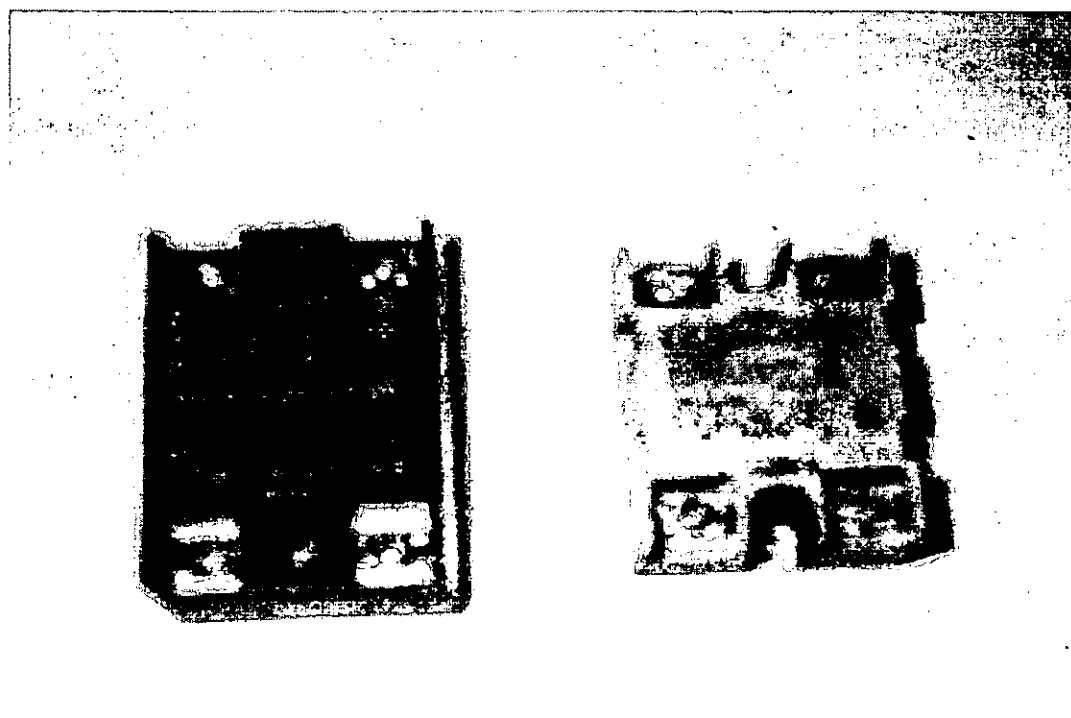
### การเปิด - ปิดตู้ทำได้ดังนี้

หลังจากเสียบปลั๊กจ่ายไฟฟ้าเข้าตู้ควบคุมแล้วให้สังเกตสวิตช์ที่มีสัญลักษณ์ 0/1 มีสีเขียวที่อยู่ด้านบนทางซ้ายมือของตู้ ถ้าต้องการใช้งานให้กดสวิตช์ไปที่ 1 (เปิด) หลอดไฟแสดงการทำงานของฮีตเตอร์ที่อยู่บนแผงควบคุมจะสว่าง หากต้องการเลิกใช้งานให้กดสวิตช์ไปที่ 0 (ปิด) หลอดไฟแสดงการทำงานของฮีตเตอร์ที่อยู่บนแผงควบคุมจะดับ ส่วนหลอดไฟแสดงการทำงานของฮีตเตอร์ 1 หลอด จะแสดงการทำงานของฮีตเตอร์โซนิกส์ และหลอดไฟแสดงการทำงานของฮีตเตอร์ 2 หลอด โดยหลอดที่ 1 จะแสดงการทำงานของฮีตเตอร์ และหลอดที่ 2 จะแสดงการทำงานของฮีตเตอร์โซนิกส์

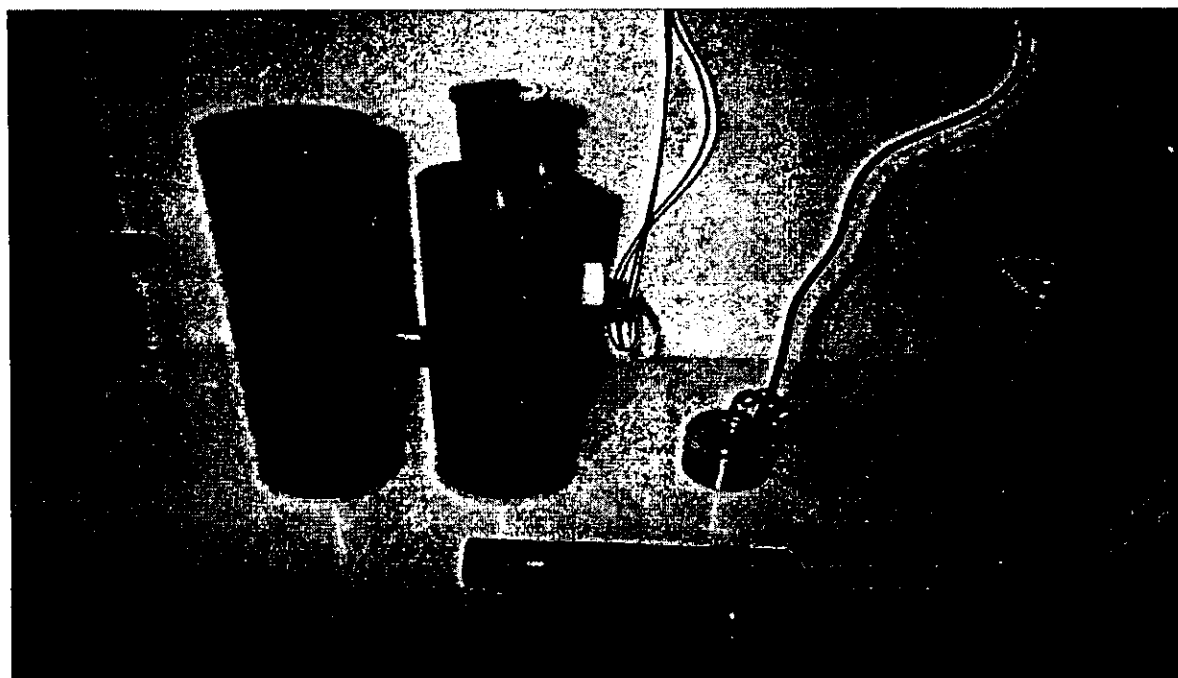
ภาคผนวก จ  
ภาพของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



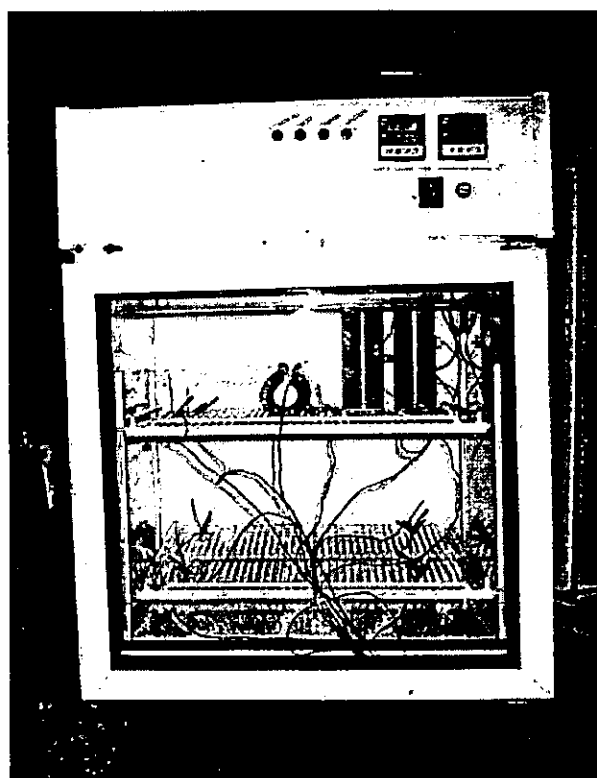
ภาพประกอบ 43 แสดงอุปกรณ์หลัก ฮีทเตอร์



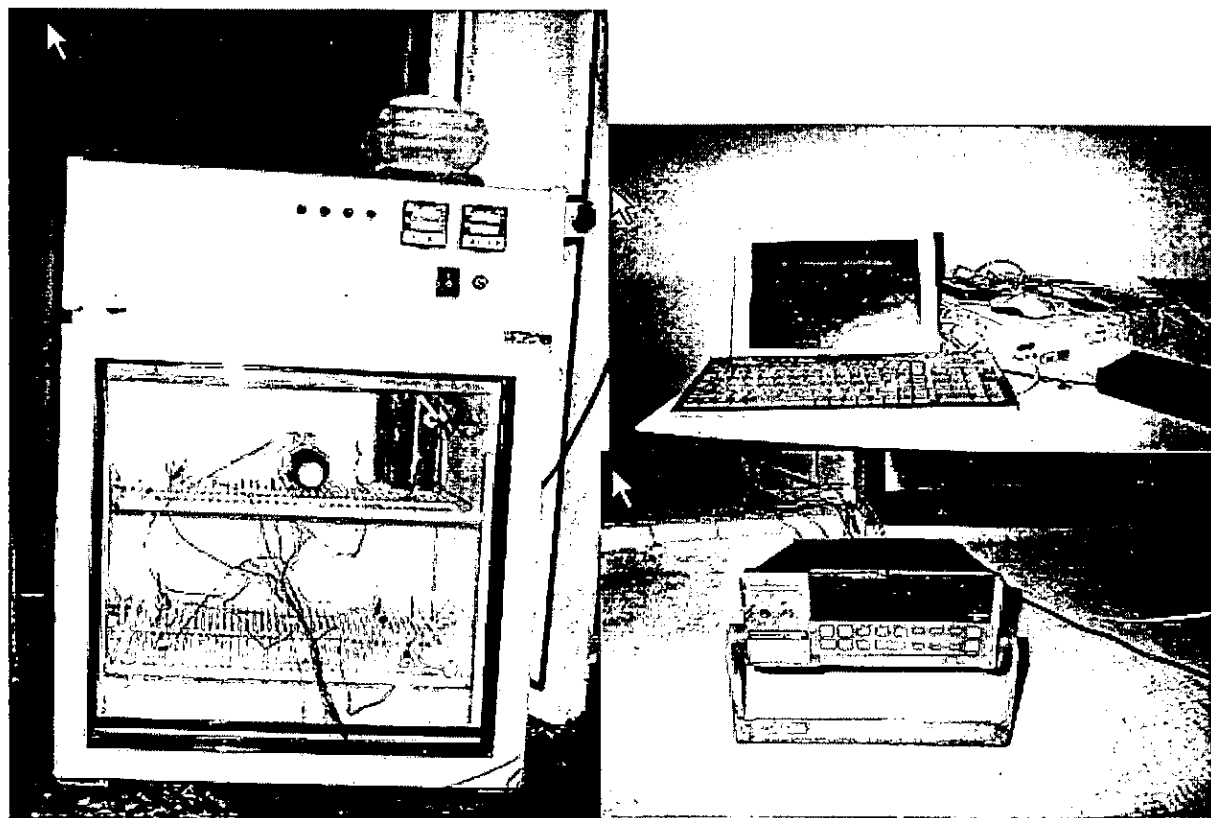
ภาพประกอบ 44 แสดงอุปกรณ์หลัก โซลิสเตอรีย์



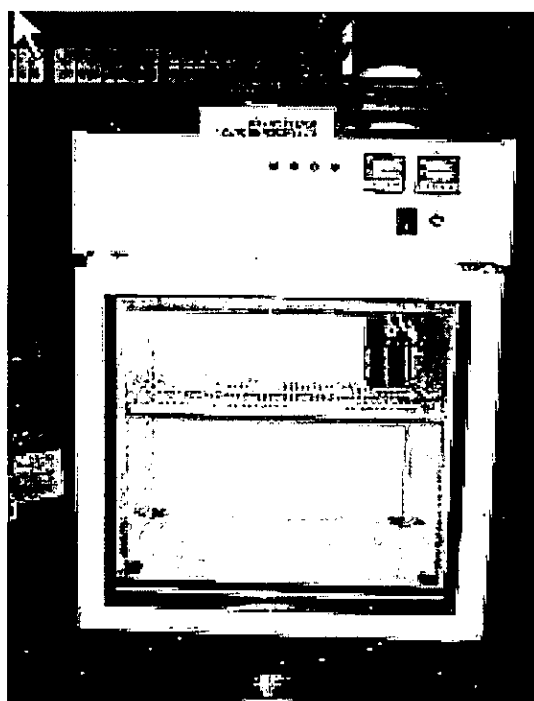
ภาพประกอบ 45 แสดงอุปกรณ์หลัก อัลตราโซนิกส์ เซ็นเซอร์วัดความชื้นและแท่งควบคุมระดับน้ำของ อัลตราโซนิกส์



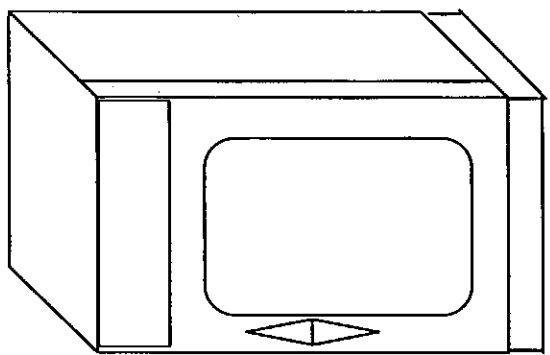
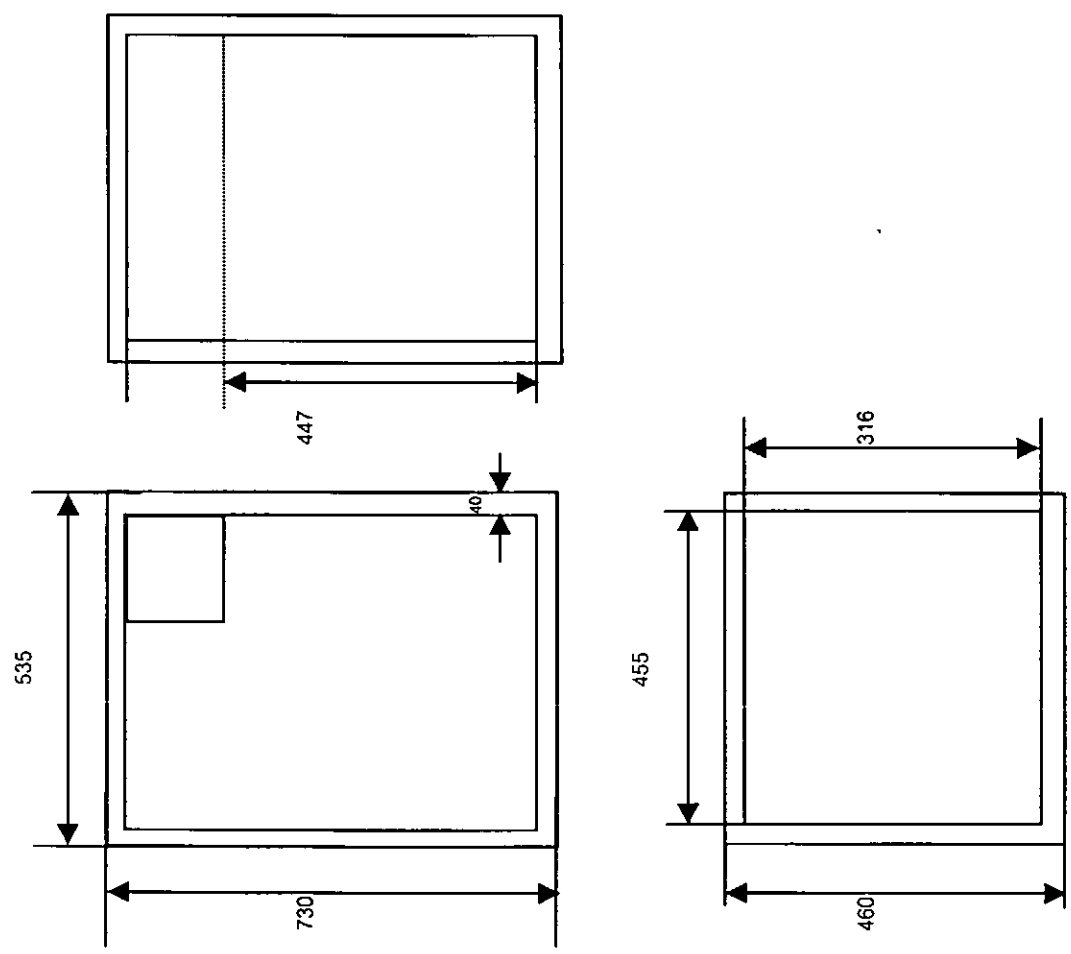
ภาพประกอบ 46 แสดงลักษณะภายนอกของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



ภาพประกอบ 47 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



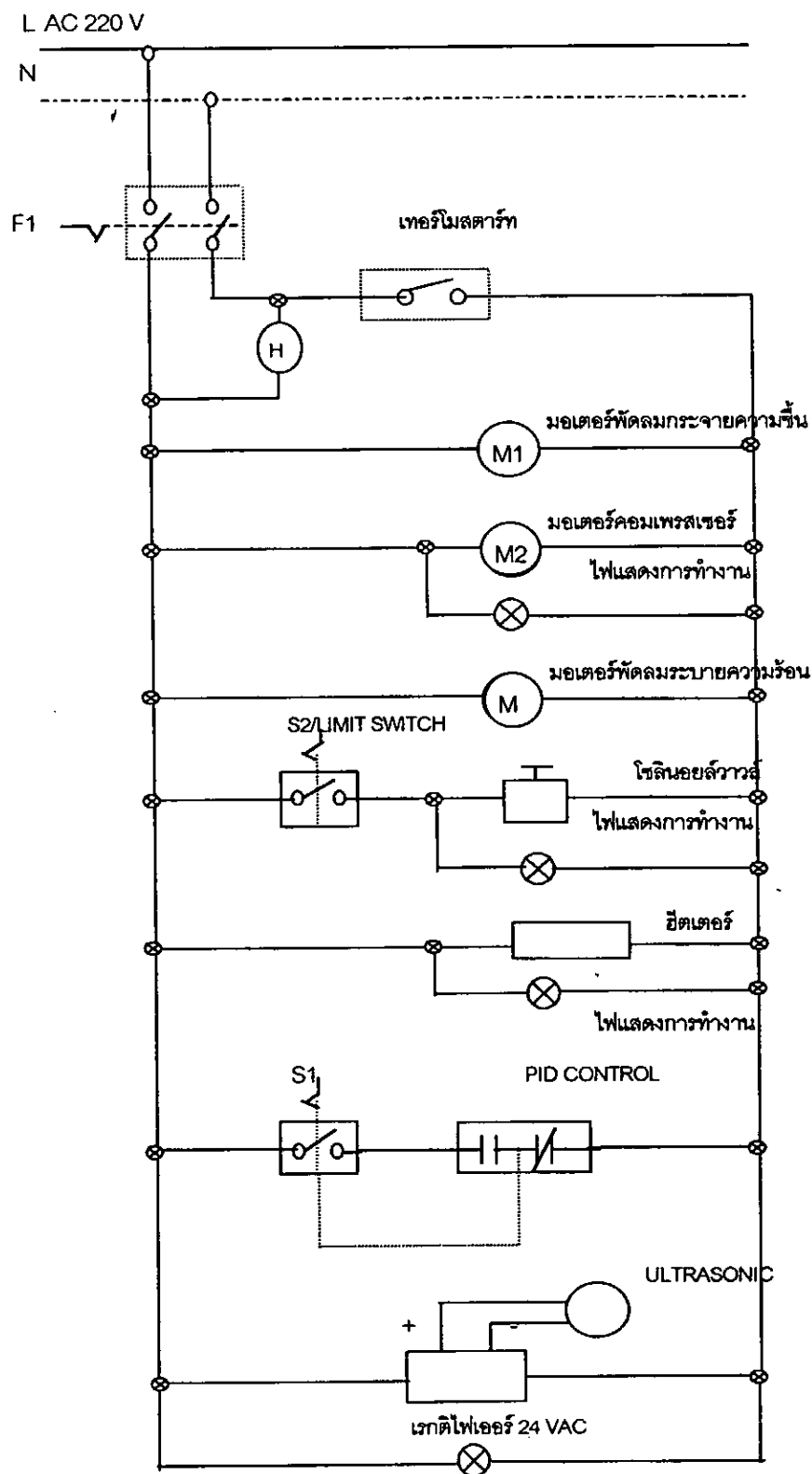
ภาพประกอบ 48 ตำแหน่งการวางอัลตราโซนิกส์และอุปกรณ์หลัก, เซ็นเซอร์วัดความชื้นและ PID CONTROL



|                 |                                        |
|-----------------|----------------------------------------|
| ชิ้นที่ 1       | วัสดุ เหล็กกล่อง                       |
| ผู้เขียนแบบ     | นาย สุทัศน์ รอดพยุง                    |
| ผู้ออกแบบ       | นาย สุทัศน์ รอดพยุง                    |
| มาตราส่วน 1: 20 | ชื่อชิ้นงาน โครงสร้างตู้ควบคุมความชื้น |

ภาพประกอบ 49 การออกแบบโครงสร้างตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

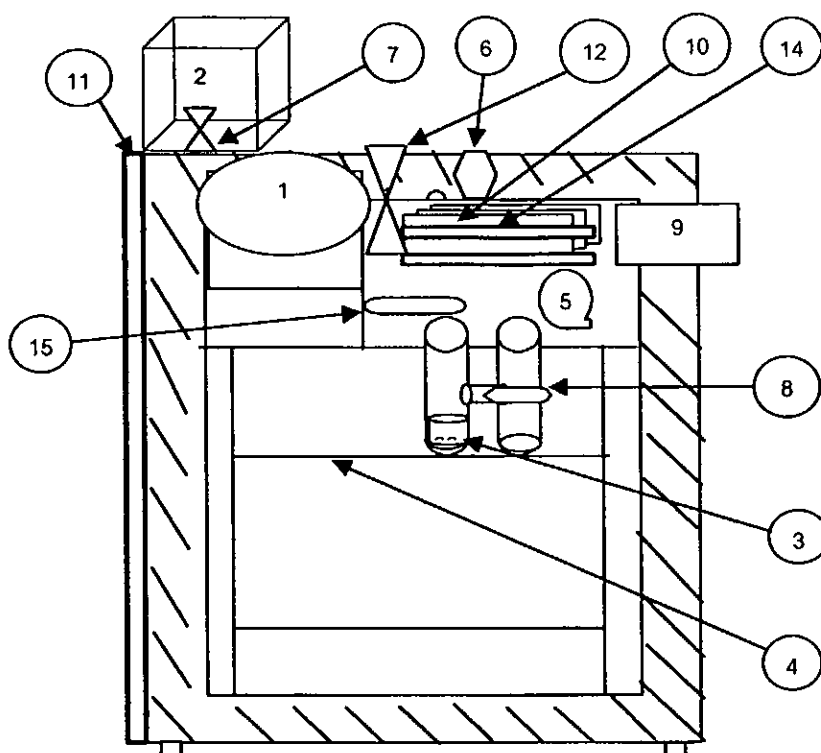
# การออกแบบวงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



ภาพประกอบ 50 วงจรไฟฟ้าตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

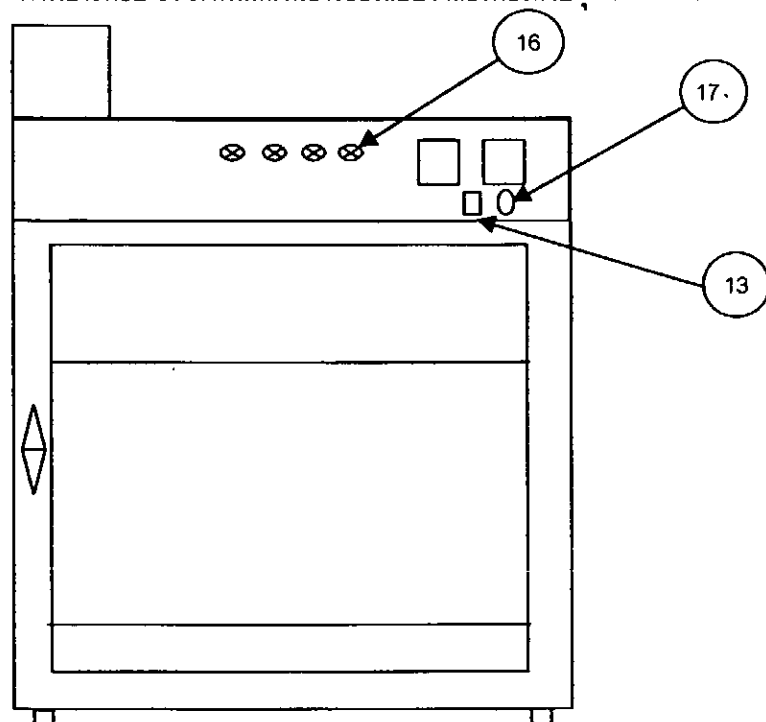
# 1. การออกแบบและพัฒนาตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

การออกแบบอุปกรณ์ตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



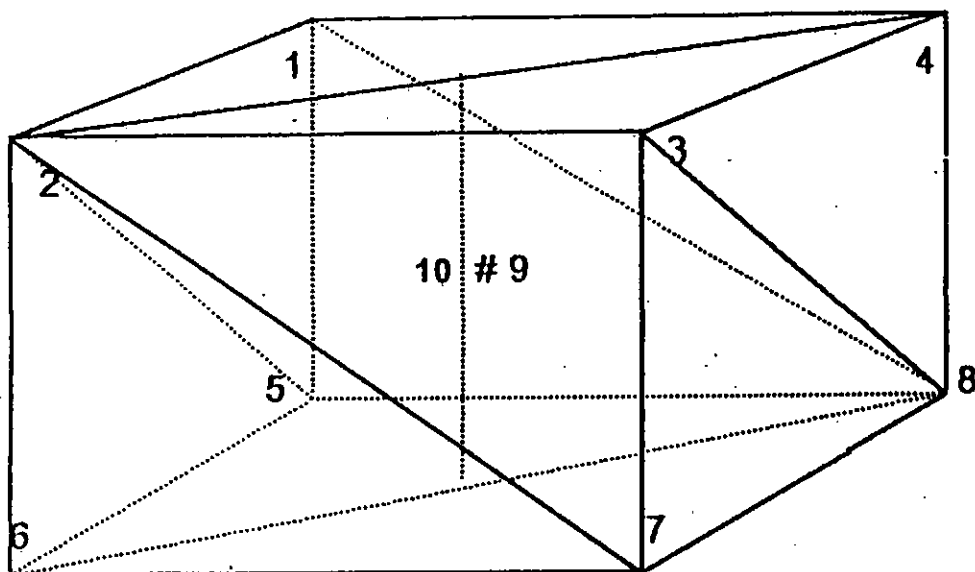
- |                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 1. คอมเพรสเซอร์          | 17. ฟิวส์ |
| 2. แท็งก์น้ำ             |           |
| 3. อัลตราโซนิกส์         |           |
| 4. ชั้นวางของ            |           |
| 5. พัดลมกระจายความชื้น   |           |
| 6. เทอร์โมสตัท           |           |
| 7. โซลินอยด์วาล์ว        |           |
| 8. ลิมิทสวิตช์           |           |
| 9. PID CONTROL           |           |
| 10. อีแวปอเรเตอร์        |           |
| 11. คอนเดนเซอร์          |           |
| 12. พัดลมคอมเพรสเซอร์    |           |
| 13. สวิตช์               |           |
| 14. ฮีตเตอร์             |           |
| 15. เซ็นเซอร์วัดความชื้น |           |
| 16. หลอดไฟแสดงการทำงาน   |           |

ภาพประกอบ 51 ภาพตัดด้านข้างของแบบจำลองห้องควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

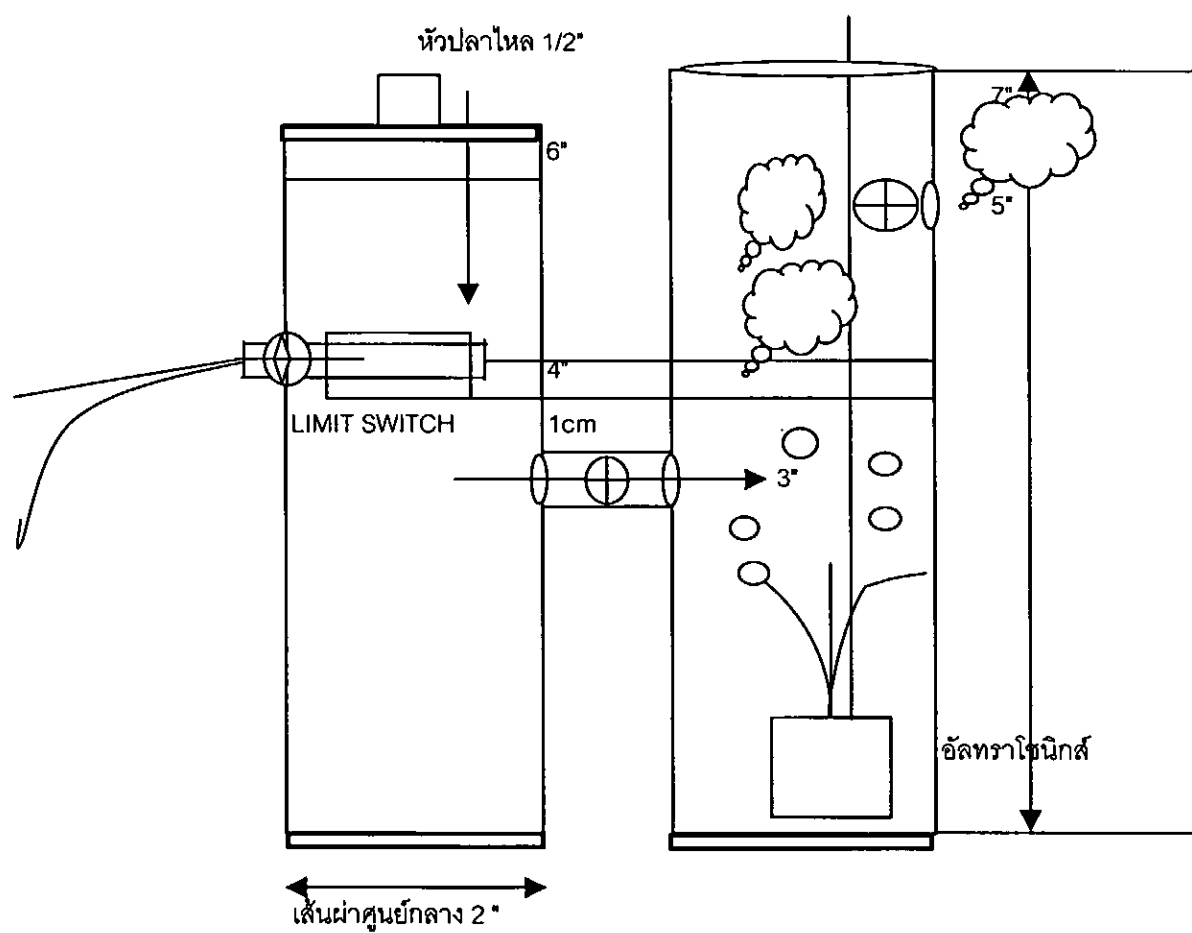


ภาพประกอบ 52 แสดงภาพด้านหน้าของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์

11



ภาพประกอบ 53 แสดงการวางตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 11 จุดที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้น  
ของตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์



ภาพประกอบ 54 แบบโครงสร้าง ตัวควบคุมระดับน้ำในตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิก

#### **ภาคผนวก ฉ**

- 1. มาตรฐาน ASTM (American Society For Testing and Materials) E337**
- 2. วิธีการสอบเทียบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์ตามมาตรฐาน ASTM E145**
- 3. มาตรฐาน NATA 12 (National Association of Testing Authorities, Australia)**
- 4. ใบรับรองผลการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้สอบเทียบตู้ควบคุมความชื้นแบบใช้อัลตราโซนิกส์**

1995

**ANNUAL BOOK OF  
ASTM STANDARDS****Water and Environmental Technology****VOLUME  
11.03****Atmospheric Analysis; Occupational  
Health and Safety; Protective Clothing***Includes standards of the following committees:*

D-22 on Sampling and Analysis of Atmospheres  
E-34 on Occupational Health and Safety  
F-23 on Protective Clothing

Publication Code Number (PCN): 01-110395-17

### Editorial Staff

*Director, Editorial Services:*  
Roberta A. Storer

*Manager, Standards Publications:*  
Joan L. Cornillot  
Paula C. Fazio

*Senior Indexer:*  
H. Joel Shupak

*Editors:*  
Lisa Bernhardt  
Nicole C. Furcola  
Elizabeth L. Gutman  
Sharon L. Kauffman  
Joanne G. Kramer  
Christine M. Leinweber  
Vernice A. Mayer

Patricia A. McGee  
Todd J. Sandler  
Mariano J. Sikora  
Richard F. Wilhelm

*Editorial Assistant:*  
Felicia Quinzi

000700

Library of Congress Catalog Card Number: 83-641658

ISBN 0-8031-2270-5 (set)  
ISBN 0-8031-2245-4 (section)  
ISBN 0-8031-2248-9 (volume)

Copyright © 1995 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia, PA. Prior editions copyrighted 1994 and earlier, by the American Society for Testing and Materials. All rights reserved. This material may not be reproduced or copied, in whole or in part, in any printed, mechanical, electronic, film, or other distribution and storage media, without the written consent of the publisher.

### Photocopy Rights

Authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by the AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS for users registered with the Copyright Clearance Center Inc. (CCC) Transactional Reporting Service, provided that the base fee of \$2.50 per copy, plus \$0.50 per page is paid directly to CCC, Suite 910, 222 Rosewood Dr., Danvers, MA 01923; Tel. (508) 750-8400. For those organizations that have been granted a photocopy license by CCC, a separate system of payment has been arranged. The fee code for users of the Transactional Reporting Service is 0-8031-2248-9/95 \$2.50 + .50.

# Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 337; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## Scope

### 1.1 General:

1.1.1 This test method covers the determination of the humidity of atmospheric air by means of wet- and dry-bulb temperature readings.

1.1.2 This test method is applicable for meteorological measurements at the earth's surface, for the purpose of the testing of materials, and for the determination of the relative humidity of most standard atmospheres and test atmospheres.

1.1.3 This test method is also applicable when the temperature of the wet bulb only is required. In this case, the instrument comprises a wet-bulb thermometer only.

1.1.4 Relative humidity (rh) does not denote a unit. Uncertainties in the relative humidity are expressed in the form  $U \pm u$  % rh, which means that the relative humidity is expected to lie in the range  $(U - u)$  % to  $(U + u)$  %, where  $U$  is the observed relative humidity. All uncertainties are at the 95 % confidence level.

### 1.2 Method A—Psychrometer Ventilated by Aspiration:

1.2.1 This method incorporates the psychrometer ventilated by aspiration. The aspirated psychrometer is more accurate than the sling (whirling) psychrometer (see Method B), and it offers advantages in regard to the space which it requires, the possibility of using alternative types of thermometers (for example, electrical), easier shielding of thermometer bulbs from extraneous radiation, accidental breakage, and convenience.

1.2.2 This method is applicable within the ambient temperature range 5 to 80°C, wet-bulb temperatures not lower than 1°C, and restricted to ambient pressures not differing from standard atmospheric pressure by more than 30 %.

### 1.3 Method B—Psychrometer Ventilated by Whirling (Sling Psychrometer):

1.3.1 This method incorporates the psychrometer ventilated by whirling (sling psychrometer).

1.3.2 This method is applicable within the ambient temperature range 5 to 50°C, wet-bulb temperatures not lower than 1°C and restricted to ambient pressures not differing from standard atmospheric pressure by more than 30 %.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate*

*safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (For more specific safety precautionary statements, see 8.1 and 15.1.)*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

D 861 Practice for Use of the Tex System to Designate Linear Density of Fibers, Yarn Intermediates, and Yarns<sup>2</sup>

D 1193 Specification for Reagent Water<sup>3</sup>

D 1356 Terminology Relating to Sampling and Analysis of Atmospheres<sup>4</sup>

D 1357 Practice for Planning the Sampling of the Ambient Atmosphere<sup>4</sup>

D 3631 Test Methods for Measuring Surface Atmospheric Pressure<sup>4</sup>

D 4023 Terminology Relating to Humidity Measurements<sup>4</sup>

D 4230 Test Method of Measuring Humidity with Cooled-Surface Condensation (Dew-Point) Hygrometer<sup>4</sup>

E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>5</sup>

E 380 Practice for Use of the International System of Units (SI) (the Modernized Metric System)<sup>6</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of humidity terms used in this test method, refer to Terminology D 4023.

3.1.2 For definitions of other terms in this test method, refer to Terminology D 1356.

### 3.2 Descriptions of Terms Specific to This Standard:

#### 3.2.1 Method A—Aspirated Psychrometer:

3.2.1.1 *aspiration*—The wet and dry bulbs (and the psychrometer) are described as aspirated because there is provision for the forced ventilation by drawing air over the bulbs by suction. The flow may be either transverse or parallel to the axes of the bulbs.

3.2.1.2 *thermometer*—for purposes of this standard, and except where a specific type is indicated, the term thermometer means any temperature-measuring device.

3.2.1.3 *wet-bulb covering and wick*—the wet bulb is provided with a water-retaining covering of a woven-cotton

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-22 on Sampling and Analysis of Atmospheres and is the direct responsibility of Subcommittee D22.11 on Meteorology.

Current edition approved Nov. 30, 1984. Published June 1985. Originally published as E 337 - 31 T. Last previous edition E 337 - 62.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.03.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.03.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02. (Excerpts in all other volumes.)

material. A cotton wick which connects the covering to a water reservoir may be provided so that water is fed to the covering continuously by capillarity.

### 3.2.2 Method B—Sling Psychrometer:

3.2.2.1 *ventilation*—the wet and dry bulbs (and the psychrometer) are described as ventilated because there is provision for a flow of the air over the bulbs. The flow is transverse to the axes of the bulbs.

3.2.2.2 *wet-bulb covering*—the wet bulb is provided with a water-retaining covering of a woven-cotton material.

## 4. Summary of Methods

### 4.1 General:

4.1.1 The wet-bulb temperature depression, the dry-bulb temperature, and the ambient pressure provide the basis for deriving the relative humidity.

### 4.2 Method A—Aspirated Psychrometer:

4.2.1 Establish the airflow (see 7.4) and maintain it until a minimum wet-bulb temperature is attained. (With mercury-in-glass thermometers, about 2-min ventilation time is usually necessary.)

4.2.2 Read the thermometers with the necessary precision, obtaining the dry-bulb temperature with an overall uncertainty of  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  or better, and the temperature depression with an overall uncertainty of  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  or better for an uncertainty in the relative humidity of  $\pm 3\%$  rh. For an uncertainty in the relative humidity of  $\pm 2\%$  rh, obtain the dry-bulb temperature with an overall uncertainty of  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  or better and the temperature depression with an overall uncertainty of  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  or better. (Also see Section 12.)

### 4.3 Method B—Sling Psychrometer:

4.3.1 Holding the instrument well away from the body, and for outdoor measurements to windward and in the shade, whirl it at such a rate as to achieve the specified airspeed at the wet and dry bulbs, see 14.4.

4.3.2 Read the thermometers with the necessary precision, obtaining the dry-bulb temperature with an overall uncertainty of  $\pm 0.6^\circ\text{C}$  or better, and the temperature depression with an overall uncertainty of  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  or better for an uncertainty in the relative humidity of  $\pm 5\%$  rh, also see Section 19.

## 5. Significance and Use

5.1 The object of this test method is to provide guidelines for the construction of a psychrometer and the techniques required for accurately measuring the humidity in the atmosphere. Only the essential features of the psychrometer are specified.

### METHOD A—PSYCHROMETER VENTILATED BY ASPIRATION

## 6. Interferences

6.1 When an aspirated psychrometer is used for measurements in a small enclosed space and steadily rising wet- and dry-bulb temperatures are observed, consider whether heat and moisture liberated by the instrument itself are affecting the conditions.

6.2 While the thermometers are being read, keep all surfaces that are at temperatures other than the environment

(such as the hands, face, and other warmer or colder objects) as far as possible from the thermometer bulbs.

6.3 This method should not be used where there is heavy contamination of the air with gases, vapors, or dust.

## 7. Apparatus

### 7.1 Thermometers for an Aspirated Psychrometer:

7.1.1 The range of the thermometers shall not exceed the range 0 to  $80^\circ\text{C}$ . This range may be achieved by providing more than a single pair of matched thermometers. When the uncertainty in the derived relative humidity is required to be not more than  $\pm 3\%$  rh, the thermometers shall be such that their readings give the temperature depression with an uncertainty of not more than  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ . When the uncertainty in the relative humidity is required to be not more than  $\pm 2\%$  rh, they shall be such that their readings give the temperature depression with an uncertainty of not more than  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . The uncertainty in the reading of the dry-bulb temperature shall be not more than  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ .

7.1.2 Electrical thermometers may be so connected that the readings give the temperature depression and the dry-bulb temperature directly.

7.1.3 Each thermometer shall consist of a temperature sensor of essentially cylindrical shape which is supported on a single stem, the stem being coaxial with the sensor. The free end of each sensor shall be smoothly rounded. If the diameter of the stems is small, compared with that of the sensors, then both ends of each sensor shall be smoothly rounded. The sensor of a mercury-in-glass thermometer shall be that part of the thermometer extending from the bottom of the bulb to the top of the entrance flare of the capillary.

7.1.4 With transverse ventilation, the diameters of the sensors (excluding wet covering) shall be not less than 1 mm and not greater than 4 mm.

7.1.5 With axial ventilation, the diameters of the sensor (excluding wet covering) shall be not less than 2 mm and not greater than 5 mm, and their length not less than 10 mm and not greater than 30 mm.

7.1.6 The connecting wires of electrical thermometer shall be contained within the supporting stems and shall be isolated from the moisture of the wet covering.

7.1.7 Mercury-in-glass shall be graduated to  $0.5^\circ\text{C}$  or closer and be capable of being read to the nearest  $0.1^\circ\text{C}$  or better. (A specification for mercury-in-glass thermometer suitable when the uncertainty in the derived relative humidity is required to be not more than  $\pm 3\%$  rh is given in Annex A1.)

### 7.2 Wet-Bulb Covering, Wick, and Water Reservoir:

7.2.1 The covering shall be fabricated from white-cotton muslin of linear density from 1.0 to 1.2 g/m, refer to Practice D 861. A seamless sleeve is preferred, but a seam is permissible, provided that it does not add appreciably to the general roughness which the weave imparts to the surface.

7.2.2 The covering shall completely cover the sensor or bulb of the thermometer, fit snugly but not very tightly, and shall be in physical contact with the bulb over its entire surface. It shall extend onto the stem for such a distance that the error in the observed wet-bulb temperature due to heat conduction along the stem does not exceed  $0.05^\circ\text{C}$ . (A method of determining the distance for which the covering

must extend onto the stem is outlined in Annex A2. For mercury-in-glass thermometers with solid stems, a distance twice the stem diameter is usually adequate.)

7.2.3 To maintain a snugly fit cover on the wet bulb, the covering may be secured with a cotton thread at the end of the covering on the stem of the thermometer, at the top of the thermometer bulb, and at the bottom of the bulb. However, whenever a wicking is used, the covering shall not be secured between the thermometer bulb and the cotton wicking which connects the covering to a water reservoir.

7.2.4 After fabrication, the covering and wick shall have been washed in a dilute solution of sodium carbonate and thoroughly rinsed with distilled water. They shall not subsequently be touched with the fingers.

7.2.5 The stem of each thermometer shall, for a length measured from the sensor and not less than  $1.5\times$  the length of the extension of the covering required by 7.2.2, be clear of obstructions and freely exposed to the airstream.

7.2.6 During the test, the covering shall be completely permeated with water as evidenced by a glistening appearance in a beam of light.

7.2.7 The covering shall be washed in situ with distilled water from time to time and be renewed when it shows any evidence of permanent change.

7.2.8 When a wick is provided, the free length of a wick shall be at least twice the diameter of the wet bulb and at least three times the wick diameter, ensuring that water arriving at the covering is already at practically the wet-bulb temperature. A wick shall be limp.

7.2.9 A water reservoir shall not obstruct the airflow, and its contents shall not affect the humidity of the sample air.

7.2.10 The level of the water in a water reservoir shall be between 5 and 25 mm below the level of the lowest part of the wet bulb.

7.3 *Water*—Reagent water shall be produced by distillation, or by ion exchange or reverse osmosis followed by distillation, refer to Specification D 1193.

#### 7.4 *Airflow:*

7.4.1 The flow of air over both the wet and dry bulbs shall be a forced draught of 3 to 10 m/s for thermometers with maximum allowable diameter of the sensors.

7.4.2 The sample air shall not pass over any obstruction through a fan before it passes over the wet and dry bulbs.

7.4.3 With axial flow, the direction of the flow shall be from the free end of each sensor towards the support end.

7.4.4 No air which has been cooled by the wet bulb or by the wick shall impinge on the dry bulb.

#### 7.5 *Radiation Shields:*

7.5.1 Any radiation shields shall be of metal with a thickness of 0.4 to 0.8 mm. Surfaces required to have a polished finish shall be of a bare metal which will retain its brightness.

7.5.2 With transverse ventilation, radiation shields may be provided to shield the wet and dry bulbs from extraneous radiations. The radiation shields, essentially in the form of parallel plates, can be either polished on the outside and blackened on the inside, or polished on both the inside and outside surfaces. The clearance between the wet and dry bulbs and the shields shall be not less than half the overall diameter of the wet bulb. The shields shall be liberally flared outwards at the inlet to prevent the flow separating from the

shields on the inside (vena-contracta effect). The shields may form part of a duct for the airflow. A second shield, outside, is not necessary.

7.5.3 With axial ventilation, concentric radiation shields shall be provided for the wet and dry bulbs, and shall be polished inside and out. (The shield around the wet bulb plays a vital role in reducing the radiative heat transfer between that bulb and its surroundings by a factor of about three.) The diameter of the shield shall be not less than  $1.8\ d$  and not greater than  $2.5\ d$ , where  $d$  is the overall diameter of the wet bulb. Its length and position shall be such that its projection beyond each end of the wet covering is not less than  $d$  and not greater than  $3\ d$ . The entrance to the shield shall be liberally flared to form a bell-mouth to prevent the flow separating from the shield on the inside. The shield may serve also as the duct for the airflow. A second shield, outside, is not necessary.

## 8. *Precautions*

8.1 *Safety Precautions*—Mercury vapor is poisonous, even in small quantities, and prolonged exposure can produce serious physical impairment (1).<sup>7</sup> If a mercury thermometer is accidentally broken, carefully collect, place, and seal all of the mercury in a strongly made nonmetallic container. Avoid skin contact with mercury.

8.2 *Technical Precautions*—For reliable measurement and control, strict adherence to the exacting technique is necessary. Aside from the obvious mistake of not using a psychrometric chart or table prepared for the existing barometric pressure, most errors of psychrometry tend to restrict lowering of the wet-bulb temperature and thus indicate a higher relative humidity than actually exists.

#### 8.2.1 *Conditions which Contribute to High Wet-Bulb Temperature:*

8.2.1.1 Improper installation of wet-bulb covering (loose fitting, too short, or too long).

8.2.1.2 Dirty or contaminated covering.

8.2.1.3 Contamination of wetting water.

8.2.1.4 Insufficient air flow.

8.2.1.5 Failure to reach or read the minimum point of the wet-bath depression.

8.2.1.6 Moisture or heat generation, or both, from the operator taking readings and from the wet-bulb water reservoir.

8.2.1.7 Radiant heating effects.

8.2.2 Heat from the fan or motor shall not affect the thermometer readings.

8.2.3 Instrument shall be used in the shade and not exposed to direct sunlight.

8.2.4 Prior to a measurement, the instrument shall have been exposed long enough to the test atmosphere to have attained the ambient temperature.

8.2.5 The shield shall not be allowed to become wetted.

## 9. *Calibration*

9.1 The thermometers used in a psychrometer should be compared once a year at four or more temperatures with the

<sup>7</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

covering removed from the wet-bulb thermometer. Once every three months, the thermometers should be compared, with the covering removed from the wet-bulb thermometer, at the ambient dry-bulb temperature. The readings shall conform to the requirements (see 7.1.1 and Section 12) when the instruments are totally immersed. For highest accuracy, the thermometers should be calibrated over their range of use while totally immersed. The corrections thus determined should be applied to the readings when making a measurement.

## 10. Procedure

10.1 *Location*—Avoid locations where proximity to machinery, direct heat from the sun, or other sources of radiation would have undue influence. Stand preferably facing the air current so that the instrument receives the air before the air has passed near you. The site or location is selected so that the air is a representative sample. (Also see Practice D 1357.)

10.2 *Preparing Psychrometer*—Moisten the covering of the wet bulb thoroughly with distilled water. (Before the start of a series of measurements, deliver an excess of clean water directly to the wet-bulb covering from the reduced tip of a clean glass or plastic tube which is a part of a small wash bottle, for example, squeeze bottle, so that drops of water fall from the covering. This flooding procedure will help to remove organic contamination which may be on the surface of the wet-bulb covering.) Wetting should be repeated before each separate measurement. A small bottle or porous porcelain cup will serve as a convenient water container. If new or dry through disuse, several minutes may be required for complete saturation of the fabric. Avoid touching the fabric with the fingers, which may deposit oil or dirt. Replace soiled covering and wick. Maintain the dry bulb absolutely dry.

10.3 *Aspirating the Psychrometer*—Operate the fan motor, thus exposing the thermometers to the action of the air until the minimum wet-bulb temperature is indicated. Continue operating the fan until the readings of the thermometers become constant.

10.3.1 *Reading Psychrometer*—While operating the fan, read the thermometers quickly but carefully. Read the wet bulb first. Under ordinary conditions, an approximate 0.15°C error in wet-bulb depression results in a 1 % error in relative humidity. While the thermometers are being read, keep all surfaces that are at temperatures other than the environment (such as the hands, face, and either warmer or colder objects) as far as possible from the thermometer bulbs.

10.3.2 For measurements in nominally constant conditions, for example, where fluctuation period is long compared with the measurement time, repeat steps 10.3 and 10.3.1, rewetting the covering if necessary, until in three successive readings the greatest temperature depression differs from the least by not more than 0.2°C for an uncertainty of  $\pm 3$  % rh or not more than 0.1°C for an uncertainty of  $\pm 2$  % rh.

10.3.3 Where measurements are being made under conditions fluctuating rapidly, take a number of readings over at least two complete cycles.

10.3.4 Where measurements are being made while conditions are changing or are being changed under control, the readings might not be meaningful.

10.4 *Check Readings*—For purposes of checking, make as many readings as necessary until three successive readings agree. If atmospheric conditions are fluctuating, it may be desirable to obtain several readings in order to secure an average (that is, if there is a definite cycling in conditions, then readings should be continued for at least two cycles). It will be necessary to rewet the covering of the wet bulb when the fabric starts to dry, as indicated by a rising wet-bulb temperature.

## 11. Calculation

11.1 Subtract the wet-bulb reading from the dry-bulb reading. The difference is the *wet-bulb depression*. Knowing the dry-bulb temperature and the wet-bulb depression, the relative humidity could be calculated by using the basic psychrometric equation. In practice, calculations directly involving the basic equation are seldom needed. Instead tables, charts, curves, and other calculating devices developed from the basic equation are used, such as the table in Appendix X3.

11.2 When calculating relative humidity from the psychrometric equation, use the following equation or one that for the prevailing conditions is equivalent:

$$e = e_w(t_w) - A p (t - t_w)$$

where:

$e$  = the partial pressure of water vapor in the atmosphere, Pa,

$e_w(t_w)$  = the saturation pressure of water vapor at the wet bulb temperature  $t_w$ , Pa, see Appendix X2,

$t$  = the dry-bulb temperature in °C,

$t_w$  = the wet-bulb temperature in °C,

$p$  = the total (atmospheric) pressure, Pa, see Method D 3631,

$A$  = the psychrometer coefficient in K<sup>-1</sup>, and

where  $e$ ,  $e_w(t_w)$  and  $p$  are expressed in the same units, see Practice E 380.

11.2.1 The value of  $A$  shall be chosen in the range  $6.2 \times 10^{-4}$  to  $6.9 \times 10^{-4}$  K<sup>-1</sup>. The psychrometer coefficient developed by Ferrel,  $A = 6.6 \times 10^{-4} (1 + 0.00115 t_w)$ , fall within this range. If a value of  $A$  has been determined for the particular design of psychrometer and lies in this range, then it shall be used. If a value has been determined but lies outside this range, then the closer extreme value of the range shall be used. If no value of  $A$  has been determined, then use the value developed by Ferrel. (It may be noted that if, for example, at 20°C and standard atmospheric pressure use of the value  $6.5 \times 10^{-4}$  K<sup>-1</sup> led to a derived relative humidity of 50.0 %, then use of the value  $6.9 \times 10^{-4}$  K<sup>-1</sup> would lead to a derived relative humidity of 48.9 %.)

11.3 *Relative Humidity*—The psychrometric equation gives the partial pressure of the water vapor. In the meteorological range of pressure and temperature, the saturation vapor pressure of the pure water phase and of the moist air will be assumed to be equal. (Water vapor and air mixture is assumed to behave as ideal gas.) This assumption will introduce an error of approximately 0.5 % or less in the calculated partial pressure of water vapor and an error of less than 0.5 % in the calculated relative humidity. (See Method D 4230.) If water vapor and air are assumed to behave as ideal gases, then

$$U = \frac{e}{e_s} \times 100 \%$$

where:

$e$  = the partial pressure of the water vapor and

$e_s$  = the saturation vapor pressure of water at the dry-bulb temperature, see Appendix X2.

#### 11.4 Use of Psychrometric Table or Chart:

11.4.1 Take a psychrometric table or chart, the values in which are consistent with the equations and appropriate value of the psychrometer coefficient  $A$  as given in 11.2, and from the dry-bulb temperature and the temperature depression obtain the relative humidity or the humidity in whatever desired measure. (To facilitate the identification of suitable tables or charts, values of relative humidity for various dry-bulb temperatures and temperature depressions are given in Appendix X1 for standard atmospheric pressure and three relevant values of  $A$ , namely  $6.5 \times 10^{-4}$ ,  $6.7 \times 10^{-4}$ , and  $6.9 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .)

11.4.2 In Appendix X3, values of relative humidity for dry-bulb temperatures 2 to 50°C and various temperature depressions are given for standard atmospheric pressure (101325 Pa) and using Ferral's value for  $A$  [ $6.60 \times 10^{-4} (1 + 0.00115 t_w)$ ].

11.4.3 In cases where the barometric pressure differs from standard atmospheric pressure, the corrections that are to be applied to the values of relative humidity listed in Appendix X3 are given in Appendix X4.

## 12. Precision and Bias

12.1 The uncertainty in the derived relative humidity is estimated not to exceed the values shown in Table 1 if the temperature depression and the dry-bulb temperature measurement do not exceed the uncertainty values shown in Table 1.

### METHOD B—PSYCHROMETER VENTILATED BY WHIRLING (SLING PSYCHROMETER)

## 13. Interferences

13.1 (See 6.2 and 6.3.)

## 14. Apparatus

### 14.1 Thermometers for Sling Psychrometers:

14.1.1 The thermometers shall be mercury-in-glass thermometers.

14.1.2 The range of the thermometers shall not exceed the range 0 to 50°C; however, this range may be achieved by providing more than a single pair of matched thermometers. When the uncertainty in the derived relative humidity is required to be not more than  $\pm 5\%$  rh, the thermometers shall be such that their readings give the temperature depression with an uncertainty of not more than  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  and the uncertainty in the reading of the dry-bulb temperature shall be not more than  $\pm 0.6^\circ\text{C}$ . When the uncertainty in the derived relative humidity is required to be not more than  $\pm 3\%$  rh, the thermometers shall be such that their readings given the temperature depression and the dry-bulb temperature with an uncertainty of not more than  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ .

14.1.3 The diameters of the thermometer bulbs (excluding wet covering) shall be not greater than 4 mm.

14.1.4 (See 7.1.7.)

TABLE 1 Maximum Uncertainty Values for Derived Relative Humidity (Method A)<sup>a</sup>

| Uncertainty in Derived Relative Humidity, % rh | Uncertainty in Temperature Depression, °C | Uncertainty in Dry-bulb Temperature, °C |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| $\pm 4$                                        | $\pm 0.3$                                 | $\pm 0.2$                               |
| $\pm 3$                                        | $\pm 0.2$                                 | $\pm 0.2$                               |
| $\pm 2$                                        | $\pm 0.1$                                 | $\pm 0.2$                               |
| $\pm 5$                                        | $\pm 0.3$                                 | $\pm 0.6$                               |
| $\pm 4$                                        | $\pm 0.2$                                 | $\pm 0.6$                               |
| $\pm 3$                                        | $\pm 0.1$                                 | $\pm 0.6$                               |

<sup>a</sup> The uncertainties are based only on temperature and psychrometer coefficient uncertainties and do not include errors due to nonthermal equilibrium which will vary with an inexperienced observer.

### 14.2 Wet-Bulb Covering:

14.2.1 (See 7.2.1.)

14.2.2 The covering shall completely cover the sensor or bulb of the thermometer, fit snugly but not very tightly, and shall be in physical contact with the bulb over its entire surface. It shall extend onto the stem for such a distance that the error in the observed wet-bulb temperature due to heat conduction along the stem does not exceed  $0.05^\circ\text{C}$ . For mercury-in-glass thermometers with solid stems, a distance of twice the stem diameter is usually adequate.

14.2.3 To maintain a snugly fit cover on the wet bulb, the covering may be secured with a cotton thread at the end of the covering on the stem of the thermometer, at the top of the thermometer bulb, and at the bottom of the bulb.

14.2.4 (See 7.2.4.)

14.2.5 The stem of each thermometer shall, for a length measured from the sensor and not less than  $1.5 \times$  the length of the extension of the covering required by 14.2.2, be clear of obstructions and freely exposed to the airstream.

14.2.6 (See 7.2.6 and 7.2.7.)

14.3 Water—(See 7.3.)

14.4 Airflow:

14.4.1 The psychrometer shall be whirled so that the flow of air over both the wet and dry bulbs is equivalent to 3 to 10 m/s for thermometers with maximum allowable diameter of the sensors.

14.4.2 The sample air shall not pass over any obstruction before it passes over the wet and dry bulbs.

14.4.3 (See 7.4.4.)

14.5 Radiation Shields—Radiation shields are not necessary.

## 15. Precautions

### 15.1 Safety Precautions:

15.1.1 Mercury vapor is poisonous, even in small quantities, and prolonged exposure can produce serious physical impairment (1), see 8.1.

15.1.2 Before using a sling psychrometer, check for adequate clearance to freely sling or whirl the thermometers without hitting any solid surfaces; for example, the knee.

15.1.3 If a mercury thermometer is accidentally broken, follow the handling procedure in 8.1.

15.2 Technical Precautions—(See 8.2.)

15.2.1 Conditions which Contribute to High Wet-Bulb Temperature—(See 8.2.1.1 through 8.2.1.7.)

15.2.2 (See 8.2.3 and 8.2.4.)

## 16. Calibration

16.1 The thermometers used in a psychrometer should be compared once a year at four or more temperatures with the covering removed from the wet-bulb thermometer. Once every three months, the thermometers should be compared, with the covering removed from the wet-bulb thermometer, at the ambient dry-bulb temperature. The readings shall conform to the requirements, (see 14.1.2 and Section 19) when the instruments are totally immersed. For highest accuracy, the thermometers should be calibrated over their range of use while totally immersed. The corrections thus determined should be applied to the readings when making a measurement.

## 17. Procedure

17.1 *Location*—(See 10.1.)

17.2 *Preparing Psychrometer*—(See 10.2.)

17.3 *Ventilating the Psychrometer*—Holding the instrument well away from the body, and for outdoor measurements to windward and in the shade, whirl it at such a rate as to achieve the specified airspeed at the wet and dry bulbs (see 14.4) and then stop the motion after 30 s to read the thermometers. Resume whirling for an additional 10 s before stopping the motion to read the thermometers. Continue this procedure of whirling for 10 s, rewetting the covering if necessary (see 10.4), until a minimum wet-bulb temperature has been attained. (About 2-min ventilation time is usually necessary.)

17.3.1 *Reading Psychrometer*—After whirling the psychrometer, read the thermometers quickly but carefully. Read the wet bulb first. Under ordinary conditions, an approximate 0.3°C error in wet-bulb depression results in a 2 % error in relative humidity. While the thermometers are

TABLE 2 Maximum Uncertainty Values for Derived Relative Humidity (Method B)<sup>a</sup>

| Uncertainty in<br>Derived Relative<br>Humidity, % rh | Uncertainty in<br>Temperature<br>Depression, °C | Uncertainty in<br>Dry-bulb<br>Temperature, °C |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ±4                                                   | ±0.3                                            | ±0.2                                          |
| ±3                                                   | ±0.2                                            | ±0.2                                          |
| ±5                                                   | ±0.3                                            | ±0.6                                          |
| ±4                                                   | ±0.2                                            | ±0.6                                          |

<sup>a</sup> The above uncertainties are based only on temperature and psychrometric coefficient uncertainties and do not include errors due to nonthermal equilibrium, which will vary considerably with an inexperienced observer. In the opinion of committee members, routine sling psychrometer observations could have errors 5 to 7 % relative humidity; however, there has been no interlaboratory testing

being read, keep all surfaces that are at temperatures other than the environment (such as the hands, face, and other warmer or colder objects) as far as possible from the thermometer bulbs.

17.3.2 For measurements in nominally constant conditions, for example, where a fluctuation period is less compared with the measurement time, repeat Steps 17.3.1 and 17.3.1, rewetting the covering if necessary, until in the successive readings the greatest temperature depression differs from the least by not more than 0.3°C for an uncertainty of ±5 % rh.

17.3.3 (See 10.3.3 and 10.3.4.)

17.4 *Check Readings*—(See 10.4.)

18. Calculation—(See Section 11.)

19. Precision and Bias

19.1 The uncertainty in the derived relative humidity estimated not to exceed the values shown in Table 2 if the temperature depression and the reading of the dry-bulb temperature do not exceed the uncertainty values shown in Table 2.

## ANNEXES

### (Mandatory Information)

#### A1. MERCURY-IN-GLASS THERMOMETERS SUITABLE WHEN THE UNCERTAINTY IN THE MEASURED RELATIVE HUMIDITY IS REQUIRED NOT TO EXCEED ±3 % RH

A1.1 Mercury-in-glass thermometers conforming to the following specification are suitable when the uncertainty in the measured relative humidity is required not to exceed ±3 % rh.

A1.1.1 *Type*—The thermometers shall be of the solid-stem type, and the stem may have a slight neck near the bulb to allow the wet-bulb covering to be secured more easily by a cotton thread.

A1.1.2 *Temperature Scale*—The thermometers shall be graduated for total immersion and in accordance with the Celsius scale which corresponds with the International Practical Temperature Scale of 1968.

A1.1.3 *Range*—The nominal temperature range of the thermometers shall be 0 to 80°C for an aspirated psychrometer and 0 to 50°C for a sling psychrometer.

A1.1.4 *Materials*—The stem shall be made of suitable thermometer glass with an enamel back. The bulb shall be

made of glass meeting the Specification E 1.

A1.1.5 *Annealing and Stabilization*—The glass shall suitably annealed, and the thermometers shall be stabilized by a suitable heat treatment before they are filled with mercury.

A1.1.6 *Expansion Chamber*—Each thermometer shall include an expansion chamber above the highest scale line that a temperature of at least 100°C can be sustained without the likelihood of damage.

A1.1.7 *Dimensions*:

|                                                                         | mm       |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|
| Length from bottom of bulb to underside of button or ring top (maximum) | 240      |
| Scale length corresponding to the nominal range (minimum)               | 130      |
| Bulb length                                                             | 10 to 30 |
| Bulb diameter                                                           | 3 to 4   |
| Stem diameter                                                           | 4 to 5   |

|                                                             |         |
|-------------------------------------------------------------|---------|
|                                                             | mm      |
| Distance of neck (if any) from top of bulb                  | 8 to 12 |
| Distance of lowest scale line from top of bulb (min)        | 30      |
| Distance of expansion chamber from highest scale line (min) | 10      |

The top of the entrance flare of the capillary is taken to be the top of the bulb.

**A1.1.8 Graduation and Figuring**—The thermometers shall be graduated at each 0.5°C, with a spacing of approximately 2 mm and with a longer line at each 1°C. The graduations shall be numbered at each 5°C.

**A2. DETERMINATION OF THE DISTANCE FOR WHICH THE WET-BULB COVERING MUST EXTEND ONTO THE THERMOMETER STEM TO LIMIT THE HEAT-CONDUCTION ERROR TO 0.05°C**

**A2.1** Temporarily fit the bulbs (sensors) of both thermometers with coverings similar to that to be used on the test bulb, but allow the coverings to extend onto the stems considerably further than usual, say 1.5 ×, the usual distance.

**A2.2** Operate the instrument in the usual manner but with both coverings wet, choosing a location where the conditions are steady. Observe the difference of the thermometer readings as accurately as possible. (This difference is due mainly to the errors of the thermometers themselves.)

**A2.3** Progressively reduce the extension of one of the coverings onto the stem until the difference of the readings of the thermometers is estimated to have changed by 0.05°C. The extension existing at that stage is the minimum permissible.

**A2.4** A more accurate determination can be made if the difference of the readings is plotted against the extension for a number of extensions both greater than and less than that

**A1.1.9 Accuracy**—Readings of each thermometer made by a knowledgeable and experienced observer with the thermometers totally immersed shall not be in error by more than 0.2°C for any temperature in the nominal range. For any two temperatures in the nominal range, readings of the two thermometers, so made, shall give the difference of the temperatures with an error not exceeding 0.2°C.

**A1.1.10 Spare Thermometer**—If a third thermometer is associated with the psychrometer, then A1.1.9 shall apply to each of the three possible combinations of two thermometers.

corresponding to a change of 0.05°C. The minimum extension which corresponds to a change of this amount may then easily be read from the plot.

**A2.5** During the procedure, as in normal operation of the psychrometer, care must be taken to preserve the cleanliness of the coverings, and in particular to avoid touching them with the fingers.

**A2.6** The procedure determines the extension necessary for the conditions which prevail at the time. If it is carried out under conditions which differ substantially from those under which the psychrometer is normally used, then allowance should be made for the fact that for a given extension of the covering the temperature error due to the heat conduction is roughly proportional to the temperature depression. For example, if the present procedure is carried out under atmospheric conditions such that the temperature depression is twice the value which occurs in the normal use of the instrument, then the extension which results in a change of 0.1°C in the temperature difference is the required minimum.

**APPENDIXES**

(Nonmandatory Information)

**X1. SKELETON TABLE OF RELATIVE HUMIDITIES**

**X1.1** Relative humidities rounded to the nearest 0.5 % rh are tabulated for various temperatures and temperature depressions and for standard atmospheric pressure and three values of the psychrometer coefficient. Table X1.1 is given so that other more detailed tables may be compared with it. The dry-bulb temperature interval of 10°C and the temperature depression interval of 2°C are too wide to allow the table to be used for routine humidity measurement. The saturation

vapor pressure of water has been taken from A. Wexler. Appendix X2. Standard atmospheric pressure is 1.01325 × 10<sup>5</sup> Pa.

| Values       |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| Upper        | $A = 6.5 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ |
| Intermediate | $A = 6.7 \times 10^{-4}$                |
| Lower        | $A = 6.9 \times 10^{-4}$                |

TABLE X1.1 Comparison of the Calculated Relative Humidity Using Three Different Values of the Psychrometric Coefficient  $A$ 

| Dry-Bulb Temperature in °C |       |       |       |       |       |       |       |       | Dry-Bulb Temperature in °C |     |     |     |     |      |      |      |      |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| $t - t_w$                  | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | $t - t_w$                  | 10  | 20  | 30  | 40  | 50   | 60   | 70   | 80   |
| 0.0                        | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 22.0                       | ... | ... | ... | 8.5 | 19.0 | 26.0 | 31.0 | 35.5 |
|                            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |                            | ... | ... | ... | 7.5 | 18.5 | 26.0 | 31.0 | 35.0 |
|                            | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |                            | ... | ... | ... | 7.0 | 18.0 | 26.5 | 31.0 | 35.0 |
| 2.0                        | 76.5  | 82.5  | 86.0  | 88.0  | 89.5  | 90.5  | 91.0  | 92.0  | 24.0                       | ... | ... | ... | 3.0 | 14.5 | 22.0 | 27.5 | 31.5 |
|                            | 76.5  | 82.5  | 86.0  | 88.0  | 89.5  | 90.5  | 91.0  | 92.0  |                            | ... | ... | ... | 2.5 | 14.0 | 21.5 | 27.0 | 31.5 |
|                            | 76.0  | 82.5  | 86.0  | 88.0  | 89.5  | 90.5  | 91.0  | 92.0  |                            | ... | ... | ... | 2.0 | 13.5 | 21.5 | 27.0 | 31.5 |
| 4.0                        | 54.5  | 56.5  | 73.0  | 77.0  | 79.5  | 81.5  | 83.0  | 84.5  | 26.0                       | ... | ... | ... | ... | 10.5 | 18.0 | 23.5 | 28.0 |
|                            | 54.0  | 56.0  | 73.0  | 77.0  | 79.5  | 81.5  | 83.0  | 84.5  |                            | ... | ... | ... | ... | 10.0 | 18.0 | 23.5 | 28.0 |
|                            | 53.5  | 56.0  | 72.5  | 77.0  | 79.5  | 81.5  | 83.0  | 84.5  |                            | ... | ... | ... | ... | 9.5  | 17.5 | 23.5 | 28.0 |
| 6.0                        | 34.0  | 51.5  | 61.0  | 67.0  | 70.5  | 73.5  | 75.5  | 77.0  | 28.0                       | ... | ... | ... | ... | 6.5  | 14.5 | 20.5 | 25.0 |
|                            | 33.0  | 51.0  | 60.5  | 66.5  | 70.5  | 73.5  | 75.5  | 77.0  |                            | ... | ... | ... | ... | 6.0  | 14.5 | 20.0 | 24.5 |
|                            | 32.0  | 50.5  | 60.5  | 66.5  | 70.5  | 73.0  | 75.5  | 77.0  |                            | ... | ... | ... | ... | 5.5  | 14.0 | 20.0 | 24.5 |
| 8.0                        | 14.5  | 37.5  | 50.0  | 57.5  | 62.0  | 65.5  | 63.5  | 70.5  | 30.0                       | ... | ... | ... | ... | 3.0  | 11.5 | 17.5 | 22.0 |
|                            | 13.5  | 36.5  | 49.5  | 57.0  | 62.0  | 65.5  | 63.5  | 70.5  |                            | ... | ... | ... | ... | 2.5  | 11.0 | 17.0 | 22.0 |
|                            | 12.0  | 36.0  | 49.0  | 57.0  | 62.0  | 65.5  | 63.5  | 70.5  |                            | ... | ... | ... | ... | 2.0  | 11.0 | 17.0 | 21.5 |
| 10.0                       | ...   | 24.5  | 39.5  | 48.5  | 54.5  | 58.5  | 62.0  | 64.5  | 32.0                       | ... | ... | ... | ... | ...  | 8.5  | 14.5 | 19.0 |
|                            | ...   | 23.5  | 39.0  | 48.5  | 54.5  | 58.5  | 62.0  | 64.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 8.0  | 14.5 | 19.0 |
|                            | ...   | 22.5  | 38.5  | 48.0  | 54.0  | 58.5  | 61.5  | 64.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 7.5  | 14.0 | 19.0 |
| 12.0                       | ...   | 12.0  | 30.0  | 40.5  | 47.5  | 52.0  | 55.5  | 58.5  | 34.0                       | ... | ... | ... | ... | ...  | 5.5  | 12.0 | 16.0 |
|                            | ...   | 11.0  | 29.5  | 40.0  | 47.0  | 52.0  | 55.5  | 58.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 5.5  | 11.5 | 16.0 |
|                            | ...   | 10.0  | 29.0  | 40.0  | 47.0  | 52.0  | 55.5  | 58.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 5.0  | 11.5 | 16.0 |
| 14.0                       | ...   | 0.5   | 21.0  | 33.0  | 40.5  | 46.0  | 50.0  | 53.5  | 36.0                       | ... | ... | ... | ... | ...  | 3.0  | 9.5  | 14.0 |
|                            | ...   | ...   | 20.5  | 32.5  | 40.5  | 46.0  | 50.0  | 53.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 2.5  | 9.0  | 14.0 |
|                            | ...   | ...   | 20.0  | 32.5  | 40.0  | 45.5  | 50.0  | 53.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 2.5  | 9.0  | 14.0 |
| 16.0                       | ...   | ...   | 13.0  | 26.0  | 34.5  | 40.5  | 45.0  | 48.5  | 38.0                       | ... | ... | ... | ... | ...  | 0.5  | 7.0  | 12.0 |
|                            | ...   | ...   | 12.0  | 25.5  | 34.5  | 40.0  | 44.5  | 48.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | 0.5  | 7.0  | 12.0 |
|                            | ...   | ...   | 11.5  | 25.5  | 34.0  | 40.0  | 44.5  | 48.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | 6.5  | 11.0 |
| 18.0                       | ...   | ...   | 5.0   | 20.0  | 29.0  | 35.0  | 40.0  | 43.5  | 40.0                       | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | 5.0  | 10.0 |
|                            | ...   | ...   | 4.5   | 19.5  | 28.5  | 35.0  | 40.0  | 43.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | 5.0  | 10.0 |
|                            | ...   | ...   | 3.5   | 19.0  | 28.5  | 35.0  | 39.5  | 43.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | 4.5  | 9.0  |
| 20.0                       | ...   | ...   | ...   | 14.0  | 23.5  | 30.5  | 35.5  | 39.5  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | ...  | ...  |
|                            | ...   | ...   | ...   | 13.5  | 23.5  | 30.0  | 35.0  | 39.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | ...  | ...  |
|                            | ...   | ...   | ...   | 12.5  | 23.0  | 30.0  | 35.0  | 39.0  |                            | ... | ... | ... | ... | ...  | ...  | ...  | ...  |

## X2. SATURATION VAPOR PRESSURE OVER WATER

X2.1 The saturation vapor pressure of the pure phase over plane surface of pure water for temperatures 0 to 100°C was obtained from Wexler's 1976 formulation (2). Other suitable saturation vapor pressure tables are given in the Smithsonian Meteorological Tables (3), International Meteorological Tables (4), and ASHRAE Handbook and Product Directory (5). The following simplified equation (2) yields values of the saturation vapor pressure over water which differ from those given in Table X2.1 by 20 ppm or less:

$$\ln e_s = \sum_{i=1}^4 g_i (T_{\text{sat}})^{i-2}$$

where:

$$g_1 = -0.63536311 \times 10^4$$

$$g_2 = 0.3404926034 \times 10^2$$

$$g_3 = -0.19509874 \times 10^{-1}$$

$$g_4 = 0.12811805 \times 10^{-4}$$

$e_s$  in Pascal, and

$$T_{\text{sat}} = 273.15 + t_{\text{sat}}, \text{ and}$$

$t_{\text{sat}} = \text{-degree Celsius (International Practical Temperature Scale of 1968)}.$

TABLE X2.1 Saturation Vapor Pressure Over Water (IPTS—68)

| Temp<br>°C | 0.0      | 0.1      | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      | 0.8      | 0.9      |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|            | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       |
| 0          | 611.213  | 615.667  | 620.150  | 624.662  | 629.203  | 633.774  | 638.373  | 643.003  | 647.662  | 652.350  |
| 1          | 657.069  | 661.819  | 666.598  | 671.408  | 676.249  | 681.121  | 686.024  | 690.958  | 695.923  | 700.920  |
| 2          | 705.949  | 711.010  | 716.103  | 721.228  | 726.386  | 731.576  | 736.799  | 742.055  | 747.344  | 752.667  |
| 3          | 758.023  | 763.412  | 768.836  | 774.294  | 779.786  | 785.312  | 790.873  | 796.469  | 802.100  | 807.766  |
| 4          | 813.467  | 819.204  | 824.977  | 830.786  | 836.631  | 842.512  | 848.429  | 854.384  | 860.375  | 866.403  |
| 5          | 872.469  | 878.572  | 884.713  | 890.892  | 897.109  | 903.364  | 909.658  | 915.991  | 922.362  | 928.773  |
| 6          | 935.223  | 941.712  | 948.241  | 954.810  | 961.419  | 968.069  | 974.759  | 981.490  | 988.262  | 995.075  |
| 7          | 1001.93  | 1008.83  | 1015.76  | 1022.74  | 1029.77  | 1036.83  | 1043.94  | 1051.09  | 1058.29  | 1065.52  |
| 8          | 1072.80  | 1080.13  | 1087.50  | 1094.91  | 1102.37  | 1109.87  | 1117.42  | 1125.01  | 1132.65  | 1140.33  |
| 9          | 1148.06  | 1155.84  | 1163.66  | 1171.53  | 1179.45  | 1187.41  | 1195.42  | 1203.48  | 1211.58  | 1219.74  |
| 10         | 1227.94  | 1236.19  | 1244.49  | 1252.84  | 1261.24  | 1269.68  | 1278.18  | 1286.73  | 1295.33  | 1303.97  |
| 11         | 1312.67  | 1321.42  | 1330.22  | 1339.08  | 1347.98  | 1356.94  | 1365.95  | 1375.01  | 1384.12  | 1393.29  |
| 12         | 1402.51  | 1411.79  | 1421.11  | 1430.50  | 1439.93  | 1449.43  | 1458.97  | 1468.58  | 1478.23  | 1487.95  |
| 13         | 1497.72  | 1507.54  | 1517.43  | 1527.36  | 1537.36  | 1547.42  | 1557.53  | 1567.70  | 1577.93  | 1588.21  |
| 14         | 1598.56  | 1608.96  | 1619.43  | 1629.95  | 1640.54  | 1651.18  | 1661.89  | 1672.65  | 1683.48  | 1694.37  |
| 15         | 1705.32  | 1716.33  | 1727.41  | 1738.54  | 1749.75  | 1761.01  | 1772.34  | 1783.73  | 1795.18  | 1806.70  |
| 16         | 1818.29  | 1829.94  | 1841.66  | 1853.44  | 1865.29  | 1877.20  | 1889.18  | 1901.23  | 1913.34  | 1925.53  |
| 17         | 1937.78  | 1950.10  | 1962.48  | 1974.94  | 1987.47  | 2000.06  | 2012.73  | 2025.46  | 2038.27  | 2051.14  |
| 18         | 2064.09  | 2077.11  | 2090.20  | 2103.37  | 2116.61  | 2129.92  | 2143.30  | 2156.75  | 2170.29  | 2183.89  |
| 19         | 2197.57  | 2211.32  | 2225.15  | 2239.06  | 2253.04  | 2267.10  | 2281.23  | 2295.44  | 2309.73  | 2324.10  |
| 20         | 2338.54  | 2353.07  | 2367.67  | 2382.35  | 2397.11  | 2411.95  | 2426.88  | 2441.88  | 2456.94  | 2472.13  |
| 21         | 2487.37  | 2502.70  | 2518.11  | 2533.61  | 2549.18  | 2564.85  | 2580.59  | 2596.42  | 2612.33  | 2628.33  |
| 22         | 2644.42  | 2660.59  | 2676.85  | 2693.19  | 2709.62  | 2726.14  | 2742.75  | 2759.45  | 2776.23  | 2793.10  |
| 23         | 2810.06  | 2827.12  | 2844.26  | 2861.49  | 2878.82  | 2896.23  | 2913.74  | 2931.34  | 2949.04  | 2966.82  |
| 24         | 2984.70  | 3002.68  | 3020.74  | 3038.91  | 3057.17  | 3075.52  | 3093.97  | 3112.52  | 3131.16  | 3149.90  |
| 25         | 3168.74  | 3187.68  | 3206.71  | 3225.85  | 3245.08  | 3264.41  | 3283.85  | 3303.38  | 3323.02  | 3342.76  |
| 26         | 3362.60  | 3382.54  | 3402.59  | 3422.73  | 3442.99  | 3463.34  | 3483.81  | 3504.37  | 3525.05  | 3545.83  |
| 27         | 3566.71  | 3587.71  | 3608.81  | 3630.02  | 3651.33  | 3672.76  | 3694.29  | 3715.94  | 3737.69  | 3759.56  |
| 28         | 3781.54  | 3803.63  | 3825.83  | 3848.14  | 3870.57  | 3893.11  | 3915.77  | 3938.54  | 3961.42  | 3984.42  |
| 29         | 4007.54  | 4030.77  | 4054.12  | 4077.59  | 4101.18  | 4124.88  | 4148.71  | 4172.65  | 4196.71  | 4220.90  |
| 30         | 4245.20  | 4269.63  | 4294.18  | 4318.85  | 4343.64  | 4368.56  | 4393.60  | 4418.77  | 4444.06  | 4469.48  |
| 31         | 4495.02  | 4520.69  | 4546.49  | 4572.42  | 4598.47  | 4624.65  | 4650.96  | 4677.41  | 4703.98  | 4730.68  |
| 32         | 4757.52  | 4784.48  | 4811.58  | 4838.81  | 4866.18  | 4893.68  | 4921.32  | 4949.09  | 4976.99  | 5005.04  |
| 33         | 5033.22  | 5061.53  | 5089.99  | 5118.58  | 5147.32  | 5176.19  | 5205.20  | 5234.36  | 5263.65  | 5293.09  |
| 34         | 5322.67  | 5352.39  | 5382.26  | 5412.27  | 5442.43  | 5472.73  | 5503.18  | 5533.78  | 5564.52  | 5595.41  |
| 35         | 5626.45  | 5657.64  | 5688.97  | 5720.46  | 5752.10  | 5783.89  | 5815.83  | 5847.93  | 5880.17  | 5912.58  |
| 36         | 5945.13  | 5977.84  | 6010.71  | 6043.73  | 6076.91  | 6110.25  | 6143.75  | 6177.40  | 6211.22  | 6245.19  |
| 37         | 6279.33  | 6313.62  | 6348.08  | 6382.70  | 6417.48  | 6452.43  | 6487.54  | 6522.82  | 6558.26  | 6593.87  |
| 38         | 6629.65  | 6665.59  | 6701.71  | 6737.99  | 6774.44  | 6811.06  | 6847.85  | 6884.82  | 6921.95  | 6959.26  |
| 39         | 6996.75  | 7034.40  | 7072.24  | 7110.24  | 7148.43  | 7186.79  | 7225.33  | 7264.04  | 7302.94  | 7342.02  |
| 40         | 7381.27  | 7420.71  | 7460.33  | 7500.13  | 7540.12  | 7580.28  | 7620.64  | 7661.18  | 7701.90  | 7742.81  |
| 41         | 7783.91  | 7825.20  | 7866.96  | 7908.34  | 7950.19  | 7992.24  | 8034.47  | 8076.90  | 8119.53  | 8162.34  |
| 42         | 8205.36  | 8248.56  | 8291.96  | 8335.56  | 8379.36  | 8423.36  | 8467.55  | 8511.94  | 8556.54  | 8601.33  |
| 43         | 8646.33  | 8691.53  | 8736.93  | 8782.54  | 8828.35  | 8874.37  | 8920.59  | 8967.02  | 9013.66  | 9060.51  |
| 44         | 9107.57  | 9154.84  | 9202.32  | 9250.01  | 9297.91  | 9346.03  | 9394.36  | 9442.91  | 9491.67  | 9540.65  |
| 45         | 9589.84  | 9639.25  | 9688.89  | 9738.74  | 9788.81  | 9839.11  | 9889.62  | 9940.36  | 9991.32  | 10042.51 |
| 46         | 10093.92 | 10145.56 | 10197.43 | 10249.52 | 10301.84 | 10354.39 | 10407.18 | 10460.19 | 10513.43 | 10566.91 |
| 47         | 10620.62 | 10674.57 | 10728.75 | 10783.16 | 10837.82 | 10892.71 | 10947.84 | 11003.21 | 11058.82 | 11114.67 |
| 48         | 11170.76 | 11227.10 | 11283.68 | 11340.50 | 11397.57 | 11454.88 | 11512.45 | 11570.26 | 11628.32 | 11686.63 |
| 49         | 11745.19 | 11804.00 | 11863.07 | 11922.38 | 11981.96 | 12041.78 | 12101.87 | 12162.21 | 12222.81 | 12283.66 |
| 50         | 12344.78 | 12406.16 | 12467.79 | 12529.70 | 12591.86 | 12654.29 | 12716.98 | 12779.94 | 12843.17 | 12906.66 |
| 51         | 12970.42 | 13034.46 | 13098.76 | 13163.33 | 13228.18 | 13293.30 | 13358.70 | 13424.37 | 13490.32 | 13556.54 |
| 52         | 13623.04 | 13689.82 | 13756.88 | 13824.23 | 13891.85 | 13959.76 | 14027.95 | 14096.43 | 14165.19 | 14234.24 |
| 53         | 14303.57 | 14373.20 | 14443.11 | 14513.32 | 14583.82 | 14654.61 | 14725.69 | 14797.07 | 14868.74 | 14940.72 |
| 54         | 15012.98 | 15085.55 | 15158.42 | 15231.59 | 15305.06 | 15378.83 | 15452.90 | 15527.28 | 15601.97 | 15676.96 |
| 55         | 15752.26 | 15827.87 | 15903.79 | 15980.02 | 16056.57 | 16133.42 | 16210.59 | 16288.07 | 16365.87 | 16443.99 |
| 56         | 16522.43 | 16601.18 | 16680.26 | 16759.65 | 16839.37 | 16919.41 | 16999.78 | 17080.47 | 17161.49 | 17242.84 |
| 57         | 17324.51 | 17406.52 | 17488.86 | 17571.52 | 17654.53 | 17737.86 | 17821.53 | 17905.54 | 17989.88 | 18074.57 |
| 58         | 18159.59 | 18244.95 | 18330.66 | 18416.71 | 18503.10 | 18589.84 | 18676.92 | 18764.35 | 18852.13 | 18940.26 |
| 59         | 19028.74 | 19117.58 | 19206.76 | 19296.30 | 19386.20 | 19476.45 | 19567.06 | 19658.03 | 19749.35 | 19841.04 |
| 60         | 19933.09 | 20025.51 | 20118.29 | 20211.43 | 20304.95 | 20398.82 | 20493.07 | 20587.69 | 20682.68 | 20778.05 |
| 61         | 20873.78 | 20969.90 | 21066.39 | 21163.25 | 21260.50 | 21358.12 | 21456.13 | 21554.51 | 21653.28 | 21752.44 |
| 62         | 21851.98 | 21951.91 | 22052.23 | 22152.93 | 22254.03 | 22355.52 | 22457.40 | 22559.68 | 22662.35 | 22765.42 |
| 63         | 22868.89 | 22972.75 | 23077.02 | 23181.69 | 23286.76 | 23392.23 | 23498.12 | 23604.40 | 23711.10 | 23818.20 |
| 64         | 23925.72 | 24033.65 | 24141.99 | 24250.74 | 24359.91 | 24469.50 | 24579.51 | 24689.93 | 24800.78 | 24912.04 |
| 65         | 25023.74 | 25135.85 | 25248.39 | 25361.36 | 25474.76 | 25588.58 | 25702.84 | 25817.53 | 25932.66 | 26048.22 |
| 66         | 26164.21 | 26280.64 | 26397.52 | 26514.83 | 26632.58 | 26750.78 | 26869.42 | 26988.51 | 27108.04 | 27228.02 |
| 67         | 27348.46 | 27469.34 | 27590.68 | 27712.46 | 27834.71 | 27957.41 | 28080.57 | 28204.19 | 28328.26 | 28452.80 |

TABLE X2.1 Continued

| Temp<br>°C | 0.0       | 0.1      | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7       | 0.8       | 0.9       |
|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
|            | Pa        | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa       | Pa        | Pa        | Pa        |
| 68         | 28577.81  | 28703.28 | 28829.21 | 28955.61 | 29082.48 | 29209.82 | 29337.64 | 29465.92  | 29594.68  | 29723.92  |
| 69         | 29853.63  | 29983.82 | 30114.49 | 30245.65 | 30377.28 | 30509.40 | 30642.01 | 30775.10  | 30908.69  | 31042.75  |
| 70         | 31177.32  | 31312.37 | 31447.92 | 31583.97 | 31720.51 | 31857.55 | 31995.09 | 32133.14  | 32271.68  | 32410.73  |
| 71         | 32550.29  | 32690.35 | 32830.93 | 32972.01 | 33113.61 | 33255.71 | 33398.34 | 33541.48  | 33685.13  | 33829.31  |
| 72         | 33974.01  | 34119.23 | 34264.97 | 34411.24 | 34558.03 | 34705.36 | 34853.21 | 35001.59  | 35150.51  | 35299.96  |
| 73         | 35449.95  | 35600.47 | 35751.54 | 35903.14 | 36055.29 | 36207.98 | 36361.21 | 36514.99  | 36669.32  | 36824.20  |
| 74         | 36979.63  | 37135.61 | 37292.15 | 37449.24 | 37606.89 | 37765.10 | 37923.87 | 38083.21  | 38243.10  | 38403.56  |
| 75         | 38564.59  | 38726.19 | 38888.36 | 39051.10 | 39214.41 | 39378.30 | 39542.76 | 39707.80  | 39873.42  | 40039.63  |
| 76         | 40206.41  | 40373.78 | 40541.74 | 40710.28 | 40879.42 | 41049.14 | 41219.46 | 41390.37  | 41561.88  | 41733.99  |
| 77         | 41906.69  | 42080.00 | 42253.91 | 42428.42 | 42603.54 | 42779.27 | 42955.61 | 43132.55  | 43310.11  | 43488.29  |
| 78         | 43667.08  | 43846.48 | 44026.51 | 44207.16 | 44388.43 | 44570.33 | 44752.85 | 44936.00  | 45119.77  | 45304.18  |
| 79         | 45489.23  | 45674.91 | 45861.22 | 46048.17 | 46235.76 | 46424.00 | 46612.87 | 46802.39  | 46992.56  | 47183.38  |
| 80         | 47374.85  | 47566.97 | 47759.74 | 47953.17 | 48147.25 | 48342.00 | 48537.40 | 48733.47  | 48930.20  | 49127.60  |
| 81         | 49325.67  | 49524.40 | 49723.81 | 49923.89 | 50124.64 | 50326.08 | 50528.19 | 50730.98  | 50934.45  | 51138.61  |
| 82         | 51343.45  | 51548.98 | 51755.20 | 51962.11 | 52169.72 | 52378.01 | 52587.01 | 52796.70  | 53007.10  | 53218.20  |
| 83         | 53430.00  | 53642.50 | 53855.72 | 54069.64 | 54284.28 | 54499.63 | 54715.69 | 54932.47  | 55149.97  | 55368.15  |
| 84         | 55587.13  | 55806.80 | 56027.20 | 56248.32 | 56470.17 | 56692.76 | 56916.08 | 57140.13  | 57364.92  | 57590.45  |
| 85         | 57816.73  | 58043.74 | 58271.51 | 58500.02 | 58729.27 | 58959.28 | 59190.05 | 59421.57  | 59653.84  | 59886.81  |
| 86         | 60120.67  | 60355.23 | 60590.55 | 60826.64 | 61063.50 | 61301.12 | 61539.52 | 61778.70  | 62018.65  | 62259.31  |
| 87         | 62500.89  | 62743.18 | 62986.26 | 63230.12 | 63474.78 | 63720.22 | 63966.45 | 64213.48  | 64461.31  | 64709.91  |
| 88         | 64959.35  | 65209.58 | 65460.61 | 65712.45 | 65965.09 | 66218.55 | 66472.82 | 66727.90  | 66983.80  | 67240.51  |
| 89         | 67498.06  | 67756.42 | 68015.60 | 68275.62 | 68536.46 | 68798.13 | 69060.74 | 69323.98  | 69588.15  | 69853.11  |
| 90         | 70119.03  | 70385.73 | 70653.28 | 70921.67 | 71190.91 | 71461.01 | 71731.96 | 72003.76  | 72276.42  | 72549.91  |
| 91         | 72824.33  | 73099.58 | 73375.70 | 73652.68 | 73930.54 | 74209.27 | 74488.87 | 74769.35  | 75050.71  | 75332.91  |
| 92         | 75616.07  | 75900.08 | 76184.98 | 76470.77 | 76757.44 | 77045.02 | 77333.49 | 77622.86  | 77913.13  | 78204.31  |
| 93         | 78496.38  | 78789.36 | 79083.26 | 79378.06 | 79673.78 | 79970.42 | 80267.97 | 80566.45  | 80865.85  | 81166.11  |
| 94         | 81467.42  | 81769.60 | 82072.71 | 82376.75 | 82681.73 | 82987.65 | 83294.51 | 83602.31  | 83911.06  | 84220.71  |
| 95         | 84531.40  | 84842.99 | 85155.54 | 85469.05 | 85783.51 | 86098.94 | 86415.33 | 86732.68  | 87051.00  | 87370.21  |
| 96         | 87690.56  | 88011.00 | 88334.01 | 88657.20 | 88981.38 | 89306.54 | 89632.68 | 89959.82  | 90287.94  | 90617.01  |
| 97         | 90947.17  | 91278.28 | 91610.39 | 91943.50 | 92277.62 | 92612.74 | 92948.87 | 93286.02  | 93624.18  | 93963.31  |
| 98         | 94303.54  | 94644.76 | 94986.99 | 95330.26 | 95674.55 | 96019.87 | 96366.23 | 96713.62  | 97062.05  | 97411.51  |
| 99         | 97762.02  | 98113.58 | 98466.18 | 98819.83 | 99174.54 | 99530.30 | 99887.11 | 100244.99 | 100603.93 | 100963.91 |
| 100        | 101324.99 | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | ...       | ...       | ...       |

<sup>a</sup> Metastable state.

### X3. RELATIVE HUMIDITY—PSYCHROMETRIC TABLE

X3.1 Relative humidities rounded to the nearest 1 % rh are tabulated by using Ferrel's formulation for the psychrometer coefficient and standard atmospheric pressure. For barometer pressures differing from the standard atmospheric pressure (101325 Pa) see Appendix X4.

$$U = \frac{e}{e_s} \times 100 \% = \frac{e_w(t_w) - Ap(t - t_w)}{e_s} \times 100 \%$$

where:

$A = 6.60 \times 10^{-4} (1 + 0.00115 t_w)$ ,

$p = 101325 \text{ Pa}$ ,

$e_w, e_s$  in Pa, and

$t, t_w$  in °C.

For definitions of symbols, see 11.2.

TABLE X3.1 Relative Humidity, Percent (Pressure = 101 325 Pa) (See Appendix X4)

| Air Temperature<br>(t), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer (t - t <sub>w</sub> ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            | 0.1                                                          | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
| 2                          | 98                                                           | 97  | 95  | 93  | 92  | 90  | 88  | 87  | 85  | 84  |     |     |     |     |     |
| 3                          | 98                                                           | 97  | 95  | 94  | 92  | 90  | 89  | 87  | 86  | 84  | 83  | 81  | 80  | 78  | 77  |
| 4                          | 98                                                           | 97  | 95  | 94  | 92  | 91  | 89  | 88  | 86  | 85  | 83  | 82  | 80  | 79  | 78  |
| 5                          | 99                                                           | 97  | 96  | 94  | 93  | 91  | 90  | 88  | 87  | 86  | 84  | 83  | 81  | 80  | 78  |
| 6                          | 99                                                           | 97  | 96  | 94  | 93  | 92  | 90  | 89  | 87  | 86  | 85  | 83  | 82  | 81  | 79  |
| 7                          | 99                                                           | 97  | 96  | 95  | 93  | 92  | 91  | 89  | 88  | 87  | 85  | 84  | 83  | 81  | 80  |
| 8                          | 99                                                           | 97  | 96  | 95  | 93  | 92  | 91  | 90  | 88  | 87  | 86  | 85  | 83  | 82  | 81  |
| 9                          | 99                                                           | 97  | 96  | 95  | 94  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 86  | 85  | 84  | 83  | 81  |
| 10                         | 99                                                           | 98  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 84  | 83  | 82  |
| 11                         | 99                                                           | 98  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 88  | 87  | 86  | 85  | 84  | 83  |
| 12                         | 99                                                           | 98  | 97  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 85  | 84  | 83  |
| 13                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  | 84  |
| 14                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  | 84  |
| 15                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 16                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 17                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 18                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  |
| 19                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 20                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 21                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  | 85  |
| 22                         | 99                                                           | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  | 86  |
| 23                         | 99                                                           | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 24                         | 99                                                           | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 25                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 26                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 27                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 28                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 29                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 30                         | 99                                                           | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 31                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 32                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 33                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  | 87  |
| 34                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 35                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 36                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 37                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 38                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 39                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 40                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 41                         | 99                                                           | 99  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 42                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 43                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 44                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 45                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 96  | 95  | 94  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 46                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  |
| 47                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  |
| 48                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  |
| 49                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 94  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  | 89  |
| 50                         | 99                                                           | 99  | 98  | 98  | 97  | 97  | 96  | 95  | 95  | 95  | 94  | 93  | 92  | 91  | 90  |

TABLE X3.1 *Continued*

| Air Temperature<br>(t), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer (t - t <sub>w</sub> ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            | 1.6                                                          | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| 3                          | 75                                                           | 74  | 72  | 70  | 69  | 69  | 67  | 66  | 65  | 63  | 62  | 60  | 59  | 57  | 56  |
| 4                          | 76                                                           | 75  | 73  | 72  | 70  | 69  | 67  | 66  | 65  | 63  | 62  | 60  | 59  | 57  | 56  |
| 5                          | 77                                                           | 76  | 74  | 73  | 71  | 70  | 69  | 67  | 66  | 65  | 63  | 62  | 61  | 59  | 58  |
| 6                          | 78                                                           | 77  | 75  | 74  | 73  | 71  | 70  | 69  | 67  | 66  | 65  | 63  | 62  | 61  | 59  |
| 7                          | 79                                                           | 77  | 76  | 75  | 74  | 72  | 71  | 70  | 69  | 67  | 66  | 65  | 64  | 62  | 61  |
| 8                          | 80                                                           | 78  | 77  | 76  | 75  | 73  | 72  | 71  | 70  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 62  |
| 9                          | 80                                                           | 79  | 78  | 77  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 70  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  |
| 10                         | 81                                                           | 80  | 79  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 70  | 68  | 67  | 66  | 65  |
| 11                         | 82                                                           | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 69  | 68  | 67  | 66  |
| 12                         | 82                                                           | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 70  | 69  | 68  | 67  |
| 13                         | 83                                                           | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 70  | 69  | 68  |
| 14                         | 83                                                           | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 70  | 69  |
| 15                         | 84                                                           | 83  | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  | 70  |
| 16                         | 84                                                           | 83  | 82  | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  | 72  | 71  |
| 17                         | 85                                                           | 84  | 83  | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 72  |
| 18                         | 85                                                           | 84  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 74  | 73  |
| 19                         | 85                                                           | 85  | 84  | 83  | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 78  | 77  | 76  | 75  | 74  | 73  |
| 20                         | 86                                                           | 85  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  | 75  | 74  |
| 21                         | 86                                                           | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  | 78  | 77  | 76  | 75  | 75  |
| 22                         | 86                                                           | 86  | 85  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 79  | 78  | 78  | 77  | 76  | 75  |
| 23                         | 87                                                           | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  |
| 24                         | 87                                                           | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  | 77  | 76  |
| 25                         | 87                                                           | 87  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  | 78  | 78  | 77  |
| 26                         | 88                                                           | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  | 78  | 77  |
| 27                         | 88                                                           | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  |
| 28                         | 88                                                           | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  | 78  |
| 29                         | 88                                                           | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  | 79  |
| 30                         | 89                                                           | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  |
| 31                         | 89                                                           | 88  | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  |
| 32                         | 89                                                           | 88  | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  | 80  |
| 33                         | 89                                                           | 88  | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  | 81  | 80  |
| 34                         | 89                                                           | 89  | 88  | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  | 80  |
| 35                         | 89                                                           | 89  | 88  | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  | 81  |
| 36                         | 90                                                           | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 82  | 81  |
| 37                         | 90                                                           | 89  | 89  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 83  | 82  | 81  |
| 38                         | 90                                                           | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 83  | 83  | 82  | 82  |
| 39                         | 90                                                           | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  | 82  |
| 40                         | 90                                                           | 90  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 83  | 82  |
| 41                         | 90                                                           | 90  | 89  | 89  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  | 82  |
| 42                         | 90                                                           | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  | 83  |
| 43                         | 91                                                           | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 84  | 84  | 83  | 83  |
| 44                         | 91                                                           | 90  | 90  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  |
| 45                         | 91                                                           | 90  | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  | 83  |
| 46                         | 91                                                           | 90  | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  |
| 47                         | 91                                                           | 91  | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  |
| 48                         | 91                                                           | 91  | 90  | 90  | 89  | 89  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  | 84  |
| 49                         | 91                                                           | 91  | 90  | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  |
| 50                         | 91                                                           | 91  | 90  | 90  | 89  | 89  | 88  | 88  | 87  | 87  | 86  | 86  | 85  | 85  | 84  |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                | 3.1                                                  | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 4.0 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 |
| 5                              | 56                                                   | 55  | 54  | 52  | 51  | 50  | 48  | 47  | 46  | 45  |     |     |     |     |     |
| 6                              | 58                                                   | 57  | 56  | 54  | 53  | 52  | 51  | 49  | 48  | 47  | 46  | 44  | 43  | 42  | 41  |
| 7                              | 60                                                   | 59  | 57  | 56  | 55  | 54  | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 46  | 45  | 44  | 43  |
| 8                              | 61                                                   | 60  | 59  | 58  | 57  | 55  | 54  | 53  | 52  | 51  | 50  | 48  | 47  | 46  | 45  |
| 9                              | 63                                                   | 62  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 51  | 50  | 49  | 48  | 47  |
| 10                             | 64                                                   | 63  | 62  | 61  | 60  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 52  | 51  | 50  | 49  |
| 11                             | 65                                                   | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 52  | 51  |
| 12                             | 66                                                   | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 52  |
| 13                             | 67                                                   | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  |
| 14                             | 68                                                   | 67  | 66  | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 55  |
| 15                             | 69                                                   | 68  | 67  | 67  | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  |
| 16                             | 70                                                   | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 61  | 60  | 60  | 59  | 58  |
| 17                             | 71                                                   | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 63  | 62  | 62  | 61  | 60  | 59  |
| 18                             | 72                                                   | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 63  | 63  | 62  | 61  | 60  |
| 19                             | 73                                                   | 72  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 64  | 63  | 62  | 61  |
| 20                             | 73                                                   | 72  | 72  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 64  | 64  | 63  | 62  |
| 21                             | 74                                                   | 73  | 72  | 72  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 65  | 64  | 63  |
| 22                             | 75                                                   | 74  | 73  | 72  | 71  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 65  | 65  | 64  |
| 23                             | 75                                                   | 74  | 74  | 73  | 72  | 71  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  |
| 24                             | 76                                                   | 75  | 74  | 73  | 73  | 72  | 71  | 71  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  |
| 25                             | 76                                                   | 75  | 75  | 74  | 73  | 73  | 72  | 71  | 70  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  |
| 26                             | 77                                                   | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 72  | 72  | 71  | 70  | 70  | 69  | 68  | 68  | 67  |
| 27                             | 77                                                   | 76  | 76  | 75  | 74  | 74  | 73  | 72  | 72  | 71  | 70  | 70  | 69  | 68  | 68  |
| 28                             | 78                                                   | 77  | 76  | 76  | 75  | 74  | 74  | 73  | 72  | 72  | 71  | 70  | 70  | 69  | 68  |
| 29                             | 78                                                   | 77  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 70  | 70  | 69  |
| 30                             | 78                                                   | 78  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 73  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  |
| 31                             | 79                                                   | 78  | 78  | 77  | 76  | 76  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 71  | 71  | 70  |
| 32                             | 79                                                   | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  |
| 33                             | 80                                                   | 79  | 78  | 78  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  |
| 34                             | 80                                                   | 79  | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  |
| 35                             | 80                                                   | 80  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  |
| 36                             | 81                                                   | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 72  |
| 37                             | 81                                                   | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 73  | 72  |
| 38                             | 81                                                   | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  |
| 39                             | 81                                                   | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  |
| 40                             | 82                                                   | 81  | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  |
| 41                             | 82                                                   | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 75  | 75  | 74  |
| 42                             | 82                                                   | 82  | 81  | 81  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  | 75  |
| 43                             | 82                                                   | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  |
| 44                             | 83                                                   | 82  | 82  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  | 75  |
| 45                             | 83                                                   | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  |
| 46                             | 83                                                   | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  | 76  |
| 47                             | 83                                                   | 83  | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  | 76  |
| 48                             | 83                                                   | 83  | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 78  | 77  | 77  |
| 49                             | 84                                                   | 83  | 83  | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 77  | 77  |
| 50                             | 84                                                   | 83  | 83  | 82  | 82  | 81  | 81  | 80  | 80  | 79  | 79  | 78  | 78  | 78  | 77  |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( $t_a$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                  | 4.6                                                  | 4.7 | 4.8 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 6.0 |
| 6                                | 39                                                   | 38  | 37  | 36  | 34  | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7                                | 42                                                   | 40  | 39  | 38  | 37  | 36  | 35  | 33  | 32  | 31  | 30  | 29  | 28  | 27  | 25  |
| 8                                | 44                                                   | 43  | 42  | 40  | 39  | 38  | 37  | 36  | 35  | 34  | 33  | 32  | 30  | 29  | 28  |
| 9                                | 46                                                   | 45  | 44  | 43  | 42  | 40  | 39  | 38  | 37  | 36  | 35  | 34  | 33  | 32  | 31  |
| 10                               | 48                                                   | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  | 42  | 40  | 39  | 38  | 37  | 36  | 35  | 34  | 33  |
| 11                               | 50                                                   | 49  | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  | 42  | 41  | 40  | 39  | 38  | 37  | 36  |
| 12                               | 51                                                   | 50  | 49  | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 41  | 40  | 39  | 38  |
| 13                               | 53                                                   | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  | 43  | 42  | 41  | 40  |
| 14                               | 54                                                   | 53  | 52  | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  | 43  | 42  |
| 15                               | 56                                                   | 55  | 54  | 53  | 52  | 51  | 50  | 50  | 49  | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  |
| 16                               | 57                                                   | 56  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  | 46  | 45  |
| 17                               | 58                                                   | 57  | 56  | 56  | 55  | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  |
| 18                               | 59                                                   | 58  | 58  | 57  | 56  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  | 51  | 51  | 50  | 49  | 48  |
| 19                               | 60                                                   | 60  | 59  | 58  | 57  | 56  | 56  | 55  | 54  | 53  | 53  | 52  | 51  | 50  | 50  |
| 20                               | 61                                                   | 61  | 60  | 59  | 58  | 58  | 57  | 56  | 55  | 55  | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  |
| 21                               | 62                                                   | 62  | 61  | 60  | 59  | 59  | 58  | 57  | 56  | 56  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  |
| 22                               | 63                                                   | 63  | 62  | 61  | 60  | 60  | 59  | 58  | 57  | 57  | 56  | 55  | 55  | 54  | 53  |
| 23                               | 64                                                   | 63  | 63  | 62  | 61  | 61  | 60  | 59  | 58  | 58  | 57  | 56  | 56  | 55  | 54  |
| 24                               | 65                                                   | 64  | 64  | 63  | 62  | 61  | 61  | 60  | 59  | 59  | 58  | 57  | 57  | 56  | 55  |
| 25                               | 66                                                   | 65  | 64  | 64  | 63  | 62  | 62  | 61  | 60  | 60  | 59  | 58  | 58  | 57  | 56  |
| 26                               | 66                                                   | 66  | 65  | 64  | 64  | 63  | 62  | 62  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 57  |
| 27                               | 67                                                   | 66  | 66  | 65  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 61  | 61  | 60  | 59  | 59  | 58  |
| 28                               | 68                                                   | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 63  | 63  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  |
| 29                               | 68                                                   | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 60  | 60  |
| 30                               | 69                                                   | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  |
| 31                               | 69                                                   | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  |
| 32                               | 70                                                   | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 63  | 62  | 62  |
| 33                               | 71                                                   | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 63  | 63  |
| 34                               | 71                                                   | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 63  |
| 35                               | 71                                                   | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  |
| 36                               | 72                                                   | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  |
| 37                               | 72                                                   | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  |
| 38                               | 73                                                   | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  |
| 39                               | 73                                                   | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  |
| 40                               | 74                                                   | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  |
| 41                               | 74                                                   | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 67  |
| 42                               | 74                                                   | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  |
| 43                               | 75                                                   | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  | 68  |
| 44                               | 75                                                   | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 68  |
| 45                               | 75                                                   | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  | 69  |
| 46                               | 76                                                   | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  | 69  |
| 47                               | 76                                                   | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  | 69  |
| 48                               | 76                                                   | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 71  | 70  | 70  |
| 49                               | 76                                                   | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 74  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  | 70  |
| 50                               | 77                                                   | 76  | 76  | 75  | 75  | 74  | 74  | 73  | 73  | 73  | 72  | 72  | 71  | 71  | 70  |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( $t_a$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                  | 6.1                                                  | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.6 | 6.7 | 6.8 | 6.9 | 7.0 | 7.1 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 7.5 |
| 8                                | 27                                                   | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 20  | 19  | 18  |     |     |     |     |     |
| 9                                | 30                                                   | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  |
| 10                               | 32                                                   | 31  | 30  | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 20  | 20  | 19  |
| 11                               | 35                                                   | 34  | 33  | 32  | 31  | 30  | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  |
| 12                               | 37                                                   | 36  | 35  | 34  | 33  | 32  | 31  | 30  | 29  | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  |
| 13                               | 39                                                   | 38  | 37  | 36  | 35  | 34  | 34  | 33  | 32  | 31  | 30  | 29  | 28  | 27  | 27  |
| 14                               | 41                                                   | 40  | 39  | 38  | 37  | 37  | 36  | 35  | 34  | 33  | 32  | 31  | 31  | 30  | 29  |
| 15                               | 43                                                   | 42  | 41  | 40  | 39  | 38  | 38  | 37  | 36  | 35  | 34  | 34  | 33  | 32  | 31  |
| 16                               | 44                                                   | 44  | 43  | 42  | 41  | 40  | 39  | 39  | 38  | 37  | 36  | 35  | 35  | 34  | 33  |
| 17                               | 46                                                   | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 41  | 40  | 40  | 39  | 38  | 37  | 37  | 36  | 35  |
| 18                               | 47                                                   | 47  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 41  | 41  | 40  | 39  | 38  | 38  | 37  |
| 19                               | 49                                                   | 48  | 47  | 47  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 41  | 41  | 40  | 39  | 39  |
| 20                               | 50                                                   | 49  | 49  | 48  | 47  | 47  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 42  | 41  | 40  |
| 21                               | 51                                                   | 51  | 50  | 49  | 49  | 48  | 47  | 46  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 42  | 42  |
| 22                               | 53                                                   | 52  | 51  | 50  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  | 46  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  |
| 23                               | 54                                                   | 53  | 52  | 52  | 51  | 50  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  | 46  | 46  | 45  | 44  |
| 24                               | 55                                                   | 54  | 53  | 53  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  | 46  | 46  |
| 25                               | 56                                                   | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 51  | 51  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  |
| 26                               | 57                                                   | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  |
| 27                               | 58                                                   | 57  | 56  | 56  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  |
| 28                               | 58                                                   | 58  | 57  | 57  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  |
| 29                               | 59                                                   | 59  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  |
| 30                               | 60                                                   | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  |
| 31                               | 61                                                   | 60  | 60  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 53  | 53  |
| 32                               | 61                                                   | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  |
| 33                               | 62                                                   | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  |
| 34                               | 63                                                   | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  |
| 35                               | 63                                                   | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  |
| 36                               | 64                                                   | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  |
| 37                               | 64                                                   | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  |
| 38                               | 65                                                   | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  |
| 39                               | 65                                                   | 65  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  |
| 40                               | 66                                                   | 65  | 65  | 64  | 64  | 63  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  |
| 41                               | 66                                                   | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 63  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  | 60  |
| 42                               | 67                                                   | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 60  |
| 43                               | 67                                                   | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  |
| 44                               | 68                                                   | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  |
| 45                               | 68                                                   | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  | 62  |
| 46                               | 68                                                   | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  | 62  |
| 47                               | 69                                                   | 68  | 68  | 67  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  | 63  |
| 48                               | 69                                                   | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 67  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  | 63  |
| 49                               | 70                                                   | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  | 64  |
| 50                               | 70                                                   | 69  | 69  | 69  | 68  | 68  | 67  | 67  | 66  | 66  | 66  | 65  | 65  | 64  | 64  |

TABLE X3.1 Continued

| Temperature<br>(t) °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer (t - t <sub>w</sub> ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       | 7.6                                                          | 7.7 | 7.8 | 7.9 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 8.3 | 8.4 | 8.5 | 8.6 | 8.7 | 8.8 | 8.9 | 9.0 |
| 9                     | 15                                                           | 14  | 13  | 12  | 11  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 10                    | 18                                                           | 17  | 16  | 15  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   | 6   | 5   | 4   |
| 11                    | 20                                                           | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  | 10  | 9   | 9   |
| 12                    | 23                                                           | 22  | 21  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14  | 14  | 13  | 12  | 11  |
| 13                    | 26                                                           | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 16  | 15  | 14  |
| 14                    | 28                                                           | 27  | 26  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22  | 21  | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 17  |
| 15                    | 30                                                           | 29  | 29  | 28  | 27  | 26  | 25  | 25  | 24  | 23  | 22  | 22  | 21  | 20  | 19  |
| 16                    | 32                                                           | 32  | 31  | 30  | 29  | 28  | 28  | 27  | 26  | 25  | 25  | 24  | 23  | 22  | 22  |
| 17                    | 34                                                           | 34  | 33  | 32  | 31  | 31  | 30  | 29  | 28  | 28  | 27  | 26  | 25  | 25  | 24  |
| 18                    | 36                                                           | 35  | 35  | 34  | 33  | 32  | 32  | 31  | 30  | 30  | 29  | 28  | 28  | 27  | 26  |
| 19                    | 38                                                           | 37  | 36  | 36  | 35  | 34  | 34  | 33  | 32  | 32  | 31  | 30  | 29  | 29  | 28  |
| 20                    | 39                                                           | 39  | 38  | 37  | 37  | 36  | 35  | 35  | 34  | 33  | 33  | 32  | 31  | 31  | 30  |
| 21                    | 41                                                           | 40  | 40  | 39  | 38  | 38  | 37  | 36  | 36  | 35  | 34  | 34  | 33  | 32  | 32  |
| 22                    | 42                                                           | 42  | 41  | 40  | 40  | 39  | 39  | 38  | 37  | 37  | 36  | 35  | 35  | 34  | 33  |
| 23                    | 44                                                           | 43  | 43  | 42  | 41  | 41  | 40  | 39  | 39  | 38  | 38  | 37  | 36  | 36  | 35  |
| 24                    | 45                                                           | 44  | 44  | 43  | 43  | 42  | 41  | 41  | 40  | 40  | 39  | 38  | 37  | 37  | 36  |
| 25                    | 46                                                           | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  | 41  | 40  | 40  | 39  | 39  | 38  |
| 26                    | 47                                                           | 47  | 46  | 46  | 45  | 44  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  | 41  | 40  | 40  | 39  |
| 27                    | 49                                                           | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  | 41  | 41  |
| 28                    | 50                                                           | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  |
| 29                    | 51                                                           | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 44  | 43  | 43  |
| 30                    | 51                                                           | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 44  |
| 31                    | 52                                                           | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  |
| 32                    | 53                                                           | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  |
| 33                    | 54                                                           | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  |
| 34                    | 55                                                           | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  |
| 35                    | 56                                                           | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  |
| 36                    | 56                                                           | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  |
| 37                    | 57                                                           | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 50  |
| 38                    | 58                                                           | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 51  |
| 39                    | 58                                                           | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 52  |
| 40                    | 59                                                           | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  |
| 41                    | 59                                                           | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  |
| 42                    | 60                                                           | 59  | 59  | 58  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 54  |
| 43                    | 60                                                           | 60  | 59  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  |
| 44                    | 61                                                           | 60  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  |
| 45                    | 61                                                           | 61  | 60  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 57  | 56  | 56  | 55  |
| 46                    | 62                                                           | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  | 57  | 56  | 56  |
| 47                    | 62                                                           | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 58  | 58  | 58  | 57  | 57  | 56  |
| 48                    | 63                                                           | 62  | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  | 57  |
| 49                    | 63                                                           | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 59  | 58  | 58  | 57  |
| 50                    | 64                                                           | 63  | 63  | 62  | 62  | 61  | 61  | 61  | 60  | 60  | 59  | 59  | 59  | 58  | 58  |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>(t), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer (t - t <sub>w</sub> ), °C |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                            | 9.1                                                          | 9.2 | 9.3 | 9.4 | 9.5 | 9.6 | 9.7 | 9.8 | 9.9 | 10.0 | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.5 |
| 11                         | 7                                                            | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   | 2   | ... | ... | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 12                         | 10                                                           | 9   | 8   | 8   | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 13                         | 13                                                           | 12  | 11  | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   | 7   | 6    | 5    | 4    | 3    | 3    | 2    |
| 14                         | 16                                                           | 15  | 14  | 13  | 13  | 12  | 11  | 10  | 10  | 9    | 8    | 7    | 6    | 6    | 5    |
| 15                         | 18                                                           | 18  | 17  | 16  | 15  | 15  | 14  | 13  | 12  | 12   | 11   | 10   | 9    | 9    | 8    |
| 16                         | 21                                                           | 20  | 19  | 19  | 18  | 17  | 17  | 16  | 15  | 14   | 14   | 13   | 12   | 11   | 11   |
| 17                         | 23                                                           | 23  | 22  | 21  | 20  | 20  | 19  | 18  | 18  | 17   | 16   | 15   | 15   | 14   | 13   |
| 18                         | 25                                                           | 25  | 24  | 23  | 23  | 22  | 21  | 21  | 20  | 19   | 19   | 18   | 17   | 17   | 16   |
| 19                         | 27                                                           | 27  | 26  | 25  | 25  | 24  | 23  | 23  | 22  | 21   | 21   | 20   | 19   | 19   | 18   |
| 20                         | 29                                                           | 29  | 28  | 27  | 27  | 26  | 25  | 25  | 24  | 24   | 23   | 22   | 22   | 21   | 20   |
| 21                         | 31                                                           | 31  | 30  | 29  | 29  | 28  | 27  | 27  | 26  | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   | 22   |
| 22                         | 33                                                           | 32  | 32  | 31  | 30  | 30  | 29  | 29  | 28  | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 24   |
| 23                         | 34                                                           | 34  | 33  | 33  | 32  | 31  | 31  | 30  | 30  | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   |
| 24                         | 36                                                           | 35  | 35  | 34  | 34  | 33  | 32  | 32  | 31  | 31   | 30   | 30   | 29   | 28   | 28   |
| 25                         | 37                                                           | 37  | 36  | 36  | 35  | 35  | 34  | 33  | 33  | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   |
| 26                         | 39                                                           | 38  | 38  | 37  | 37  | 36  | 35  | 35  | 34  | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   |
| 27                         | 40                                                           | 40  | 39  | 38  | 38  | 37  | 37  | 36  | 36  | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   |
| 28                         | 41                                                           | 41  | 40  | 40  | 39  | 39  | 38  | 38  | 37  | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   |
| 29                         | 42                                                           | 42  | 41  | 41  | 40  | 40  | 39  | 39  | 38  | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   |
| 30                         | 44                                                           | 43  | 42  | 42  | 41  | 41  | 40  | 40  | 39  | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   |
| 31                         | 45                                                           | 44  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  | 41  | 41  | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   |
| 32                         | 46                                                           | 45  | 45  | 44  | 44  | 43  | 43  | 42  | 42  | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   |
| 33                         | 46                                                           | 46  | 45  | 45  | 45  | 44  | 44  | 43  | 43  | 42   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   |
| 34                         | 47                                                           | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 45  | 44  | 44  | 43   | 43   | 42   | 42   | 41   | 41   |
| 35                         | 48                                                           | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45  | 44  | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   |
| 36                         | 49                                                           | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46  | 45  | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   |
| 37                         | 50                                                           | 49  | 49  | 48  | 48  | 48  | 47  | 47  | 46  | 46   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   |
| 38                         | 51                                                           | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47  | 47  | 47   | 46   | 46   | 45   | 45   | 44   |
| 39                         | 51                                                           | 51  | 50  | 50  | 50  | 49  | 49  | 48  | 48  | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   | 45   |
| 40                         | 52                                                           | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49  | 49  | 49  | 48   | 48   | 47   | 47   | 46   | 46   |
| 41                         | 53                                                           | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 50  | 49  | 49   | 48   | 48   | 48   | 47   | 47   |
| 42                         | 53                                                           | 53  | 52  | 52  | 52  | 51  | 51  | 50  | 50  | 49   | 49   | 49   | 48   | 48   | 47   |
| 43                         | 54                                                           | 53  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51  | 51  | 51  | 50   | 50   | 49   | 49   | 49   | 48   |
| 44                         | 54                                                           | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52  | 52  | 51  | 51   | 50   | 50   | 50   | 49   | 49   |
| 45                         | 55                                                           | 55  | 54  | 54  | 53  | 53  | 53  | 52  | 52  | 51   | 51   | 51   | 50   | 50   | 49   |
| 46                         | 56                                                           | 55  | 55  | 54  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52  | 52   | 52   | 51   | 51   | 50   | 50   |
| 47                         | 56                                                           | 56  | 55  | 55  | 54  | 54  | 54  | 53  | 53  | 52   | 52   | 52   | 51   | 51   | 51   |
| 48                         | 57                                                           | 56  | 56  | 55  | 55  | 55  | 54  | 54  | 53  | 53   | 53   | 52   | 52   | 52   | 51   |
| 49                         | 57                                                           | 57  | 56  | 56  | 55  | 55  | 55  | 54  | 54  | 54   | 53   | 53   | 52   | 52   | 52   |
| 50                         | 58                                                           | 57  | 57  | 56  | 56  | 56  | 55  | 55  | 54  | 54   | 54   | 53   | 53   | 53   | 52   |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 10.6                                                 | 10.7 | 10.8 | 10.9 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.7 | 11.8 | 11.9 | 12.0 |
| 14                             | 4                                                    | 3    | 3    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 15                             | 7                                                    | 6    | 6    | 5    | 4    | 4    | 3    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 16                             | 10                                                   | 9    | 9    | 8    | 7    | 7    | 6    | 5    | 4    | 4    | 3    | 2    | ...  | ...  | ...  |
| 17                             | 13                                                   | 12   | 11   | 11   | 10   | 9    | 9    | 8    | 7    | 7    | 6    | 5    | 5    | 4    | 3    |
| 18                             | 15                                                   | 15   | 14   | 13   | 13   | 12   | 11   | 11   | 10   | 9    | 9    | 8    | 7    | 7    | 6    |
| 19                             | 18                                                   | 17   | 16   | 16   | 15   | 14   | 14   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 9    | 9    |
| 20                             | 20                                                   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 13   | 12   | 12   | 11   |
| 21                             | 22                                                   | 21   | 21   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   |
| 22                             | 24                                                   | 23   | 23   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   |
| 23                             | 26                                                   | 25   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   |
| 24                             | 27                                                   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   |
| 25                             | 29                                                   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   |
| 26                             | 31                                                   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   |
| 27                             | 32                                                   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   |
| 28                             | 33                                                   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   |
| 29                             | 35                                                   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   |
| 30                             | 36                                                   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   |
| 31                             | 37                                                   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   |
| 32                             | 38                                                   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   |
| 33                             | 39                                                   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   |
| 34                             | 40                                                   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   |
| 35                             | 41                                                   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   |
| 36                             | 42                                                   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   |
| 37                             | 43                                                   | 43   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   |
| 38                             | 44                                                   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   |
| 39                             | 45                                                   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   |
| 40                             | 46                                                   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   |
| 41                             | 46                                                   | 46   | 46   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   |
| 42                             | 47                                                   | 47   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   | 41   | 41   |
| 43                             | 48                                                   | 47   | 47   | 47   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 43   | 43   | 42   | 42   |
| 44                             | 48                                                   | 48   | 48   | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 43   | 43   |
| 45                             | 49                                                   | 49   | 48   | 48   | 47   | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   |
| 46                             | 50                                                   | 49   | 49   | 48   | 48   | 48   | 47   | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   |
| 47                             | 50                                                   | 50   | 49   | 49   | 49   | 48   | 48   | 48   | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   | 45   | 45   |
| 48                             | 51                                                   | 50   | 50   | 50   | 49   | 49   | 49   | 48   | 48   | 47   | 47   | 47   | 46   | 46   | 46   |
| 49                             | 51                                                   | 51   | 51   | 50   | 50   | 49   | 49   | 49   | 48   | 48   | 47   | 47   | 47   | 47   | 46   |
| 50                             | 52                                                   | 51   | 51   | 51   | 50   | 50   | 50   | 49   | 49   | 49   | 48   | 48   | 48   | 47   | 47   |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 12.1                                                 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.5 |
| 17                             | 3                                                    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 18                             | 5                                                    | 5    | 4    | 4    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 19                             | 8                                                    | 8    | 7    | 6    | 6    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 20                             | 11                                                   | 10   | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 2    |
| 21                             | 13                                                   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    |
| 22                             | 15                                                   | 15   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    | 8    | 7    |
| 23                             | 17                                                   | 17   | 16   | 16   | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   |
| 24                             | 19                                                   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   |
| 25                             | 21                                                   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   |
| 26                             | 23                                                   | 22   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   |
| 27                             | 24                                                   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   |
| 28                             | 26                                                   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   |
| 29                             | 27                                                   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   |
| 30                             | 29                                                   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   |
| 31                             | 30                                                   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   |
| 32                             | 31                                                   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   |
| 33                             | 33                                                   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   |
| 34                             | 34                                                   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 28   | 28   |
| 35                             | 35                                                   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   |
| 36                             | 36                                                   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   |
| 37                             | 37                                                   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   |
| 38                             | 38                                                   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   |
| 39                             | 39                                                   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   |
| 40                             | 40                                                   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   |
| 41                             | 40                                                   | 40   | 40   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   |
| 42                             | 41                                                   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   |
| 43                             | 42                                                   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   |
| 44                             | 43                                                   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   |
| 45                             | 43                                                   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   |
| 46                             | 44                                                   | 44   | 43   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 39   | 39   |
| 47                             | 45                                                   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   |
| 48                             | 45                                                   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   | 41   | 41   |
| 49                             | 46                                                   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   | 41   |
| 50                             | 47                                                   | 46   | 46   | 45   | 45   | 45   | 44   | 44   | 44   | 43   | 43   | 43   | 42   | 42   | 42   |

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 13.6                                                 | 13.7 | 13.8 | 13.9 | 14.0 | 14.1 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 15.0 |
| 20                             | 2                                                    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 21                             | 4                                                    | 4    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 22                             | 7                                                    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 23                             | 9                                                    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 2    |
| 24                             | 11                                                   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    |
| 25                             | 13                                                   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    |
| 26                             | 15                                                   | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    |
| 27                             | 17                                                   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   |
| 28                             | 19                                                   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   |
| 29                             | 21                                                   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   |
| 30                             | 22                                                   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   |
| 31                             | 24                                                   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   |
| 32                             | 25                                                   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   |
| 33                             | 26                                                   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   |
| 34                             | 27                                                   | 27   | 27   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   |
| 35                             | 29                                                   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   |
| 36                             | 30                                                   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 24   |
| 37                             | 31                                                   | 31   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   |
| 38                             | 32                                                   | 32   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   |
| 39                             | 33                                                   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   |
| 40                             | 34                                                   | 34   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   |
| 41                             | 35                                                   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   |
| 42                             | 36                                                   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   |
| 43                             | 36                                                   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   |
| 44                             | 37                                                   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   |
| 45                             | 38                                                   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   |
| 46                             | 39                                                   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 35   | 34   |
| 47                             | 40                                                   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   |
| 48                             | 40                                                   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   | 36   | 36   |
| 49                             | 41                                                   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   | 37   | 36   |
| 50                             | 42                                                   | 41   | 41   | 41   | 40   | 40   | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 38   | 38   | 37   | 37   |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( <i>t</i> - <i>t<sub>w</sub></i> ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 15.1                                                                       | 15.2 | 15.3 | 15.4 | 15.5 | 15.6 | 15.7 | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 16.1 | 16.2 | 16.3 | 16.4 | 16.5 |
| 23                                  | 2                                                                          | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 24                                  | 4                                                                          | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 25                                  | 6                                                                          | 6    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 26                                  | 8                                                                          | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    |
| 27                                  | 10                                                                         | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 4    |
| 28                                  | 12                                                                         | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    |
| 29                                  | 14                                                                         | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    |
| 30                                  | 16                                                                         | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   |
| 31                                  | 17                                                                         | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   |
| 32                                  | 19                                                                         | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   |
| 33                                  | 20                                                                         | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   |
| 34                                  | 22                                                                         | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   |
| 35                                  | 23                                                                         | 23   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   |
| 36                                  | 24                                                                         | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   |
| 37                                  | 25                                                                         | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   |
| 38                                  | 26                                                                         | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   |
| 39                                  | 28                                                                         | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   |
| 40                                  | 29                                                                         | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   |
| 41                                  | 30                                                                         | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   |
| 41                                  | 30                                                                         | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 26   | 25   |
| 43                                  | 31                                                                         | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   |
| 44                                  | 32                                                                         | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   |
| 45                                  | 33                                                                         | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   |
| 46                                  | 34                                                                         | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 30   |
| 47                                  | 35                                                                         | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 30   |
| 48                                  | 35                                                                         | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   | 31   | 31   |
| 49                                  | 36                                                                         | 36   | 35   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 33   | 32   | 32   | 32   |
| 50                                  | 37                                                                         | 36   | 36   | 36   | 36   | 35   | 35   | 35   | 34   | 34   | 34   | 33   | 33   | 32   | 33   |

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( <i>t</i> - <i>t<sub>w</sub></i> ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 16.6                                                                       | 16.7 | 16.8 | 16.9 | 17.0 | 17.1 | 17.2 | 17.3 | 17.4 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 17.8 | 17.9 | 18.0 |
| 26                                  | 2                                                                          | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 27                                  | 4                                                                          | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 28                                  | 6                                                                          | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 29                                  | 8                                                                          | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    |
| 30                                  | 10                                                                         | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    |
| 31                                  | 11                                                                         | 11   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 6    | 6    |
| 32                                  | 13                                                                         | 13   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    |
| 33                                  | 15                                                                         | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   |
| 34                                  | 16                                                                         | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   |
| 35                                  | 17                                                                         | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   |
| 36                                  | 19                                                                         | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   |
| 37                                  | 20                                                                         | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   |
| 38                                  | 21                                                                         | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   |
| 39                                  | 22                                                                         | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   |
| 40                                  | 24                                                                         | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   |
| 41                                  | 25                                                                         | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   |
| 42                                  | 26                                                                         | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 22   | 21   |
| 43                                  | 27                                                                         | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 23   | 22   |
| 44                                  | 27                                                                         | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 24   | 23   |
| 45                                  | 28                                                                         | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   |
| 46                                  | 29                                                                         | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   |
| 47                                  | 30                                                                         | 30   | 29   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   |
| 48                                  | 31                                                                         | 31   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   |
| 49                                  | 32                                                                         | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 28   | 28   |
| 50                                  | 32                                                                         | 32   | 32   | 31   | 31   | 31   | 31   | 30   | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 29   |

TABLE X3.1 Continued

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( <i>t</i> - <i>t<sub>w</sub></i> ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 18.1                                                                       | 18.2 | 18.3 | 18.4 | 18.5 | 18.6 | 18.7 | 18.8 | 18.9 | 19.0 | 19.1 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.5 |
| 29                                  | 2                                                                          | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 30                                  | 4                                                                          | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 31                                  | 6                                                                          | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  |
| 32                                  | 7                                                                          | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    |
| 33                                  | 9                                                                          | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    |
| 34                                  | 11                                                                         | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    |
| 35                                  | 12                                                                         | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    |
| 36                                  | 14                                                                         | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    |
| 37                                  | 15                                                                         | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   |
| 38                                  | 16                                                                         | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   |
| 39                                  | 18                                                                         | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   |
| 40                                  | 19                                                                         | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 15   |
| 41                                  | 20                                                                         | 20   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   |
| 42                                  | 21                                                                         | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   |
| 43                                  | 22                                                                         | 22   | 21   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   |
| 44                                  | 23                                                                         | 23   | 22   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   |
| 45                                  | 24                                                                         | 24   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   |
| 46                                  | 25                                                                         | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   |
| 47                                  | 26                                                                         | 25   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   |
| 48                                  | 27                                                                         | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   |
| 49                                  | 27                                                                         | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   | 24   | 24   |
| 50                                  | 28                                                                         | 28   | 28   | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 25   | 24   |

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( <i>t</i> - <i>t<sub>w</sub></i> ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 19.6                                                                       | 19.7 | 19.8 | 19.9 | 20.0 | 20.1 | 20.2 | 20.3 | 20.4 | 20.5 | 20.6 |
| 32                                  | 2                                                                          | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 33                                  | 4                                                                          | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  |
| 34                                  | 6                                                                          | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | ...  |
| 35                                  | 7                                                                          | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    | 2    |
| 36                                  | 9                                                                          | 9    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 4    |
| 37                                  | 10                                                                         | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    |
| 38                                  | 12                                                                         | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 8    |
| 39                                  | 13                                                                         | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   |
| 40                                  | 14                                                                         | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   |
| 41                                  | 15                                                                         | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 12   |
| 42                                  | 17                                                                         | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 13   |
| 43                                  | 18                                                                         | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   |
| 44                                  | 19                                                                         | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   |
| 45                                  | 20                                                                         | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   |
| 46                                  | 21                                                                         | 20   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   |
| 47                                  | 22                                                                         | 21   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   |
| 48                                  | 22                                                                         | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   | 20   |
| 49                                  | 23                                                                         | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   |
| 50                                  | 24                                                                         | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   |

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( <i>t</i> - <i>t<sub>w</sub></i> ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                     | 21.1                                                                       | 21.2 | 21.3 | 21.4 | 21.5 | 21.6 | 21.7 | 21.8 | 21.9 | 22.0 | 22.1 | 22.2 | 22.3 | 22.4 | 22.5 |
| 35                                  | 3                                                                          | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 36                                  | 4                                                                          | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 37                                  | 6                                                                          | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    |
| 38                                  | 7                                                                          | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    |
| 39                                  | 9                                                                          | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    |
| 40                                  | 10                                                                         | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    |
| 41                                  | 11                                                                         | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    |
| 42                                  | 12                                                                         | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    |
| 43                                  | 14                                                                         | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   |
| 44                                  | 15                                                                         | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   |
| 45                                  | 16                                                                         | 16   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   |
| 46                                  | 17                                                                         | 17   | 16   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   |
| 47                                  | 18                                                                         | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 15   | 14   |
| 48                                  | 19                                                                         | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   | 16   | 16   | 16   | 16   | 15   |
| 49                                  | 20                                                                         | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 16   |
| 50                                  | 20                                                                         | 20   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   | 19   | 19   | 18   | 18   | 18   | 18   | 17   | 17   |

TABLE X3.1 *Continued*

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 22.6                                                 | 22.7 | 22.8 | 22.9 | 23.0 | 23.1 | 23.2 | 23.3 | 23.4 | 23.5 | 23.6 | 23.7 | 23.8 | 23.9 | 24.0 |
| 37                             | 2                                                    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 38                             | 3                                                    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 39                             | 5                                                    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  |
| 40                             | 6                                                    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    |
| 41                             | 7                                                    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    |
| 42                             | 9                                                    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    |
| 43                             | 10                                                   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    |
| 44                             | 11                                                   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    |
| 45                             | 12                                                   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    |
| 46                             | 13                                                   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   |
| 47                             | 14                                                   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   |
| 48                             | 15                                                   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   |
| 49                             | 16                                                   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | 13   |
| 50                             | 17                                                   | 17   | 16   | 16   | 16   | 16   | 16   | 15   | 15   | 15   | 15   | 14   | 14   | 14   | 14   |

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 24.1                                                 | 24.2 | 24.3 | 24.4 | 24.5 | 24.6 | 24.7 | 24.8 | 24.9 | 25.0 | 25.1 | 25.2 | 25.3 | 25.4 | 25.5 |
| 40                             | 2                                                    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 41                             | 4                                                    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 42                             | 5                                                    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| 43                             | 6                                                    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    |
| 44                             | 7                                                    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    |
| 45                             | 9                                                    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    |
| 46                             | 10                                                   | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 7    |
| 47                             | 11                                                   | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    |
| 48                             | 12                                                   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 9    |
| 49                             | 13                                                   | 12   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   | 10   |
| 50                             | 14                                                   | 13   | 13   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   |

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 25.6                                                 | 25.7 | 25.8 | 25.9 | 26.0 | 26.1 | 26.2 | 26.3 | 26.4 | 26.5 | 26.6 | 26.7 | 26.8 | 26.9 | 27.0 |
| 43                             | 3                                                    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 44                             | 4                                                    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  |
| 45                             | 5                                                    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    |
| 46                             | 6                                                    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    |
| 47                             | 7                                                    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| 48                             | 8                                                    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    |
| 49                             | 9                                                    | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 7    | 7    | 7    | 7    | 7    |
| 50                             | 10                                                   | 10   | 10   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    |

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 27.1                                                 | 27.2 | 27.3 | 27.4 | 27.5 | 27.6 | 27.7 | 27.8 | 27.9 | 28.0 | 28.1 | 28.2 | 28.3 | 28.4 | 28.5 |
| 45                             | 2                                                    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 46                             | 3                                                    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 47                             | 4                                                    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| 48                             | 5                                                    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    |
| 49                             | 6                                                    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 50                             | 8                                                    | 7    | 7    | 7    | 7    | 7    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 5    | 5    | 5    | 5    |

| Air Temperature<br>( $t$ ), °C | Depression of Wet-Bulb Thermometer ( $t - t_w$ ), °C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 28.6                                                 | 28.7 | 28.8 | 28.9 | 29.0 | 29.1 | 29.2 | 29.3 | 29.4 | 29.5 | 29.6 | 29.7 | 29.8 | 29.9 | 30.0 |
| 48                             | 3                                                    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 49                             | 4                                                    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | ...  | ...  |
| 40                             | 5                                                    | 5    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    |

## X4. FACTORS (B)

X4.1 Factors (B) shown in Table X4.1 are to be used in obtaining corrections to values of relative humidity as given in Appendix X3 and Table X3.1, in cases when barometric

TABLE X4.1 Factors (B) Used in Obtaining Corrections to Values of Relative Humidity in Appendix X3

| Air Temperature<br>( <i>t</i> ), °C | Correction factor<br><i>B</i> , ( $\times 10^{-5}$ ) |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1                                   | 10.0                                                 |
| 3                                   | 8.72                                                 |
| 5                                   | 7.58                                                 |
| 7                                   | 6.61                                                 |
| 9                                   | 5.78                                                 |
| 11                                  | 5.06                                                 |
| 13                                  | 4.44                                                 |
| 15                                  | 3.91                                                 |
| 17                                  | 3.45                                                 |
| 19                                  | 3.05                                                 |
| 21                                  | 2.70                                                 |
| 23                                  | 2.39                                                 |
| 25                                  | 2.12                                                 |
| 27                                  | 1.89                                                 |
| 29                                  | 1.68                                                 |
| 31                                  | 1.50                                                 |
| 33                                  | 1.34                                                 |
| 35                                  | 1.21                                                 |
| 37                                  | 1.08                                                 |
| 39                                  | 0.973                                                |
| 41                                  | 0.876                                                |
| 43                                  | 0.790                                                |
| 45                                  | 0.713                                                |
| 47                                  | 0.645                                                |
| 49                                  | 0.584                                                |
| 50                                  | 0.556                                                |

pressure (*p*) differs from standard atmospheric pressure (101325 Pa).

X4.2 Application of the factors in Table X4.1 is indicated by the following equation:

$$U = U_{\infty} + B(t - t_w)(101325 - p), \text{ in percent}$$

where:

*U* = actual relative humidity (%) at dry-bulb temperature *t*, wet-bulb temperature *t<sub>w</sub>*, and barometer pressure *p* (in Pa);

*U<sub>∞</sub>* = relative humidity (%) as given in X3 corresponding to observed values of *t* and (*t* - *t<sub>w</sub>*), on assumption barometer pressure is 101325 Pa;

*B* = factor from Table X4.1 corresponding to observed dry-bulb temperature, *t*.

NOTE—When *p* is greater than 101325 Pa the correction will be negative, and when *p* is less than 101325 Pa the correction will be positive.

Examples:

(1) *t* = 20°C, (*t* - *t<sub>w</sub>*) = 1.1°C, *p* = 70928 Pa.

From Appendix X3, *U<sub>∞</sub>* = 90 %; from Table X4.1, *B* =  $2.875 \times 10^{-5}$ .

$U = 90 \% + 2.875 \times 10^{-5} (1.1)(101325 - 70928) \% = 90 \% + 1 \% = 91 \%$ .

(2) *t* = 31°C, (*t* - *t<sub>w</sub>*) = 14.1°C, *p* = 131722 Pa.

From Appendix X3, *U<sub>∞</sub>* = 21 %; from Table X4.1, *B* =  $1.50 \times 10^{-5}$ .

$U = 21 \% + 1.50 \times 10^{-5} (14.1)(101325 - 131722) \% = 21 \% - 6 \% = 15 \%$ .

## X5. PRESSURE CONVERSION FACTORS

X5.1 The following are three equations for pressure conversion factors:

X5.1.1 To convert millibar (mb) to pascal (Pa):

$$\text{Pa} = (\text{mb}) \times 100$$

X5.1.2 To convert millimeter mercury (mm Hg) to Pa:

$$\text{Pa} = (\text{mm}) \times 133.32$$

X5.1.3 To convert inches mercury (in Hg) to Pa:

$$\text{Pa} = (\text{in Hg}) \times 3386.4$$

## REFERENCES

- (1) *Toxic and Hazardous Substances*, Occupational Safety and Health Standards Subpart Z, Section 1910.1000 Air Contaminants, Table Z-2.29 Code of Federal Regulations.
- (2) Wexler, A., "Vapor Pressure Formulation for Water in Range 0 to 100°C. A Revision," *Journal of Research*, National Bureau of Standards (U.S.), Vol 80A, (Sept-Dec., 1976) pp. 775-785.
- (3) *Smithsonian Meteorological Tables*, Smithsonian Press, Washington, DC, 1968.
- (4) *International Meteorological Tables*, World Meteorological Organization, (WMO) No. 188, TP94, 1966, Secretariat of WMO, Geneva, Switzerland.
- (5) *Handbook and Product Directory*, American Society of Heating, Refrigeration, and Airconditioning Engineers, 1977 Fundamentals, New York, NY.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

# Standard Specification for Gravity-Convection And Forced-Ventilation Ovens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 145; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>1</sup> Note—Section 7 in Keywords was added editorially March 1995.

## 1. Scope

1.1 This specification covers the performance requirements for general-purpose air ovens ordinarily used in testing operations, which have a testing chamber up to 0.6 m<sup>3</sup> (25 ft<sup>3</sup>) in volume. It is applicable to gravity-convection ovens designed to operate over all or part of the temperature range from 20°C above ambient temperature to 200°C and to forced-ventilation ovens designed to operate over all or part of the temperature range from 20°C above ambient temperature to 500°C.

NOTE 1—Ovens are designed for maximum operating temperatures of about 200°C, 300°C, and 500°C, the thermal insulation and cost of the oven being dependent on the maximum temperature required.

1.2 This specification does not include safety requirements that are essential for ovens used in the presence of combustible vapors or gases.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The metric equivalents of inch-pound units may be approximate.

## 2. Types

2.1 This specification covers the following four types of air ovens:

2.1.1 *Type IA*—An oven ventilated by gravity convection having a uniformity of temperature within  $\pm 2\%$  of the differential between oven and ambient temperatures.

2.1.2 *Type IB*—An oven ventilated by gravity convection having a uniformity of temperature within  $\pm 5\%$  of the differential between oven and ambient temperatures.

2.1.3 *Type II A*—An oven having forced ventilation and a uniformity of temperature within  $\pm 1\%$  of the differential between oven and ambient temperatures.

2.1.4 *Type II B*—An oven having forced ventilation and a uniformity of temperature within  $\pm 2.5\%$  of the differential between oven and ambient temperatures.

## 3. Performance Requirements

3.1 The temperature within the testing chamber shall be controllable by an automatic device, and shall be uniform within the tolerances given in Table 1 for the particular type of oven when tested in accordance with Section 4.

3.2 The "time constant" is an arbitrary measure of the

rate at which a standard specimen is heated following the procedure prescribed in Section 5. The value of the time constant shall not exceed the maximum value given in Table 1 for the particular type of oven.

3.3 The rate of ventilation of the testing chamber shall conform to the requirements specified in Table 1 for the particular type of oven when measured in accordance with the procedure given in Section 6.

## TEST METHODS

### 4. Temperature Uniformity

4.1 Place nine calibrated thermocouples (Note 2) made from iron or copper-constantan wire, approximately 0.5 mm in diameter (No. 24 gage) and having a junction size of not more than 2 mm (0.08 in.), in the empty testing chamber with shelves in place and vents open. Locate one thermocouple in each of the eight corners of the oven approximately 5 cm (2 in.) from each wall and place the ninth thermocouple within 2.5 cm (1 in.) of the geometric center of the chamber. A minimum length of 30 cm (12 in.) of lead wire for each thermocouple shall be inside the oven to minimize the conduction of heat from the thermocouple.

NOTE 2—If calibrated thermocouples are not available, nine thermocouples made from the same spool of wire may be used provided they give the same value for temperature when placed adjacent to one another in the testing chamber at the temperature of test.

4.2 Bring the oven to the specified temperature and allow it to reach a steady state (Note 3). Record the temperatures of the nine thermocouples for a period of at least 24 h, and determine from the record the maximum deviation of each point from the desired temperatures. The ambient room temperature shall vary by not more than a total of 10°C, and the line voltage for electrically heated ovens shall vary by not more than a total of 5% during the test.

NOTE 3—Some ovens may require as much as 24 h to reach a steady state. If a steady state does not exist, there is a drift in the temperature toward the steady-state condition.

### 5. Time Constant

5.1 Heat the oven to within 10°C of the maximum operating temperature for which it is designed and allow it to stabilize for at least 1 h. Prepare a standard specimen consisting of a smooth brass cylinder  $9.5 \pm 0.1$  mm ( $0.375 \pm 0.005$  in.) in diameter and  $57 \pm 1$  mm ( $2.25 \pm 0.05$  in.) in length, and solder one junction of a differential thermocouple to it.

5.2 Open the door of the oven for 1 min while the standard specimen and differential thermocouple are being

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee E-41 on Laboratory Apparatus and is the direct responsibility of Subcommittee E 41.02 on Metalware.

Current edition approved Aug. 15, 1994. Published October 1994. Originally published as E 145 - 59 T. Last previous edition E 145 - 68 (1992).

TABLE 1 Performance Requirements for Ovens

| Characteristic                                                                                                                                                    | Type IA | Type IB | Type IIA | Type IIB |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|
| Deviation from specified temperature of test throughout testing chamber during 24-h period for the following differentials between ambient and test temperatures: |         |         |          |          |
| 50°C or less, max, °C                                                                                                                                             | 1       | 2.5     | 0.5      | 1.25     |
| More than 50°C, max, percent of differential                                                                                                                      | 2       | 5       | 1        | 2.5      |
| Time constant, max, s                                                                                                                                             | 600     | 720     | 480      | 660      |
| Rate of ventilation of testing chamber, air changes per hour:                                                                                                     |         |         |          |          |
| min                                                                                                                                                               | 10      | 10      | 50       | 50       |
| max                                                                                                                                                               | ...     | ...     | 200      | 200      |

suspended in the testing chamber. Suspend the specimen vertically within 25 mm (1 in.) of the geometric center of the chamber by means of an asbestos cord of fine wire (0.3 mm maximum diameter, No. 30 gage). Place the free junction of the differential thermocouple in the air space of the chamber at least 75 mm (3 in.) removed from the specimen. Then close the door and either record or measure the temperature differential every 10 s. Determine the time in seconds required for the temperature difference to decrease to one tenth of the original or maximum value (for example, from 120°C to 12°C) and consider this to be the time constant of the oven.

#### 6. Rate of Ventilation (Note 4)

6.1 Seal the ventilation ports, door, and all apertures of electrically heated ovens with adhesive tape or by other means to prevent any air from passing through the oven (Note 5). Connect a watt-hour meter, with the smallest division reading in 0.01 Wh in the electrical supply line to the oven.

NOTE 4—This method is only applicable to electrically heated ovens. Methods are being developed by the committee for determining the rate of ventilation of ovens that are not electrically heated and for determining the uniformity of air-flow within the testing chamber.

NOTE 5—In forced-ventilation ovens, the space around the motor shaft where it enters the oven must be closed, but the fan speed must not be affected by the closure.

6.2 Heat the oven to a temperature of  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  above the

ambient room temperature, and while at this temperature measure the consumption of electrical energy for a period of at least  $\frac{1}{2}$  h. Start and stop the test at corresponding points of the "on-off" heating cycle, that is, at the moment when the heaters are switched on by the thermostat.

6.3 Then remove the seals, open the ventilation ports, and measure the consumption of electrical energy in the same manner. The ambient room temperature measured at a point approximately 2 m (6 ft) from the oven, approximately level with its base and at least 0.6 m (2 ft) from any solid object, shall be the same within  $0.2^\circ\text{C}$  during the two tests.

6.4 Calculate the number of changes per hour of the air in the test chamber from the following equation:

$$N = 3590 (X - Y) / VD\Delta T$$

where:

$N$  = number of air changes per hour,

$X$  = average power consumption during ventilation,  $W$ ; obtained by dividing the energy consumption determined from the watt-hour meter readings by the duration of the test in hours,

$Y$  = average power consumption with no ventilation, computed in the same manner,  $W$ ,

$V$  = volume of the testing chamber,  $\text{cm}^3$ ,

$D$  = density of the ambient room air during the test,  $\text{g}/\text{cm}^3$  and

$\Delta T$  = difference in temperature between the testing chamber and the ambient room air,  $^\circ\text{C}$ .

#### 7. Keywords

7.1 forced-ventilation; gravity-convection; ovens

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.*

# Measurement of Temperature Variation and Recovery Time in Laboratory Drying Ovens

Technical Note

June 1991

Published by the National Association of  
Testing Authorities, Australia (NATA).  
Copies may be ordered by contacting  
NATA Public Affairs on  
Ph: +61 2 9736 8222 or  
Fax: +61 2 9743 5311.  
ISSN 1031-0088, ISBN 0 947289 15 1  
© National Association of Testing  
Authorities, Australia 1991

## 1. Introduction

Australian Standard 2853-1986<sup>1</sup> sets out a test procedure for establishing the basic temperature performance characteristics of temperature-controlled enclosures for use throughout industry. It applies solely to the determination of such characteristics in the unloaded condition under either steady-state or dynamic operation. A grading system that classifies enclosure performance levels is incorporated in this standard. The test procedure involves the measurement of temperature at specific test sites within the enclosure over a definite period of time. From these measurements, the temperature extremes are determined and used to compute the overall variation. The overall variation, either directly or as reflected by the enclosure grade, is the performance indicator by which the enclosure is assessed.

Many laboratories use drying ovens for which the criteria of temperature control and temperature uniformity within the work space are less stringent and for which verification of conformance to a particular grade is not required. They are, however, required by NATA as a condition of registration to check the temperature variation within the working space every two years. This is to confirm suitability of the oven for use with the methods of analysis with which it may be associated.

This Technical Note has been produced to assist those laboratories wishing to carry out oven temperature checks as an alternative to having ovens checked by a NATA-registered testing authority. It describes procedures for measuring temperature variation within the working space and the recovery time for laboratory ovens, and it should be read in conjunction with AS 2853-1986<sup>1</sup>.

## 2. Application

When testing a laboratory oven for other than determining the grade, the criterion of performance is fitness for purpose. If the analytical procedures require an oven temperature to be maintained at a prescribed temperature within a prescribed tolerance, then the oven must be able to comply with these requirements or it is deemed to be unsuitable.

For most applications within a laboratory, the oven temperature requirements are not critical (e.g. a silver chloride precipitate is dried at 130°C to 150°C, nickel precipitated as the dimethylglyoxime complex is dried at 100°C to 120°C for 45 to 60 minutes, bismuth determined as the oxyiodide is dried at 105°C to 110°C to constant weight). Where a substance may be adversely affected by heat, it is dried in a vacuum oven or in a desiccator over a suitable desiccant. The important point is that an effective drying temperature is available throughout the working space in the oven. The method of analysis will allow for effective drying to take place either by specifying a longer drying time than the minimum necessary or by specifying that drying be continued until constant weight has been achieved.

## Contents

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Introduction                                     | 1   |
| Application                                      | 2   |
| Measuring Instruments                            | 3   |
| Notes on the use of<br>Thermocouple Probes       | 3.1 |
| Calibration Against<br>Reference<br>Thermocouple | 3.2 |
| Comparison of<br>Thermocouple Emfs               | 3.3 |
| Recommended Test<br>Procedures                   | 4   |
| Steady-state Test                                | 4.1 |
| Overshoot and<br>Recovery Time                   | 4.2 |
| Evaporative Loss Test                            | 5   |
| References                                       | 6   |
| Further Reading                                  | 7   |



# Measurement of Temperature Variation and Recovery Time in Laboratory Drying Ovens

A temperature variation of perhaps  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$  at  $100^{\circ}\text{C}$  to  $110^{\circ}\text{C}$  may therefore be seen as acceptable for the purposes of gravimetric analysis, corresponding to a grade of 5 on the scale contained in the Australian Standard.

## 3. Measuring Instruments

Australian Standard 2853<sup>1</sup> requires the measuring equipment to be such that the total systematic uncertainty of the test instrumentation is not greater than  $\pm 0.3$  of the maximum permissible overall temperature variation in degrees Celsius, this being either  $R_m$ , the maximum permissible overall variation in degrees Celsius appropriate to the relevant grade, or  $R_o$ , the maximum permissible overall variation in degrees Celsius as specified.

The resolution of the temperature-measuring equipment, including the sensor, must be no greater than  $\pm 0.1R_o$  or  $\pm 0.1R_m$  (whichever is applicable) and it must be not less than one tenth of a scale interval. In the case of a digital display, it must be the smallest change in value indicated with the display stable.

Good quality commercial thermocouple thermometers with a 4-digit display and capable of a system accuracy of better than  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , with an accuracy of  $\pm 0.1\%$  of reading and a resolution of  $0.1^{\circ}\text{C}$ , are available and are suitable for the checking of oven temperatures over the range commonly encountered in the laboratory. Suitable thermocouple probes may consist of 2 metre lengths of Type K (nickel-aluminium and nickel-chromium) pairs with glass fibre/resin insulating sleeving and terminated with Type K miniconnector plugs.

### 3.1 Notes on the Use of Thermocouple Probes

The belief is prevalent that the measured emf of a thermocouple is generated at the junction or tip by the Seebeck effect, whereas in fact all of the observed emf is generated in the thermocouple leads as a result of the temperature gradient set up along the leads. Most of the thermocouple signal is therefore localised in regions of greatest temperature gradient. Only if the thermocouple leads are homogeneous does it behave as a sensor that depends on the tip and cold junction temperatures and not on the actual shape of the temperature profile.

Such factors as strain; oxidation, contamination and changes in the metal lattice, all resulting from the effects of heat, combine to produce non-uniform changes in the thermocouple wire because of the non-uniform temperature gradient to which it is subjected during use. The importance of this fact in thermocouple use is that the leads become imprinted with a particular temperature gradient. When the thermocouple is used in a situation where the temperature gradient is different, this may give rise to gross errors in temperature measurement.

The temperatures at which most laboratory drying ovens operate, namely  $100^{\circ}\text{C}$  to  $250^{\circ}\text{C}$ , and the periods of exposure to these temperatures during test do not significantly affect the response of the thermocouple probes and these effects may therefore be discounted for the practical purposes of temperature comparison.

### 3.2 Calibration against Reference Thermocouple

One thermocouple pair should be reserved for use as a reference thermocouple and calibrated in conjunction with the measuring equipment (e.g. digital readout instrument) either within the laboratory against a standard thermometer or by an external calibrating authority, at or close to the temperature at which the oven test is to be carried out.

### 3.3 Comparison of Thermocouple Emfs

All thermocouple leads should be identified at the plug end with durable tags. Before carrying out the oven temperature check, place all of the thermocouple leads, including the one nominated as a reference thermocouple, with their junctions in the same part of the oven, allow the oven to stabilise at the normal operating temperature, and record the readings given by each probe in millivolts or as a temperature readout, as appropriate. Determine the correction to be applied to each thermocouple reading with reference to the reading obtained with the reference thermocouple.

## 4. Recommended Test Procedures

Determine the number of test sites required and their locations within the oven by reference to AS 2853 (Clause 5.3 and to Figure 1)<sup>1</sup>.

# Measurement of Temperature Variation and Recovery Time in Laboratory Drying Ovens

Where the oven is not being tested for compliance with a particular grade, a minimum of eight test sites, placed near the oven corners, on the uppermost and lowest shelves and about 8 to 10cm away from the oven inner surfaces, should be used. Eight test sites are sufficient for testing oven enclosures of the following dimensions to the performance grades shown below.

| Internal dimensions (cm) | Capacity (m <sup>3</sup> ) | Performance grade (AS 2853 - 1986) |
|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 25 x 25 x 25             | 0.016                      | 9                                  |
| 30 x 30 x 30             | 0.027                      | 7                                  |
| 35 x 35 x 50             | 0.062                      | 6                                  |

## 4.1 Steady-state Test

To carry out the steady-state test, place the thermocouple junctions at the test sites within the oven, securing them loosely in position with string and avoiding sharp bends. Record the identification number of each sensor and its position within the oven work space. Allow the oven temperature to stabilise at the temperature of test, allowing at least 5 cycles of the heater controller or one hour, whichever is the longer, and take readings of the temperature at each test site.

The indicated temperature at each test site will be seen to vary cyclically with time as the oven heater switches on and off. The maximum and minimum emf or indicated temperature should be averaged over at least five complete cycles and the mean value recorded as that of the test site.

If cyclic behaviour is to be observed, it will be found convenient to record the temperature readout or the emf on a millivolt chart recorder with an input impedance greater than 250k ohms. If the recorder trace shows a drift with time, this may indicate either that the oven temperature has not stabilised or that the chart recorder has too low an input impedance and is loading the thermocouple. If this is the case, the output from the thermocouple must be fed to the recorder through a buffer device with a high input impedance, such as an operational amplifier configured as a voltage follower.

The temperature variation may then be determined by referring the observed emf to the table of emf versus

temperature for the Type K thermocouple to be found in BS 1041 Part 4:1966<sup>2</sup>, or to Table E-97 of the CRC *Handbook of Chemistry and Physics*<sup>3</sup>.

## 4.2 Overshoot and Recovery Time

Overshoot is defined in AS 2853<sup>1</sup> as the maximum amount by which the measured temperature at the approximate centre of the working space goes beyond the subsequent mid-range steady-state temperature at this site as a consequence of the heating up or cooling down process.

The mid-range steady-state temperature at the centre is determined over a time interval of 5 cycles or one hour, whichever is the longer, after removal of the disturbance and when stability has been achieved.

When carrying out the test for overshoot and recovery time, it may be convenient to use a chart recorder, such as is to be found in many laboratories, since it will record both elapsed time and emf. For this determination, one sensor is placed in the centre of the work space in the oven.

## 5. Evaporative Loss Test

Where a practical performance test on a laboratory oven is required, the procedure described in AS 1289.A1-1983<sup>4</sup> may be adopted. This Standard describes a method for testing the ability of an oven to evaporate water from Petri dishes placed at specified positions within the enclosed space at a temperature of 105°C to 110°C. By this means, the extent of the working space within which a uniform rate of evaporation may be sustained, can be determined.

## 6. References

1. AS 2853-1986 *Enclosures - Temperature-controlled - Performance Testing and Grading*.
2. BS 1041 Part 4:1966 *International thermocouple reference tables; Nickel-Chromium/ Nickel-Aluminium thermocouples type K*.
3. Weast, R (Ed), *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press Inc.
4. AS 1289.A1-1983 *Methods of testing soil for engineering purposes, Part A - General and sample preparation - Scope and general*.

# Measurement of Temperature Variation and Recovery Time in Laboratory Drying Ovens

## 7. Further Reading

Bentley, Robin E. *The thermocouple : A modern view*,  
Metals Australasia, Oct 1981, p11.

Vogel, A I, *A Textbook of Quantitative Inorganic  
Analysis*, Longmans.

## วิธีการปฏิบัติงาน

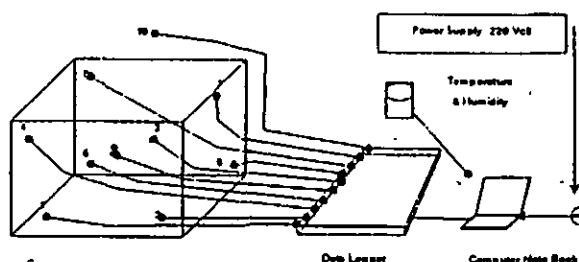
การสอบเทียบตัวควบคุมความชื้น

ช่วงอุณหภูมิ อุณหภูมิห้อง  $+10^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$

วิธีการพื้นฐาน ASTM E145/95 และ Technical Note 12

การจัดเตรียมเครื่องมือ

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Data Logger และ Computer Note Book
2. สายวัดอุณหภูมิ TC หรือ RTD และสายเชื่อมต่อทางสายไฟ
3. เอกสารต่างๆ เช่น ฟอรมบันทึกเลขที่ & คู่มือการใช้งานของ UUC
4. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นขณะสอบเทียบ
5. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟฟ้าขณะใช้งานสอบเทียบ
6. กระดิกน้ำ และน้ำสะอาดสำหรับตรวจสอบหัววัดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบ
7. ตระแกรงจับยึด หัววัดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบ (Sensor)
8. ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการสอบเทียบ ดังรูป



วิธีการดำเนินการในการสอบเทียบ

1. ตรวจสอบความต้องการและรายละเอียดในใบคำขอบริการ เช่น จุดที่ต้องการสอบเทียบและค่าการยอมรับของลูกค้า พร้อมตรวจสอบหมายเลข S/N , Model , Code และกรอกรายละเอียดของงานที่จะให้บริการในส่วนของ Raw Data Calibration Sheet
2. ทำการ In service check ดังนี้
3. ตรวจสอบ STD ก่อนจะนำมาใช้งานโดยการเตรียมทำตาม WI & & ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ ต้องไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของสายมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ
4. ตรวจสอบการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรของ UUC ทำตาม WI & & ..ว่าอยู่ในเกณฑ์

ที่กำหนดหรือไม่

5. ตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น แรงดันไฟฟ้า ว่าได้ตามเกณฑ์หรือไม่ ซึ่งดูได้จาก Specification ของ UUC ที่จะทำการสอบเทียบ

6. ตรวจสอบ UUC ว่าเป็นแบบไหน เช่น มีเครื่องกวนหรือไม่ ลักษณะการใช้งานเป็นอย่างไร เช่น เป็นแบบเปิดหรือปิด (ฝา) ใช้กับแหล่งจ่ายไฟเท่าไร

7. นำสายอุณหภูมิ RTD /TC จำนวน 10 เส้นมาวางตามรูปที่ 1 เส้นที่ 10 วัดอุณหภูมิรอบข้าง UUC

8. นำสายอุณหภูมิ RTD /TC จำนวน 9 เส้นมาวางตามรูปที่ 1

9. วางสายตำแหน่งที่ 1 - 8 ให้ห่างจากผนังด้านข้างประมาณ 50 mm และความยาวส่วนที่อยู่ในตู้ของสายต้องมากกว่า 300 mm.

10. วางสายตำแหน่งที่ 9 ไว้กึ่งกลางของตู้ (ตำแหน่งกึ่งกลางนี้ต้องวางไม่คลาดเคลื่อนเกิน 5 mm ของจุดกึ่งกลางของตู้ที่ใช้สอบเทียบ

11. ทำการต่อไฟฟ้าเข้าระบบทั้งเครื่องมือวัด และ UUC

12. Set อุณหภูมิของ UUC ตามความต้องการของลูกค้า

13. รอให้อุณหภูมิของ UUC ที่ Set ไว้คงที่แล้ว หลังจากนั้นจับเวลาอีก 1 ชั่วโมง สังเกตข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างสม่ำเสมอได้มากกว่า 5 รอบการทำงานของระบบควบคุม เริ่มทำการบันทึกข้อมูล หรือถ้าอุณหภูมิ 1 ชั่วโมงแล้วยังไม่คงที่ จะต้องรอให้มีข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างสม่ำเสมอได้มากกว่า 5 ช่วงการทำงานของระบบควบคุมเริ่มทำการบันทึกข้อมูล

14. ก่อนการบันทึกผลการสอบเทียบต้องให้อุณหภูมิคงที่ สังเกตได้จากอุณหภูมิของ Setting และ Reading ของ UUC เท่ากัน เป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง

15. ถ้าในกรณีที่ Setting และ Reading ไม่เท่ากันและอุณหภูมิของ UUC ไม่เพิ่มขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นลงสม่ำเสมอ เป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง

16. การเก็บข้อมูลต้องเก็บเมื่ออุณหภูมิคงที่แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นต้องมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดต่อช่วงเวลาการทำงานของ UUC และต้องไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

17. ในกรณีที่ผลการสอบเทียบไม่เป็นไปตามเป้าหมายของลูกค้าต้องทำการปรับเทียบตัวควบคุมอุณหภูมิใหม่ แต่ต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบก่อนการปรับเทียบ เพราะต้องบันทึกผลลงใน Raw Data Calibration Sheet และทำการเก็บข้อมูลก่อนทำการปรับแต่งไว้เป็นหลักฐาน

18. หลังจากปรับแต่งแล้วต้องดำเนินการเก็บข้อมูลใหม่ จากข้อ 13 - 17 จนกว่าจะได้ค่าที่ต้องการและเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

19. ในขณะที่ดำเนินการบันทึกต้องบันทึกค่าตัว UUC และ STD ตามขั้นตอนดังนี้

UUC (Setting) - UUC (Reading) STD (01 - 10) - UUC (Setting) - UUC (Reading)

20. ในกรณีที่ลูกค้าขอรายการสอบเทียบมากกว่า 1 จุดขึ้นไปต้องลดอุณหภูมิของ UUC ลงมาให้เข้าใกล้กับการใช้งานของลูกค้าที่ปฏิบัติเป็นปกติ แล้วจึงเริ่ม Set อุณหภูมิแล้วทำการสอบเทียบต่อไป

21. รวบรวมผลการสอบเทียบ บันทึกข้อมูลตามข้อ 10 - 13

22. ตรวจสอบอุณหภูมิของตัว STD ของเครื่องมือวัดหลังจากจบการสอบเทียบ โดยการทำ WI & .

23. บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น ของห้องหลังทำการสอบเทียบ



# National Institute of Metrology (Thailand)

75/7 Rama VI Road, Thungphyathai, Rajthevi, Bangkok 10400 Tel. 248-2181 Fax. 248-4484

## Certificate of Calibration

Issued by : Temperature Laboratory, Thermometry Department

Date of Issue : 31 May 2002

Serial Number : TL-0069/02

Page : 1 of 11 Pages

For : Thailand Institute of Scientific and Technological Research  
196 Phahonyothin Rd., Chatuchak,  
Bangkok 10900

Description : Standard Platinum Resistance Thermometer

Model : 5681

Serial No. : 61079

Manufacturer : HART SCIENTIFIC, INC.

The reported uncertainty is based upon a standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k=2$ , providing a level of confidence of approximately 95%

Reference : CSR No. 0096/02

Checked by : *[Signature]*

Signed : *[Signature]* (Authorised Signatory)

Name : Bunjob Suktat for the Director

*This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the Director of National Institute of Metrology (Thailand).*



For: Thailand Institute of Scientific and Technological Research  
Description: Standard Platinum Resistance Thermometer  
Model: 5681  
Serial No.: 61079  
Manufacturer: HART SCIENTIFIC, INC.  
Date of Received: 8 March 2002  
Measurement Period: 1 to 13 May 2002

ENVIRONMENTAL CONDITIONS:

The measurement was carried out in an ambient temperature of  $(23.0 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$  and the relative humidity of  $(60 \pm 10) \%$ .

MEASUREMENT METHOD:

The Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) was calibrated with a DC bridge using continuous currents of 1.0 mA. In accordance with the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) adopted by CIPM, the sub-range from 234.3156 K to 302.9146 K and from 273.16 K to 933.473 K, with the following fixed points, were used to calibrate the thermometer.

| Fixed Points     |    | Temperature  |                               |
|------------------|----|--------------|-------------------------------|
|                  |    | $T_{90}$ (K) | $t_{90}$ ( $^\circ\text{C}$ ) |
| Hg               | MP | 234.3156     | -38.8344                      |
| H <sub>2</sub> O | TP | 273.16       | 0.01                          |
| Ga               | MP | 302.9146     | 29.7646                       |
| Sn               | FP | 505.078      | 231.928                       |
| Zn               | FP | 692.677      | 419.527                       |
| Al               | FP | 933.473      | 660.323                       |

TABULATION OF RESULTS:

At the page 3 of 11, there are the coefficients of the pertinent deviation functions of the ITS-90, the resistance ratios, measured at the fixed points, and their associated measurement uncertainties.



Calibration Laboratory  
799 E Utah Valley Drive  
American Fork, Utah 84003-9775



For the Scope of Accreditation  
Under NVLAP Lab Code 200348-0

# REPORT OF CALIBRATION

## INTERNATIONAL TEMPERATURE SCALE OF 1990

### Platinum Resistance Thermometer

Model No: 5628

Serial No: 0229

Submitted By:

**Measuretronix Ltd**

Bangkok 10240, THAILAND

This Platinum Resistance Thermometer (PRT) was calibrated by comparison to a laboratory standard SPRT via a Precision DC Thermometer at a constant current of 1.0 mA. The procedure followed is based on the technical information contained in NIST Technical Note 1265, "Guidelines for Realizing the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)" pertaining to secondary PRTs. The following comparison points and their uncertainties ( $k=2$ ) were used to calibrate the thermometer. This calibration is traceable to NIST or natural physical constants and is in compliance with ANSI/NCSS Z540 - 1. This calibration certificate applies only to the item described and shall not be reproduced other than in full, without written approval of Hart Scientific. It shall not be used to claim product endorsement by NVLAP or any agency of the U.S. Government. Calibration certificates without signatures are not valid.

| COMPARISON POINT |            | MEASURED   | MEASUREMENT |
|------------------|------------|------------|-------------|
| NOMINAL          | ACTUAL     | RESISTANCE | UNCERTAINTY |
| -197.000 °C      | -197.000°C | 4.67730    | 0.010°C     |
| -100.000 °C      | -100.000°C | 15.21700   | 0.010°C     |
| -38.834 °C       | -38.834°C  | 21.60490   | 0.008°C     |
| 0.010 °C         | 0.010°C    | 25.59370   | 0.005°C     |
| 156.599 °C       | 156.599°C  | 41.19880   | 0.008°C     |
| 231.928 °C       | 231.928°C  | 48.44070   | 0.009°C     |
| 419.527 °C       | 419.527°C  | 65.74290   | 0.011°C     |
| 660.323 °C       | 660.323°C  | 86.39590   | 0.015°C     |

The calibration data were fitted by the method of least squares to obtain the following values for the resistance at the triple point of water (RTPW) and the coefficients of the pertinent deviation functions of the ITS-90. The attached interpolation tables were generated using these values.

ITS=90 Coefficients:

|                        |                      |                     |
|------------------------|----------------------|---------------------|
| Rtpw = 25.5937001 ohms | a4 = -3.2208687 E-05 | b4 = 2.9929485 E-05 |
|                        | a7 = -1.4379251 E-04 | b7 = 2.5080288 E-05 |
|                        | c7 = -1.0286169 E-05 |                     |

| STANDARDS USED                          |                 |           |            |            |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------|------------|------------|
| Description                             | Manufacturer    | Model No. | Serial No. | Due Date   |
| Thermometer, "Super Thermometer," 1 ppm | Hart Scientific | 1590      | 8C031      | 11/15/2001 |
| SPRT, Glass Sheath                      | Hart Scientific | 5681      | 1247       | 04/20/2002 |

**Laboratory Environment:**

Temperature: 23°C

Humidity: 34%

Procedure: HSC106 Rev 2

Calibration Date: 10/19/2001

Calibration Due: 10/19/2002

PO Number: 01385

Report Number: A1A1902

Page: 1 of 6

Calibration Performed by:

Phil Cook

Mike Coleman  
(801) 763-1600

Approved by:

John J. Smith

Thomas J. Wiandt  
(801) 763-1600

Request No. BK-P 152 / 46

MTC No. PSL-T 313 / 46

Serial No. 7590033

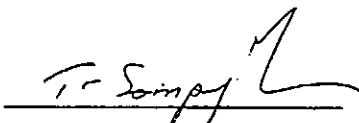
Results :

| Correction for<br>TC-T- 1~11<br>In Module # 3 | Reference Temperature |               |             |               |               |               |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                               | -75.0<br>(°C)         | -30.0<br>(°C) | 0.0<br>(°C) | 100.0<br>(°C) | 150.0<br>(°C) | 190.0<br>(°C) |
| 1                                             | -1.3                  | -0.1          | 0.1         | 0.3           | 0.6           | 0.7           |
| 2                                             | -1.6                  | -0.4          | 0.0         | 0.4           | 0.7           | 0.7           |
| 3                                             | -1.0                  | -0.2          | 0.0         | 0.3           | 0.7           | 0.8           |
| 4                                             | -0.3                  | 0.0           | 0.1         | 0.0           | 0.6           | 0.0           |
| 5                                             | -0.7                  | -60.3         | 0.0         | 0.1           | 0.2           | 0.3           |
| 6                                             | -1.3                  | -0.4          | 0.0         | 0.3           | 0.5           | 0.4           |
| 7                                             | -1.3                  | -0.3          | 0.0         | 0.4           | 0.4           | 1.0           |
| 8                                             | -1.2                  | -0.4          | -0.1        | 0.5           | 1.0           | 1.1           |
| 9                                             | -1.3                  | -0.2          | 0.0         | 0.3           | 0.6           | 0.7           |
| 10                                            | -0.7                  | 0.2           | 0.0         | 0.5           | 1.0           | 1.1           |
| 11                                            | -1.2                  | 0.0           | 0.1         | 0.3           | 0.8           | 0.8           |

Note : TC-T-1~11

Uncertainty of measurement :  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 

Calibrated by :


  
(Mr. Teerapong Somprajob)

Approved by :


  
(Mr. Teerapong Somprajob)

Director, PSL-T and Temperature  
Standards Laboratory

Ref.: 111-214606901320001

Issued date : 21 August 2003

page 4 of 4

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.  
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

AD OFFICE

Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900

(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160

(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592

E : <http://www.tistr.or.th> TISTR @mozart.inet.co.th

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,

Amphoe Muang, Samutprakan 10280

Tel. (66) 0 2323 1672-80

Fax. (66) 0 2323 9165



Request No. BK-P 152 / 46

MTC No. PSL-T 313-1 / 46

## CALIBRATION CERTIFICATE

Nomenclature : **Hydra Data Logger with Sensors**

Maker : FLUKE

Sensors : Thermocouple wires Type K (7 ea.)

Model / Type : 2625 A

Serial No. : 7590033

Sheath Material : Teflon

Customer : **Photometry and Temperature Standards Laboratory, MTC., TISTR.**

Address : 196 Phaholyothin, Chatuchak, Bangkok, 10900. Tel.: 5791121-30, Ext : 5216.

Date of request : 9 May 2003

Date of Calibration : 10 June 2003

Place of calibration : Temperature Standards Laboratory, MTC., (Bangpoo).

Conditions of test : - Ambient temperature:  $25 \pm 2$  °C, Relative humidity :  $55 \pm 5\%$ .

- Calibrator stabilized at conditions of test for 60 minutes prior to measurement.

Reference Standard : Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT 25  $\Omega$ ), Model: 5628, Serial No.: 0229, which was calibrated on 19 October 2001, can be traceable to NIST, USA.Support Equipment :

1. Ice Point Unit, Model: KT-D003A, S/N.: AX04AAC1.
2. Low Temperature Bath Unit, Model: LU100B, S/N.: 6367400.
3. High Temperature Oil Bath Unit. Model: KT-B205, S/N.: AX04FAC1.
4. Resistance Bridge, Model: F17A, S/N.: 520-8/061.

Calibration Procedure : Comparison Technique; The Indicated of UUC (Unit under calibration) was compared to temperature obtained from the Reference Standard at calibration points.

The temperature scale in use of this laboratory is the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90).

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k=2$ , providing a level of confidence of approximately 95 %, the method explained in M 3003 Edition 1, December 1997.

page 1 of 2

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.

Disseminating the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

OFFICE

Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900

(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160

(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592

<http://www.tistr.or.th> TISTR @mozart.inet.co.th

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,

Amphoe Muang, Samutprakan 10280

Tel. (66) 0 2323 1672-80

Fax. (66) 0 2323 9165

Request No. BK-P 152 / 46

MTC No. PSL-T 313-1 / 46

Serial No. 7590033

Results :

| Correction for<br>TC-K- 12~18<br>In Module # 3 | Reference Temperature |               |             |               |               |               |
|------------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                | -75.0<br>(°C)         | -30.0<br>(°C) | 0.0<br>(°C) | 100.0<br>(°C) | 150.0<br>(°C) | 190.0<br>(°C) |
| 12                                             | -1.0                  | -0.6          | -0.1        | 0.1           | -0.3          | -0.5          |
| 13                                             | -1.5                  | -0.6          | -0.1        | 0.1           | -0.4          | -0.6          |
| 14                                             | -1.5                  | -0.7          | -0.1        | 0.1           | -0.4          | -0.6          |
| 15                                             | -1.5                  | -0.6          | -0.1        | 0.1           | -0.4          | -0.6          |
| 16                                             | -1.6                  | -0.7          | -0.1        | 0.1           | -0.3          | -0.6          |
| 17                                             | -1.7                  | -0.7          | -0.1        | 0.1           | -0.4          | -0.7          |
| 18                                             | -1.6                  | -0.7          | -0.1        | 0.1           | -0.4          | -0.7          |

Note : TC-K- 12~18

Uncertainty of measurement :  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 

Calibrated by :

*T. Sompraj*  
(Mr. Teerapong Somprajob)

Approved by :

*(Mrs. Laksana Pansamart)*  
Director, Metrology and Temperature  
Standards Laboratory

Ref.: 112 24 6060 9513 20002  
Issued date : 21 August 2003

page 2 of 2

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.  
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

D OFFICE

Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900

(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160

(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592

: http://www.tistr.or.th TISTR @mozart.inet.co.th

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,

Arnphee Muang, Samutprakan 10280

Tel. (66) 0 2323 1672-80

Fax. (66) 0 2323 9165



Request No. BK-P 152/46

MTC No. PSL-T 313/46

## CALIBRATION CERTIFICATE

Nomenclature : Hydra Data Logger with Sensors

Maker : FLUKE

Sensors : Thermocouple wires Type T (31 ea.)

Model / Type : 2625 A

Serial No. : 7590033

Sheath Material : Teflon

Customer : Photometry and Temperature Standards Laboratory, MTC., TISTR.

Address : 196 Phaholyothin, Chatuchak, Bangkok, 10900. Tel.: 5791121-30, Ext : 5216.

Date of request : 9 May 2003

Date of Calibration : 10 June 2003

Place of calibration : Temperature Standards Laboratory, MTC., (Bangpoo).

Conditions of test : - Ambient temperature:  $25 \pm 2$  °C, Relative humidity :  $55 \pm 5\%$ .

- Calibrator stabilized at conditions of test for 60 minutes prior to measurement.

Reference Standard : Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT 25  $\Omega$ ), Model: 5628, Serial No.: 0229, which was calibrated on 19 October 2001, can be traceable to NIST, USA.

Support Equipment :

1. Ice Point Unit, Model: KT-D003A, S/N.: AX04AAC1
2. Low Temperature Bath Unit, Model: LU100B, S/N.: 6367400.
3. High Temperature Oil Bath Unit. Model: KT-B205, S/N.: AX04FAC1.
4. Resistance Bridge, Model: F17A, S/N.: 520-8/061.

Calibration Procedure : Comparison Technique; The Indicated of UUC (Unit under calibration) was compared to temperature obtained from the Reference Standard at calibration points.

The temperature scale in use of this laboratory is the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90).

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k=2$ , providing a level of confidence of approximately 95 %, the method explained in M 3003 Edition 1, December 1997.

page 1 of 4

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate. Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

AD OFFICE

Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900  
(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160  
(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592

: <http://www.tistr.or.th> TISTR @mozart.inet.co.th

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE  
Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,  
Amphoe Muang, Samutprakan 10280  
Tel. (66) 0 2323 1672-80  
Fax. (66) 0 2323 9:65

Request No. BK-P 152/46

MTC No. PSL-T 313/46

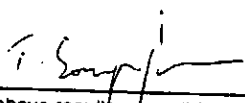
Serial No. 7590033

Results :

| Correction for<br>TC-T- 1~14<br>In Module # 1 | Reference Temperature |               |             |               |               |               |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                               | -75.0<br>(°C)         | -30.0<br>(°C) | 0.0<br>(°C) | 100.0<br>(°C) | 150.0<br>(°C) | 190.0<br>(°C) |
| 1                                             | -1.3                  | -0.1          | -0.1        | 0.3           | 0.8           | 1.0           |
| 2                                             | -1.3                  | 0.1           | 0.0         | 0.3           | 0.8           | 1.0           |
| 3                                             | -1.3                  | 0.0           | -0.1        | 0.2           | 0.7           | 1.0           |
| 4                                             | -1.5                  | 0.0           | -0.1        | 0.8           | 0.6           | 0.6           |
| 5                                             | -1.5                  | -0.1          | -99.4       | -49.8         | 0.7           | 1.0           |
| 6                                             | -1.5                  | -0.6          | -99.2       | -49.6         | 1.0           | 1.0           |
| 7                                             | -1.1                  | -0.4          | -99.4       | -49.7         | 0.7           | 1.0           |
| 8                                             | -1.2                  | -0.6          | -99.2       | -49.6         | 1.0           | 1.3           |
| 9                                             | -1.3                  | -0.5          | -0.2        | 0.6           | 0.9           | 1.2           |
| 10                                            | -1.2                  | -0.3          | 0.0         | 0.2           | 0.8           | 1.2           |
| 11                                            | -1.2                  | -0.2          | 0.0         | 0.4           | 0.8           | 1.0           |
| 12                                            | -1.0                  | -0.2          | -0.1        | 0.5           | 1.0           | 1.3           |
| 13                                            | -1.5                  | -0.2          | -0.1        | 0.4           | 0.6           | 0.7           |
| 14                                            | -1.5                  | -0.3          | -0.1        | 0.4           | 0.8           | 1.0           |

Note : TC-T- 1~14

Uncertainty of measurement :  $\pm 0.2$  °C



page 2 of 4

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.  
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

HEAD OFFICE  
Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900  
(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160  
(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592  
: <http://www.tistr.or.th> TISTR @mozart.inet.co.th

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE  
Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,  
Amphoe Muang, Samutprakan 10280  
Tel. (66) 0 2323 1672-80  
Fax. (66) 0 2323 9165

Request No. BK-P 152 / 46

MTC No. PSL-T 313 / 46

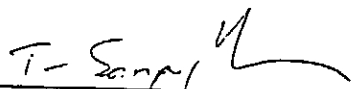
Serial No. 7590033

Results :

| Correction for<br>TC-T-1~17<br>In Module # 2 | Reference Temperature |               |             |               |               |               |
|----------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                              | -75.0<br>(°C)         | -30.0<br>(°C) | 0.0<br>(°C) | 100.0<br>(°C) | 150.0<br>(°C) | 190.0<br>(°C) |
| 1                                            | -1.3                  | -0.6          | -0.2        | 0.2           | 0.6           | 0.9           |
| 2                                            | -0.7                  | -0.4          | -0.1        | -0.1          | 0.0           | 0.0           |
| 3                                            | -1.3                  | 0.0           | -0.1        | 0.2           | -0.1          | 0.0           |
| 4                                            | -0.7                  | -0.1          | -0.1        | -0.1          | -0.1          | 0.0           |
| 5                                            | -1.1                  | -0.5          | -99.4       | -0.2          | -0.1          | -0.1          |
| 6                                            | -1.5                  | -0.6          | -99.2       | 0.2           | 0.4           | 0.7           |
| 7                                            | -1.5                  | -0.4          | -99.4       | 0.1           | 0.5           | 0.5           |
| 8                                            | -0.9                  | -0.6          | -99.2       | -0.2          | 0.0           | 0.0           |
| 9                                            | -0.9                  | -0.6          | -99.2       | 0.2           | 0.0           | 0.0           |
| 10                                           | -1.0                  | -0.3          | 0.0         | 0.0           | 0.0           | 0.0           |
| 11                                           | -1.0                  | -0.2          | 0.0         | -0.1          | 0.1           | 0.1           |
| 12                                           | -1.0                  | -0.2          | -0.1        | 0.3           | 0.6           | 0.9           |
| 13                                           | -1.4                  | -0.2          | -0.1        | 0.1           | 0.6           | 0.7           |
| 14                                           | -0.8                  | -0.3          | -0.1        | -0.2          | -0.1          | 0.0           |
| 15                                           | -1.5                  | -0.3          | -0.1        | 0.1           | 0.5           | 1.0           |
| 16                                           | -1.3                  | -0.3          | -0.1        | 0.1           | 0.6           | 1.0           |
| 17                                           | -1.3                  | -0.3          | -0.1        | 0.2           | 0.5           | 1.0           |

Note : TC-T-1 ~ 17

Uncertainty of measurement :  $\pm 0.2 ^\circ\text{C}$



page 3 of 4

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.  
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

AD OFFICE  
5 Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900  
(66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515, 0 2579 0160  
(66) 0 2561 4771, 0 2579 8592  
L : <http://www.tistr.or.th> TISTR @mozart.inet.co.th

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

FM. BL. MTC.002 Rev.1

INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE  
Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,  
Amphoe Muang, Samutprakan 10280  
Tel. (66) 0 2323 1672-80  
Fax. (66) 0 2323 9165

Request No. BK-P 152 / 46

MTC No. PSL-T 313 / 46

Serial No. 7590033

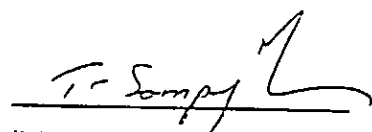
Results :

| Correction for<br>TC-T- 1~11<br>In Module # 3 | Reference Temperature |               |             |               |               |               |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                               | -75.0<br>(°C)         | -30.0<br>(°C) | 0.0<br>(°C) | 100.0<br>(°C) | 150.0<br>(°C) | 190.0<br>(°C) |
| 1                                             | -1.3                  | -0.1          | 0.1         | 0.3           | 0.6           | 0.7           |
| 2                                             | -1.6                  | -0.4          | 0.0         | 0.4           | 0.7           | 0.7           |
| 3                                             | -1.0                  | -0.2          | 0.0         | 33.3          | 0.7           | 0.8           |
| 4                                             | -0.3                  | 0.0           | 0.1         | 0.0           | 0.6           | 0.0           |
| 5                                             | -0.7                  | -60.3         | 0.0         | 0.1           | 0.2           | 0.3           |
| 6                                             | -1.3                  | -0.4          | 0.0         | 0.3           | 0.5           | 0.4           |
| 7                                             | -1.3                  | -0.3          | 0.0         | 0.4           | 0.4           | 1.0           |
| 8                                             | -1.2                  | -0.4          | -0.1        | 0.5           | 1.0           | 1.1           |
| 9                                             | -1.3                  | -0.2          | 0.0         | 0.3           | 0.6           | 0.7           |
| 10                                            | -0.7                  | 0.2           | 0.0         | 0.5           | 1.0           | 1.1           |
| 11                                            | -1.2                  | 0.0           | 0.1         | 0.3           | 0.8           | 0.8           |

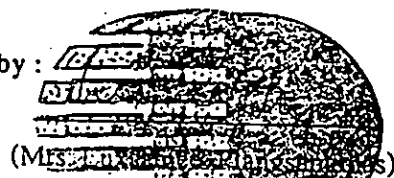
Note : TC-T-1~11

Uncertainty of measurement :  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

Calibrated by :

  
(Mr. Teerapong Somprajob)

Approved by :

  
(Mrs. Pimchanok Sornchaisri)

Director, Physical and Temperature  
Standards Laboratory

Ref.: 1112146069901320001

Issued date : 21 August 2003

page 4 of 4

The above results are valid exclusively for the tested/analysed sample(s)/calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.  
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อผู้วิจัย         | นายสุทัศน์ รอดพุง<br>Mr.Sutas Rodphayoong                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| สถานที่เกิด          | อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน  | 61/183 ซอยรามคำแหง 2 แขวงดอกไม้ เขตประเวศ<br>จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10250                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | บริการสำนักงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| สถานที่ทำงาน         | 3195/17-29 ถนนพระราม 4 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย<br>จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10110                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | บริษัทเอ็กซอนโมบิล จำกัด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ประวัติการศึกษา      | <p>พ.ศ. 2532 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวช.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง<br/>จากวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก</p> <p>พ.ศ. 2535 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง<br/>จากวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก</p> <p>พ.ศ. 2541 ระดับประกาศนียบัตรครุเทคนิคชั้นสูง (ปทส.)<br/>สาขาครุเทคนิคไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคโนโลยีปทุมวัน<br/>กรุงเทพมหานคร</p> <p>พ.ศ. 2546 การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา<br/>มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร</p> |
| ประวัติการรับทุน     | <p>พ.ศ. 2540 ทุนอุดหนุนบริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน).</p> <p>พ.ศ. 2542 ทุนอุดหนุนบริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |