

622.43
ว. 1457
: 3

การออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ปริญญานิพนธ์

ของ

พจนารถ ลือเคขุณีไกร

- 6 พ.ศ. 2535

ห้องสมุดวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

ตุลาคม 2529

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

178272

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปัญหานี้นั้น
ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการที่ปรึกษา
..... ประธาน
..... กรรมการ
..... กรรมการ

คณะกรรมการสอบ
..... ประธาน
..... กรรมการ
..... กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้โดยได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธานี ทับทิมโต ประธานกรรมการ อาจารย์ภักดีญา ไชยสุข และรองศาสตราจารย์โช สาลีฉิน กรรมการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าของโรงเรียนอนุบาลคาราพิมพ์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ให้ผู้วิจัย ได้ทำการทดลอง ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประสิทธิ์ ภักดีชัย อาจารย์ใหญ่โรงเรียนมัธยมสุโหงปาตี และคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ คุณสมพร เปี่ยมรุ่งเรือง ตลอดจนสมาชิกทุกท่านในครอบครัว คุณวิลาวัลย์ วรรณศรี คุณคำรงค์ คงสวัสดิ์ คุณวิชาญ พันธุ์ประเสริฐ คุณปิยะพันธ์ วงศ์อุคม คุณนฤมล โพธิ์สัตย์ คุณสุวไล สุนทรน้อย และทุกท่านที่ไม่ได้เอื้อนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณน้า พี่และน้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและให้กำลังใจอย่างดียิ่ง

พจนารถ ลือเดชวุฒิไกร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	2
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	3
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	5
ทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิ	5
ทฤษฎีการทำงานของเทอร์มิสเตอร์	12
ข้อพิจารณาด้านรูปแบบ	21
ความต้องการด้านกำลังขยายแรงไฟ	25
3 วิธีดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	29
การออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	29
การสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	31
การออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ	41
การดำเนินการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ	42
การทดลองควบคุมอุณหภูมิและการปรับแต่ง	46
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	48
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	48
การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล	50

5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	69
บทย่อ	69
ความมุ่งหมายของการศึกษากันคว้า	69
วิธีการสร้าง	69
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	69
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	70
ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	76

1	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	50
2	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t -test	53
3	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณควบคุมกับอุณหภูมิที่บริเวณมอง ด้วย t -test	55
4	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิเพื่อหาความแน่นอนในระยะยาว ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	57
5	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องเพื่อหาความเป็นเชิงเส้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	59
6	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	61
7	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t -test	63
8	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	65
9	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องเพื่อหาความเป็นเชิงเส้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	67

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แสดงลักษณะของระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบ เปิด-ปิด	6
2	หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบวิภูภาค	7
3	การควบคุมแบบอัตราส่วนกำลังไฟของเครื่องให้ความร้อนถูกแปรเปลี่ยน เชิงเส้นตรงภายในช่วงอุณหภูมิแบบ ๆ ที่เรียกว่า แดบอัตราส่วน	8
4	แสดงลักษณะของระบบการควบคุมแบบอัตราส่วน	9
5	แสดงหลักการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตราส่วน	10
6	การควบคุมอัตราส่วนจำนวนรูปคลื่น	11
7	รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์มาตรฐาน	12
8	แสดงเป็นอิงบริดจ์	15
9	การแปรเปลี่ยนของความต้านทานสูงสุดกับอุณหภูมิ	17
10	การแปรเปลี่ยนของ $\frac{dV}{dT}$ กับอุณหภูมิของค่า R ต่าง ๆ	19
11	แผนภาพแสดงบริเวณควบคุมอุณหภูมิ	21
12	แสดงรูปแบบของบริเวณที่ควบคุมอุณหภูมิ	23
13	กราฟแสดงความลาดเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจาก จุดศูนย์กลางของระบบ	24
14	แผนภูมิของระบบที่มองจากด้านบนซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิที่บริเวณ ศูนย์กลางของอ่างได้ถึง ± 0.001 องศาเซลเซียส	24
15	กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิเพียงเบนไปจากอุณหภูมิที่กำหนด	25
16	แผนภูมิแสดงระบบการควบคุมอุณหภูมิ	26
17	แผนภูมิการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	28
18	วงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	29
19	วงจรควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำ	30
20	แสดงอ่างควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนโดยมองจาก จากด้านบน	34

21	แสดงบริเวณภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ อ่างน้ำร้อน	35
22	แสดงหน้าปัดของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่องควบคุม อุณหภูมิอากาศ	36
23	ช่องแรกแสดงหน้าปัดของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่อง ควบคุมอุณหภูมิอากาศ ช่องที่สองแสดงหน้าปัดของเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล	37
24	แสดงรูปร่างภายในของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่อง ควบคุมอุณหภูมิอากาศ	37
25	แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่อง ควบคุมอุณหภูมิอากาศ	38
26	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	39
27	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	39
28	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรควบคุมความเร็วของ เครื่องกวนน้ำ	40
29	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรควบคุมความเร็วของ เครื่องกวนน้ำ	40
30	วงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ	41
31	แสดงบริเวณภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ	44
32	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ	45
33	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ	45
34	กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ อ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง	52

35	กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและ เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส	54
36	กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่บริเวณกลางอ่างและบริเวณริมอ่างของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส	56
37	กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อ่างน้ำร้อนที่ 37 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง	58
38	กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมกับอุณหภูมิห้อง ของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน	60
39	กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อากาศที่ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง	62
40	กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับ เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ 42 องศาเซลเซียส	64
41	กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อากาศที่ 42 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง	66
42	กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมกับอุณหภูมิห้อง ของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ 42 องศาเซลเซียส	68

ภูมิหลัง

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งมีทรัพยากรธรรมชาติอยู่พอสมควร จึงจำเป็นที่จะต้องเร่งรัดให้มีการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมุ่งใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้ได้ผลต่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรม และการพลังงาน ดังนั้นรัฐจึงได้มีนโยบายส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศให้มากขึ้นโดยกำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2525-2529 (แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 2524 : 121 - 125)

การทดลองและการวิจัยทางวิทยาศาสตร์หลายอย่างที่จะต้องกระทำในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่ เช่น การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การหาน้ำหนักโมเลกุล การหาปริมาณความร้อน และการศึกษาทางจลนเคมี เป็นต้น มีเครื่องมือหลายชนิดที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ได้แก่ เครื่องเก็บตัวอย่างทางพยาธิวิทยาซึ่งจำเป็นต้องเก็บรักษาสารตัวอย่างไว้เป็นเวลานาน ตู้บ่มทารกตามโรงพยาบาลต่าง ๆ เป็นต้น แม้แต่เครื่องมือราคาถูกที่ไม่ต้องการความละเอียดแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิมากนัก เช่น ตู้บ่มสาร อ่างน้ำร้อน แผนให้ความร้อนก็จำเป็นต้องมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิร่วมอยู่ด้วยเครื่องมือเหล่านี้ตามปกติแล้วจะควบคุมอุณหภูมิได้ประมาณ ± 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น

ในด้านการประยุกต์ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เช่น อุตสาหกรรมการอัดล้างและขยายฟิล์มสี อุตสาหกรรมการชุบโลหะ เครื่องฟลักซ์ เตาอบ เตาหลอม เตารีด หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศที่ใช้ตามอาคารบ้านเรือน เหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิทั้งสิ้น

ความแน่นอนและความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม และจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ รูปแบบของระบบ

และชนิดของเครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วย จึงจะเห็นได้ว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมินั้นจะต้องสร้างขึ้นเพื่อให้เหมาะสมสำหรับแต่ละระบบเท่านั้น และไม่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิชนิดใดที่สามารถใช้ได้กับทุกระบบแบบอเนกประสงค์

เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานวิจัย การเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เครื่องอำนวยความสะดวกภายในบ้านเรือน ตลอดจนการใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิมีประสิทธิภาพสูงก็จะยิ่งช่วยให้งานต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นได้รับผลดี แต่เนื่องจากเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการนั้นมีจำหน่ายในราคาที่สูงค่อนข้างแพง และต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ นอกจากนี้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒยังมีโครงการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาพื้นผิวและสภาพความพรุนของหินในบริเวณที่สำรวจพบน้ำมันดิบที่ลานกระบือ ขอนแก่น และ ฝาง ซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิรวมอยู่ด้วย ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อใช้ในงานวิจัยดังกล่าว และเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ทั้งในระดับมัธยมศึกษา และอุดมศึกษา โดยมุ่งใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ให้มีประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งานได้ทัดเทียมกัน

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 2 แบบคือ
 - 1.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน
 - 1.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ออกแบบและสร้างขึ้น
3. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่เครื่องมือจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิซึ่งใช้สะดวก และราคาประหยัดไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ทำให้ได้เครื่องมือสำหรับควบคุมอุณหภูมิ 2 แบบ
2. สามารถนำความรู้และเทคนิคการออกแบบตลอดจนการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือวิทยาศาสตร์ชนิดอื่น ๆ ที่ทำงานได้คล้ายคลึงกัน
3. เครื่องมือดังกล่าวจะเป็นอุปกรณ์ประกอบของเครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับงานวิจัยอื่น ๆ
4. ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ ที่ได้รับการศึกษา จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิชาเคมี และฟิสิกส์ ในระดับมัธยมศึกษา และอุดมศึกษา
5. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจเครื่องมือนี้ ได้ศึกษาค้นคว้าต่อไปพร้อมทั้งปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือนี้ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ขอบเขตในการศึกษาค้นคว้า

1. สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 2 แบบคือ
 - 1.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ซึ่งจะให้ความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิ ± 0.1 องศาเซลเซียส
 - 1.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ ซึ่งจะให้ความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิ ± 1.0 องศาเซลเซียส
2. การปรับแต่งเครื่องมือ (Calibration) ทำเฉพาะการปรับแต่งสเกลบอกอุณหภูมิของเครื่องมือ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การออกแบบ หมายถึง การกำหนดรูปแบบลักษณะของวงจรไฟฟ้า รูปร่างเครื่องมือ และส่วนประกอบซึ่งเป็นผลจากการศึกษาค้นคว้า
2. การสร้าง หมายถึง การนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการออกแบบมาประกอบกัน

เข้าเป็นเครื่องมือสำเร็จรูป แล้วสามารถทำงานตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้

3. เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) หมายถึง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (ขึ้น ภูววรรณ 2524 : 42 - 43)

4. เครื่องให้ความร้อน (Heater) หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะลดความต้านทานสูง จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น

5. ส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitive Element) หมายถึง อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของอุณหภูมิ

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิ หมายถึง การใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของระบบให้คงที่ ณ อุณหภูมิใด ๆ ที่ต้องการ หลักการควบคุมอุณหภูมิสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 แบบ (Temperature Controllers. 1976 : 92 - 97) คือ

1. การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On - Off Control)

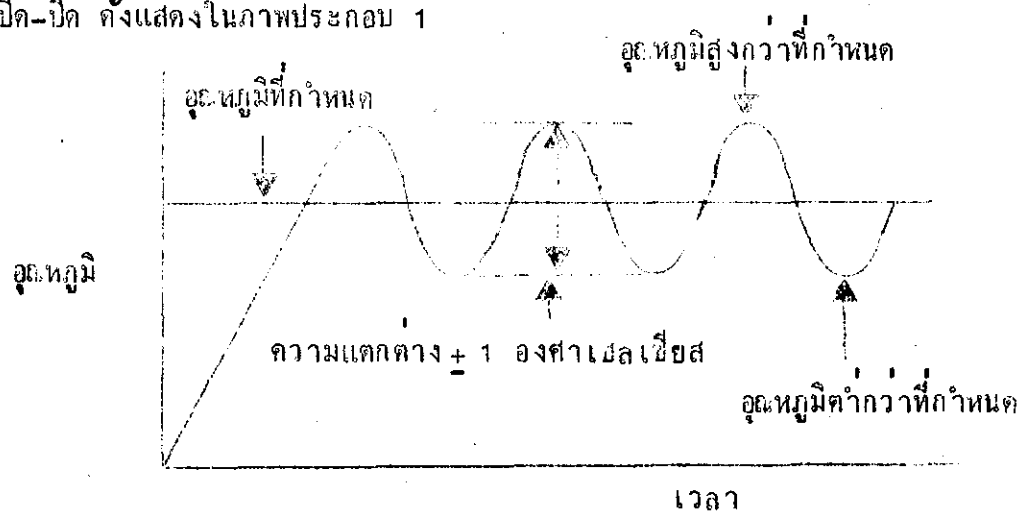
การควบคุมแบบนี้อาศัยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เทอร์มิสเตอร์ ไคโอด หรือตัวต้านทาน มาควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ส่งไปยังเครื่องให้ความร้อน และการจ่ายกำลังไฟฟ้าจะมีเพียงสองสถานะคือ เปิด และปิด เมื่อใดก็ตามที่อุณหภูมิของระบบต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด เครื่องให้ความร้อนจะทำงานอย่างเต็มที่ (On State) และเมื่ออุณหภูมิของระบบถึงจุดที่ต้องการ เครื่องให้ความร้อนจะหยุดทำงาน (Off State) การควบคุมตามลักษณะนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ

1.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิดอย่างง่าย (Simple On - Off Control)

ซึ่งใช้อิเล็กโตรแมกคานิกส์รีเลย์ (Electro - Mechanical Relay) เป็นตัวเปิด-ปิดการจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่เครื่องให้ความร้อน การควบคุมอุณหภูมิแบบนี้นิยมใช้ติดตั้งในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ไม่ต้องการความละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิมากนัก เช่น แผ่นให้ความร้อนและตู้อบสาร เป็นต้น การควบคุมอุณหภูมิแบบนี้มีจุดอ่อนและข้อบกพร่องหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ระบบเกิดการเปลี่ยนสถานะระหว่างเปิดและปิดจะเกิดประกายไฟที่บริเวณผิวสัมผัสของรีเลย์ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นวิทยุ (RFI : Radio Frequency Interference) และไปก่อกวนการทำงานของอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงกัน (ดูภาคผนวก ก)

1.2 การควบคุมแบบเปิด-ปิดชนิดซีโร-ครอสซิง (Zero - Crossing On - Off Control) ซึ่งใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวส่งสัญญาณ (sensor) ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และใช้ไทรแอดสำหรับเปิด-ปิดกำลังไฟฟ้า

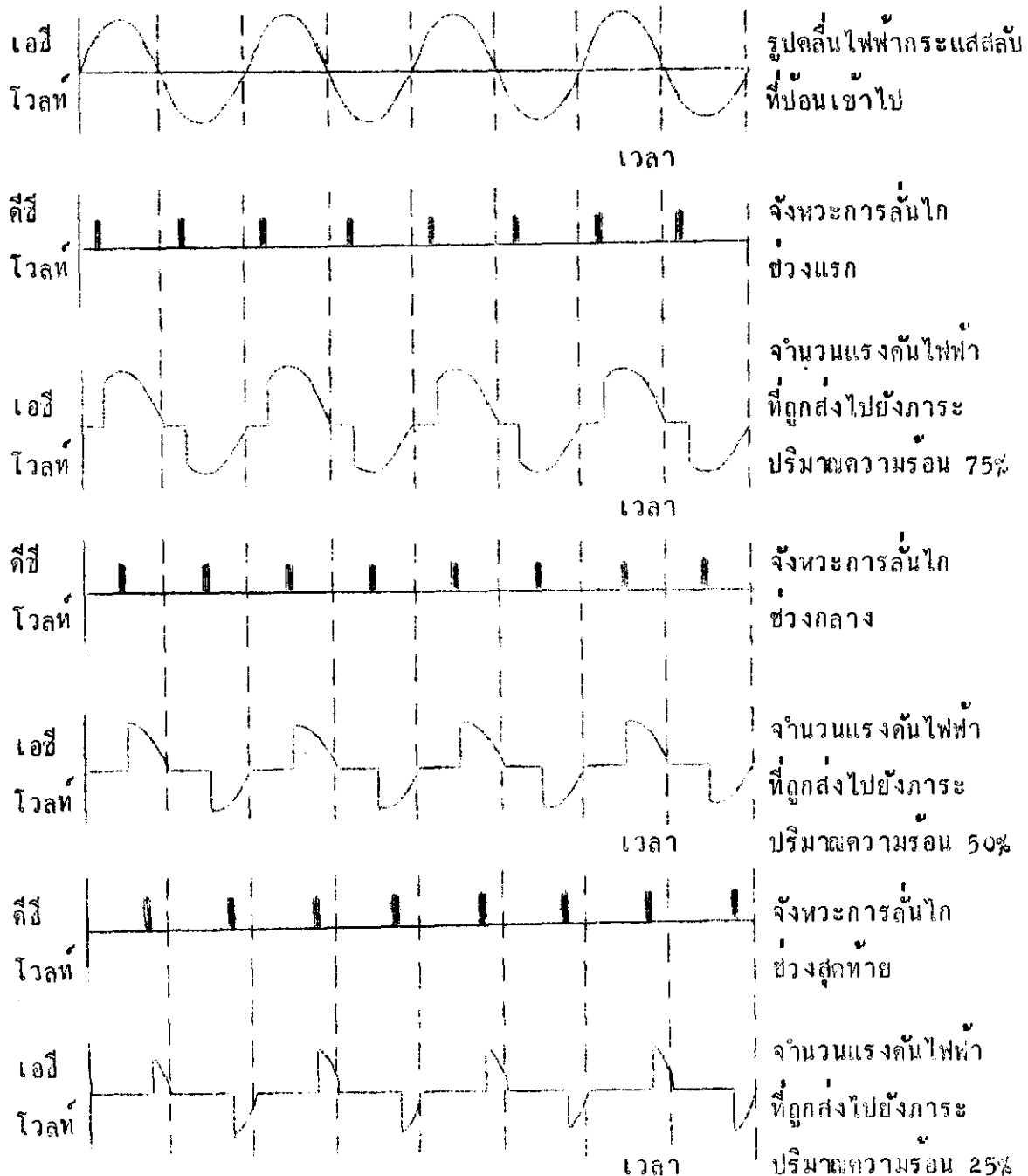
การควบคุมอุณหภูมิทั้งสองชนิดนี้จะจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่เครื่องให้ความร้อนเพียง 2 ระดับ คือ กำลังไฟเต็มที่ (full power) และกำลังไฟฟ้าเป็นศูนย์ (zero power) ทำให้เกิดรูปคลื่นความร้อนสลับกันระหว่างคลื่นที่สูงเกินไปกับคลื่นที่ต่ำเกินไป (thermal overshoot and undershoot) ซึ่งมีผลเนื่องมาจากความเฉื่อยความร้อน (thermal inertia) ตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิที่ต้องการมีค่าสูงก็ต้องมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ระบบอย่างเต็มที่จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด ผลจากความเฉื่อยความร้อนก็จะทำให้อุณหภูมิสูงเลยอุณหภูมิจุดนั้นขึ้นไปอีก (overshoot) เพราะไม่มีวงจรสำหรับลดกำลังไฟฟ้าที่ละน้อยก่อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการที่แท้จริง อย่างไรก็ตามเราอาจป้องกันการเกิดอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการได้โดยการเลือกขนาดของเครื่องให้ความร้อนให้เหมาะสมกับความเฉื่อยความร้อนของระบบ ความร้อนที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดเป็นลักษณะสำคัญของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงลักษณะของระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด

2. การควบคุมแบบวัฏภาค (Phase Control) เป็นเทคนิคหนึ่งซึ่งใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายไปยังภาระ (load) โดยการแปรเปลี่ยนกระแสที่ไหลในแต่ละครึ่งรูปคลื่น (half-cycle) ของกระแสไฟฟ้าหลัก (main supply) ไปตามเวลาที่กำหนด การควบคุมอุณหภูมิแบบนี้ใช้ไทรแอกหรือเอสซีอาร์ (SCR) ต่อกับภาระกับกระแสไฟฟ้าหลัก โดยที่ไทรแอกจะเกิดการลั่นไก (trigger) เพื่อให้มีการนำไฟฟ้าไปยังส่วนของครึ่งรูปคลื่น

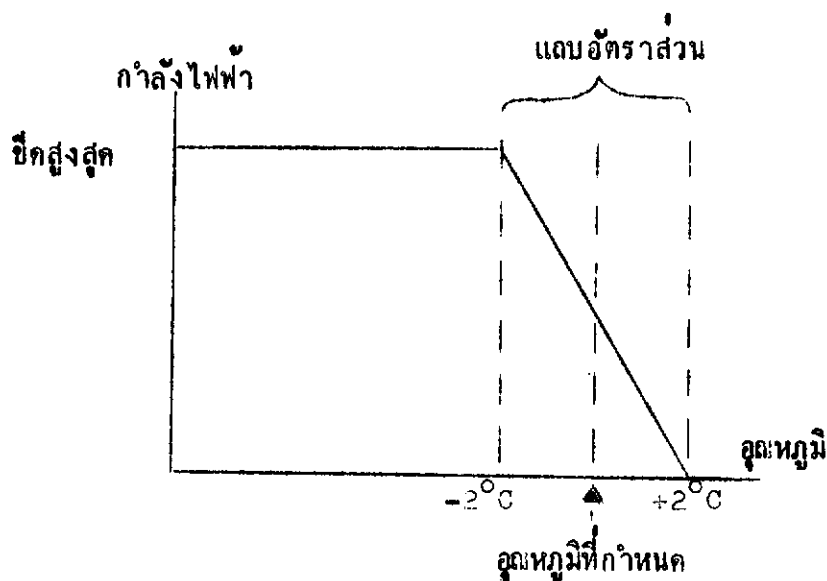
ดังนั้นถ้าเราควบคุมจังหวะในการลั่นไก (trigger pulse) จะมีผลแปรเปลี่ยนต่อจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาในแต่ละครั้งรูปคลื่น ทำให้สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังภาระที่ต้องการได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรีภาค

การควบคุมแบบวิภาค เป็นการควบคุมอุณหภูมิได้คงที่มากที่สุด แต่มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นความถี่วิทยุ หรือที่เรียกกันว่า ปรากฏการณ์อาร์เอฟไอซึ่งจะมีผลกระทบต่อโสตอุปกรณ์ (audio equipment) นอกจากนี้ยังรบกวนการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือวัด (measuring equipment) ที่ใช้กระแสไฟฟ้าหลักร่วมสายเดียวกันอีกด้วย เราสามารถจัดการรบกวนของคลื่นความถี่วิทยุนี้ได้โดยการกรอง แต่ก็ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงเกินความจำเป็น

3. การควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Control) ทำได้โดยการแปรเปลี่ยนจำนวนคลื่นของกระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิถึงช่วงบริเวณที่เรียกว่า แแถบอัตราส่วน (Proportional Band) หรือฐานเวลา (Time base) ตามอัตราส่วนที่ขึ้นกับการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิที่แท้จริง ที่เบี่ยงเบนไปจากอุณหภูมิที่ต้องการ ดังแสดงในภาพประกอบ 3

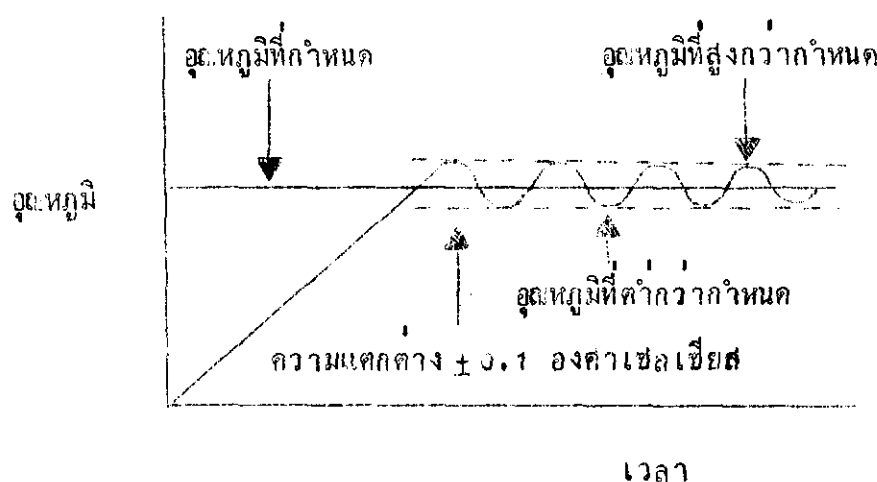


ภาพประกอบ 3 การควบคุมแบบอัตราส่วน กำลังไฟของเครื่องให้ความร้อนถูกแปรเปลี่ยนเชิงเส้นตรงภายในช่วงอุณหภูมิแถบ ๆ ที่เรียกว่าแถบอัตราส่วน

การควบคุมอุณหภูมิแบบนี้ เวลาที่ทำการเปิดสวิตช์ของไทรแอดจะแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงของฐานเวลา อัตราส่วนของเวลาในการเปิด-ปิดไทรแอดนั้นขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องให้ความร้อนต้องการรักษาอุณหภูมิที่ต้องการไว้ ดังนั้นเวลาในการเปิดสวิตช์ก็แปรตามจำนวน

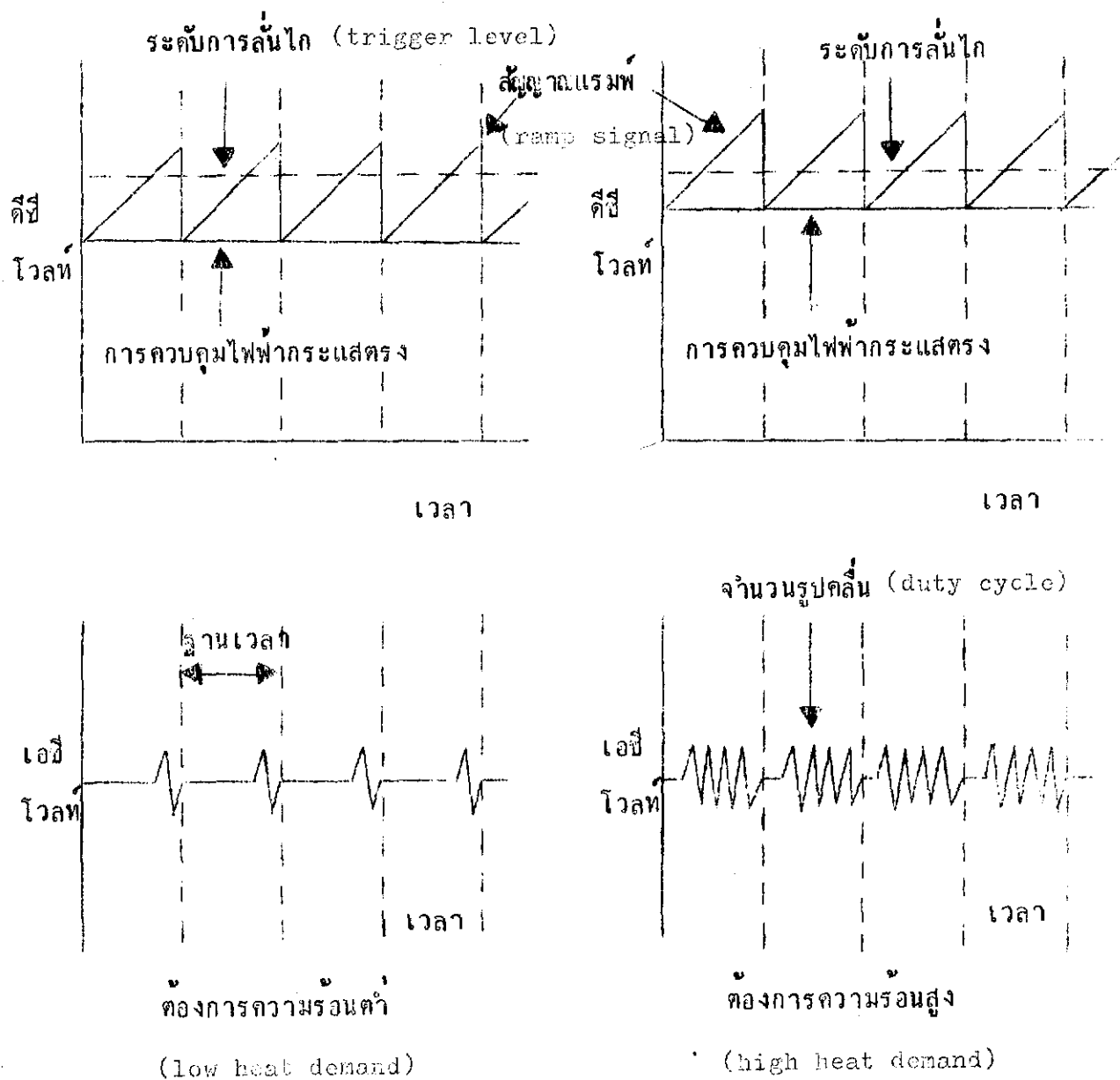
รูปคลื่นของกำลังไฟฟ้าที่จ่าย เริ่มที่ไปจนถึงรูปคลื่นเดี่ยว

การควบคุมอุณหภูมิแบบ เปิด-ปิด ทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินกว่าอุณหภูมิที่กำหนด ส่วนการควบคุมแบบวิญญูภาพทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้หลักการควบคุมอัตราส่วนจำนวนรูปคลื่นตามเวลาที่มีการเปิด-ปิดสวิตช์ ระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตราส่วนมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 4



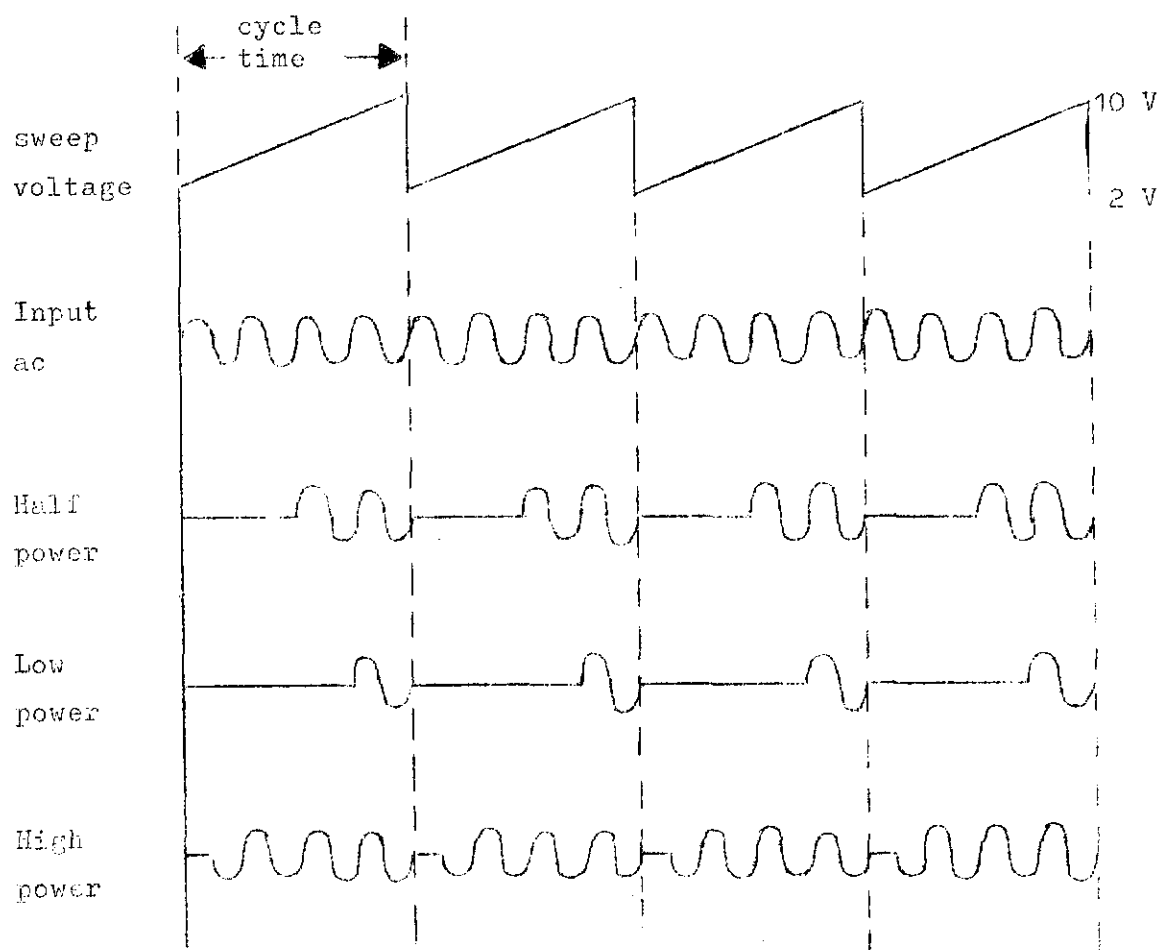
ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตราส่วน

การควบคุมแบบอัตราส่วนจำนวนรูปคลื่นอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้สัญญาณคลื่นรูปฟันเลื่อยแบบกำหนดความถี่ซึ่งรวมไปถึงสัญญาณควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงด้วย ตัวผลิตรูปฟันเลื่อยจะกำหนดคาบเวลา (period) หรือฐานเวลาให้แก่ระบบ สัญญาณควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงกำหนดจากผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่วัดได้ หลักการควบคุมแบบอัตราส่วนได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงหลักการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตราส่วน

ถ้าต้องการเพิ่มความร้อน ระดับสัญญาณควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงก็สูงขึ้นด้วย และ กำลังไฟสูง (high power) ก็จะถูกส่งไปยังเครื่องให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องด้วย เมื่อความร้อนถึงระดับที่ต้องการแล้ว ระดับสัญญาณควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงก็จะลดลงตามส่วน และกำลังไฟต่ำ (low power) ก็จะถูกส่งไปยังเครื่องให้ความร้อน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 การควบคุมอัตราส่วนจำนวนรูปคลื่น

จากหลักการควบคุมอุณหภูมิทั้งสามแบบดังกล่าวข้างต้น การควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิดกำลังไฟจะเปลี่ยนเป็นความร้อนถูกส่งผ่านทางไทรแอด เมื่อความร้อนขึ้นไปจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ไทรแอดก็จะหยุดทำงาน แต่ก็ยังมีผลต่ออุณหภูมิต่อไปอีก 2-5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากความเฉื่อยความร้อนของระบบ ส่วนการควบคุมแบบวัฏภาคแม้จะควบคุมอุณหภูมิได้เที่ยงตรง แต่ก็ทำให้เกิดการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของใส่ท่อปกรณและเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อต้องการขจัดปัญหาดังกล่าว ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกการควบคุมแบบอัตราส่วนซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้เที่ยงตรงโดยการส่งกำลังไฟอย่างต่อเนื่องและมีแต่การเปลี่ยนแปลงเฉพาะจำนวนรูปคลื่นในแต่ละรอบของการทำงานของกำลังไฟหน้า เพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

คุณสมบัติการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

หน้าที่หลักของเครื่องควบคุมอุณหภูมิคือ การรักษาอุณหภูมิของระบบให้คงที่ตามตำแหน่งที่ต้องการและมีความแน่นอนสูงเป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของระบบไปยังตำแหน่งที่ต้องการใด ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เพื่อให้เป็นไปตามลักษณะดังกล่าวนี้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ติดตามการแปรผันของอุณหภูมิและสามารถควบคุมการป้อนกำลังไฟฟ้าเพื่อชดเชยกับปริมาณความร้อนที่ระบบสูญเสียไป อุปกรณ์ที่ไวต่ออุณหภูมิมีหลายชนิด เช่น

- ไคโอค
- เทอร์มิสเตอร์
- ทรานซิสเตอร์
- เทอร์โมคัพเบิล (Thermocouple)

โดรมส์ (Bell and Hulley. 1966 : 1671 อ้างอิงมาจาก Droms. 1962 : 339 - 341) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางด้านอุณหภูมิระหว่างเทอร์มิสเตอร์กับเทอร์โมคัพเบิล เขาสรุปว่า เทอร์มิสเตอร์มีข้อดีมากกว่าเทอร์โมคัพเบิล ดังนี้

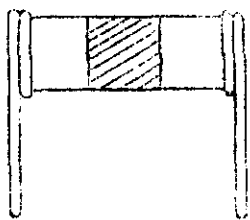
1. เทอร์มิสเตอร์มีค่าความต้านทานสูงกว่า จึงไม่เปลืองกระแส ปริมาณ-ความร้อนซึ่งเกิดจากตัวเทอร์มิสเตอร์จึงน้อย
2. แรงดันตกคร่อมระหว่างรอยต่อของโลหะสองชนิดในเทอร์โมคัพเบิลเกิดขึ้นน้อยมาก แต่แรงดันตกคร่อมของเทอร์มิสเตอร์มีค่ามาก
3. เทอร์มิสเตอร์ไม่มีรอยต่อระหว่างโลหะจึงทำให้สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่และเท่ากันโดยตลอด

กรีนบลัทท์ (Greenblatt. 1964 : 65) ได้นำเอาสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ ทรานซิสเตอร์และไดโอดมาใช้ควบคุมอุณหภูมิของระบบ เขาพบว่าทรานซิสเตอร์ให้การควบคุมที่ไม่แน่นอน แต่สำหรับไดโอดนั้นให้แรงดันคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นเส้นตรงแต่มีค่าน้อยมากจำเป็นต้องใช้เครื่องขยายแรงดันเข้าช่วย นอกจากนี้ยังพบว่าความไวในการตอบสนองของไดโอดช้ากว่าเทอร์มิสเตอร์หลายเท่าตัว

เบล และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley. 1966 : 1671 - 1672) ได้ทำการศึกษาลักษณะคล้ายกัน เขาได้เสนอแนะว่า เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง จุดความร้อนน้อย และมีเสถียรภาพสูง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการนำไปใช้เป็นส่วนตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์ทำด้วยสารที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ บูเชอร์ (Boucher. 1967 : 235) พบว่าสารชนิดนี้มีค่าความต้านทานเฉพาะ (Specific resistance) อยู่ระหว่าง 10^{-2} - 10^{-9} โอห์ม. เซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งค่านี้อยู่ระหว่างกลางของการเป็นฉนวนและตัวนำ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่อหน่วยอุณหภูมิของสารนี้ประมาณร้อยละสามถึงห้าต่อองศาเซลเซียส โดยทั่วไปสารกึ่งตัวนำได้จากการผสมสารหลายชนิด เช่น โลหะผสมของซิลิคอน ซีลีเนียม เจอร์เมเนียม เทลลูเรียม หรือทำจากสารประกอบเช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) โลหะออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ หรือโลหะผสมของออกไซด์พวกธาตุทรานสิชัน ซึ่งได้แก่ โคบอลต์ โครเมียม ทังสเตน ทองแดง ไทเทเนียม นิกเกิล แมงกานีส วาเนเดียม เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเทอร์มิสเตอร์นั้น วัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนใหญ่ก็คือแมกนีเซียมโครเมต ($MgCrO_4$) แมกนีเซียมอะลูมินา ($MgAl_2O_4$)

รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์ที่เป็นมาตรฐานมีสี่แบบ ดังนี้

1. แบบแท่ง (Rods)
2. แบบฝากลม (Discs)
3. แบบวงแหวน (Washers)
4. แบบก้านไม้ขีด (Beads)



แบบแท่ง



แบบฝากลม



แบบวงแหวน



แบบก้านไม้ขีด

ภาพประกอบ 7 รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์มาตรฐาน

เทอร์มิสเตอร์แบบถ่านไม้ขีด เป็นแบบที่มีขนาดเล็กกระทัดรัดเหมาะกับการใช้งานทั่วไปจึงเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง (Boucher. 1967 : 942)

เทอร์มิสเตอร์แบ่งตามลักษณะการแปรค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ ได้เป็น 2 ชนิด (Thermistor Data 1978/9. 1977 : 4) คือ

1. ชนิดเอ็นทีซี (Negative Resistance / Temperature Coefficient, NTC type) เทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้มีค่าความต้านทานแปรผกผันกับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น

2. ชนิดพีทีซี (Positive Resistance / Temperature Coefficient, PTC type) เทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้มีค่าความต้านทานแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงค่าความต้านทานก็จะลดต่ำลงไปด้วย

เบล และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley. 1966 : 1672) ได้เสนอว่าค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แปรตามฟังก์ชันของอุณหภูมิ ดังสมการ (1)

$$R_{Th} = R_{20} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{293}\right)} \quad (1)$$

เมื่อ R_{Th} เป็นค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิ T เคลวิน

R_{20} เป็นค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

B เป็นค่าคงที่เฉพาะของสารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์

T เป็นค่าอุณหภูมิเคลวิน

และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิ ดังสมการ (2)

$$\frac{d R_{Th}}{dT} = - R_{Th} \frac{B}{T^2} \quad (2)$$

เมื่อดิฟเฟอเรนทิเอตต่อไปอีก จะได้สมการ (3) คือ

$$\frac{d^2 R_{Th}}{dT^2} = \frac{B R_{Th}}{T^4} (2T + B) \quad (3)$$

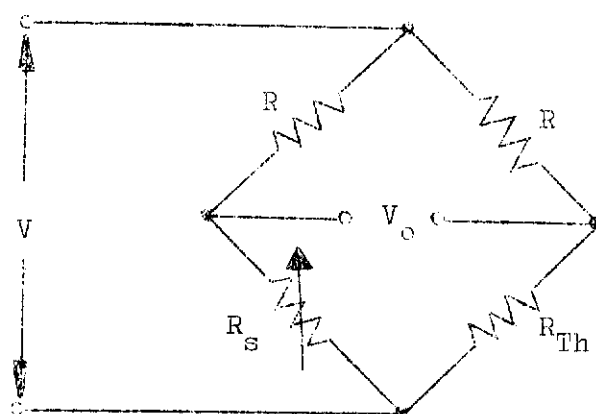
เมื่อ

$$R_{Th} = R_{20} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{293}\right)}$$

และค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน (α) ของหน่วยอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์หาได้จากสมการ(4)

$$\alpha = \frac{d R_{Th}}{dT} \cdot \frac{1}{R_{Th}} = - \frac{B}{T^2} \quad (4)$$

เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์ชนิดเอ็นทีซีมาทำเป็นเซ็นซิงบริดจ์ (Sensing bridge) สำหรับวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงเซ็นซิงบริดจ์

เมื่อ V เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับบริดจ์

V_o เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะที่บริดจ์ไม่สมดุล

R เป็นความต้านทานที่มีค่าคงที่

R_s เป็นความต้านทานที่ปรับค่าได้

R_{Th} เป็นความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิ T

ขณะที่บริดจ์อยู่ในภาวะสมดุล อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขาออกกับอุณหภูมิจะเป็นไปตามสมการ (5)

$$\frac{d V_o}{dT} = V \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \cdot \frac{d R_{Th}}{dT} \quad (5)$$

ความไวของบริดจ์จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\frac{dV_o}{dT}$ ให้ค่าสูงสุด และอุณหภูมิที่ทำให้ $\frac{dV_o}{dT}$ มีค่าสูงสุด ดังนี้

$$\frac{d^2 V_o}{dT^2} = V \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \left\{ \frac{d^2 R_{Th}}{dT^2} - \frac{2}{R + R_{Th}} \left(\frac{dR_{Th}}{dT} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

เมื่อให้ $\frac{d^2 V_o}{dT^2} = 0$

$$V \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \left\{ \frac{d^2 R_{Th}}{dT^2} - \frac{2}{R + R_{Th}} \left(\frac{dR_{Th}}{dT} \right)^2 \right\} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{d^2 R_{Th}}{dT^2} = \frac{2}{R + R_{Th}} \left(\frac{dR_{Th}}{dT} \right)^2 \quad (8)$$

แทนค่า $\frac{d^2 R_{Th}}{dT^2}$ และ $\frac{dR_{Th}}{dT}$ จากสมการ (2) และ (3) ลงในสมการ (8) ได้ดังนี้

$$\frac{BR_{Th}(2T + B)}{T^4} = \frac{2R_{Th}^2 B^2}{(R + R_{Th}) T^4} \quad (9)$$

$$2T + B = \frac{2R_{Th} B}{R + R_{Th}} \quad (10)$$

$$T = \frac{B(R_{Th} - R)}{2(R_{Th} + R)} \quad (11)$$

เมื่อ $R \neq 0$

เราสามารถหาความต้านทานสูงสุดของ R ที่ทำให้ $\frac{dV_o}{dT}$ มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ T ได้ดังนี้

$$2T(R_{Th} + R) = B(R_{Th} - R) \quad (12)$$

$$2TR_{Th} + 2TR = BR_{Th} - BR \quad (13)$$

$$2TR + BR = BR_{Th} - 2TR_{Th} \quad (14)$$

$$R(2T + B) = R_{Th}(B - 2T) \quad (15)$$

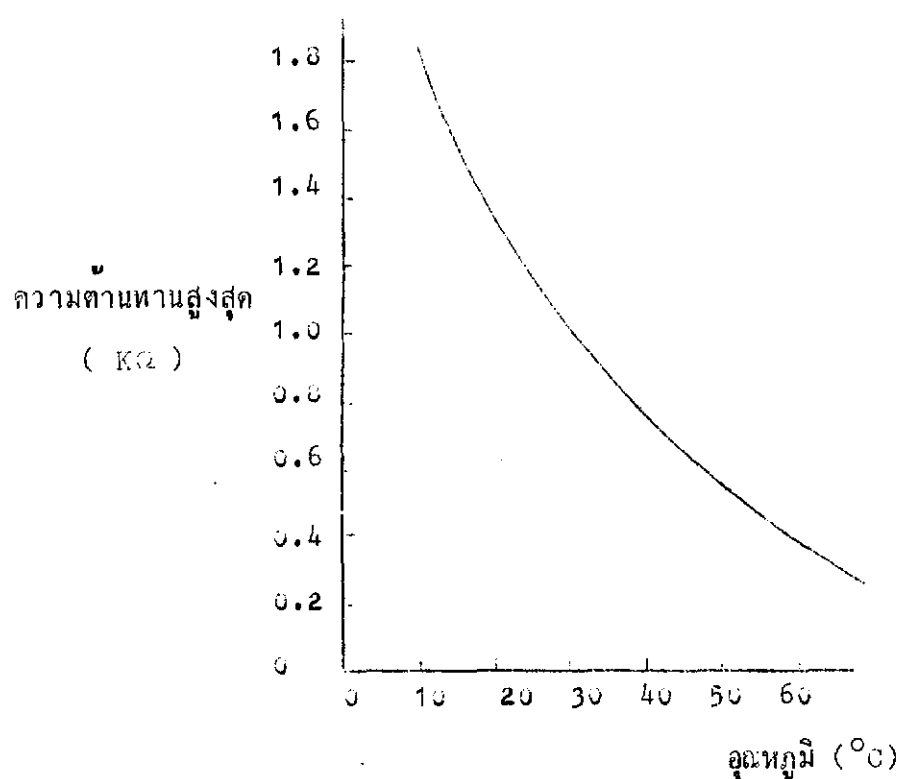
$$R = \frac{R_{Th}(B - 2T)}{(2T + B)} \quad (16)$$

แทนค่า R_{Th} จากสมการ (1) ลงในสมการ (16)

$$\text{ดังนั้น } R_{opt} = R_{20} \frac{B - 2T}{B + 2T} \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{293}\right) \quad (17)$$

เมื่อ R_{opt} เป็นค่าความต้านทานของ R ซึ่งทำให้รีดจ์มีความไวสูงสุดที่อุณหภูมิ T

ในกรณีของเทอร์มิสเตอร์เบอร์ F₂₃ ได้มีการเขียนกราฟตามฟังก์ชันนี้เพื่อแสดงการแปรเปลี่ยนของ R_{opt} กับอุณหภูมิ ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 การแปรเปลี่ยนของความต้านทานสูงสุดกับอุณหภูมิ

เมื่อใช้รีจกัรบคณอุณหภูมิจำเป็นต้องเลือกความต้านทานที่ให้ค่าความต้านทานสูงสุดสำหรับช่วงนั้นด้วย จึงจะได้ค่าเฉลี่ยของ $\frac{dV_o}{dT}$ สูงสุดในช่วงอุณหภูมินั้น ดังสมการ (5) เมื่ออินทิเกรตอุณหภูมิจาก T_1 ถึง T_2 กับความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ จาก R_{Th1} ถึง R_{Th2} จะได้

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dV_o}{dT} dT = VR \left(\frac{1}{R + R_{Th2}} - \frac{1}{R + R_{Th1}} \right) \quad (18)$$

และค่าเฉลี่ยของ $\frac{dV_o}{dT}$ ภายในช่วงอุณหภูมิ T_1 กับ T_2 เป็นดังนี้

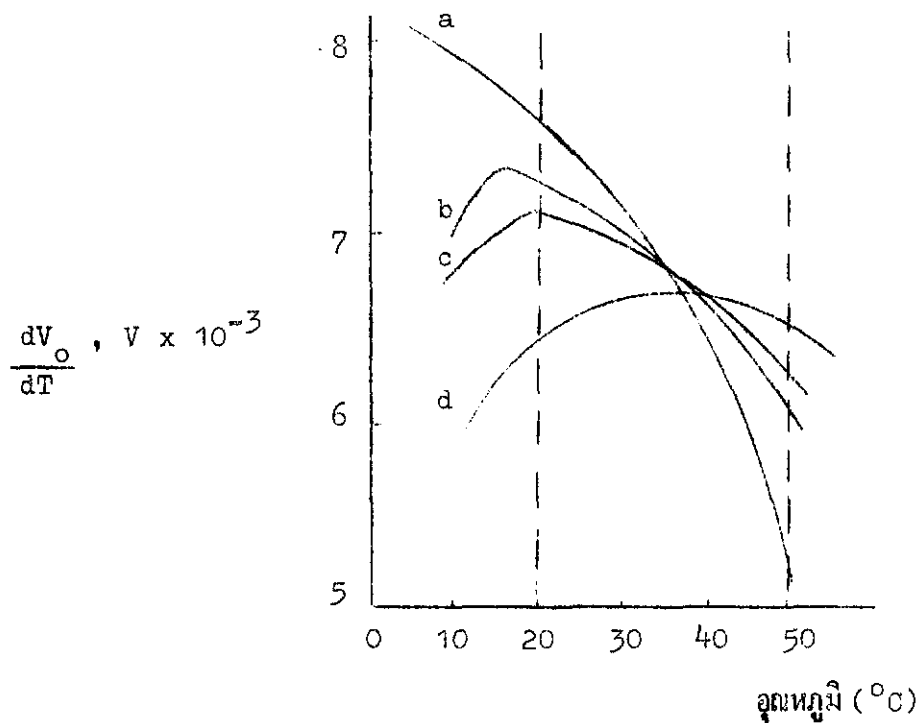
$$\frac{dV_o}{dT} = \frac{VR}{R_{Th1} - R_{Th2}} \left(\frac{1}{R + R_{Th2}} - \frac{1}{R + R_{Th1}} \right) \quad (19)$$

และค่าเฉลี่ยสูงสุดนี้อาจหาได้จาก

$$R_{gm} = \sqrt{(R_{Th1} R_{Th2})} \quad (20)$$

เมื่อ R_{gm} คือค่าเฉพาะของ R_{opt} ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของความไวของบริดจ์สูงขึ้นภายในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดจาก T_1 ถึง T_2

ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของ $\frac{dV_o}{dT}$ ภายในช่วงอุณหภูมิ 20 - 50 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า R ก็คือค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของ R_{Th} ที่ 20 และ 50 องศาเซลเซียส ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 10 การเปลี่ยนแปลงของ $\frac{dV_o}{dT}$ กับอุณหภูมิ ของค่า R ต่าง ๆ ดังนี้

- a) $R = 2,000 \ \Omega$
- b) $R = R_{gm} = 1,318 \ \Omega$
- c) $R = 1,200 \ \Omega$
- d) $R = 870 \ \Omega$

จากภาพประกอบ 10 จะเห็นได้ว่า R_{opt} ในช่วงอุณหภูมิ 20 - 50 องศาเซลเซียสนั้น ค่าสูงสุดของความไวเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 17 องศาเซลเซียส ค่าความไวเฉลี่ยภายในช่วงอุณหภูมินี้มีค่ามากที่สุด ในบรรดา R ทั้งหมด

นอกจากนี้ กระแสที่ไหลในบริจจะทำให้เทอร์มิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงกว่าของเหลวที่มันควบคุมเพียงเล็กน้อย ซึ่งกำลังที่ใช้ (power dissipation) ในเทอร์มิสเตอร์ สามารถหาได้ดังสมการ (21)

$$\text{กำลังที่ใช้ในเทอร์มิสเตอร์} = \frac{V^2}{(R + R_{Th})^2} R_{Th} \quad \text{วัตต์} \quad \text{-----}(21)$$

เมื่อ V เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้บริจ

เมื่อให้ความต้านทานความร้อนของเทอร์มิสเตอร์ไปสู่สิ่งแวดล้อมเป็น 0 องศาเซลเซียส ต่อวัตต์ ดังนั้นอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์จะสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ดังสมการ (22)

$$T = \frac{V^2}{(R + R_{Th})^2} R_{Th} \quad \text{องศาเซลเซียส} \quad \text{-----}(22)$$

ตัวอย่างเช่น เทอร์มิสเตอร์แบบ T_{23} , $\theta = 400$ องศาเซลเซียสต่อวัตต์

$$R_{Th} \text{ ที่ } 45^\circ\text{C} = 1,000 \text{ โอห์ม}$$

$$R_{Th} \text{ ที่ } 20^\circ\text{C} = 2,000 \text{ โอห์ม}$$

$$V = 1 \text{ โวลต์}$$

$$R \text{ ที่ } 20^\circ\text{C} = 1,500 \text{ โอห์ม}$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (22) จะได้ค่าอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม ดังนี้

$$T \text{ ที่ } 20^\circ\text{C} = 0.0653^\circ\text{C}$$

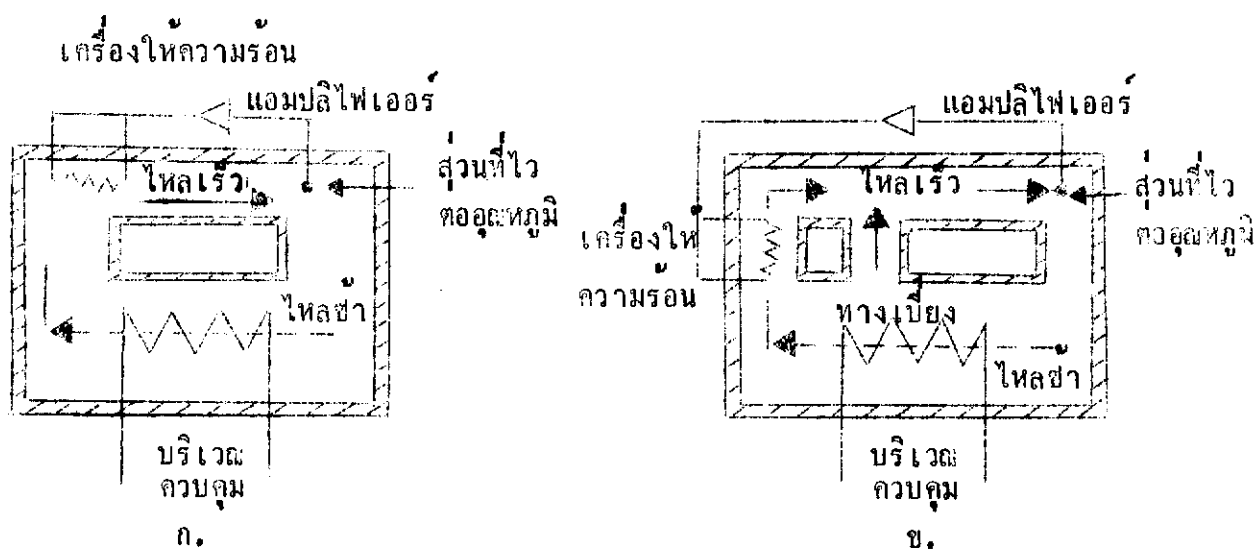
$$T \text{ ที่ } 45^\circ\text{C} = 0.0640^\circ\text{C}$$

เมื่อ $R = R_{Th}$ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดนี้มีค่าเท่ากับ 0.0667°C
จะเห็นว่า ปริมาณความร้อนซึ่งเกิดจากตัวเทอร์มิสเตอร์มีน้อยมาก จึงไม่ต้งนำมาคิด

ข้อพิจารณาด้านรูปแบบ (Mechanical Consideration)

เบล และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley. 1966 : 1673 - 1677) ได้เสนอแนะว่า การควบคุมอุณหภูมิต้องมีการวางรูปแบบของระบบที่ดี ที่ตั้งเครื่องให้ความร้อน และ ส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม นอกจากนี้อัตราการหมุนเวียนของของเหลวยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อการควบคุมอุณหภูมิ การทำให้ของเหลวหมุนเวียนผ่านเครื่องให้ความร้อนและส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิด้วยความเร็วสูง แต่ให้เคลื่อนที่ช้าในบริเวณควบคุมอุณหภูมิ จะทำให้การควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ผลดี

1. การจัดทิศทางของการหมุนเวียนของของเหลว



ภาพประกอบ 11 แผนภาพแสดงบริเวณควบคุมอุณหภูมิ

ภาพ ก. ของเหลวไหลทิศทางเดียว

ภาพ ข. ของเหลวบางส่วนไหลผ่านเครื่องให้ความร้อน

จากภาพประกอบ 11 เป็นรูปแบบการหมุนเวียนของของเหลวที่เสนอโดยเบล และ ฮัลเลย์ ตามภาพ ก. ของเหลวจะไหลผ่านเครื่องให้ความร้อน และส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิในแต่ ละรอบของ การหมุนเวียนของของเหลวในระบบ ถ้าการย้อนกลับของของเหลวไม่มีการสูญเสีย ความร้อนบริเวณช่องว่างระหว่างเครื่องให้ความร้อนกับส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิก็จะมีอุณหภูมิไม่ แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการไหลเวียนของของเหลวในบริเวณนี้เป็นไปอย่างรวดเร็ว และถ้า

หากว่าอุณหภูมิของของเหลวในบริเวณนี้มีค่าสูงเกินกว่าความต้องการ ส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิก็จะควบคุมเครื่องให้ความร้อนหยุดทำงาน จากการทดลองของ เบล และ ฮัลเลย์ พบว่าอุณหภูมิของของเหลวในบริเวณควบคุมจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดเวลา เขาจึงสรุปรูปแบบการหมุนเวียนของของเหลวใหม่ดังภาพ ข. จะเห็นว่าของเหลวเพียงบางส่วนไหลผ่านเครื่องให้ความร้อนและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านมาทางช่องทางเบี่ยง ของเหลวทั้งสองส่วนจะมารวมกันและไหลผ่านส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิ โดยวิธีนี้จะทำให้สามารถตรวจความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเครื่องให้ความร้อนกับส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิได้ จากการทดลองพบว่า ระบบการไหลเวียนของของเหลวตามภาพ ข. จะควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าการไหลเวียนตามภาพ ก.

2. การสูญเสียและการถ่ายเทความร้อน

จากการศึกษาของเบล และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley, 1966 : 167¹ - 1675) พบว่า การถ่ายเทและการสูญเสียความร้อนของระบบเกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้

2.1 การนำความร้อนและการระเหยที่ผิวหน้าของของเหลว เรื่องนี้สำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าของเหลวในบริเวณควบคุมเป็นน้ำ และอุณหภูมิที่ตั้งไว้สูงกว่าอุณหภูมิห้อง ปัญหานี้แก้ไขโดยใช้ฝาปิดที่พอดี แต่ถ้าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องก็ไม่จำเป็นต้องมีฝาปิด เราสามารถลดผลกระทบจากการระเหยโดยใช้เครื่องสูบลมอากาศเย็นให้เข้าและออกในบริเวณควบคุมอุณหภูมิ

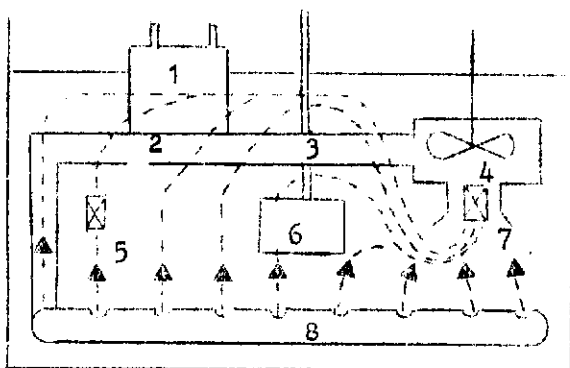
2.2 การนำความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมโดยผ่านทางภาชนะบรรจุ ภาชนะควรเป็นถังแก้วซึ่งขึ้นนอกห่อด้วยน้ำ (water jacket) อุณหภูมิในบริเวณควบคุมอยู่ภายใน ± 0.1 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่หล่ออยู่ภายนอกถังแก้วต้องต่ำกว่าอุณหภูมิของบริเวณควบคุมในช่วงประมาณ $0.2 - 0.4$ องศาเซลเซียส จึงถือว่าเป็นการควบคุมอุณหภูมิที่ดี

2.3 การนำความร้อนโดยผ่านโครงสร้างโลหะที่จุ่มอยู่ในของเหลว ปัญหานี้แก้ไขได้ ในส่วนของเทอร์มิสเตอร์ซึ่งจุ่มในของเหลวนั้น ควรบรรจุอยู่ในภาชนะที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ

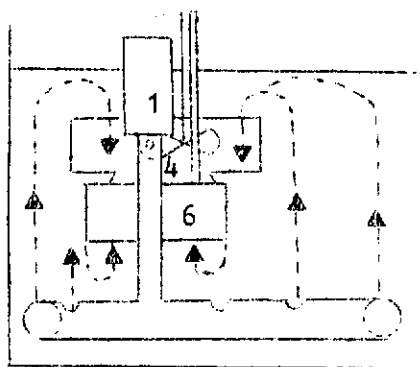
2.4 ผลงานความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสงจากภายนอก ระบบ จึงไม่ค่อยมีความสำคัญนัก

3. ความลาดของอุณหภูมิ (Temperature Gradients)

อุณหภูมิในบริเวณควบคุมแต่ละจุดอาจจะไม่เท่ากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ความลาดอุณหภูมิของระบบ ถ้าของเหลวในบริเวณควบคุมอุณหภูมิไหลอย่างไม่มีแบบแผนจะทำให้ความลาดของอุณหภูมิมีค่ามากและไม่แน่นอน การแก้ไขความลาดอุณหภูมิกระทำได้โดยให้ของเหลวในระบบไหลเวียนอย่างรวดเร็วและเป็นระเบียบ ดังแสดงในภาพประกอบ 12



ก.



ข.

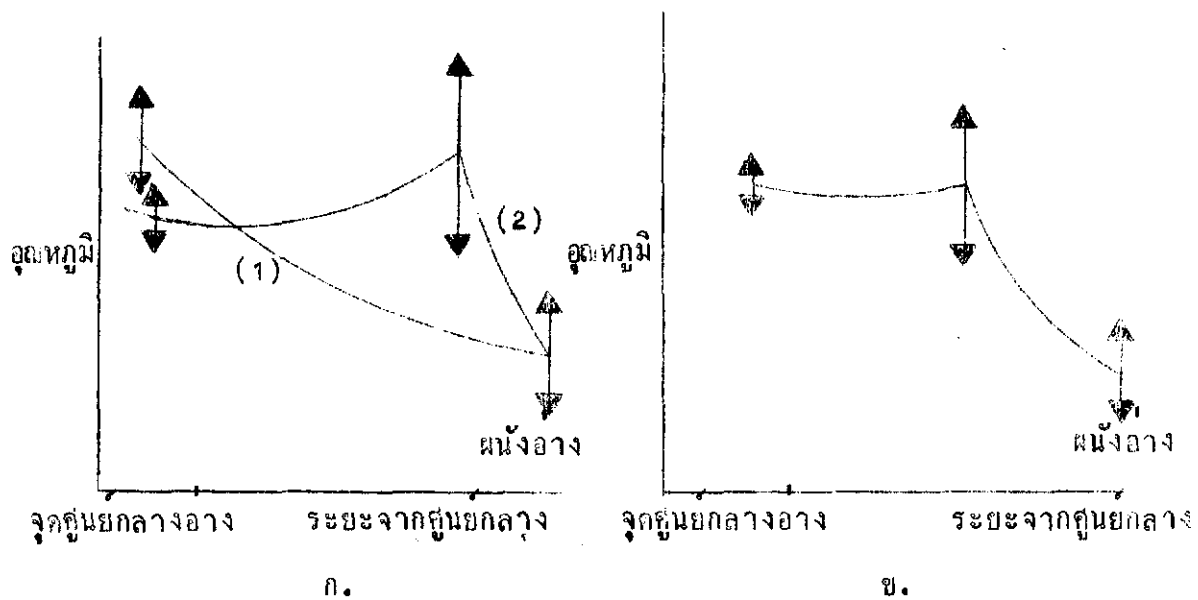
ภาพประกอบ 12 แสดงรูปแบบของบริเวณที่ควบคุมอุณหภูมิ

ภาพ ก. มองจากด้านบน

ภาพ ข. มองจากด้านข้าง

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| 1. แอมพลิไฟเออร์ | 5. เครื่องให้ความร้อน |
| 2. ส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิ | 6. แคลอริมิเตอร์ |
| 3. ท่อส่งกลับ | 7. เครื่องให้ความร้อนที่ปรับค่าได้ |
| 4. เครื่องสูบน้ำ | 8. การ์ด-ริง |

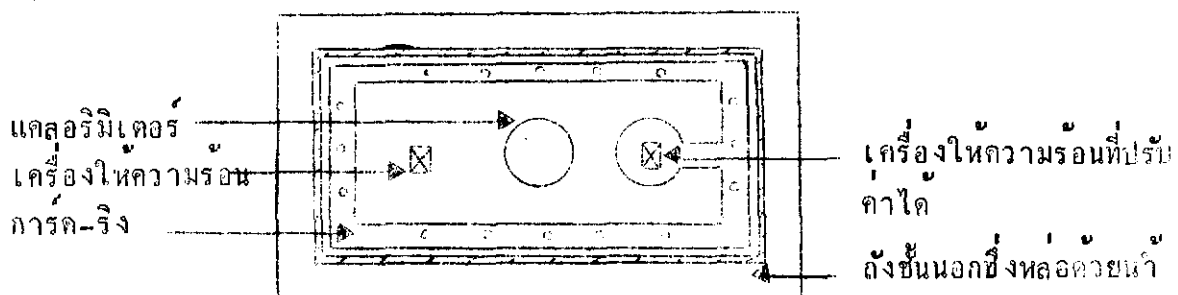
จากภาพประกอบ 12 เป็นการบังคับให้ของเหลวในระบบไหลผ่านไปตามท่อโลหะ (Temperature - Sensitive Tube) แล้วปล่อยออกมาตามช่องต่าง ๆ วิธีการนี้เรียกว่า เทคนิคการ์ด-ริง (Guard - ring Technique) จึงทำให้ของเหลวในบริเวณควบคุมมีความลาดอุณหภูมิลดลง



ภาพประกอบ 13 เป็นกราฟแสดงความลาดเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของระบบ

ในภาพประกอบ 13 ก. กราฟ(1) เป็นความลาดอุณหภูมิของน้ำในระบบที่ไม่ใช้เทคนิคการค-ริง ส่วนกราฟ(2) เป็นความลาดอุณหภูมิของน้ำในระบบที่ใช้เทคนิคการค-ริง จะเห็นว่าความลาดของอุณหภูมิที่ศูนย์กลางลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการระเหยที่ผิวหน้าของน้ำในระบบ การแก้ปัญหานี้กระทำโดยเพิ่มเครื่องให้ความร้อนที่ปรับค่าได้เข้าช่วย ซึ่งจะทำให้ระบบมีความลาดอุณหภูมิลดลง ดังแสดงในภาพประกอบ 13 ข. (Bell and Hulley.

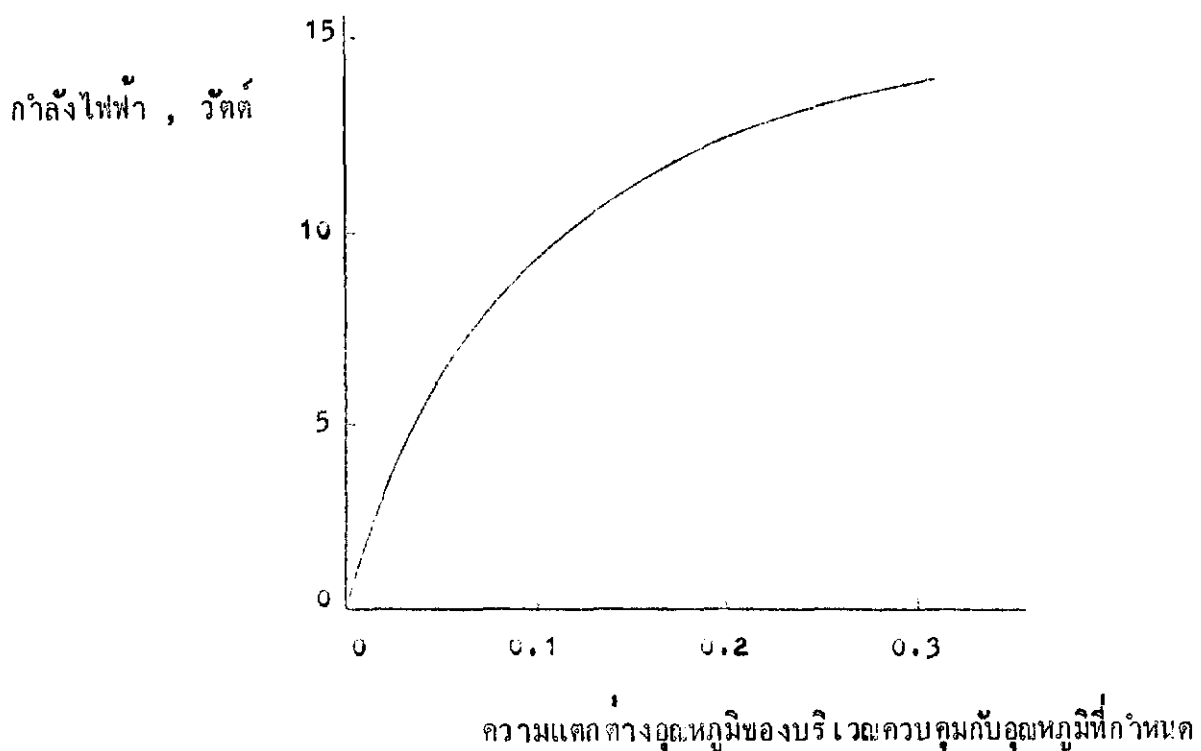
1966 : 1674 - 1675)



ภาพประกอบ 14 แผนภูมิของระบบที่มองจากด้านบนซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิที่บริเวณศูนย์กลางของอ่างน้ำได้ถึง ± 0.001 องศาเซลเซียส

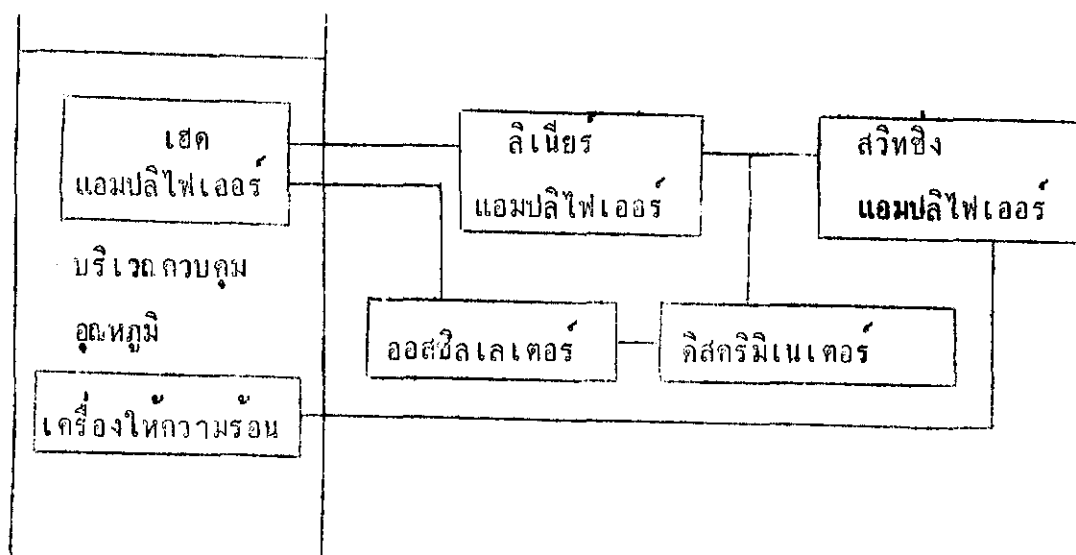
ความต้องการด้านกำลังขยายแรงไฟ (Amplifier Requirements)

1. กำลังขยายและความต้องการด้านกำลังไฟฟ้าของระบบ (System gain and power requirements) กำลังขยายแรงไฟฟ้า หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่อ่างควบคุมอุณหภูมิได้รับต่อหน่วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิ เบล และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley. 1966 : 1674 - 1676) ได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่าส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ 10^{-3} องศาเซลเซียส แรงดันไฟฟ้าจากบริดจ์ 6.3×10^{-6} โวลต์ ป้อนกำลังไฟฟ้าไปยังอ่างควบคุมอุณหภูมิ 5 วัตต์ ดังนั้นค่าสูงสุดที่ระบบได้รับเท่ากับ 5,000 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะการถ่ายเทกำลังไฟของระบบดังกล่าวได้แสดงดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิเบี่ยงเบนไปจากอุณหภูมิที่กำหนด

2. รูปแบบของระบบการควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 16 แผนภูมิแสดงระบบการควบคุมอุณหภูมิ

จากภาพประกอบ 16 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเบลล์ และ ฮัลเลย์ (Bell and Hulley. 1966 : 1674 - 1677) มีแอมพลิฟายเออร์เป็นส่วนประกอบ 5 ส่วน ดังนี้

- 2.1 เชด แอมพลิฟายเออร์ (head amplifier) ประกอบด้วย เซ็นซิงบริดจ์ และ พรีแอมพลิฟายเออร์ (pre amplifier)
- 2.2 ลิเนียร์ แอมพลิฟายเออร์ (linear amplifier)
- 2.3 ดิสคริมีเนเตอร์ (discriminator)
- 2.4 สวิทชิง แอมพลิฟายเออร์ (switching amplifier)
- 2.3 ออสซิลเลเตอร์ (oscillator)

ขนาดของระบบควบคุม

ซาริด และ แคนเนลล์ (Sarid and Canell. 1974 : 1082) สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ประกอบเป็นวีตสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของน้ำในภาชนะขนาด 1.3 ลูกบาศก์เดซิเมตรให้คงที่ภายใน $\pm 5 \times 10^{-6}$ องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 40 ชั่วโมง

วิลเลียมส์ และ เฮาส์ (Williams and House. 1981 : 755 - 760) ใช้พีวีซี (PVC) มาทำเป็นอ่างน้ำร้อน และอ่างน้ำมันขนาด 32 ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยใช้เทอร์มิสเตอร์ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0 - 30 องศาเซลเซียส ระบบนี้มีความเสถียรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4×10^{-3} องศาเซลเซียสในเวลา 14 วัน และสำหรับการควบคุมในเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จะได้ดีกว่า 1.5×10^{-3} องศาเซลเซียส

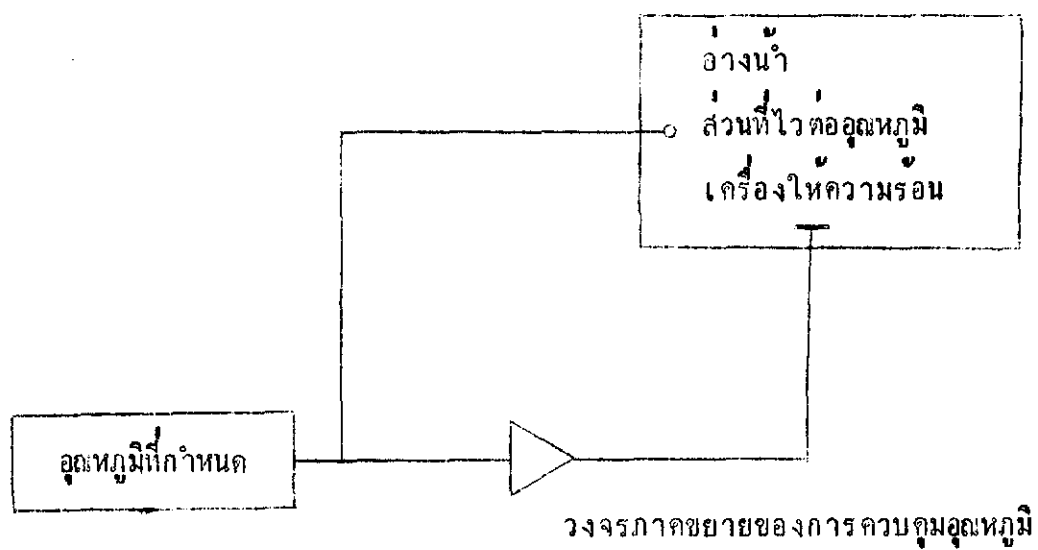
สไปเมอร์ (Spomer. 1982 : 1163 - 1164) สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตราส่วนในอ่างน้ำขนาด 40 ลูกบาศก์เดซิเมตรสามารถให้ค่าเที่ยงตรงได้ถึง $\pm 5 \times 10^{-3}$ องศาเซลเซียสสำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในเวลา 2 ชั่วโมง และ $\pm 2 \times 10^{-2}$ องศาเซลเซียสสำหรับเวลา 24 ชั่วโมง

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า การควบคุมอุณหภูมิจะให้ความเที่ยงตรงมากน้อยเพียงใด สิ่งที่ต้องคำนึงอีกอย่างหนึ่งก็คือ ขนาดของระบบที่จะทำการควบคุม ถ้าระบบมีขนาดเล็กจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าระบบที่มีขนาดใหญ่ และนอกจากนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของการออกแบบการควบคุมด้วย ในระบบขนาดเล็กควรควบคุมแบบวัฏภาคจะให้ผลดีที่สุด สำหรับระบบขนาดกลางการควบคุมควรเป็นแบบอัตราส่วน ส่วนการควบคุมแบบเปิด-ปิดนั้นเหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่

สวေး (Swawy. 1969 : A515) ได้แสดงส่วนประกอบสำคัญของระบบควบคุมอุณหภูมิ ดังแผนภูมิตามภาพประกอบ 17 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิ
2. วงจรภาคขยายของการควบคุมอุณหภูมิ
3. เครื่องให้ความร้อน

4. ส่วนที่ถูกควบคุม (Controlled component) เช่น อ่างน้ำร้อน เป็นต้น



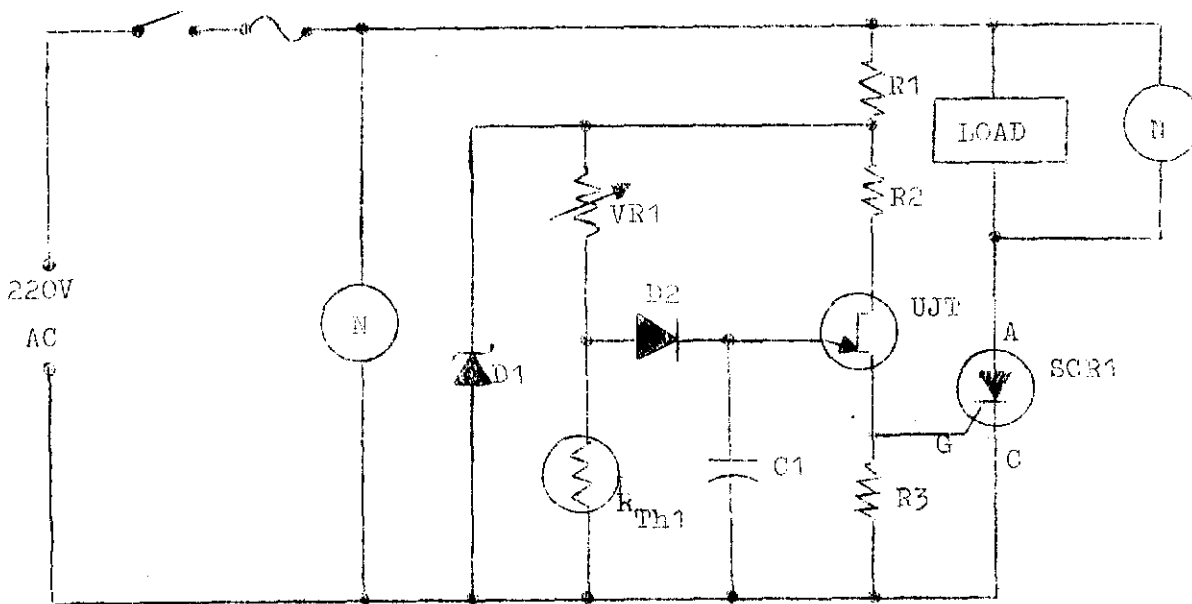
ภาพประกอบ 17 แผนภูมิการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

วิธีดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

การออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิแล้วนำมาออกแบบวงจร แผ่นวงจรพิมพ์ เรือนเครื่อง และอ่างสำหรับควบคุมอุณหภูมิ โดยมุ่งให้ได้ผลงานที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการทำงานดีพอสมควร วงจรที่ใช้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนมี 2 ส่วน ดังนี้

1. วงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

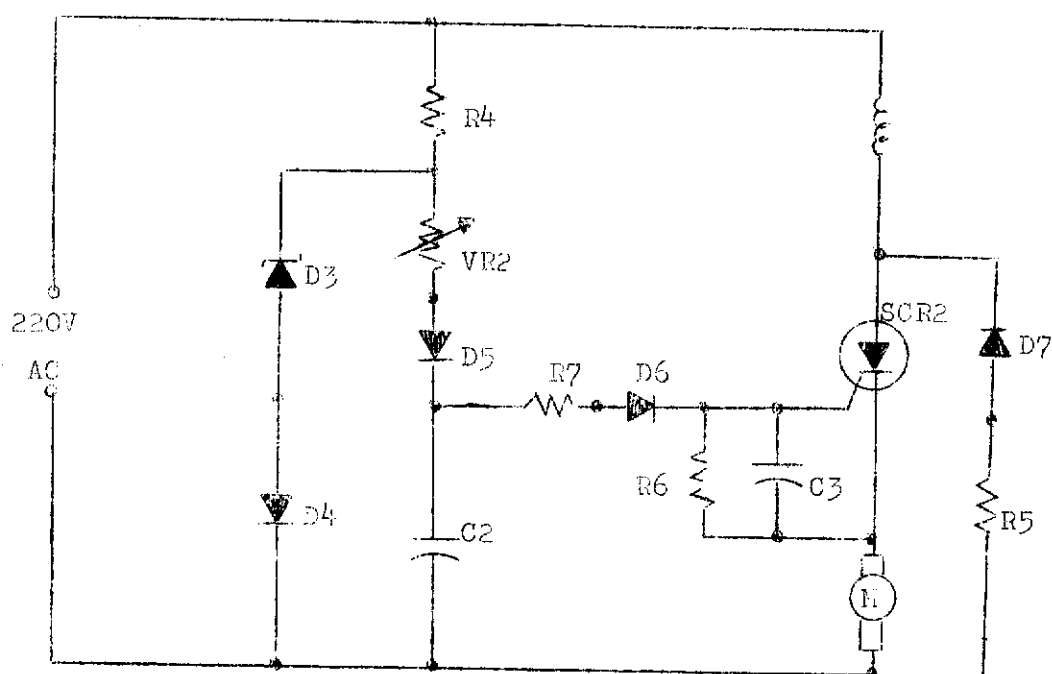


ภาพประกอบ 18 วงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

ภาพประกอบ 18 แสดงวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อน มีการทำงานดังนี้คือ เทอร์มิสเตอร์ซึ่งจุ่มอยู่ในบริเวณควบคุมอุณหภูมิมีหน้าที่ตรวจสอบและวัดอุณหภูมิในอ่างน้ำ ขณะที่อุณหภูมิของระบบต่ำกว่าอุณหภูมิควบคุมเทอร์มิสเตอร์มี

ความต้านทานสูงขึ้น ความถี่ของยูนิจันทรานซิสเตอร์ (UJT) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการลั่นไกของขาเกต (G) ในเอสซีอาร์ก็เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านระหว่างคาโทด (C) และอานอด (A) ของเอสซีอาร์ได้ตามจังหวะการลั่นไกไปยังเครื่องให้ความร้อน อุณหภูมิของระบบจะสูงขึ้น

2. วงจรควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำ



ภาพประกอบ 19 วงจรควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำ

ภาพประกอบ 19 แสดงวงจรควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำช่วยให้การถ่ายเทความร้อนของน้ำในระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อลดความลาดของอุณหภูมิด้วย วงจรส่วนนี้ทำงานโดยเอสซีอาร์ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าสู่คลวดอาร์เมเจอร์โดยไดโอด (D6) ตัวความต้านทาน (R6) และตัวเก็บประจุ (C3) ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการลั่นไกของขาเกตในเอสซีอาร์

การสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 20 - 25 มีส่วนประกอบดังนี้

1. เรือนเครื่อง

เรือนเครื่องประกอบด้วย แท่นรองเครื่องทำด้วยอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 20×50 ตารางเซนติเมตร และหน้าปัดขนาด 15×20 ตารางเซนติเมตร แท่นรองเครื่องติดตั้งแผงวงจร ฟิวส์ หน้าปัดติดตั้งสวิตช์เปิด-ปิด ไฟสัญญาณเปิด-ปิด โวลท์มิเตอร์ และโพรบเทอร์โมมิเตอร์ ส่วนด้านหลังของแท่นเครื่องเป็นแผ่นอะลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร ขนาด 5×20 ตารางเซนติเมตร ติดตั้งปลั๊กเสียบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ และปลั๊กเสียบของเครื่องให้ความร้อน

2. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหน้าปัด

2.1 สวิตช์เปิด-ปิด สองอัน สวิตช์อันแรกสำหรับเปิด-ปิดกระแสไฟฟ้า 220 โวลท์ ก่อนที่จะเข้าไปเลี้ยงวงจรควบคุมอุณหภูมิและเครื่องกวนน้ำ สวิตช์อันที่สองทำหน้าที่เปิด-ปิดกระแสไฟฟ้าในวงจรควบคุมอุณหภูมิ

2.2 หลอดไฟนีออนสีเหลือง 220 โวลท์จำนวนสองหลอด หลอดแรกแสดงการเปิด-ปิดของสวิตช์อันที่หนึ่งให้รู้ว่ามีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงวงจรควบคุมอุณหภูมิและเครื่องกวนน้ำ หลอดไฟนี้จะสว่างตลอดเวลาเมื่อเปิดสวิตช์อันที่หนึ่ง หลอดที่สองใช้แสดงการทำงานของเครื่องให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิของระบบต่ำกว่าอุณหภูมิควบคุม หลอดที่สองจะสว่างแสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องให้ความร้อน และเมื่อระบบมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิควบคุมแล้ววงจรก็จะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังเครื่องให้ความร้อน หลอดไฟจึงดับทั้งนี้ขณะที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิกำลังทำงาน หลอดไฟดวงที่สองจึงกระพริบติด-ดับตลอดเวลา

2.3 โวลท์มิเตอร์ ใช้แสดงศักย์ไฟฟ้าสลับที่จ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อน ขณะที่ระบบมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิควบคุม กระแสไฟฟ้าถูกจ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อนอย่างเต็มที่ ศักย์ไฟฟ้าจึงสูง เมื่ออุณหภูมิของระบบถึงจุดที่ควบคุมแล้วกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยัง

เครื่องให้ความร้อนก็ลดน้อยลงจนกระทั่ง สักยภาพจึงลดลง เชื่อมของโวลท์มิเตอร์จึงกระดิก อยู่ที่จุดนั้น เช่นเดียวกับการกระพริบของหลอดไฟที่สอง

2.4 โฟเทนทีโอมิเตอร์ จำนวนสองอัน อันแรกทำหน้าที่ควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำ อันที่สองทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำร้อน

3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านหลังของแท่นเครื่องประกอบด้วย

3.1 ปลั๊กเสียบกระแสไฟฟ้าสลับ 220 โวลท์

3.2 ปลั๊กเสียบของเครื่องให้ความร้อน

4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

อ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นอ่างสี่เหลี่ยมขนาด $25 \times 45 \times 40$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นในทำด้วยพลาสติกหนา 3 มิลลิเมตร ขึ้นนอกทำด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบ ยกเว้นแผ่นหน้าทำด้วยพลาสติกใสเพื่อให้มองเห็นภายในอ่างได้ ระหว่างชั้นทั้งสองนี้บุด้วยโฟมแผ่นหนา 1 เซนติเมตร อุปกรณ์ภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิมียังดังนี้

4.1 เครื่องกวนน้ำ ประกอบด้วยมอเตอร์ที่ปลายแกนติดใบพัดขนาด 3

เซนติเมตร

4.2 เครื่องให้ความร้อน ขนาด 1,000 วัตต์ 220 โวลท์

4.3 เทอร์มิสเตอร์ บรรจุในหลอดแก้วให้ส่วนหัวโผล่ออกมาครึ่งหนึ่งปิดกาวเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไป

4.4 เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับวัดอุณหภูมิมี 2 แบบคือ เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ชนิดจีจัส

5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจร

5.1 วงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

หมายเลขอ้างอิง

รายละเอียดประกอบ

C1 0.02 μ F / 50 V

Milar capacitor

D1 12 V

1 Watt Zener diode

D2 1 N 4148

Signal diode

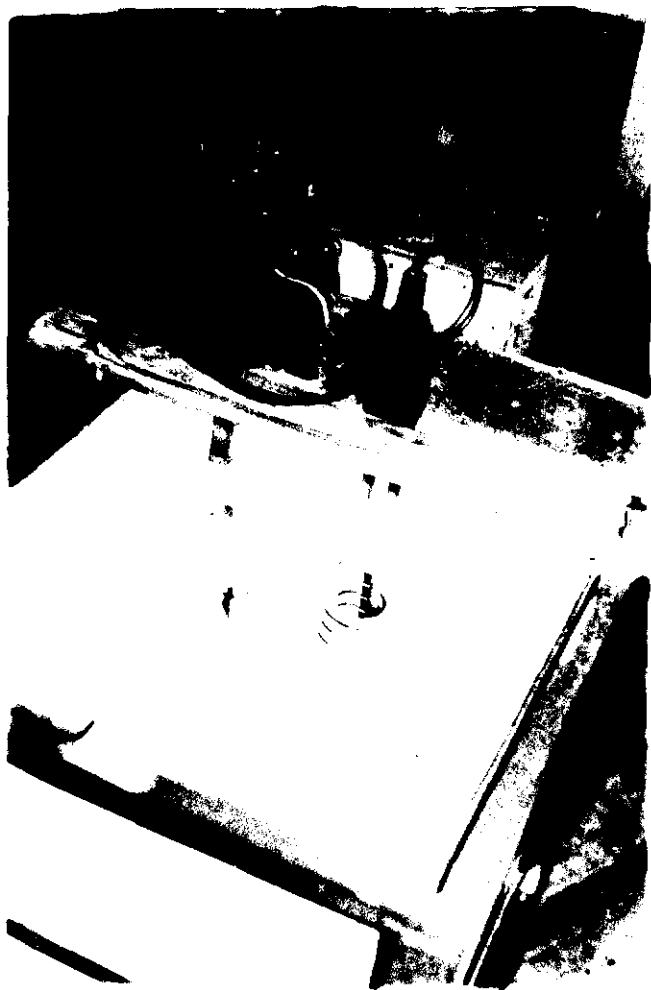
	หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
R1	6.8 K Ω	2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R2	1 K Ω	½ Watt 5% Fixed carbon resistor
R3	47 Ω	½ Watt 5% Fixed carbon resistor
R _{Th1}	2 K Ω at 25 °C	Thermistor , NTC type
SCR1	35 A / 400 V	Silicon controlled rectifier
UJT	2 N 2646	Unijunction transistor
VR1	5 K Ω	Potentiometer

5.2 วงจรควบคุมความเร็วของเครื่องกวนน้ำ

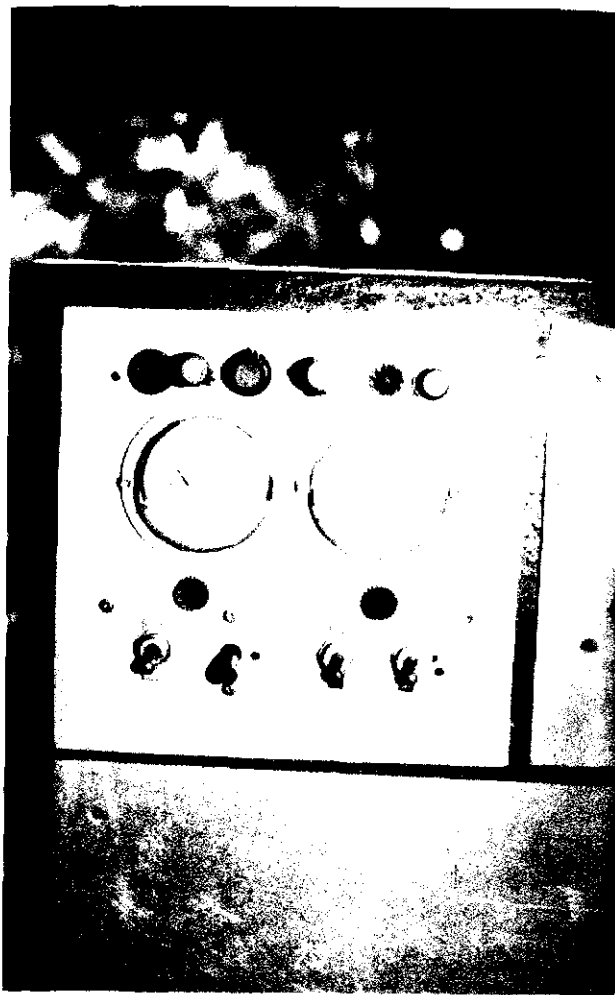
	หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C2	4 μ F / 400 V	Electrolytic capacitor
C3	2 μ F / 10 V	Electrolytic capacitor
D3	20 V	1 Watt Zener diode
D4 - D7	1 N 4004	Silicon rectifier diode
R4	3.9 K Ω	2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R5	500 Ω	2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R6	1 K Ω	½ Watt 5% Fixed carbon resistor
R7	100 Ω	½ Watt 5% Fixed carbon resistor
SCR2	C 20 D	Silicon controlled rectifier
VR2	10 K Ω	Potentiometer



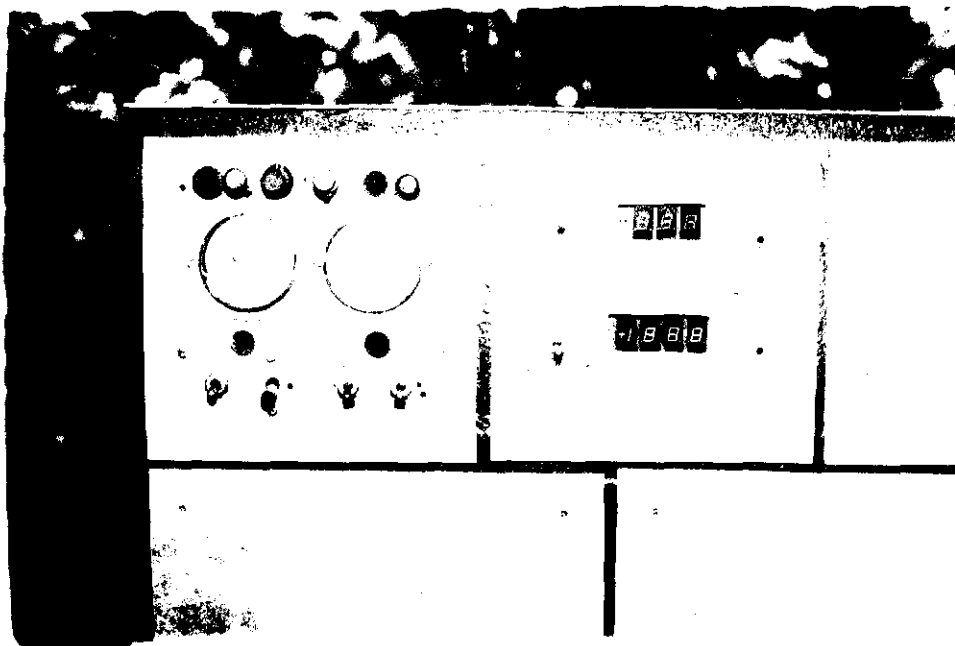
ภาพประกอบ 20 แสดงอากควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนโดยมองจาก
ด้านหน้า



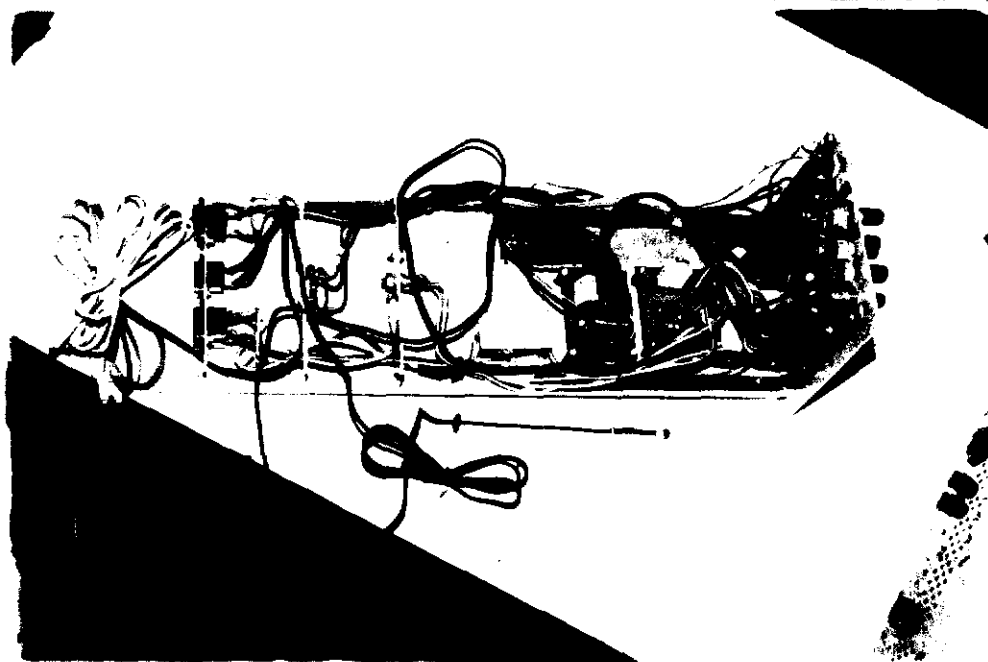
ภาพประกอบ 21 แสดงบริเวณภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน



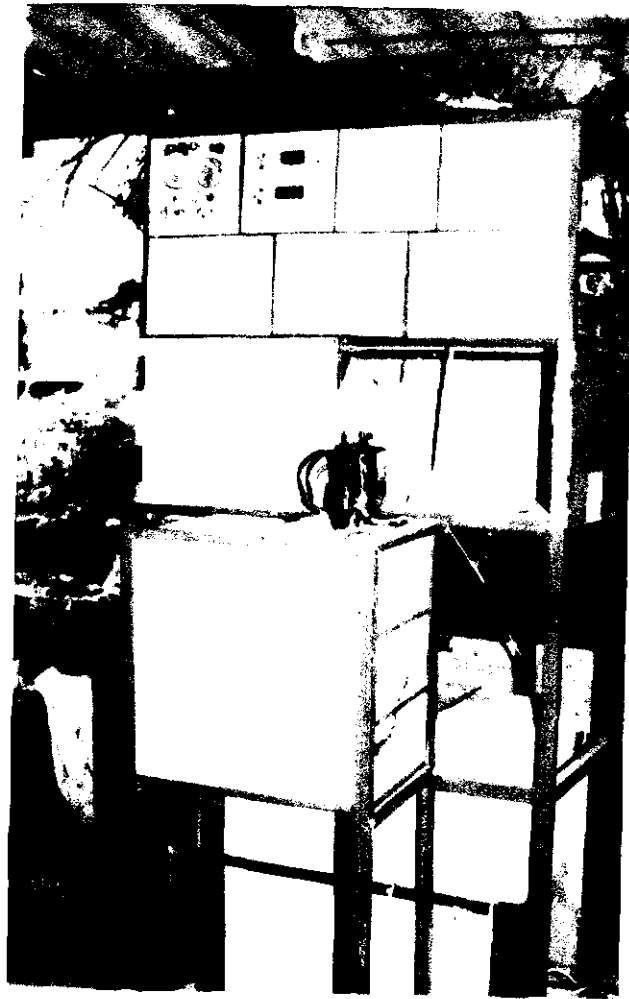
ภาพประกอบ 22 แสดงหน้าปัดของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน (คาน้ำชา)
และเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ (คาน้ำชา)



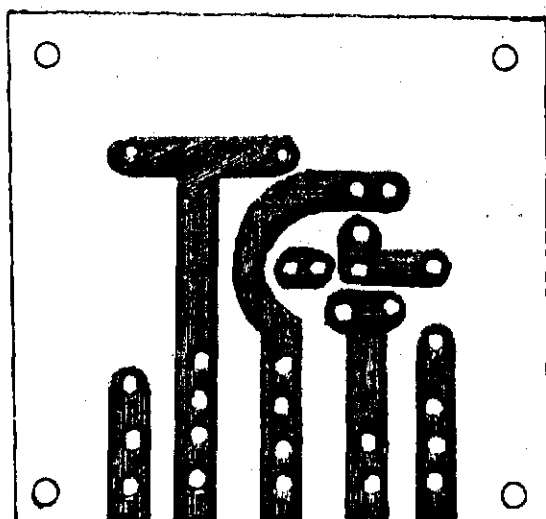
ภาพประกอบ 23 ช่องแรกแสดงหน้าปัดของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่อง
ควบคุมอุณหภูมิอากาศ ช่องที่สองแสดงหน้าปัดของเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล



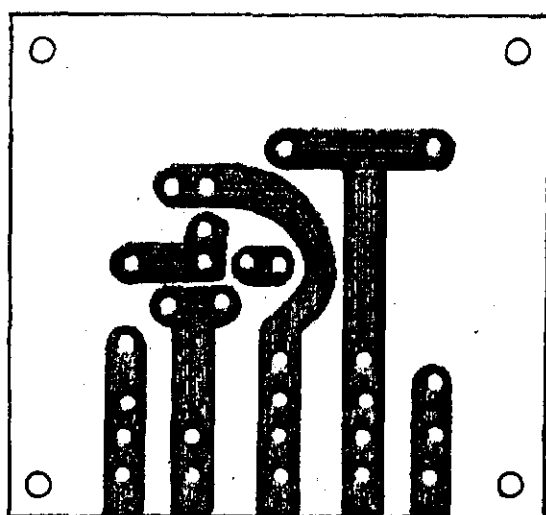
ภาพประกอบ 24 แสดงรูปร่างภายในของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่อง
ควบคุมอุณหภูมิอากาศ



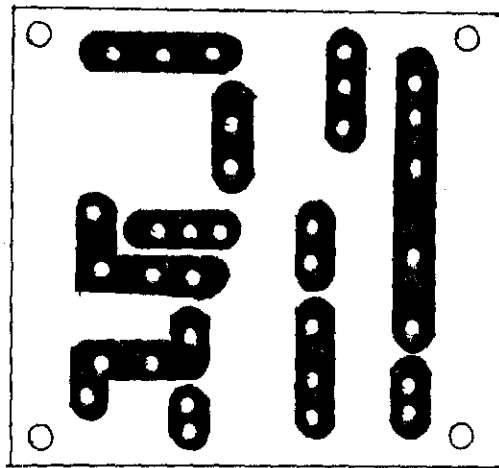
ภาพประกอบ 25 แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและ
เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ



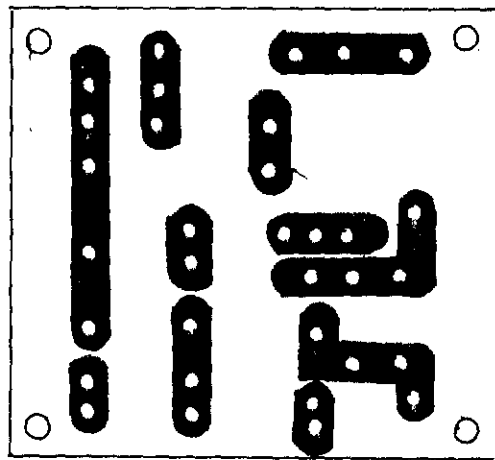
ภาพประกอบ 26 แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน



ภาพประกอบ 27 แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน



ภาพประกอบ 28 แผนผังจรมีมมองจากค้ำกลางของวงจรถบคุมความเร็วของเครื่อง
กวนน้ำ

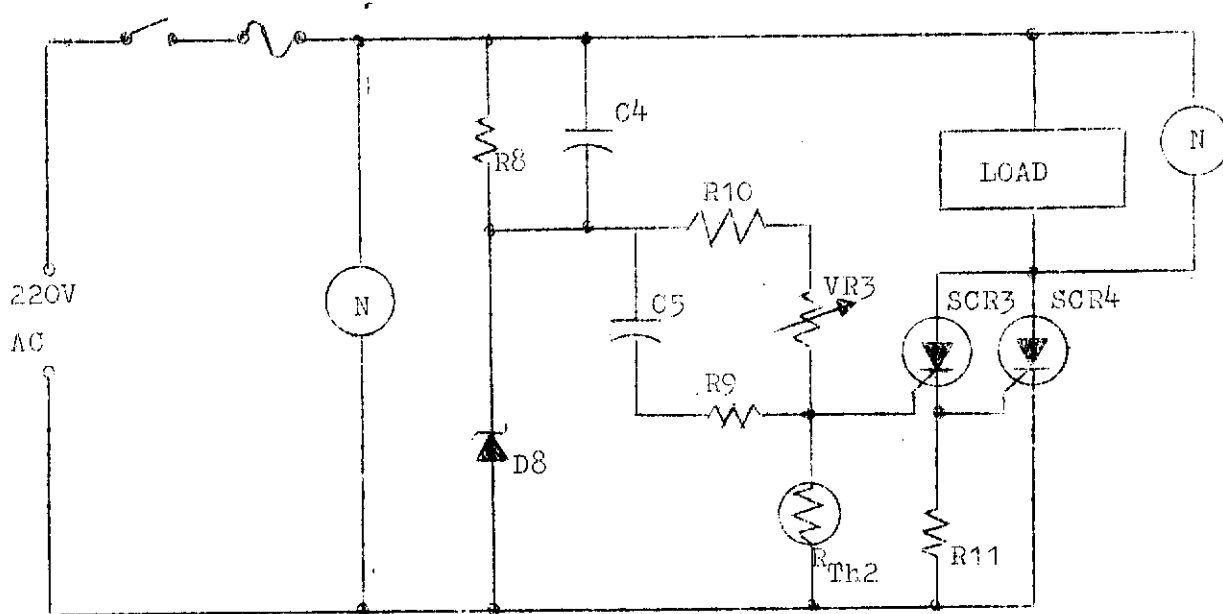


ภาพประกอบ 29 แผนผังจรมีมมองจากค้ำบนของวงจรถบคุมความเร็วของเครื่อง
กวนน้ำ

การออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการหำนองเดียวกันกับการออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
 อ่างน้ำร้อน

วงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ



ภาพประกอบ 30 วงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ

วงจรดังแสดงในภาพประกอบ 30 เป็นวงจรสำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อน โดยมีเอสซีอาร์ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้า เทอร์มิสเตอร์อยู่ที่บริเวณควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ทำหน้าที่ตรวจสอบและวัดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิภายในระบบต่ำกว่าอุณหภูมิควบคุม ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ก็สูงขึ้น ทำให้เกิดการล้นไคที่ขาเกตของเอสซีอาร์ กระแสไฟฟ้าจึงถูกจ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อน และเมื่ออุณหภูมิของระบบเท่ากับอุณหภูมิควบคุมความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ก็ลดลงทำให้การล้นไคน้อย กระแสไฟฟ้าจึงถูกจ่ายไปยังเครื่องให้ความร้อนน้อยลงด้วย

การดำเนินการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศดังแสดงในภาพประกอบ 22 - 25 และ 31 มีส่วนประกอบดังนี้

1. เรือนเครื่อง

เรือนเครื่องเป็นเรือนเดียวกันกับเรือนเครื่องของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่าง-น้ำร้อน แต่ติดตั้งอุปกรณ์แยกกันคนละด้าน หน้าปัดติดตั้งสวิทช์เปิด-ปิด ไฟสัญญาณ ฟิวส์ แอมป์มิเตอร์ และโพเทนทิโอมิเตอร์ แทนเครื่องติดตั้งแผงวงจร ด้านหลังของแทนเครื่องติดตั้งปลั๊กเสียบไฟฟ้า

2. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหน้าปัด

2.1 สวิทช์เปิด-ปิด จำนวนสองอัน สวิทช์อันแรกทำหน้าที่เปิด-ปิดกระแสไฟฟ้า 220 โวลท์ก่อนเข้าสู่วงจรควบคุมอุณหภูมิและเป็นสวิทช์เปิด-ปิดพัลคมด้วย สวิทช์อันที่สองเป็นสวิทช์เปิด-ปิดกระแสไฟฟ้าในวงจรควบคุมอุณหภูมิ

2.2 หลอดไฟนีออนสีแดง 220 โวลท์ มีสองหลอด ทำหน้าที่เช่นเดียวกับหลอดไฟในเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

2.3 แอมป์มิเตอร์

2.4 ทลับฟิวส์แบบแท่งขนาด 2 แอมแปร์

2.5 โพเทนทิโอมิเตอร์

3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านหลังของแทนเครื่อง

3.1 ปลั๊กเสียบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์

3.2 ปลั๊กเสียบของเครื่องให้ความร้อน

4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศ

ตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศเป็นตู้สี่เหลี่ยมขนาด 50 x 80 x 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำด้วยแผ่นพลาสติกหนา 3 มิลลิเมตร ด้านหน้าเป็นประตูแบบบานพับเปิด-ปิดได้ อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศมีดังนี้

4.1 หักลมสำหรับกวนอากาศเพื่อให้อากาศในระบบมีอุณหภูมิเท่ากัน

4.2 เครื่องให้ความร้อน

4.3 เทอร์มิสเตอร์

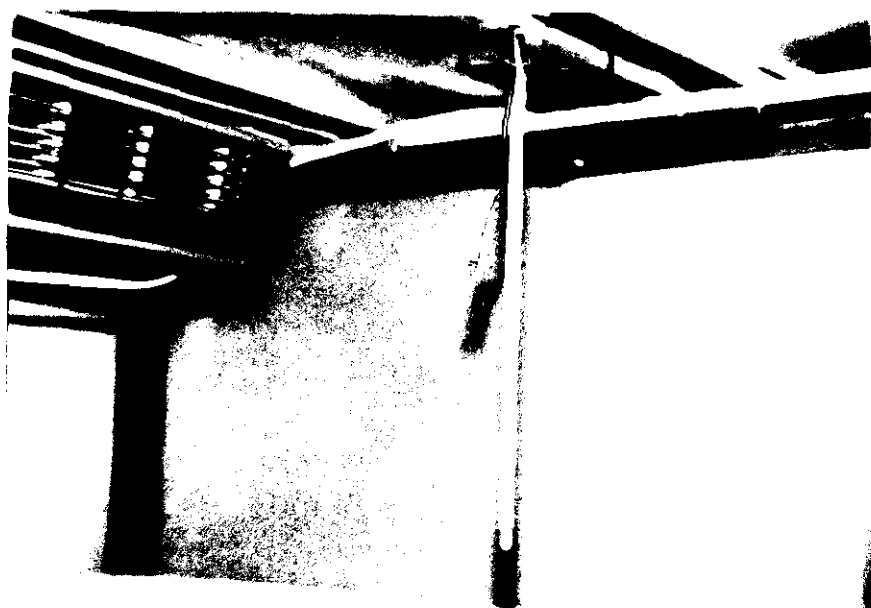
4.4 เทอร์โมมิเตอร์

5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ

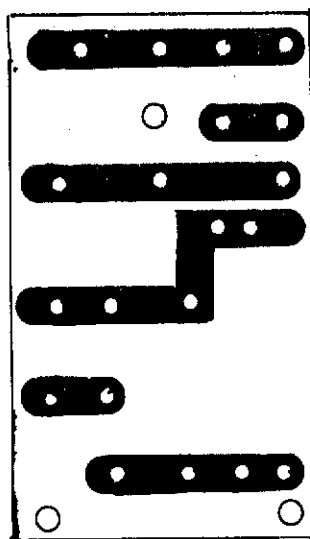
หมายเลขอ้างอิง

รายละเอียดประกอบ

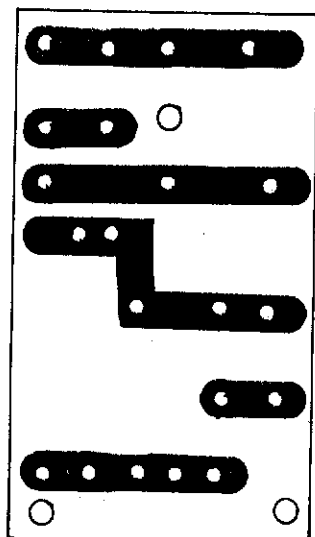
C4	0.22 μ F / 400 V	Mylar capacitor
C5	0.33 μ F / 250 V	Mylar capacitor
D8	5.6 V	1 Watt Zener diode
R8	6.8 K Ω	2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R9	4.7 K Ω	1/2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R10	220 Ω	1/2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R11	100 Ω	1/2 Watt 5% Fixed carbon resistor
R _{Th2}	100 Ω at 25 °C	Thermistor , NTC type
SCR3	C 106 D	Silicon controlled rectifier
SCR4	C 20 D	Silicon controlled rectifier
VR3	1 K Ω	Potentiometer



ภาพประกอบ 31 แสดงบริเวณภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ



ภาพประกอบ 32 แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ



ภาพประกอบ 33 แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรควบคุมอุณหภูมิอากาศ

การทดลองควบคุมอุณหภูมิและการปรับแต่ง

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

การทดลองควบคุมอุณหภูมิและการปรับแต่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน
ได้กระทำดังนี้

1.1 การทดลองเพื่อหาความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ทำโดยการจัดอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้พร้อมที่จะทำงานแล้วจึงเริ่มเดินเครื่อง บันทึกอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และอุณหภูมิห้องทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทดลองควบคุมอุณหภูมิที่จุดนั้นน้ำอีกสองครั้ง หลังจากนั้นก็ทดลองควบคุมอุณหภูมิที่จุดอื่นด้วยการปรับโพเทนทิโอมิเตอร์ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายบอกค่าอุณหภูมิตามหน้าปัดด้วย ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 37 , 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส นำข้อมูลที่ได้บันทึกไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ

1.2 การทดลองเพื่อหาความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ก็จัดทำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1.1 เพียงแต่นักอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิและอุณหภูมิห้องทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 6 - 9 ชั่วโมง การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 37 , 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำข้อมูลที่ได้บันทึกไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ

1.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณกลางอ่างและอุณหภูมิที่บริเวณริมอ่างของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน กระทำโดยการบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่บริเวณกลางอ่างและบริเวณริมอ่างทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ

1.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์กิจิตัล โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองชนิดดังกล่าวไปวัดอุณหภูมิควบคุมที่จุดเดียวกันทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้บันทึกไปวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

การทดลองควบคุมอุณหภูมิและการปรับแต่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ มีดังนี้

2.1 การทดลองเพื่อหาความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ ทำเช่นเดียวกับการหาความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ 42 , 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส

2.2 การทดลองเพื่อหาความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ ทำเช่นเดียวกับข้อ 1.2 การทดลองครั้งนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิที่ 42 , 50 , และ 60 องศาเซลเซียส

2.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน และเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ทำเช่นเดียวกับข้อ 1.4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่

1.1 ค่าเฉลี่ย (Ferguson. 1976 : 47)

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

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของการวัด
 $\sum X$ แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการวัด
 n แทน จำนวนครั้งของการวัด

1.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชูศรี วงศ์รัตนะ 2527 : 74)

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

เมื่อ S แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X แทน ค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง
 $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของการวัด
 n แทน จำนวนครั้งของการวัด

2. t - test แบบ Independent (ชูศรี วงศ์รัตนะ 2527 : 180)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

เมื่อ t แทน ค่าอัตราส่วนวิกฤต
 $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

s_1^2, s_2^2 แทน ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

n_1, n_2 แทน จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

โดยหาค่า df (degree of freedom) จากสูตรต่อไปนี้

$$df = \frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{\frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[\frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{n_2 - 1}}$$

3. วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of least squares) (ชูศรี วงศ์รัตน์

2527 : 324 - 337)

$$y' = a_{yx} + b_{yx}X$$

$$b_{yx} = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) / N}{\sum X^2 - [(\sum X)^2 / N]}$$

$$a_{yx} = \frac{\sum Y - b_{yx} \sum X}{N}$$

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

เมื่อ y' แทน ค่า Y ที่ได้จากการพยากรณ์

a_{yx} แทน จุดตัดของกราฟเส้นตรง

b_{yx} แทน ความชันของกราฟเส้นตรง

x แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$\sum X$ แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร X

$\sum Y$ แทน ผลรวมของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร Y

$\sum X^2$ แทน ผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร X

$\sum Y^2$	แทน ผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร Y
$\sum XY$	แทน ผลรวมของผลคูณค่าตัวแปร X กับตัวแปร Y
N	แทน จำนวนครั้งของการวัด
r^2	แทน ความเป็นเชิงเส้น

การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลที่ได้จากการควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะสั้นโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมโดยประมาณ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิเฉลี่ย $\bar{X}$ ($^{\circ}\text{C}$)	S
37	37.01	0.0006
40	39.90	0.0007
50	49.97	0.0018
60	59.92	0.0229

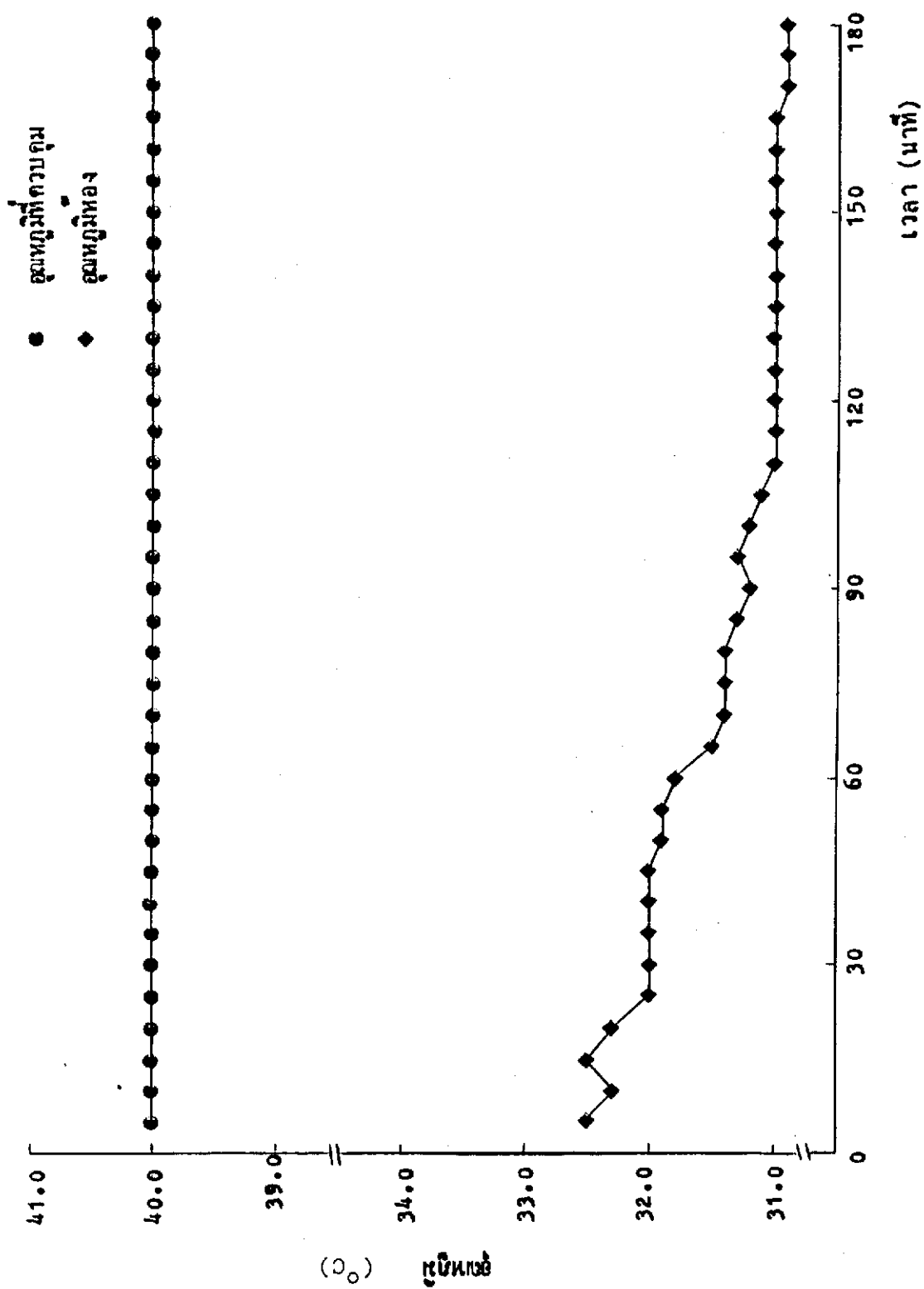
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 1 แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนมีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้

1. อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (S = 0.0006)
2. อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (S = 0.0007)
3. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (S = 0.0018)
4. อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (S = 0.0229)

ความแน่นสูงสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นที่ 37 องศาเซลเซียส

ความแน่นต่ำสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นที่ 60 องศาเซลเซียส

กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนโดย
เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง

1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t -test ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t -test

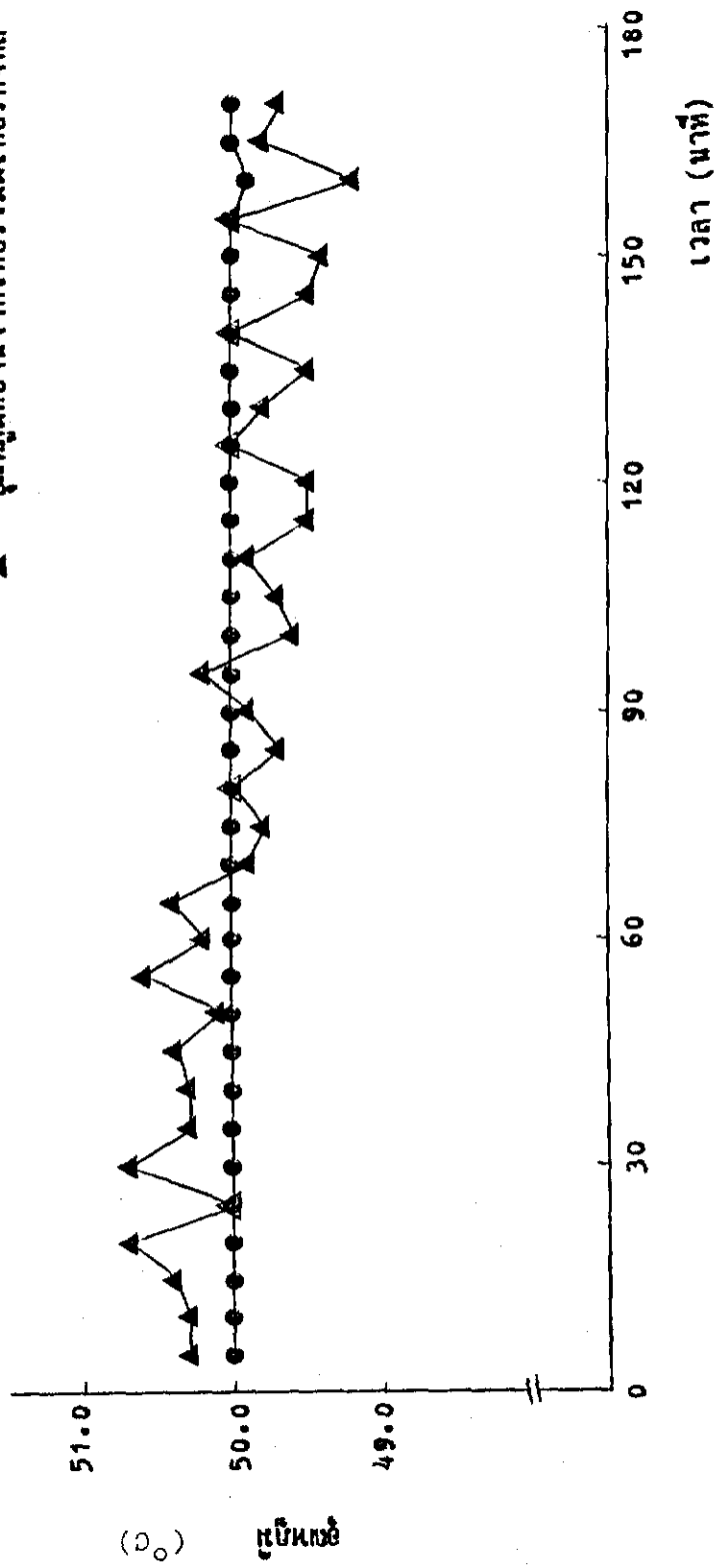
อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม โดยประมาณ ($^{\circ}\text{C}$)	เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน		เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล		t
	$\bar{X}_{\text{std}}$	S^2	$\bar{X}_d$	S^2	
37	37.01	0.00	35.29	0.12	8.277
40	39.98	0.00	37.65	0.21	8.742
50	49.97	0.00	49.61	0.23	1.294
60	59.92	0.00	62.13	1.05	-3.730

$$t (df = 2, \alpha = 0.01) = \pm 9.925$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 2 แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัลของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 35

- อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน
- ▲ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์จำลอง



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์จำลองของเครื่องควบคุม

อุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส

1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณควบคุม(กลางอ่าง) กับอุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่าง ด้วย $t - test$ ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณควบคุม(กลางอ่าง) กับอุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่าง ด้วย $t - test$

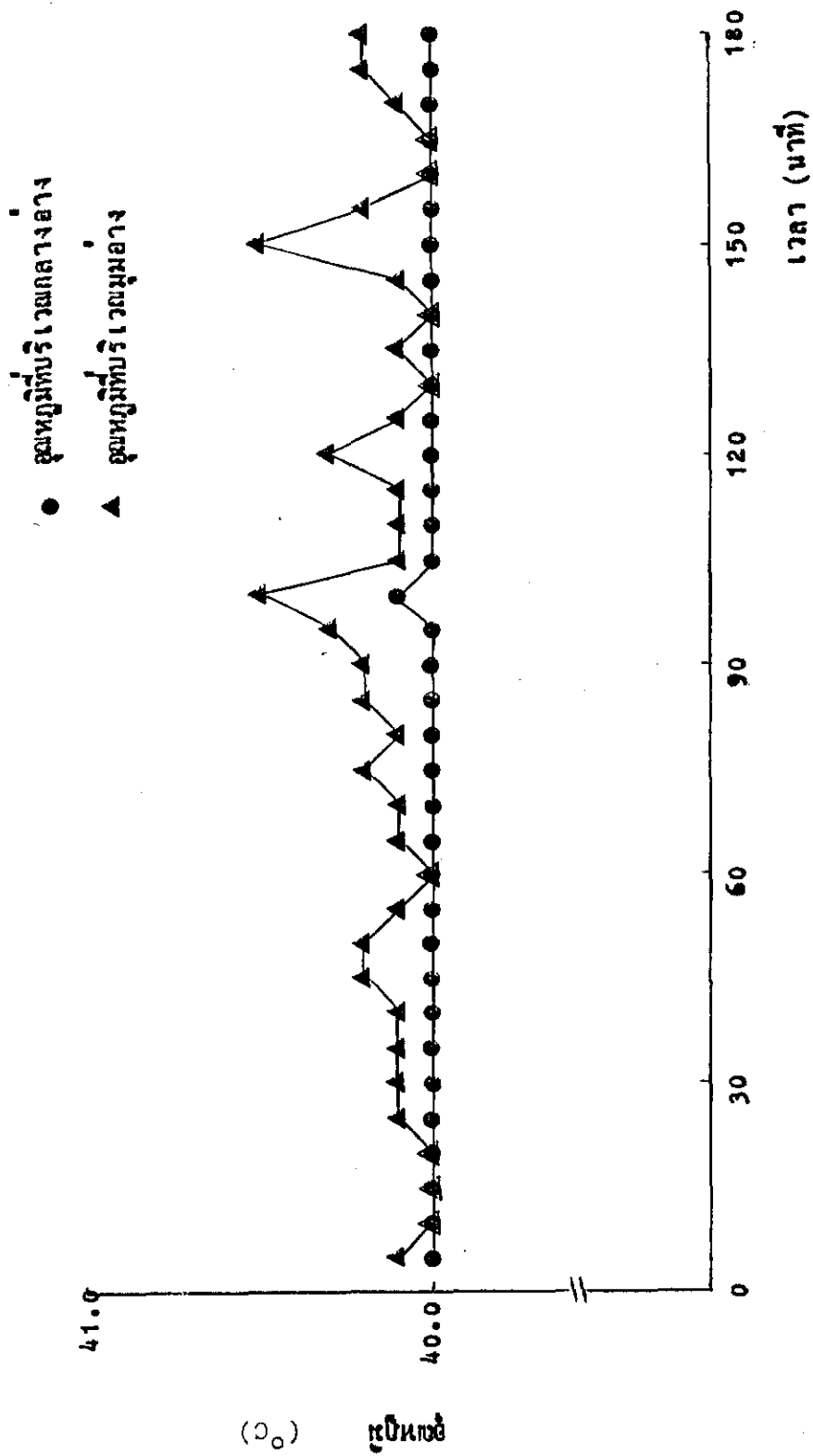
อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม โดยประมาณ ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิที่บริเวณควบคุม		อุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่าง		t
	$\bar{X}$	S^2	$\bar{X}$	S^2	
37	37.01	0.00	37.28	0.00	-18.488**
40	39.98	0.00	40.05	0.00	-57.055
50	49.97	0.00	50.21	0.00	-16.178**
60	59.92	0.00	60.43	0.01	- 8.588

$t (df = 2, \alpha = 0.01) = \pm 9.925$ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

$t (df = 1, \alpha = 0.01) = \pm 63.657$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง แสดงว่า ที่อุณหภูมิ 37 และ 50 องศาเซลเซียสการวัดอุณหภูมิที่บริเวณควบคุม(กลางอ่าง) กับการวัดอุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสการวัดอุณหภูมิที่บริเวณควบคุม(กลางอ่าง) กับการวัดอุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่างมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่บริเวณกลางอ่างและบริเวณมุมอ่างของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างนําร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่บริเวณกลางอ่างและบริเวณมุมอ่างของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส

1.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะยาว โดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนในระยะยาว ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิเพื่อหาความแน่นอนในระยะยาว ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมโดยประมาณ (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย x (°C)	S
37	37.01	0.0662
40	39.98	0.0519
50	49.95	0.1122
60	60.00	0.1127

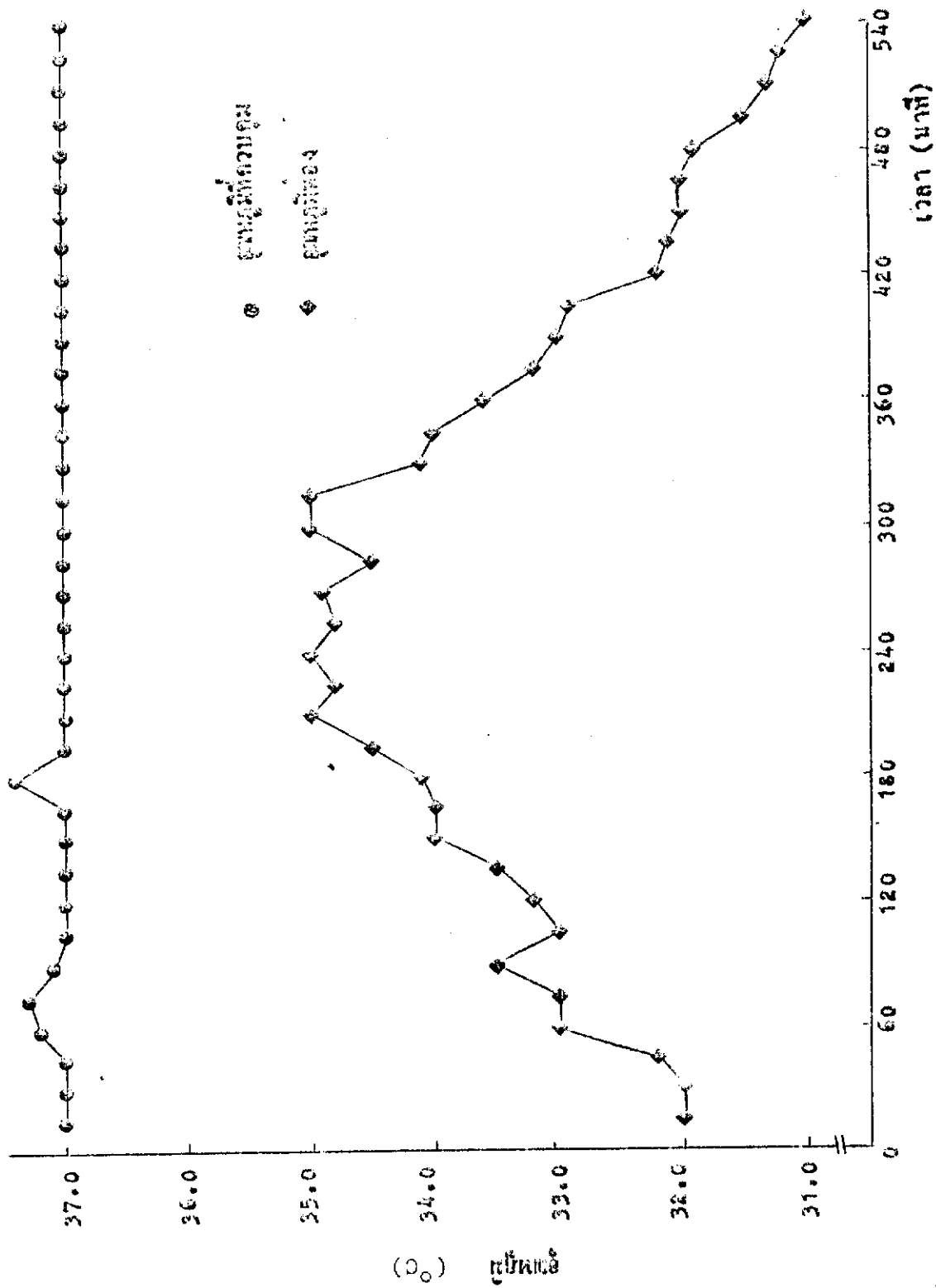
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 4 แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนมีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาว เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้

1. อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (S = 0.0519)
2. อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (S = 0.0662)
3. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (S = 0.1122)
4. อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (S = 0.1127)

ความแน่นอนสูงสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวที่ 40 องศาเซลเซียส

ความแน่นอนต่ำสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวที่ 60 องศาเซลเซียส

กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 37 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกลุ่มทดลอง

1.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องเพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องเพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

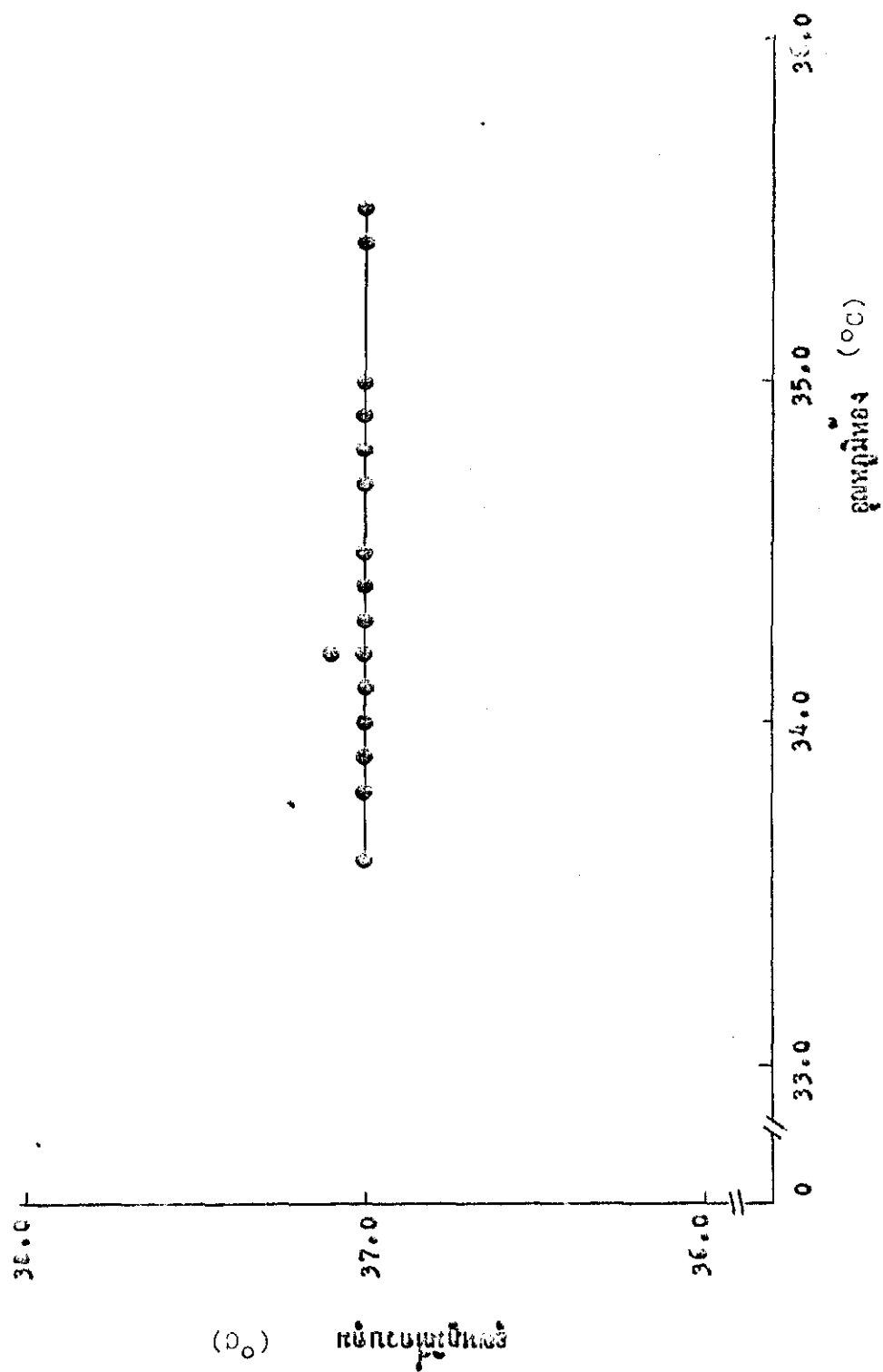
อุณหภูมิห้องเฉลี่ย $\bar{X}$ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมเฉลี่ย $\bar{Y}$ ($^{\circ}\text{C}$)	a_{yx}	b_{yx}	r	r^2
33.03	37.04	37.22	0.00	-0.0495	0.0024
34.64	37.00	37.20	0.00	-0.0160	0.0002
32.10	37.00	37.00	0.00	0.0000	0.0000
32.03	39.95	73.71	-1.05	-0.1269	0.0161
33.31	40.00	39.49	-0.01	0.0423	0.0017
31.43	40.00	40.00	0.00	0.0000	0.0000
31.35	49.99	50.00	0.00	-0.0459	0.0020
32.37	49.99	49.86	0.00	0.2187	0.0476
28.78	49.92	50.17	0.00	-0.0521	0.0027
34.72	60.05	58.68	0.03	0.1884	0.0355
31.91	59.96	58.16	0.05	0.3673	0.1349
29.02	59.76	66.80	-0.24	-0.0806	0.0065

ค่าเฉลี่ยของ $r = 0.0371$

ค่าเฉลี่ยของ $r^2 = 0.0208$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 5 แสดงว่า การวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0371 ความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.0208

กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้องของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงในการวัดอุณหภูมิกับความดันของเครื่องวัดอุณหภูมิ
 ยานวรณ์ที่ 37 องศาเซลเซียส

2. การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลค่าที่ได้จากการควบคุมอุณหภูมิอากาศ

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะสั้นโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมโดยประมาณ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิเฉลี่ย $\bar{X}$ ($^{\circ}\text{C}$)	S
42	41.99	0.1432
50	50.30	0.5502
60	59.86	0.1443
70	70.87	0.6986

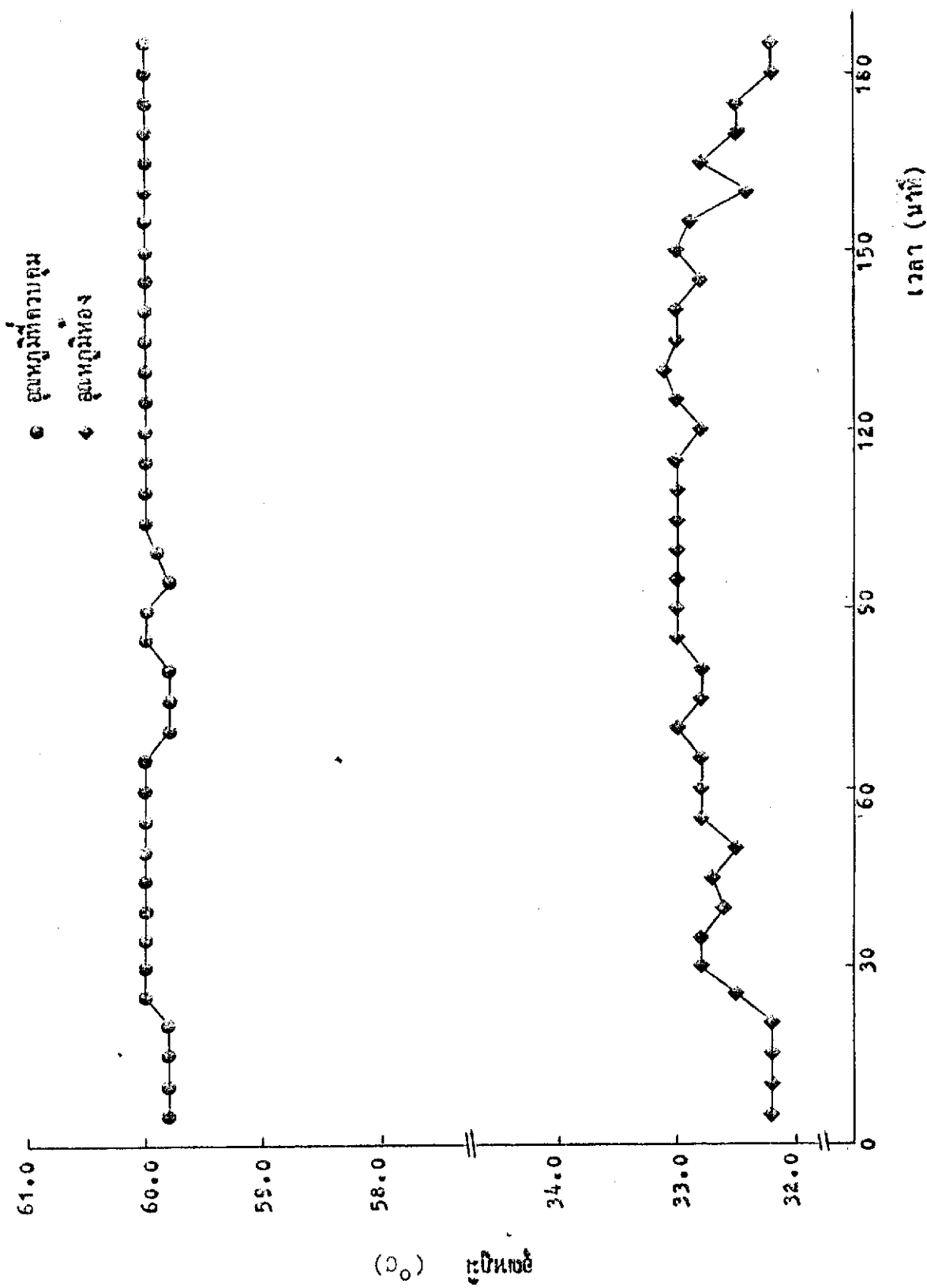
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 6 แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศมีความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้น เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้

1. อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ($S = 0.1432$)
2. อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ($S = 0.1443$)
3. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ($S = 0.5502$)
4. อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ($S = 0.6986$)

ความแน่นอนสูงสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นที่ 42 องศาเซลเซียส

ความแน่นอนต่ำสุดในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นที่ 70 องศาเซลเซียส

กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้องของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง

2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t - test ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย t - test

อุณหภูมิควบคุม โดยประมาณ	เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน		เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล		t
	$\bar{X}_{std}$	S^2	$\bar{X}_d$	S^2	
42	41.99	0.02	43.72	0.08	-9.277
50	50.30	0.30	52.09	4.91	-1.361
60	59.86	0.02	62.87	1.35	-4.435
70	70.87	0.40	75.57	3.12	-4.289

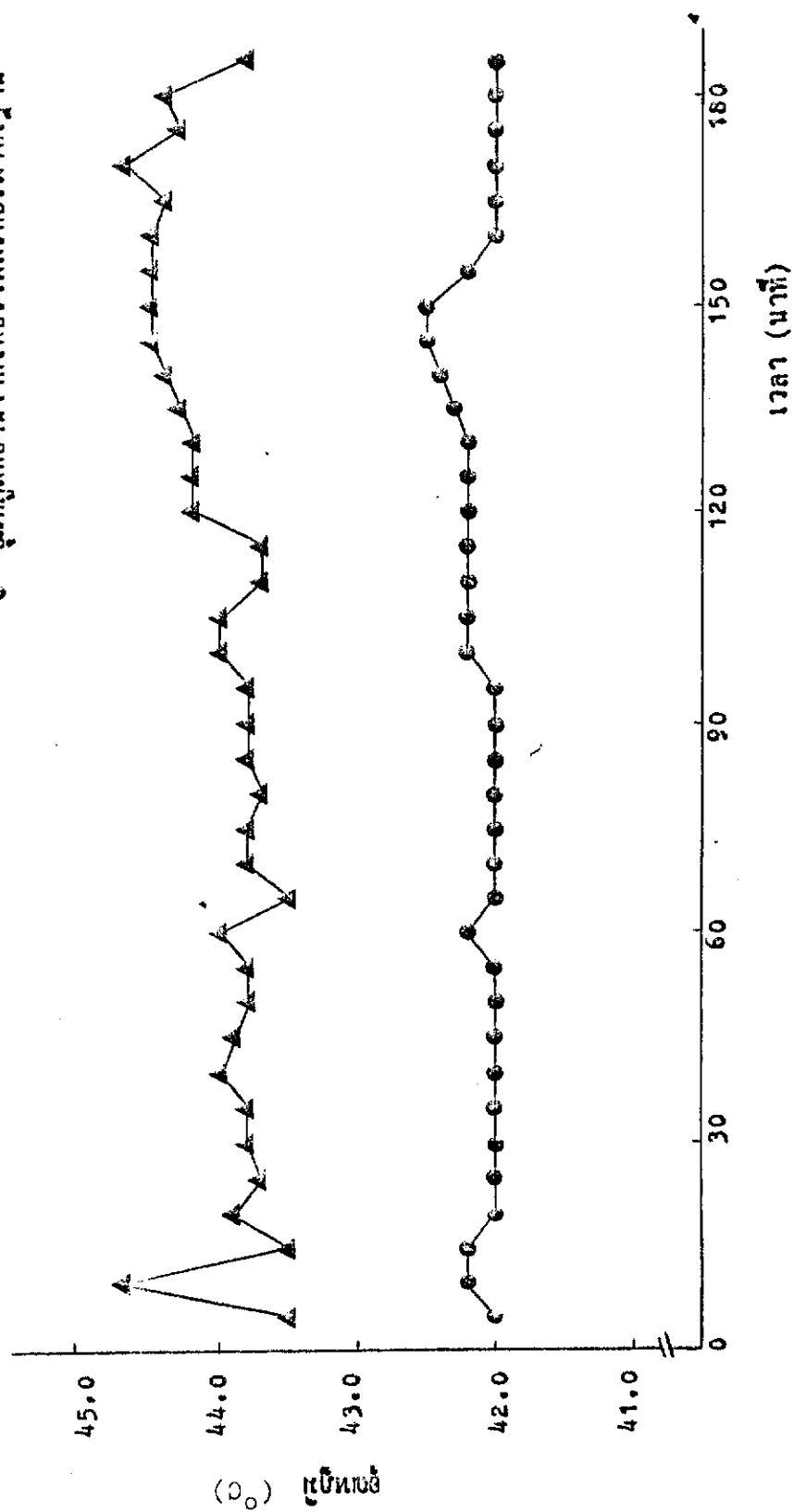
$t (df = 2, \alpha = 0.01) = \pm 9.925$ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

$t (df = 3, \alpha = 0.01) = \pm 5.841$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 7 แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัลที่อุณหภูมิ 50 , 60 , และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัลของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 40

- ▲ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล
- อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน



ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัลของเครื่องควบคุม
อุณหภูมิอากาศที่ 42 องศาเซลเซียส

2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมระยะยาวจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาว ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมโดยประมาณ (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย $\bar{X}$ (°C)	S
42	41.99	0.1592
50	50.50	3.0892
60	59.86	0.1745

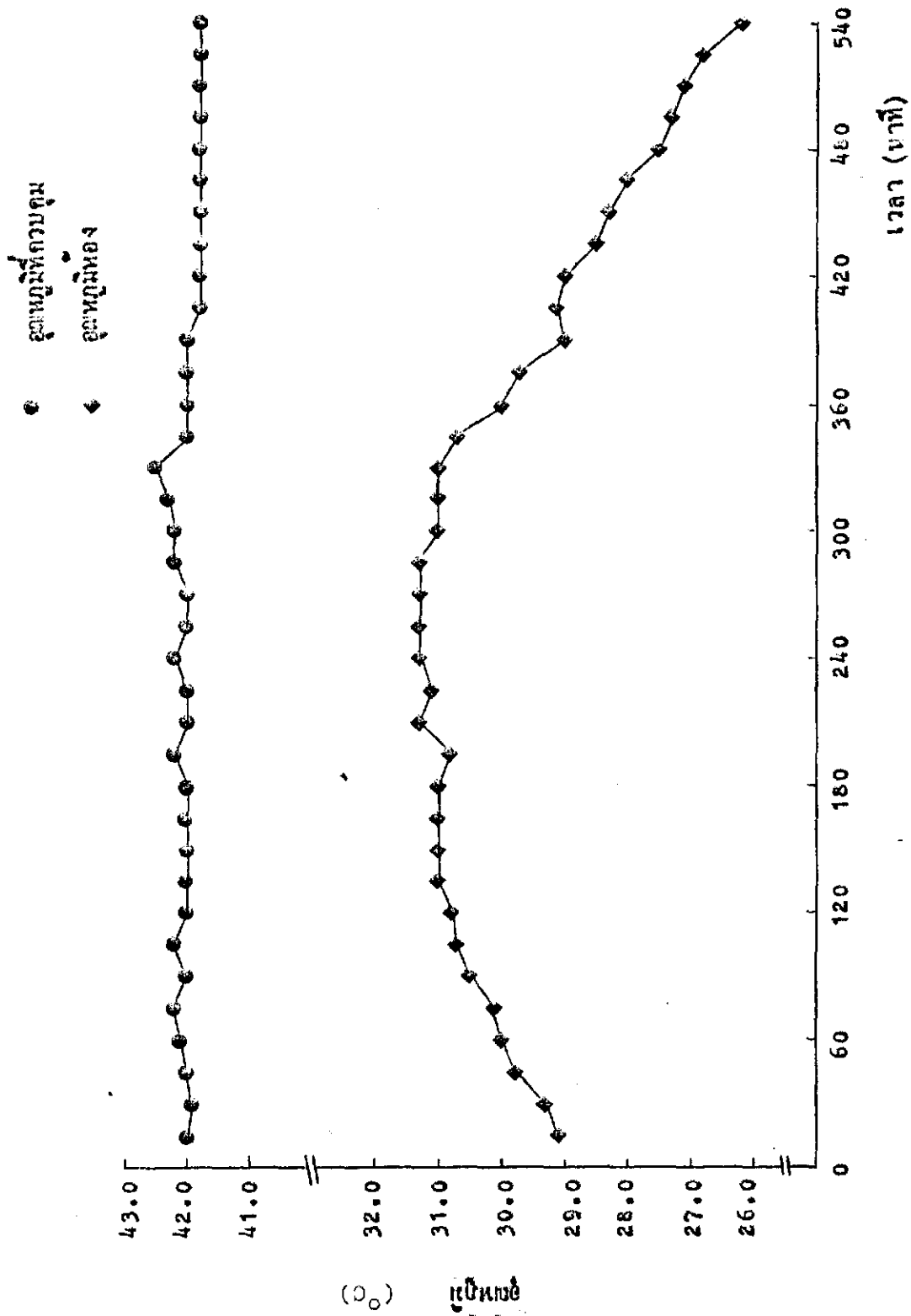
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 8 แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศมีความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาว เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้

1. อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส (S = 0.1592)
2. อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (S = 0.1745)
3. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (S = 3.0892)

ความแน่นอนสูงสุดของการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวที่ 42 องศาเซลเซียส

ความแน่นอนต่ำสุดของการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวที่ 50 องศาเซลเซียส

กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระบะยวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ 42 องศาเซลเซียส
โดยเปรียบเทียบกัอุณหภูมิห้อง

2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

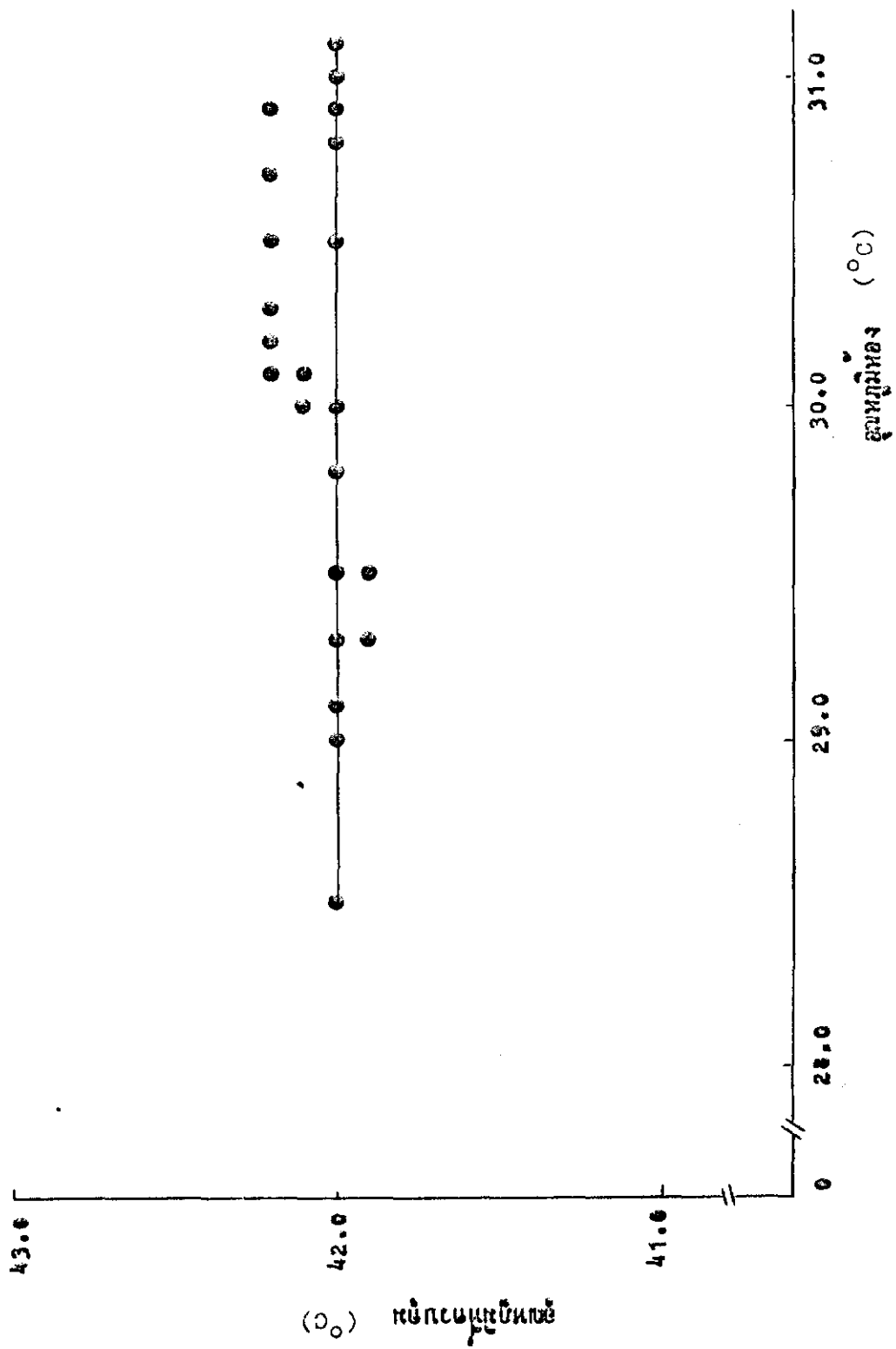
อุณหภูมิห้องเฉลี่ย $\bar{X}$ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมเฉลี่ย $\bar{Y}$ ($^{\circ}\text{C}$)	a_{yx}	b_{yx}	r	r^2
30.29	42.04	41.50	0.01	1.1504	0.0226
31.07	42.10	41.82	0.00	0.0227	0.0005
34.70	41.83	41.83	0.00	-0.0595	0.0035
33.60	50.93	69.83	-1.15	-0.1233	0.0152
30.40	50.05	51.73	-0.05	-0.0255	0.0006
30.85	49.92	4.65	1.46	0.2787	0.0776
31.63	59.70	52.34	0.23	0.8370	0.7006
32.72	59.95	57.26	0.08	0.2890	0.0835
31.27	59.94	58.20	0.05	0.3961	0.1569
31.80	70.21	59.15	0.34	0.6485	0.4205
33.15	71.60	31.68	1.20	0.5676	0.3221
34.30	70.81	52.10	0.54	0.8375	0.7015

ค่าเฉลี่ยของ $r = 0.3182$

ค่าเฉลี่ยของ $r^2 = 0.2087$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 9 แสดงว่า การวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.3182 ความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.2087

กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นในการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 42



ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นในการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่

42 องศาเซลเซียส

บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และเสนอข้อมูล

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 2 แบบคือ
 - 1.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน
 - 1.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ออกแบบและสร้างขึ้น
3. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่เครื่องมือจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิซึ่งใช้สะดวกและราคาประหยัดไว้ใช้ในหองปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

วิธีสร้าง

1. ออกแบบและทดลองวงจรไฟฟ้าของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ
2. สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ให้ความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ ± 0.1 องศาเซลเซียส
3. สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ให้ความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ ± 1.0 องศาเซลเซียส
4. วัดอุณหภูมิของน้ำและอากาศที่ควบคุมเป็นระยะ ๆ แล้วเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้องและเวลา เพื่อหาประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิทั้งระยะสั้นและระยะยาว

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน
 - 1.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะสั้นโดยอ่านจาก

เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน เพื่อหาความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นด้วย
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์
มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย $t - test$

1.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่
บริเวณควบคุม(กลางอ่าง) กับอุณหภูมิที่บริเวณมุมล่าง ด้วย $t - test$

1.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะยาวโดยอ่านจาก
เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน เพื่อหาความแน่นอนในระยะยาว ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.5 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง เพื่อหา
ความเป็นเชิงเส้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

2.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมในระยะสั้นโดยอ่านจาก
เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง
เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ด้วย $t - test$

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์
มาตรฐานเพื่อหาความแน่นอนในระยะยาวด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิห้อง เพื่อหา
ความเป็นเชิงเส้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่สร้าง มีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้

1.1 การควบคุมอุณหภูมิในระยะสั้นที่ 37 , 40 , 50 และ 60 องศาเซล-
เซียส มีความแน่นอนเท่ากับ 0.0006 , 0.0007 , 0.0018 และ 0.0229ตามลำดับ

แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่สร้างให้ความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้น ได้สูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้

1.2 การควบคุมอุณหภูมิในระยะยาวที่ 37 , 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียสมีความแน่นอนเท่ากับ 0.0662 , 0.0519 , 0.1122 และ 0.1127 ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนมีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวที่ 37 และ 40 องศาเซลเซียสสูงกว่าเป้าหมาย ส่วนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่าเป้าหมายเล็กน้อย

1.3 การวัดอุณหภูมิที่ควบคุมโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ให้ผลการวัดอุณหภูมิไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า เทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้ติดตามการควบคุมอุณหภูมิและสามารถใช้วัดอุณหภูมิของระบบทั่ว ๆ ไป ได้

1.4 การวัดอุณหภูมิที่บริเวณกลางอ่างและอุณหภูมิที่บริเวณมุมอ่างให้ผลแตกต่างกันทางสถิติที่อุณหภูมิ 37 และ 50 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า ในระบบควบคุมอุณหภูมินี้มีความลาดของอุณหภูมิอยู่จริง การแก้ไขความลาดของอุณหภูมิได้กระทำโดยให้น้ำในระบบไหลเวียนอย่างรวดเร็วและเป็นระเบียบ

1.5 ความสัมพันธ์ของการวัดอุณหภูมิที่ควบคุมกับอุณหภูมิห้อง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9371 และมีความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.0208 แสดงว่า อุณหภูมิห้องมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ควบคุมน้อยมาก เช่นเดียวกับข้อ 1.4 จึงอาจกล่าวได้ว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่สร้างนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ตรงตามเป้าหมายของการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศมีดังนี้

2.1 การควบคุมอุณหภูมิอากาศในระยะสั้นที่ 42 , 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแน่นอนเท่ากับ 0.1432 , 0.5502 , 0.1443 และ 0.6986

ตามลำดับ แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่สร้าง ให้ความแน่นอนในการควบคุม อุณหภูมิระยะสั้นสูงกว่าเป้าหมาย

2.2 การควบคุมอุณหภูมิอากาศในระยะยาวที่ 42 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นอนเท่ากับ 0.1592 , 3.0892 , และ 0.1745 ตามลำดับ แสดงว่า เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศมีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวที่ 42 และ 60 องศาเซลเซียสสูงกว่าเป้าหมาย ส่วนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีความแน่นอน ในการควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่าเป้าหมาย

2.3 ผลการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ คิจิตัลให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติที่อุณหภูมิ 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส ส่วนที่ อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสให้ผลการวัดอุณหภูมิแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เพราะขณะทำการ ทดลองชุดนี้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์คิจิตัลถูกรบกวนจากการแทรกสอดของ ความถี่วิทยุ (RF) ที่เกิดจากเครื่องมือก่อสร้างซึ่งอยู่ใกล้เคียงกัน

2.4 ผลของการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ควบคุมกับอุณหภูมิห้อง มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.3161 และความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.2037 แสดงว่า อุณหภูมิห้องมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ควบคุมน้อย เช่นเดียวกัน

3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนมีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าเครื่อง- ควบคุมอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 3 ประการคือ

3.1 น้ำมีมวลและความจุความร้อนมากกว่าอากาศ การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ของน้ำจึงเกิดขึ้นน้อยกว่าอากาศ ทั้งนี้เพราะน้ำต้องมีการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่มากกว่า อากาศเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

3.2 การจัดระบบการไหลเวียนของน้ำในระบบควบคุมกระทำได้ง่ายกว่า และดีกว่าระบบของอากาศ จึงทำให้ความลาดของอุณหภูมิในระบบมีน้อย ซึ่งจะส่งผลให้มี ความแน่นอนของการควบคุมอุณหภูมิในระบบด้วย

3.3 ในระบบอากาศมีการรั่วไหล ทำให้มีการถ่ายเทมวลมาก ส่วนของน้ำ จะเกิดได้เฉพาะส่วนที่เป็นไอน้ำเท่านั้น

4. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศซึ่งงบประมาณในการสร้างในวงเงินประมาณ 2,000 บาท มีประสิทธิภาพในการทำงานดี ราคาประหยัด และใช้สะดวก เหมาะสมสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการและงานวิจัยโดยทั่วไป

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ถ้าได้รับการปรับปรุงดังต่อไปนี้

1.1 ปรับปรุงวงจรควบคุมอุณหภูมิและวงจรควบคุมความเร็วของเครื่อง-กวนน้ำ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการย่อยละของความผิดพลาดน้อย หรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูง

1.2 เลือกใช้เทอร์มิสเตอร์ที่มีคุณภาพและค่าความต้านทานที่เหมาะสม

1.3 ควรต่อสายสัญญาณระหว่างวงจรต่าง ๆ ให้สั้นที่สุด

1.4 ทำอ่างควบคุมอุณหภูมิหรือตู้ควบคุมอุณหภูมิให้เป็นระบบปิดที่มีฉนวนดีที่สุด

1.5 ปรับปรุงการทำงานของเครื่องกวนน้ำเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดความลาดของอุณหภูมิให้มากที่สุด

2. ในการศึกษาคนควาครั้งต่อไปควรสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่มีความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิสูง ๆ เพื่อใช้ในงานวิจัยที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอย่างละเอียด

3. เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์สร้างเครื่องมืออื่น ๆ เช่น เครื่องฟกไข่
 คู่มือสาร เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม
แห่งชาติฉบับที่ 5 พ.ศ. 2525 - 2529 2525, 433 หน้า

ชูศรี วงศ์ธนะ เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์เจริญผล 2527,
370 หน้า

ยีน กูวรวรรณ อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม ซีเอ็ดยูเคชั่น 2524, 277 หน้า

สุทิน สัมปัตตะวนิช พจนานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 2 แพร่พิทยา ม.ป.ป.,
884 หน้า

Bell, E.C. and Hulley, L.F. "Precision Temperature Control,"
PROC. IEE. 10 : 1671 - 1677, October, 1966.

Boucher, E.A. "Theory and Application of Thermistors," Journal of
Chemical Education. 11 : A935 - A964, November, 1967.

Ferguson, George A. Statistical Analysis in Psychology and Education
3 rd. ed., New York, Mc Graw - Hill Book Co., 1976. 529 p.

Greenblatt, Sherwin. "Transistor Becomes Sensor in Temperature
Regulator," Electronics. 28 : 65, November, 1964.

Sarid, Dror and Cannell, David S. "A ± 15 Microdegree Temperature
Controller," Review Science Instrument. 9 : 1082, September,
1974.

Spomer, L Art. "A Simple Inexpensive Proportional Waterbath
Temperature Controller," Journal of Physics E : Scientific
Instruments. 15 : 1163 - 1164, 1982.

Swaay, Maarten Van. "The Control of Temperature - Part One,"
Journal of Chemical Education. 8 : A515, August, 1969.

"Temperature Controllers," EPI Pop Project No. 4. 92 - 97,
October, 1976.

Thermistor Data 1978/9. England, International Telephone and
Telegraph Corporation, 1977, 40 p.

Williams, Gordon I and House, William A. "Thermistor Controlled
Water/Oil Bath for Precision Measurements in the Range 0 - 30° C,"
Journal of Physics E : Scientific Instruments. 14 : 755 - 760,
1981.

ภาพรวม

ภาคผนวก ก
การแทรกสอดของคลื่นวิทยุ

การแทรกสอดของความถี่วิทยุ (Radio - Frequency Interference : RFI)

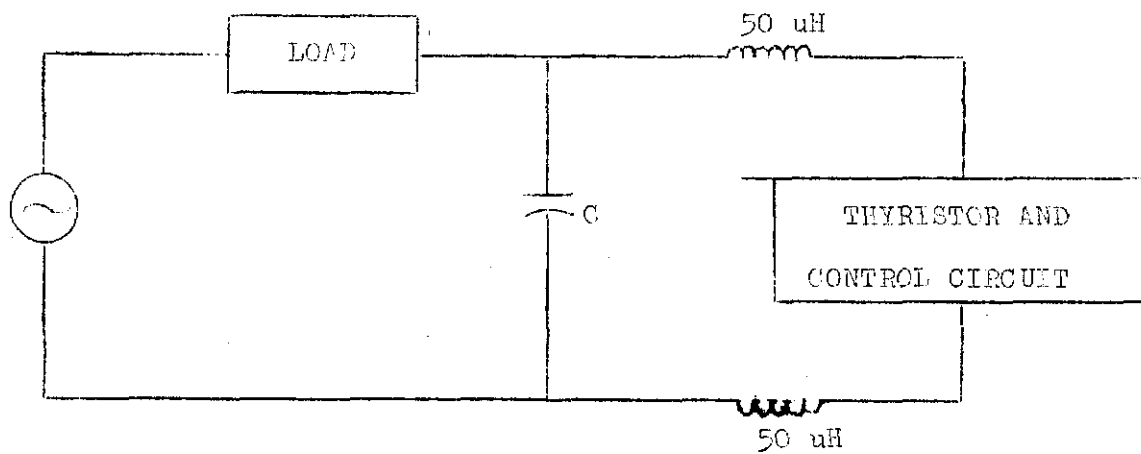
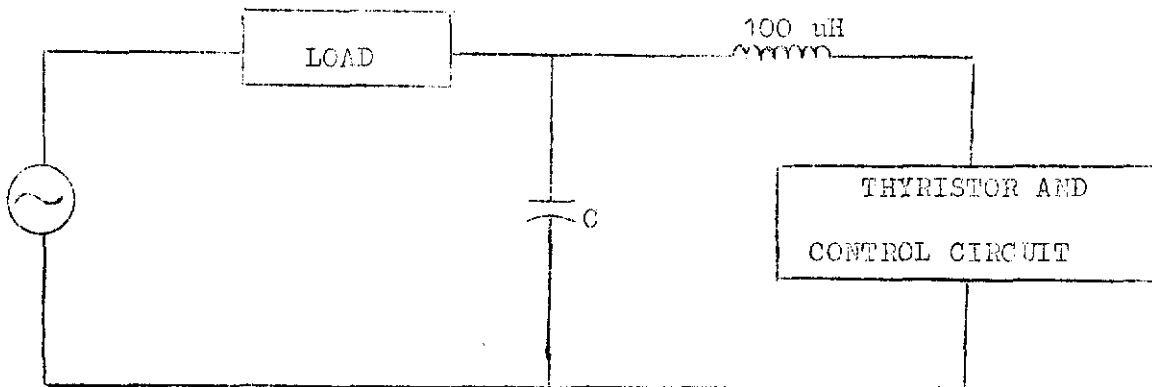
การแทรกสอดของความถี่วิทยุ หมายถึง การเกิดสารโหมกความถี่สูงซึ่งสามารถเข้าไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ หรือทำให้เกิดคลื่นรบกวนขึ้นภายในเครื่องรับวิทยุได้

การแทรกสอดของความถี่วิทยุ เกิดจากอุปกรณ์ที่มีไทรแอดประกอบอยู่ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดกระแสไฟฟ้า เมื่อเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันภายในเวลาหนึ่งถึงสองในล้านส่วนของวินาที จึงทำให้เกิดสารโหมกความถี่สูงมีแอมพลิจูดแปรผกผันกับความถี่สำหรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบวัฏภาคนั้นก็มีไทรแอดประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละครึ่งของรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป การเปิด-ปิดสวิตช์ของไทรแอดจึงเกิดขึ้นหลายครั้งในหนึ่งวินาที ทำให้มีการรบกวนภายในอุปกรณ์ที่มีความไวต่อความถี่ เช่น เครื่องรับวิทยุระบบเอเอ็ม เป็นต้น โดยทั่วไปการแทรกสอดของความถี่วิทยุที่เกิดจากไทรแอดมีระดับต่ำกว่าการแทรกสอดของความถี่วิทยุที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฟฟ้าแบบแรงดัน และ การเปิด-ปิดของหน้าสัมผัสในอิเล็กทรอนิกส์แม่เหล็กเลย แต่เราก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยติดตั้งวงจรกรองความถี่วิทยุเพิ่มเข้าไป

การแทรกสอดของความถี่วิทยุที่เกิดจากการเปิด-ปิดสวิตช์ของไทรแอดมี 2 ชนิดคือ

1. การแทรกสอดของความถี่สูง ที่สามารถส่งเป็นคลื่นวิทยุไปในอากาศได้ซึ่งกรณีนี้ไม่สำคัญถ้าหากเครื่องรับวิทยุไม่ได้ติดตั้งอยู่ใกล้

2. การแทรกสอดที่ถูกเหนี่ยวนำไปตามสายไฟฟ้า กรณีเช่นนี้มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กระแสไฟฟ้ารวมสายเดียวกัน วิธีแก้ปัญหานี้กระทำได้โดยการกรองซึ่งในเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบวัฏภาคนั้นใช้วงจรกรองแบบแอลซี (LC filter) โดยตัวเก็บประจุ (capacitor) ที่ติดตั้งในวงจรนี้จะป้อนทางผ่านของสัญญาณความถี่สูง จึงทำให้มันไม่เข้าไปในวงจรอื่น ๆ



ภาพประกอบ 43 แสดงวงจรกรองความถี่วิทยุ

($C = 0.1 \mu\text{F}$, 200 V ที่ 120 V ac; $0.1 \mu\text{F}$, 400 V ที่ 240 V ac)

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิของ
เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อน

ตาราง 10. แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 37 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	37.0	37.0	34.5	31.5
10	37.0	37.5	34.5	32.0
15	37.0	37.5	34.9	32.0
20	37.0	37.5	34.6	32.0
25	37.0	37.3	34.3	32.0
30	37.0	37.4	34.8	32.0
35	37.0	37.7	35.1	32.1
40	37.0	37.5	35.0	32.2
45	37.0	37.7	34.9	32.2
50	37.1	37.6	35.3	32.1
55	37.1	37.6	36.0	32.2
60	37.2	37.5	35.3	33.0
65	37.2	37.4	35.5	33.0
70	37.2	37.8	36.0	33.0
75	37.3	37.5	35.5	33.0
80	37.3	37.6	36.2	33.0
85	37.0	37.4	35.1	33.0
90	37.1	37.7	35.4	33.5
95	37.1	37.5	36.9	33.5

ตาราง 10 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	37.0	37.5	36.2	33.5
105	37.0	37.5	35.6	33.0
110	37.0	37.4	35.4	33.0
115	37.0	37.3	35.2	33.0
120	37.0	37.1	35.1	33.2
125	37.0	37.2	35.2	33.2
130	37.0	37.0	34.7	33.2
135	37.0	37.1	34.8	33.5
140	37.0	37.1	35.1	34.0
145	37.0	37.1	35.3	34.0
150	37.0	37.2	35.2	34.0
155	37.0	37.2	35.2	34.0
160	37.0	37.2	35.0	34.0
165	37.0	37.3	35.3	34.0
170	37.0	37.3	35.7	34.0
175	37.0	37.1	35.4	34.1
180	37.0	37.4	35.4	34.1

ตาราง 11 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 37 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	37.0	37.1	35.5	34.2
10	37.0	37.3	35.6	34.3
15	37.0	37.2	35.7	34.5
20	37.0	37.4	35.4	34.7
25	37.0	37.4	35.4	34.5
30	37.0	37.3	35.6	35.0
35	37.0	37.3	36.1	35.0
40	37.0	37.5	36.2	35.0
45	37.0	37.5	35.5	34.8
50	37.0	37.6	35.6	35.0
55	37.0	37.3	35.4	35.0
60	37.0	37.4	35.8	35.0
65	37.0	37.5	35.5	35.4
70	37.0	37.4	35.4	35.5
75	37.0	37.3	35.2	34.4
80	37.0	37.3	35.6	35.0
85	37.0	37.3	35.6	34.8
90	37.0	37.5	36.0	34.9
95	37.0	37.5	36.0	35.0

ตาราง 11 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	37.0	37.4	35.6	34.8
105	37.0	37.5	36.2	34.5
110	37.0	37.6	35.8	34.5
115	37.0	37.5	35.6	35.0
120	37.0	37.4	35.4	35.0
125	37.0	37.2	35.6	35.0
130	37.0	37.5	35.9	35.0
135	37.0	37.2	35.6	35.0
140	37.0	37.2	35.9	34.8
145	37.1	37.5	36.0	34.2
150	37.0	37.6	36.0	34.1
155	37.0	37.5	35.6	34.0
160	37.0	37.5	35.9	34.0
165	37.0	37.3	35.3	34.0
170	37.0	37.4	35.4	33.9
175	37.0	37.1	35.4	33.0
180	37.0	37.1	35.6	33.6

ตาราง 12 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 37 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	37.0	37.4	36.0	33.5
10	37.0	37.5	35.7	33.3
15	37.0	37.3	35.4	33.2
20	37.0	37.3	35.4	33.1
25	37.0	37.1	35.3	33.0
30	37.0	37.3	35.2	33.0
35	37.0	37.3	35.2	33.0
40	37.0	37.2	35.2	32.9
45	37.0	37.1	35.2	32.9
50	37.0	37.1	35.1	32.8
55	37.0	37.1	35.2	32.8
60	37.0	37.2	35.6	32.2
65	37.0	37.0	34.8	32.2
70	37.0	37.0	35.0	32.0
75	37.0	37.0	35.6	32.1
80	37.0	37.0	34.9	32.1
85	37.0	37.0	34.7	32.1
90	37.0	37.0	34.8	32.0
95	37.0	37.0	34.8	32.0

ตาราง 12 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	37.0	37.0	34.9	32.0
105	37.0	37.0	34.7	32.0
110	37.0	37.0	34.6	32.0
115	37.0	37.1	35.1	31.9
120	37.0	37.0	34.3	31.9
125	37.0	37.0	34.9	31.5
130	37.0	37.0	34.3	31.5
135	37.0	37.0	35.1	31.5
140	37.0	37.1	34.5	31.5
145	37.0	37.2	34.9	31.2
150	37.0	37.1	34.3	31.3
155	37.0	37.1	34.5	31.5
160	37.0	37.0	34.7	31.2
165	37.0	37.1	34.2	31.2
170	37.0	37.0	34.6	31.2
175	37.0	37.0	34.8	31.0
180	37.0	37.1	34.7	31.0

ตาราง 13 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาท)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	40.0	40.0	37.6	33.0
10	40.0	40.0	37.0	33.0
15	39.6	39.9	37.3	33.0
20	40.0	40.0	37.1	33.0
25	40.0	40.0	37.2	33.0
30	39.8	39.9	37.3	32.5
35	40.0	40.0	37.0	33.0
40	40.0	40.0	37.2	33.0
45	40.0	40.0	37.2	33.0
50	39.8	39.9	36.9	32.8
55	39.8	39.9	37.3	32.0
60	39.8	39.9	37.4	31.5
65	40.0	40.0	37.2	31.2
70	40.0	40.0	37.4	31.0
75	40.0	40.0	37.0	31.3
80	40.0	40.0	36.9	30.5
85	40.0	40.0	37.1	30.2
90	39.8	39.8	36.5	30.5
95	39.9	39.9	36.7	31.0

ตาราง 13 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ มุมอ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	39.9	39.9	37.0	31.5
105	39.8	39.8	36.5	32.0
110	40.0	40.5	37.9	32.0
115	40.0	40.2	37.7	32.0
120	40.0	40.0	37.1	31.0
125	40.0	40.1	37.3	31.0
130	40.0	40.0	37.3	31.0
135	40.0	40.0	37.4	31.2
140	40.0	40.0	37.2	32.2
145	40.0	40.0	37.7	32.0
150	40.0	40.0	37.4	32.0
155	40.0	40.2	37.9	32.0
160	40.0	40.0	37.5	32.5
165	40.0	40.0	37.1	33.0
170	40.0	40.1	37.2	33.0
175	40.0	40.1	37.3	33.1
180	40.0	40.1	37.5	33.2

ตาราง 14 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40
อวศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	40.0	40.1	37.6	33.2
10	40.0	40.0	38.1	33.2
15	40.0	40.0	38.4	33.5
20	40.0	40.0	37.8	33.7
25	40.0	40.1	38.0	33.8
30	40.0	40.1	37.6	33.2
35	40.0	40.1	38.2	33.5
40	40.0	40.1	37.5	33.7
45	40.0	40.2	38.4	33.8
50	40.0	40.2	38.4	33.5
55	40.0	40.1	38.5	33.0
60	40.0	40.0	37.4	33.0
65	40.0	40.1	37.6	33.2
70	40.0	40.1	37.1	33.2
75	40.0	40.2	37.5	33.1
80	40.0	40.1	38.7	33.2
85	40.0	40.2	38.1	33.5
90	40.0	40.2	38.5	33.7
95	40.0	40.3	38.7	33.5

ตาราง 14 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	40.1	40.5	38.6	33.8
105	40.0	40.1	38.4	33.3
110	40.0	40.1	39.0	33.5
115	40.0	40.1	38.2	33.2
120	40.0	40.3	38.7	33.7
125	40.0	40.1	38.2	33.7
130	40.0	40.0	37.9	33.5
135	40.0	40.1	38.1	33.4
140	40.0	40.0	38.0	33.2
145	40.0	40.1	38.7	33.0
150	40.0	40.5	39.0	33.0
155	40.0	40.2	38.4	33.0
160	40.0	40.0	37.9	33.0
165	40.0	40.0	38.1	33.0
170	40.0	40.1	37.9	33.0
175	40.0	40.2	37.7	32.8
180	40.0	40.2	37.9	32.8

ตาราง 15 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ มุมอ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์กึ่งตัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	40.0	40.0	37.0	32.5
10	40.0	40.0	37.6	32.3
15	40.0	40.1	38.2	32.5
20	40.0	40.1	37.7	32.3
25	40.0	40.0	37.5	32.0
30	40.0	40.0	37.8	32.0
35	40.0	40.1	38.4	32.0
40	40.0	40.0	37.6	32.0
45	40.0	40.0	37.8	32.0
50	40.0	40.0	37.1	31.9
55	40.0	40.1	37.4	31.9
60	40.0	40.0	37.9	31.6
65	40.0	40.0	37.3	31.5
70	40.0	40.0	37.7	31.4
75	40.0	40.0	37.5	31.4
80	40.0	40.0	37.6	31.4
85	40.0	40.0	37.5	31.3
90	40.0	40.0	37.2	31.2
95	40.0	40.0	37.5	31.3

ตาราง 15 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ มุมมอง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	40.0	40.1	38.3	31.2
105	40.0	40.0	37.7	31.1
110	40.0	40.0	37.6	31.0
115	40.0	40.0	36.9	31.0
120	40.0	40.0	37.1	31.0
125	40.0	40.0	36.3	31.0
130	40.0	40.0	36.4	31.0
135	40.0	40.2	38.0	31.0
140	40.0	40.0	38.1	31.0
145	40.0	40.0	37.9	31.0
150	40.0	40.0	37.5	31.0
155	40.0	40.0	37.5	31.0
160	40.0	40.0	37.7	31.0
165	40.0	40.0	38.1	31.0
170	40.0	40.0	36.4	30.9
175	40.0	40.0	36.2	30.9
180	40.0	40.0	37.3	30.9

ตาราง 16 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	50.0	50.2	50.2	32.5
10	50.0	50.3	50.4	32.2
15	50.0	50.3	50.4	32.0
20	50.0	50.3	50.3	32.0
25	49.9	50.1	49.9	32.0
30	50.0	50.1	50.2	32.0
35	50.0	50.1	49.9	32.0
40	50.0	50.2	50.3	32.0
45	50.0	50.5	50.2	32.0
50	50.0	50.3	50.4	32.0
55	50.0	50.3	50.1	31.8
60	50.0	50.4	50.0	31.7
65	50.0	50.3	50.0	31.5
70	50.0	50.2	50.2	31.5
75	50.0	50.3	49.9	31.2
80	50.0	50.1	49.6	31.2
85	50.0	50.1	49.5	31.1
90	50.0	50.1	49.8	31.0
95	50.0	50.3	49.9	31.0

ตาราง 16 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	50.0	50.1	49.9	31.0
105	50.0	50.1	49.8	31.0
110	50.0	50.3	50.1	31.0
115	50.0	50.2	49.9	31.0
120	50.0	50.1	49.6	31.0
125	50.0	50.2	50.1	31.0
130	50.0	50.1	49.7	31.0
135	50.0	50.1	49.5	31.0
140	50.0	50.2	49.5	31.0
145	49.9	50.1	48.9	30.9
150	50.0	50.3	49.3	30.9
155	50.0	50.2	49.0	30.9
160	50.0	50.2	48.9	30.9
165	50.0	50.2	49.1	30.9
170	50.0	50.1	49.4	30.9
175	50.0	50.3	49.3	30.8
180	50.0	50.3	49.2	30.8

ตาราง 17 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	50.0	50.3	50.3	34.0
10	50.0	50.2	50.3	34.0
15	50.0	50.5	50.4	34.0
20	50.0	50.5	50.7	33.6
25	50.0	50.2	50.0	33.5
30	50.0	50.5	50.7	33.2
35	50.0	50.5	50.3	33.1
40	50.0	50.3	50.3	33.2
45	50.0	50.7	50.4	33.2
50	50.0	50.2	50.1	33.0
55	50.0	50.5	50.6	33.6
60	50.0	50.3	50.2	33.0
65	50.0	50.4	50.4	32.8
70	50.0	50.1	49.9	32.8
75	50.0	50.1	49.8	32.6
80	50.0	50.2	50.0	32.5
85	50.0	50.2	49.7	32.3
90	50.0	50.4	49.9	32.3
95	50.0	50.5	50.2	32.0

ตาราง 17 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	50.0	50.2	49.6	32.0
105	50.0	50.1	49.7	32.0
110	50.0	50.2	49.9	32.0
115	50.0	50.2	49.5	31.8
120	50.0	50.1	49.5	31.8
125	50.0	50.4	50.0	31.5
130	50.0	50.5	49.8	31.5
135	50.0	50.2	49.5	31.4
140	50.0	50.5	50.0	31.2
145	50.0	50.1	49.5	31.2
150	50.0	50.0	49.4	31.2
155	50.0	50.4	50.0	31.2
160	49.9	50.0	49.2	31.2
165	50.0	50.5	49.8	31.2
170	50.0	50.1	49.7	31.2

ตาราง 18 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ มุมอ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	50.0	50.2	49.7	31.2
10	50.0	50.2	49.7	31.2
15	50.0	50.2	50.0	31.1
20	49.9	50.0	49.0	30.3
25	49.9	50.0	49.3	30.0
30	49.5	49.8	48.6	29.1
35	49.5	49.9	48.6	29.0
40	49.5	50.0	48.4	29.0
45	49.9	50.0	49.2	29.0
50	49.9	50.0	48.7	29.0
55	50.0	50.2	48.9	29.0
60	50.0	50.2	49.0	28.5
65	50.0	50.1	48.6	28.5
70	50.0	50.2	50.2	28.1
75	49.9	50.0	48.7	28.1
80	50.0	50.1	49.2	28.0
85	50.0	50.1	49.2	28.0
90	50.0	50.1	48.8	28.0
95	50.0	50.1	48.8	28.2

ตาราง 18 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	50.0	50.2	49.0	28.3
105	50.0	50.2	49.3	28.3
110	49.3	50.0	48.8	28.5
115	50.0	50.0	48.9	28.5
120	49.8	50.2	48.5	28.3
125	49.9	50.0	48.7	28.3
130	50.0	51.0	49.0	28.2
135	49.7	50.0	48.4	28.2
140	50.0	50.3	49.3	28.1
145	50.0	50.1	48.8	28.1
150	50.0	50.2	49.3	28.5
155	50.0	50.2	49.1	28.5
160	50.0	50.1	49.0	28.5
165	50.0	50.3	49.3	28.6
170	50.0	50.3	49.7	28.7
175	50.0	50.3	49.3	28.7
180	50.0	50.3	49.4	28.7

ตาราง 19 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	60.0	60.8	62.4	35.1
10	60.0	60.5	62.0	35.1
15	60.2	61.0	62.3	35.2
20	60.0	60.5	62.0	35.0
25	60.0	61.0	62.3	35.0
30	60.0	60.8	62.0	35.0
35	60.0	61.0	62.6	35.1
40	60.0	60.8	62.6	35.0
45	60.0	60.8	62.6	35.0
50	60.2	61.0	62.8	35.0
55	60.0	60.5	62.2	35.0
60	60.1	61.0	62.7	35.0
65	60.0	60.3	61.9	35.0
70	60.2	61.0	62.9	35.0
75	60.0	60.5	62.6	35.0
80	60.2	61.0	63.0	35.0
85	60.0	60.7	62.4	35.0
90	60.2	61.0	63.0	34.9
95	60.0	60.7	62.3	34.9

ตาราง 19 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	60.2	61.1	62.6	35.0
105	60.0	60.7	62.3	34.8
110	60.2	61.1	63.2	34.8
115	60.0	60.5	62.5	34.8
120	60.2	61.0	63.6	34.9
125	60.0	60.2	62.6	34.8
130	60.2	61.0	62.7	34.6
135	60.0	60.7	62.2	34.5
140	60.0	60.8	62.5	34.5
145	60.0	60.8	62.3	34.3
150	60.0	60.8	62.2	34.3
155	60.0	60.5	62.2	34.2
160	60.2	61.0	62.5	34.0
165	60.0	60.7	62.2	34.0
170	60.0	60.7	62.0	33.9
175	60.0	60.8	62.0	33.9
180	60.0	60.7	62.3	33.5

ตาราง 20 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	60.0	60.8	62.0	33.5
10	60.0	60.3	61.8	33.4
15	60.0	61.0	62.3	33.2
20	60.0	60.3	61.5	33.1
25	60.0	60.9	61.9	33.0
30	60.0	60.2	61.7	33.0
35	60.0	60.0	62.4	32.0
40	60.0	60.0	61.4	32.5
45	60.0	61.0	61.8	32.2
50	60.0	60.2	61.2	32.1
55	60.0	60.5	61.2	32.0
60	60.0	60.2	61.2	32.0
65	60.0	60.8	61.4	32.0
70	60.0	60.1	61.0	32.0
75	60.0	60.5	61.1	31.9
80	60.0	60.2	61.4	32.0
85	60.0	60.7	61.5	32.0
90	60.0	60.1	60.3	32.0
95	60.0	60.4	61.3	31.9

ตาราง 20 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	60.0	60.3	61.1	31.9
105	60.0	60.5	61.1	31.9
110	60.0	60.1	60.6	31.8
115	60.0	60.5	60.7	31.5
120	60.0	60.1	60.3	31.5
125	60.0	60.5	60.7	31.5
130	59.5	60.0	60.0	31.3
135	60.0	60.5	60.4	31.3
140	60.0	60.5	60.3	31.2
145	59.9	60.1	60.1	31.2
150	59.6	60.0	60.0	31.2
155	60.0	60.5	60.5	31.0
160	60.0	60.5	60.5	31.0
165	60.0	60.1	60.4	31.0
170	59.6	60.1	60.1	31.0
175	59.6	60.0	59.9	31.0
180	60.0	60.3	60.5	31.0

ตาราง 21 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	60.0	60.5	59.9	29.1
10	60.0	60.2	59.5	29.0
15	59.8	60.0	59.2	29.0
20	60.0	60.4	59.8	29.0
25	59.9	60.1	59.4	29.0
30	59.5	60.0	59.2	29.1
35	60.0	60.5	59.7	29.1
40	59.3	60.0	59.4	29.1
45	60.0	60.3	59.6	29.1
50	59.3	60.0	58.7	29.2
55	60.0	60.3	59.8	29.2
60	59.7	60.0	59.2	29.2
65	60.0	60.2	60.0	29.2
70	59.4	59.9	67.5	29.0
75	60.0	60.3	67.2	29.0
80	59.5	60.0	66.3	29.0
85	60.0	60.5	68.7	29.0
90	59.4	60.0	69.5	29.0
95	60.0	60.5	68.9	29.0

ตาราง 21 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่บริเวณ หม้ออ่าง (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	59.5	60.0	66.6	29.0
105	60.0	60.5	66.4	29.0
110	59.3	59.8	65.1	29.0
115	60.0	60.3	64.5	29.0
120	59.3	60.0	63.5	29.0
125	59.0	60.1	63.6	29.0
130	59.5	59.8	62.9	29.0
135	60.0	60.4	63.0	29.0
140	59.8	60.1	62.2	29.0
145	59.7	60.0	62.2	29.0
150	60.0	60.2	62.2	29.0
155	59.6	60.1	63.2	29.0
160	60.0	60.1	61.6	29.0
165	59.8	60.1	61.4	28.5
170	60.0	60.3	64.4	28.8
175	59.5	59.9	65.9	29.0
180	59.3	60.1	66.5	29.0

ตาราง 22 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่
37 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	37.0	31.5	105	37.0	33.0
10	37.0	32.0	110	37.0	33.0
15	37.0	32.0	115	37.0	33.0
20	37.0	32.0	120	37.0	33.2
25	37.0	32.0	125	37.0	33.2
30	37.0	32.0	130	37.0	33.2
35	37.0	32.1	135	37.0	33.5
40	37.0	32.2	140	37.0	34.0
45	37.0	32.2	145	37.0	34.0
50	37.1	32.1	150	37.0	34.0
55	37.1	32.2	155	37.0	34.0
60	37.2	33.0	160	37.0	34.0
65	37.2	33.0	165	37.0	34.0
70	37.2	33.0	170	37.0	34.0
75	37.3	33.0	175	37.0	34.1
80	37.3	33.0	180	37.4	34.1
85	37.0	33.0	185	37.0	34.2
90	37.1	33.5	190	37.0	34.3
95	37.1	33.5	195	37.0	34.5
100	37.0	33.5	200	37.0	34.7

ตาราง 22 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	37.0	34.5	310	37.0	35.0
210	37.0	35.0	315	37.0	35.0
215	37.0	35.0	320	37.0	34.8
220	37.0	35.0	325	37.1	34.2
225	37.0	34.8	330	37.0	34.1
230	37.0	35.0	335	37.0	34.0
235	37.0	35.0	340	37.0	34.0
240	37.0	35.0	345	37.0	34.0
245	37.0	35.4	350	37.0	33.9
250	37.0	35.5	355	37.0	33.8
255	37.0	34.4	360	37.0	33.6
260	37.0	35.0	365	37.0	33.5
265	37.0	34.8	370	37.0	33.3
270	37.0	34.9	375	37.0	33.2
275	37.0	35.0	380	37.0	33.1
280	37.0	34.8	385	37.0	33.0
285	37.0	34.5	390	37.0	33.0
290	37.0	34.5	395	37.0	33.0
295	37.0	35.0	400	37.0	32.9
300	37.0	35.0	405	37.0	32.9
305	37.0	35.0	410	37.0	32.8

ตาราง 22 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
415	37.0	32.6	480	37.0	31.9
420	37.0	32.2	485	37.0	31.5
425	37.0	32.2	490	37.0	31.5
430	37.0	32.0	495	37.0	31.5
435	37.0	32.1	500	37.0	31.5
440	37.0	32.1	505	37.0	31.2
445	37.0	32.1	510	37.0	31.3
450	37.0	32.0	515	37.0	31.5
455	37.0	32.0	520	37.0	31.2
460	37.0	32.0	525	37.0	31.2
465	37.0	32.0	530	37.0	31.2
470	37.0	32.0	535	37.0	31.0
475	37.0	31.9	540	37.0	31.0

ตาราง 23 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่
40 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	40.0	33.0	105	39.8	32.0
10	40.0	33.0	110	40.0	32.0
15	39.8	33.0	115	40.0	32.0
20	40.0	33.0	120	40.0	31.0
25	40.0	33.0	125	40.0	31.0
30	39.8	32.5	130	40.0	31.0
35	40.0	33.0	135	40.0	31.2
40	40.0	33.0	140	40.0	32.2
45	40.0	33.0	145	40.0	32.0
50	39.8	32.8	150	40.0	32.0
55	39.8	32.0	155	40.0	32.0
60	39.8	31.5	160	40.0	32.5
65	40.0	31.2	165	40.0	33.0
70	40.0	31.0	170	40.0	33.0
75	40.0	31.3	175	40.0	33.1
80	40.0	30.5	180	40.0	33.2
85	40.0	30.2	185	40.0	33.2
90	39.8	30.5	190	40.0	33.2
95	39.9	31.0	195	40.0	33.5
100	39.9	31.5	200	40.0	33.7

ตาราง 23 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	40.0	33.8	310	40.0	33.5
210	40.0	33.2	315	40.0	33.4
215	40.0	33.5	320	40.0	33.2
220	40.0	33.7	325	40.0	33.0
225	40.0	33.6	330	40.0	33.0
230	40.0	33.5	335	40.0	33.0
235	40.0	33.0	340	40.0	33.0
240	40.0	33.0	345	40.0	33.0
245	40.0	33.2	350	40.0	33.0
250	40.0	33.2	355	40.0	32.8
255	40.0	33.1	360	40.0	32.8
260	40.0	33.2	365	40.0	32.5
265	40.0	33.5	370	40.0	32.3
270	40.0	33.7	375	40.0	32.5
275	40.0	33.5	380	40.0	32.3
280	40.1	33.5	385	40.0	32.0
285	40.0	33.3	390	40.0	32.0
290	40.0	33.5	395	40.0	32.0
295	40.0	33.2	400	40.0	32.0
300	40.0	33.7	405	40.0	32.0
305	40.0	33.7	410	40.0	31.9

ตาราง 23 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
415	40.0	31.9	480	40.0	31.0
420	40.0	31.8	485	40.0	31.0
425	40.0	31.5	490	40.0	31.0
430	40.0	31.4	495	40.0	31.0
435	40.0	31.4	500	40.0	31.0
440	40.0	31.4	505	40.0	31.0
445	40.0	31.3	510	40.0	31.0
450	40.0	31.2	515	40.0	31.0
455	40.0	31.3	520	40.0	31.0
460	40.0	31.2	525	40.0	31.0
465	40.0	31.1	530	40.0	30.9
470	40.0	31.0	535	40.0	30.9
475	40.0	31.0	540	40.0	30.9

ตาราง 24 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่
50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	50.0	34.0	105	50.0	32.0
10	50.0	34.0	110	50.0	32.0
15	50.0	34.0	115	50.0	31.8
20	50.0	33.8	120	50.0	31.8
25	50.0	33.5	125	50.0	31.5
30	50.0	33.2	130	50.0	31.5
35	50.0	33.1	135	50.0	31.4
40	50.0	33.2	140	50.0	31.2
45	50.0	33.2	145	50.0	31.2
50	50.0	33.0	150	50.0	31.2
55	50.0	33.0	155	50.0	31.2
60	50.0	33.0	160	49.9	31.2
65	50.0	32.8	165	50.0	31.2
70	50.0	32.8	170	50.0	31.2
75	50.0	32.6	175	50.0	31.2
80	50.0	32.5	180	50.0	31.2
85	50.0	32.3	185	50.0	31.1
90	50.0	32.3	190	49.9	30.3
95	50.0	32.0	195	49.9	30.0
100	50.0	32.0	200	49.5	29.1

ตาราง 24 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	49.5	29.0	280	50.0	28.5
210	49.5	29.0	285	50.0	28.5
215	49.9	29.0	290	49.8	28.3
220	49.9	29.0	295	49.9	28.3
225	50.0	29.0	300	50.0	28.2
230	50.0	28.5	305	49.7	28.2
235	50.0	28.5	310	50.0	28.1
240	50.0	28.1	315	50.0	28.1
245	49.9	28.1	320	50.0	28.5
250	50.0	28.0	325	50.0	28.5
255	50.0	28.0	330	50.0	28.5
260	50.0	28.0	335	50.0	28.6
265	50.0	28.2	340	50.0	28.7
270	50.0	28.3	345	50.0	28.7
275	50.0	28.3	350	50.0	28.7

ตาราง 25 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนที่
60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	60.0	35.1	105	60.0	34.8
10	60.0	35.1	110	60.2	34.8
15	60.2	35.2	115	60.0	34.8
20	60.0	35.0	120	60.2	34.9
25	60.0	35.0	125	60.0	34.8
30	60.0	35.0	130	60.2	34.6
35	60.0	35.1	135	60.0	34.5
40	60.0	35.0	140	60.0	34.5
45	60.0	35.0	145	60.0	34.3
50	60.2	35.0	150	60.0	34.3
55	60.0	35.0	155	60.0	34.2
60	60.1	35.0	160	60.2	34.0
65	60.0	35.0	165	60.0	34.0
70	60.2	35.0	170	60.0	33.9
75	60.0	35.0	175	60.0	33.9
80	60.2	35.0	180	60.0	33.5
85	60.0	35.0	185	60.0	33.5
90	60.2	34.9	190	60.0	33.4
95	60.0	34.9	195	60.0	33.2
100	60.2	35.0	200	60.0	33.1

ตาราง 25 (ต่อ)

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	60.0	33.0	285	60.0	31.9
210	60.0	33.0	290	60.0	31.8
215	60.0	32.8	295	60.0	31.5
220	60.0	32.5	300	60.0	31.5
225	60.0	32.2	305	60.0	31.5
230	60.0	32.1	310	59.5	31.3
235	60.0	32.0	315	60.0	31.3
240	60.0	32.0	320	60.0	31.2
245	60.0	32.0	325	59.9	31.2
250	60.0	32.0	330	59.8	31.2
255	60.0	31.9	335	60.0	31.1
260	60.0	32.0	340	60.0	31.0
265	60.0	32.0	345	60.0	31.0
270	60.0	32.0	350	59.8	31.0
275	60.0	31.9	355	59.6	31.0
280	60.0	31.9	360	60.0	31.0

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิของ
เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศ

ตาราง 26 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
42 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	42.0	43.6	28.5
10	42.0	43.2	29.0
15	42.0	43.4	29.1
20	42.0	43.4	29.1
25	42.0	43.8	29.3
30	41.9	43.5	29.3
35	42.0	44.2	29.5
40	41.9	43.5	29.5
45	42.0	43.5	29.8
50	42.0	43.8	30.0
55	42.1	43.6	30.0
60	42.1	44.0	30.0
65	42.1	43.7	30.0
70	42.1	44.0	30.1
75	42.2	43.8	30.1
80	42.2	43.9	30.2
85	42.2	43.9	30.3
90	42.0	43.6	30.5
95	42.2	43.8	30.5

ตาราง 26 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	42.2	43.7	30.7
105	42.2	43.8	30.7
110	42.2	43.6	30.9
115	42.0	43.2	31.0
120	42.0	43.3	30.0
125	42.0	43.9	30.9
130	42.0	43.5	30.8
135	42.0	43.3	31.0
140	42.0	43.6	31.0
145	42.0	43.5	31.1
150	42.0	43.8	31.0
155	42.0	43.5	31.0
160	42.0	43.5	31.1
165	42.0	44.2	31.0
170	42.0	44.2	31.0
175	42.0	43.5	30.8
180	42.0	43.9	31.0

ตาราง 27 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
42 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
5	42.0	43.5	31.3
10	42.2	44.7	31.2
15	42.2	43.5	30.6
20	42.0	43.9	31.5
25	42.0	43.7	31.0
30	42.0	43.8	31.3
35	42.0	43.6	31.3
40	42.0	44.0	31.2
45	42.0	43.9	31.1
50	42.0	43.8	31.5
55	42.0	43.8	31.5
60	42.2	44.0	31.3
65	42.0	43.5	31.3
70	42.0	43.8	31.3
75	42.0	43.8	31.3
80	42.0	43.7	31.3
85	42.0	43.8	31.3
90	42.0	43.8	31.3
95	42.0	43.8	31.3

ตาราง 27 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์กึ่งตัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
100	42.2	44.0	31.3
105	42.2	44.0	31.3
110	42.2	43.7	31.3
115	42.2	43.7	31.3
120	42.2	44.2	31.0
125	42.2	44.2	31.2
130	42.2	44.2	31.2
135	42.3	44.3	31.0
140	42.4	44.4	31.0
145	42.5	44.5	31.0
150	42.5	44.5	31.0
155	42.2	44.5	30.8
160	42.0	44.5	30.8
165	42.0	44.4	30.7
170	42.0	44.7	30.5
175	42.0	44.3	30.3
180	42.0	44.4	30.0
185	42.0	43.8	30.0

ตาราง 26 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
42 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
5	42.0	43.7	30.0
10	42.0	43.9	29.7
15	42.0	43.6	29.3
20	42.0	43.9	29.0
25	42.0	44.1	29.0
30	42.0	44.0	28.7
35	41.8	43.0	29.0
40	41.8	43.6	29.1
45	41.8	43.4	29.0
50	41.8	43.5	29.0
55	41.8	43.3	29.0
60	41.8	43.3	29.0
65	41.8	43.3	29.0
70	41.8	43.4	28.5
75	41.8	43.4	28.5
80	41.8	43.7	28.5
85	41.8	43.4	28.3
90	41.8	43.5	28.3
95	41.8	43.4	28.0

ตาราง 28 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	41.8	43.3	28.0
105	41.8	43.3	28.0
110	41.8	43.2	28.0
115	41.8	43.4	27.5
120	41.8	43.5	27.5
125	41.8	43.6	27.5
130	41.8	43.6	27.3
135	41.8	43.3	27.3
140	41.8	43.1	27.1
145	41.8	43.3	27.1
150	41.8	43.1	27.0
155	41.8	43.3	27.0
160	41.8	43.5	26.8
165	41.8	43.4	26.7
170	41.8	43.7	26.5
175	41.8	43.3	26.2
180	41.8	43.3	26.2
185	41.8	43.4	26.0

ตาราง 29 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
5	53.2	57.5	34.0
10	48.2	48.0	33.8
15	48.0	50.2	34.0
20	48.0	50.6	34.0
25	47.8	49.9	34.0
30	48.0	50.1	34.0
35	54.8	59.9	34.3
40	48.5	49.7	34.0
45	54.8	60.4	34.0
50	55.3	59.9	34.3
55	55.3	59.3	34.0
60	51.0	49.5	34.0
65	48.0	49.9	34.0
70	48.0	49.4	34.0
75	48.0	49.6	34.0
80	48.0	50.1	34.3
85	53.0	61.6	34.0
90	55.5	60.4	34.0
95	51.0	49.5	34.0

ตาราง 29 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	49.5	62.6	34.0
105	55.5	61.4	34.0
110	55.3	59.0	33.5
115	52.5	48.2	33.7
120	48.0	49.9	34.0
125	48.0	49.8	33.8
130	47.8	49.5	34.0
135	47.8	49.5	33.7
140	54.3	59.0	33.5
145	55.0	59.5	33.5
150	54.7	58.8	33.5
155	48.5	49.4	33.5
160	48.0	50.2	33.5
165	47.8	50.0	33.5
170	47.7	49.9	33.3
175	49.5	64.6	33.0
180	55.0	60.3	33.0
185	55.2	59.7	33.0

ตาราง 30 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	49.5	49.1	33.0
10	50.0	49.8	32.5
15	51.0	60.6	32.5
20	51.5	50.0	32.8
25	53.3	58.0	32.0
30	49.0	50.1	32.0
35	54.0	58.5	32.0
40	53.8	57.2	31.7
45	49.5	49.5	31.5
50	47.0	49.1	31.3
55	47.5	49.2	31.3
60	47.3	48.5	31.0
65	47.2	49.4	31.0
70	47.0	48.5	30.5
75	47.0	49.1	30.5
80	47.0	48.5	30.2
85	47.0	49.0	30.0
90	47.0	48.2	30.0
95	47.0	49.0	30.0

ตาราง 3๖ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคู่ที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคู่ที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
100	54.0	59.1	30.0
105	54.0	57.9	30.0
110	53.5	56.9	29.5
115	50.0	49.2	29.2
120	47.5	50.1	29.2
125	48.0	49.6	29.2
130	47.8	50.1	29.2
135	46.0	48.9	29.0
140	48.0	49.6	29.0
145	54.0	58.8	29.0
150	54.0	57.3	29.0
155	54.0	56.1	29.0
160	54.0	56.6	29.0
165	54.0	56.9	29.0
170	48.0	47.7	28.5

ตาราง 31 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ลิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	47.0	45.9	29.5
10	47.0	46.2	29.5
15	47.0	45.3	29.5
20	47.0	46.2	30.0
25	47.0	45.8	30.0
30	52.0	57.0	30.0
35	55.5	47.3	30.0
40	55.3	55.4	30.1
45	49.0	46.6	30.3
50	47.0	46.3	30.5
55	47.0	46.5	30.7
60	47.0	46.5	30.5
65	54.5	56.5	31.0
70	54.6	56.6	30.0
75	48.0	46.5	31.0
80	47.0	46.3	31.2
85	47.1	46.9	31.1
90	47.0	47.0	31.1
95	47.0	46.3	31.0

ตาราง 31 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	47.0	47.1	31.1
105	47.2	47.1	31.2
110	47.2	46.5	31.5
115	47.2	47.2	31.2
120	47.2	47.4	31.5
125	55.5	57.3	31.5
130	55.5	57.3	31.5
135	55.5	57.2	32.0
140	55.3	56.9	32.0
145	55.5	57.2	31.5
150	55.2	56.1	31.5
155	40.2	40.2	31.5
160	47.2	47.4	31.5

ตาราง 32 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	59.5	60.6	30.1
10	59.5	60.2	30.5
15	59.5	61.1	30.5
20	59.5	60.4	30.5
25	59.5	60.5	31.0
30	59.5	60.7	31.0
35	59.5	61.1	31.0
40	59.5	59.9	31.2
45	59.5	60.7	31.5
50	59.5	60.6	31.1
55	59.6	61.3	31.1
60	59.5	61.1	31.2
65	59.5	61.2	31.2
70	59.6	61.1	31.6
75	59.5	61.4	31.6
80	59.8	62.5	31.6
85	59.6	62.3	31.8
90	59.8	62.2	32.0
95	59.8	60.6	32.0

ตาราง 32 (ต่อ)

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	59.8	62.2	32.0
105	60.0	62.6	32.0
110	60.0	62.7	32.5
115	60.0	60.7	32.6
120	60.0	62.9	32.5
125	60.0	61.7	32.5
130	59.8	61.7	32.2
135	59.8	62.4	32.2
140	59.8	62.5	32.5
145	59.8	61.4	32.0
150	59.0	63.6	31.6
155	59.8	61.4	32.0
160	59.8	61.7	32.5
165	59.8	62.5	32.0
170	59.8	63.2	32.0
175	59.8	62.9	32.2

ตาราง 33 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
5	59.8	62.3	32.2
10	59.8	62.5	32.2
15	59.8	63.1	32.2
20	59.8	63.0	32.2
25	60.0	62.6	32.5
30	60.0	63.2	32.8
35	60.0	64.0	32.8
40	60.0	63.2	32.6
45	60.0	62.2	32.7
50	60.0	61.6	32.5
55	60.0	62.5	32.8
60	60.0	62.5	32.8
65	60.0	63.9	32.8
70	59.8	61.6	33.0
75	59.8	63.6	32.8
80	59.8	62.1	32.8
85	60.0	63.2	33.0
90	60.0	64.4	33.0
95	59.8	64.0	33.0

ตาราง 33 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
100	59.9	64.5	33.0
105	60.0	63.4	33.0
110	60.0	63.4	33.0
115	60.0	62.5	33.0
120	60.0	63.9	32.8
125	60.0	64.2	33.0
130	60.0	63.3	33.1
135	60.0	62.4	33.0
140	60.0	63.8	33.0
145	60.0	62.5	32.8
150	60.0	62.9	33.0
155	60.0	62.7	32.9
160	60.0	63.5	32.4
165	60.0	62.6	32.8
170	60.0	64.0	32.5
175	60.0	63.5	32.5
180	60.0	63.9	32.2
185	60.0	64.4	32.2

ตาราง 34 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
60 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	60.0	63.7	32.5
10	60.0	63.9	32.2
15	60.0	63.5	32.0
20	60.0	63.3	32.0
25	60.0	65.0	32.0
30	60.0	63.4	32.2
35	60.0	64.3	32.2
40	60.0	64.6	32.0
45	60.0	63.9	32.0
50	60.0	63.5	32.0
55	60.0	63.7	32.0
60	59.8	65.0	32.0
65	59.8	64.7	31.8
70	60.0	62.2	31.8
75	60.0	63.7	32.0
80	60.0	62.5	31.5
85	60.0	64.5	31.5
90	60.0	63.4	31.5
95	60.0	63.2	31.5

ตาราง 34 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์จีทีล ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
100	60.0	64.1	31.2
105	60.0	64.2	31.1
110	60.0	64.5	31.1
115	60.0	64.1	31.0
120	60.0	64.5	31.0
125	60.0	61.5	30.8
130	59.9	63.7	30.8
135	59.9	63.3	30.6
140	59.9	62.6	30.5
145	59.8	65.6	30.5
150	59.8	63.6	30.5
155	59.8	64.5	30.3
160	59.8	64.1	30.3
165	59.5	64.5	30.2
170	60.0	64.6	30.2
175	60.0	64.9	30.2
180	60.0	63.7	30.0
185	60.0	62.9	30.0

ตาราง 35 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
70 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	70.0	73.0	30.2
10	70.0	71.7	30.5
15	70.0	72.5	30.5
20	69.5	73.4	30.5
25	70.0	72.9	31.0
30	70.5	73.2	31.0
35	69.6	70.7	31.0
40	70.0	73.7	31.0
45	70.0	73.2	31.0
50	70.0	72.2	31.2
55	70.0	72.5	31.2
60	70.2	74.2	31.2
65	70.0	74.0	31.2
70	70.0	73.4	31.2
75	70.0	71.4	31.5
80	70.0	72.8	32.0
85	70.2	73.9	32.0
90	70.0	72.5	32.0
95	70.0	74.4	32.0

ตาราง 35 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	70.0	74.1	32.0
105	70.0	73.7	32.0
110	70.0	72.9	32.2
115	70.0	75.7	32.2
120	70.0	73.8	32.2
125	70.2	74.1	32.2
130	70.2	74.9	32.5
135	70.0	73.5	32.5
140	70.2	75.2	32.5
145	70.8	74.2	32.6
150	70.0	73.5	33.0
155	70.5	75.6	33.0
160	70.6	73.7	33.0
165	70.7	74.0	33.0
170	71.1	73.6	33.0
175	72.0	75.8	33.0

ตาราง 36 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
70 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	72.0	76.6	33.0
10	71.6	76.4	33.4
15	72.0	76.4	33.5
20	72.5	76.2	33.5
25	72.0	77.4	33.5
30	71.2	77.5	33.3
35	71.3	77.5	33.3
40	72.0	73.3	33.3
45	72.0	76.4	33.3
50	72.0	75.7	33.3
55	71.5	77.9	33.0
60	71.2	75.3	33.0
65	71.2	75.5	33.0
70	72.0	76.9	33.0
75	71.0	74.1	33.0
80	72.0	76.5	33.0
85	71.7	77.2	33.0
90	71.2	77.2	33.0
95	71.5	76.6	33.0

ตาราง 36 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	71.2	72.7	33.1
105	71.0	76.0	33.2
110	71.0	77.7	32.6
115	71.0	78.5	33.0

ตาราง 37 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะสั้นของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
70 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	70.2	77.0	33.2
10	70.2	75.2	33.2
15	70.5	75.5	33.5
20	70.2	76.5	33.9
25	70.0	75.5	33.0
30	70.8	76.4	34.0
35	70.5	76.0	33.0
40	70.5	76.5	33.8
45	70.7	76.4	33.6
50	70.7	74.7	34.0
55	70.7	76.2	34.0
60	70.5	75.5	34.0
65	70.5	77.5	34.2
70	70.5	77.0	34.0
75	70.7	77.0	34.0
80	71.0	76.4	34.2
85	71.0	76.9	34.5
90	71.0	76.1	34.3
95	71.0	77.5	34.3

ตาราง 37 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิควบคุมที่อ่านจาก เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
100	71.0	75.6	34.5
105	71.2	77.0	34.5
110	71.2	77.4	34.5
115	71.0	75.0	35.0
120	71.2	77.2	35.0
125	71.2	77.2	35.0
130	71.0	75.3	34.8
135	71.2	77.5	34.8
140	71.0	78.0	35.0
145	71.0	78.0	34.5
150	71.0	76.7	35.0
155	71.2	77.6	34.8
160	71.0	76.9	34.8
165	71.0	77.5	35.0
170	71.0	76.5	34.5
175	71.0	75.4	34.5

ตาราง 38 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
42 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	42.0	28.5	105	42.2	30.7
10	42.0	29.0	110	42.2	30.9
15	42.0	29.1	115	42.0	31.0
20	42.0	29.1	120	42.0	30.8
25	42.0	29.3	125	42.0	30.9
30	41.9	29.3	130	42.0	30.8
35	42.0	29.5	135	42.0	31.0
40	41.9	29.5	140	42.0	31.0
45	42.0	29.8	145	42.0	31.1
50	42.0	30.0	150	42.0	31.0
55	42.1	30.0	155	42.0	31.0
60	42.1	30.0	160	42.0	31.1
65	42.1	30.0	165	42.0	31.0
70	42.1	30.1	170	42.0	31.0
75	42.2	30.1	175	42.0	30.8
80	42.2	30.2	180	42.0	31.0
85	42.2	30.3	185	42.0	31.3
90	42.0	30.5	190	42.2	31.2
95	42.2	30.5	195	42.2	30.8
100	42.2	30.7	200	42.0	31.5

ตาราง 38 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	42.0	31.0	305	42.2	31.2
210	42.0	31.3	310	42.2	31.2
215	42.0	31.3	315	42.3	31.0
220	42.0	31.2	320	42.4	31.0
225	42.0	31.1	325	42.5	31.0
230	42.0	31.5	330	42.5	31.0
235	42.0	31.5	335	42.2	30.0
240	42.2	31.3	340	42.0	30.0
245	42.0	31.3	345	42.0	30.7
250	42.0	31.3	350	42.0	30.5
255	42.0	31.3	355	42.0	30.3
260	42.0	31.3	360	42.0	30.0
265	42.0	31.3	365	42.0	30.0
270	42.0	31.3	370	42.0	30.0
275	42.0	31.3	375	42.0	29.7
280	42.2	31.3	380	42.0	29.3
285	42.2	31.3	385	42.0	29.0
290	42.2	31.3	390	42.0	29.0
295	42.2	31.3	395	42.0	28.7
300	42.2	31.0	400	41.8	29.0

ตาราง 3๐ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
405	41.8	29.1	480	41.8	27.5
410	41.8	29.0	485	41.8	27.5
415	41.8	29.0	490	41.8	27.5
420	41.8	29.0	495	41.8	27.3
425	41.8	29.0	500	41.8	27.3
430	41.8	29.0	505	41.8	27.1
435	41.8	28.5	510	41.8	27.1
440	41.8	28.5	515	41.8	27.0
445	41.8	28.5	520	41.8	27.0
450	41.8	28.3	525	41.8	26.8
455	41.8	28.3	530	41.8	26.7
460	41.8	28.0	535	41.8	26.5
465	41.8	28.0	540	41.8	26.2
470	41.8	28.0	545	41.8	26.2
475	41.8	28.0	550	41.8	26.0

ตาราง 39 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	53.2	34.0	105	55.5	34.0
10	46.2	33.6	110	55.3	33.5
15	46.0	34.0	115	52.5	33.7
20	46.0	34.0	120	46.0	34.0
25	47.6	34.0	125	46.0	33.6
30	46.0	34.0	130	47.6	34.0
35	54.6	34.3	135	47.6	33.7
40	46.5	34.0	140	54.3	33.5
45	54.6	34.0	145	55.0	33.5
50	55.3	34.3	150	54.7	33.5
55	55.3	34.0	155	46.5	33.5
60	51.0	34.0	160	46.0	33.5
65	46.0	34.0	165	47.6	33.5
70	46.0	34.0	170	47.7	33.3
75	46.0	34.0	175	49.5	33.0
80	46.0	34.3	180	55.0	33.0
85	53.0	34.0	185	55.2	33.0
90	55.5	34.0	190	49.0	33.0
95	51.0	34.0	195	50.0	32.5
100	49.5	34.0	200	51.0	32.5

ตาราง 39 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
205	51.5	32.0	205	54.0	30.0
210	53.3	32.0	290	54.0	30.0
215	49.0	32.0	295	53.5	29.5
220	54.0	32.0	300	50.0	29.2
225	53.0	31.7	305	47.5	29.2
230	49.5	31.5	310	46.0	29.2
235	47.0	31.3	315	47.8	29.2
240	47.5	31.3	320	48.0	29.0
245	47.3	31.0	325	48.0	29.0
250	47.2	31.0	330	54.0	29.0
255	47.0	30.5	335	54.0	29.0
260	47.0	30.5	340	54.0	29.0
265	47.0	30.2	345	54.0	29.0
270	47.0	30.0	350	54.0	29.0
275	47.0	30.0	355	48.0	28.5
280	47.0	30.0			

ตาราง 40 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิระยะยาวของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศที่
60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
5	59.5	30.1	105	60.0	32.0
10	59.5	30.5	110	60.0	32.5
15	59.5	30.5	115	60.0	32.0
20	59.5	30.5	120	60.0	32.5
25	59.5	31.0	125	60.0	32.5
30	59.5	31.0	130	59.8	32.2
35	59.5	31.0	135	59.8	32.2
40	59.5	31.2	140	59.8	32.5
45	59.5	31.5	145	59.5	32.0
50	59.5	31.1	150	59.8	31.6
55	59.6	31.1	155	59.8	32.0
60	59.5	31.2	160	59.8	32.5
65	59.5	31.2	165	59.8	32.0
70	59.6	31.6	170	59.8	32.0
75	59.5	31.6	175	59.8	32.2
80	59.6	31.6	180	59.8	32.2
85	59.6	31.6	185	59.8	32.2
90	59.8	32.0	190	59.8	32.2
95	59.8	32.0	195	59.8	32.2
100	59.8	32.0	200	60.0	32.5

ตาราง 40 (ต่อ)

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิควบคุม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)	เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิควบคุม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}\text{C}$)
205	60.0	32.6	305	60.0	33.1
210	60.0	32.8	310	60.0	33.0
215	60.0	32.6	315	60.0	33.0
220	60.0	32.7	320	60.0	32.8
225	60.0	32.5	325	60.0	33.0
230	60.0	32.8	330	60.0	32.9
235	60.0	32.8	335	60.0	32.4
240	60.0	32.8	340	60.0	32.8
245	59.8	33.0	345	60.0	32.5
250	59.8	32.8	350	60.0	32.5
255	59.8	32.8	355	60.0	32.2
260	60.0	33.0	360	60.0	32.2
265	60.0	33.0	365	60.0	32.5
270	59.8	33.0	370	60.0	32.2
275	59.9	33.0	375	60.0	32.0
280	60.0	33.0	380	60.0	32.0
285	60.0	33.0	385	60.0	32.0
290	60.0	33.0	390	60.0	32.2
295	60.0	32.8	395	60.0	32.2
300	60.0	33.0	400	60.0	32.0

ตาราง 40 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิควบคุม (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)
405	60.0	32.9	480	60.0	31.0
410	60.0	32.0	485	60.0	30.8
415	60.0	32.0	490	59.9	30.8
420	59.8	32.0	495	59.9	30.8
425	59.8	31.8	500	59.9	30.5
430	60.0	31.6	505	59.8	30.5
435	60.0	32.0	510	59.8	30.5
440	60.0	31.5	515	59.8	30.3
445	60.0	31.5	520	59.8	30.3
450	60.0	31.5	525	59.5	30.2
455	60.0	31.5	530	60.0	30.2
460	60.0	31.2	535	60.0	30.2
465	60.0	31.1	540	60.0	30.0
470	60.0	31.1	545	60.0	30.0
475	60.0	31.0			

การออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

บทคัดย่อ

ของ

พจนารัตน์ ลือเดชภูมิไกร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

ตุลาคม 2529

ในการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างนําร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศชนิดที่ให้การควบคุมและการวัดอุณหภูมิที่มีความแน่นอนสูง ลักษณะของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างนําร้อนเป็นการควบคุมแบบอัตราส่วน อุณหภูมิของระบบวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล และตรวจสอบค่าโดยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างนําร้อนให้ความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเท่ากับ ± 0.006 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.9371 และ 0.9208 ตามลำดับ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศเป็นเครื่องควบคุมแบบกึ่งอัตราส่วนซึ่งติดตั้งในตัวควบคุมอากาศ ให้ความแน่นอนในการควบคุมอุณหภูมิอากาศทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของช่วงอุณหภูมิ 42 - 70 องศาเซลเซียสเท่ากับ ± 0.3 องศาเซลเซียส และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.3181 และ 0.2057 ตามลำดับ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF TEMPERATURE CONTROLLERS

AN ABSTRACT

BY

POJANART LUDETWUTIKRAI

Presented in partial fulfillment of requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University

October 1986

Temperature - controlled water bath and air bath have been designed and constructed employing ideas of control and measuring with a high resolution. Features of the water bath included a precision proportional temperature controller in a liquid reservoir. Temperatures of the system were detected by a digital thermometer; the results were confirmed by direct measurement of a standard differential thermometer. The apparatus gave satisfied results of control both for the short - term and long - term stability of $\pm 0.006^{\circ}\text{C}$ with having the correlation coefficient and linear correlation of 0.0371 and 0.0208 respectively. The air bath controller was a semi - proportional control type and was installed in a drying cabinet. The short - term and long - term stability of the air thermostat which maintained a temperature constant at the range of $42 - 70^{\circ}\text{C}$ was $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ with having the correlation coefficient and linear correlation of 0.3181 and 0.2087 respectively.