

ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก
(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล)



ปริญญานิพนธ์
ของ
พิรสิทธิ์ ทวยนาค

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก
(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล)



ปริญญานิพนธ์
ของ
พิรสิทธิ์ ทวยนาค

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก
(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล)



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

พิรสิทธิ์ ทวยนาค. (2558). ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล).

ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล

งานวิจัยนี้มุ่งหมายศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและระดับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่มีต่อผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Must Flow Dryer) โดยทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 23 %wb โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.30 m³/s และใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ระดับ 100 ถึง 150 °C ในช่วงความยาวของห้องอบแห้ง 100 cm ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m³/s และอุณหภูมิอบแห้ง 150 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือความชื้นสุดท้าย ที่ระดับ 16 %wb โดยที่ระดับอัตราการไหลดังกล่าวสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.15, 0.25, 0.30, 0.10 และ 0.05 m³/s และที่ทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศร้อนแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิอบแห้ง 150 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 140, 130, 120, 110 และ 100 °C ตามลำดับ

จากการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในถังป้อน (Hopper) และที่ทางออกของเครื่องอบแห้ง เพื่อตรวจสอบความชื้นข้าวเปลือกในช่วงระยะเวลาการอบแห้ง 30 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าวทุกๆ 1 นาที พบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนั้นมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก จึงแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนั้นสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ จนได้ระดับความชื้นสุดท้ายที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งมัสท์โฟล, การอบแห้งข้าวเปลือก, อัตราการไหลอากาศร้อน, อุณหภูมิอากาศร้อน

INFLUENCES OF FLOW RATE AND TEMPERATURE OF HOT AIR TO MOISTURE
CONTENT REDUCTION OF PADDY
(CASE STUDY OF MUST FLOW PADDY DRYER)



Presented in Fulfillment of the Requirements
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University
December 2015

Pirasit Thauynak. (2015). *Influences of Flow Rate and Temperature of Hot Air to Moisture Content Reduction of Paddy (Case Study of Must Flow Paddy Dryer)*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University.

Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Pracha Bunyawachakul.

This research aims to study the influences of flow rate and temperature of hot air to moisture content reduction inside paddy grain for Must Flow Dryer. Drying Tests were conducted using paddy grain with initial moisture content of 23 %wb using different levels of air flow from 0.05 to 0.30 m³/s and different levels of air temperature from 100 to 150 °C. The length of drying chamber is 100 cm and bed height 1 cm. Experimental results showed that 0.20 m³/s of the air flow rate and 150 °C of hot air temperature can reduce the moisture content of the paddy to a final moisture content 16 %wb. It also found that this condition given the higher moisture content reduction of paddy than the other air flow rate and temperature.

Samples were collected from paddy in hopper and outlet drying chamber to determine the moisture content in the grain drying period of 30 minutes. The samples of paddy grain every 1 minutes showed that the moisture content of the grain dried with a Must Flow paddy dryer is not much different. It shows that the Must Flow paddy dryer can reduce the moisture content of paddy is quite regularly until the final moisture of every paddy grain was reduced into nearly the same level.

Keywords : Must Flow Dryer, Paddy Dried, Hot Air Flow Rate, Hot Air Temperature

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก
(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล)

ของ

พิรสิทธิ์ ทวยนาค

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษฎี โยเหลา)

วันที่ เดือน พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.จาริณี จงปลื้มปิติ)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองต่างๆ พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และช่วยแก้ไขปัญหาดังๆ ที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มณฑล ชูโซนาท อาจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และช่วยแก้ไขปัญหาดังๆ ที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นายมุตตาฟา ยะภา นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำและความรู้ต่างๆ ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทไฟลจนสามารถใช้ในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกได้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยผ่านทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชื่อทุน “ทุนการศึกษาเพื่อทำปริญญานิพนธ์ (GRAD S-1-57)” และ “ทุนอุดหนุนการเสนอผลงานทางวิชาการของนิสิตบัณฑิตศึกษา (GRAD S-3-57)”

ท้ายสุดขอขอบพระคุณพ่อแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณน้องๆ ในแลป TPCM สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี

พิรสิทธิ์ ทวยนาค

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎี.....	4
ทฤษฎีการลดความชื้น.....	4
ทฤษฎีการอบแห้งเบื้องต้น.....	5
หลักการอบแห้งเมล็ดพืช.....	7
ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว.....	8
การลดความชื้นข้าวเปลือก.....	9
สมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ บน Psychometric Chart ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล.....	12
วิธีการอบแห้งข้าวเปลือก.....	13
สมการที่เกี่ยวข้องสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล.....	21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	28
เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย.....	28
อุปกรณ์การทดลอง.....	28
ขั้นตอนการทดลอง.....	34
4 ผลและการวิเคราะห์.....	36
ตำแหน่งการจัดวางตัววัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล	36

สารบัญ

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
การกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลา 60 min ขณะที่ยังไม่มีข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง.....	37
การกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลา 60 min ขณะที่ข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง.....	38
อิทธิพลของอัตราการไหลอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ	40
อิทธิพลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่าง ๆ.....	43
อิทธิพลของอัตราการไหลอากาศร้อนต่อผลต่างความชื้นข้าวเปลือก จากห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ.....	46
อิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลต่างความชื้นของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่าง ๆ.....	47
แสดงความสม่ำเสมอของการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟล.....	49
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	50
สรุปผลงานวิจัย.....	50
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	55
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่.....	56
ตารางแสดงงบประมาณ.....	58
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	60
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	63

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 แสดงงบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์.....	58
---------------------------------------	----



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เส้นกราฟของการอบแห้งในช่วงการอบแห้งต่างๆ	6
2 แสดงโครงสร้างของข้าวเปลือก	8
3 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก	10
4 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกบรรจุในกระสอบ	15
5 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระเบะ	15
6 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบถังหมุนเวียน	16
7 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า	17
8 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า	17
9 เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืชแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า	18
10 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบโรตารี	19
11 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบด	20
12 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบสเปาเต็ดเบด	21
13 แสดงเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ MUST FLOW	28
14 แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอบข้าวแบบ MUST FLOW	29
15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	30
16 เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด เค (Thermo Couple Type K)	30
17 เครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger)	31
18 ชุดเครื่องวัดความเร็วลม	31
19 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	32
20 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก	32
21 เครื่องชั่งดิจิตอล	33
22 มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	33
23 แสดงตำแหน่งการจัดวางตัววัดอุณหภูมิ	36
24 กราฟแสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลา 60 sec หลังจากเดินเครื่องปกติจนเข้าสู่สภาพคงตัวในสภาวะ ที่ยังไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือก	37

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 กราฟแสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟล ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลา 60 sec ภายหลังการอบแห้งข้าวเปลือกจนเข้าสู่สภาวะ คงตัว	38
26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์ โฟลขณะที่ยังไม่มี การอบแห้งข้าวเปลือกและมีการอบแห้งข้าวเปลือก	39
27 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลอัตราการไหลอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อน ต่างๆ	42
28 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่างๆ	45
29 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลอัตราการไหลอากาศร้อนต่อผลต่างความชื้นข้าวเปลือกของห้อง อบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่างๆ	46
30 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลต่างความชื้นของห้องอบแห้งข้าวเปลือก แบบมัสต์โฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่างๆ	48
31 กราฟแสดงความสม่ำเสมอของการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้น ด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟล	49

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยประเทศไทยสามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปีถ้าพื้นที่นั้นมีระบบชลประทานที่เพียงพอ ข้าวนอกจากจะเป็นอาหารหลักของคนไทยแล้ว ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทยด้วยการจัดเก็บข้าวเปลือกจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่นั้นโดยส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูง จึงต้องมีการค้นคว้าหาวิธีการลดความชื้นข้าวและจัดเก็บให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของข้าวหากความชื้นของข้าวเปลือกมีสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์และทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเกิดการแตกหักและเสื่อมคุณค่าทางอาหารได้

โดยปกติความชื้นของข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง 22-30 %wb ซึ่งความชื้นของข้าวเปลือกในช่วงนี้ทำให้คุณภาพของข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ดี ในอดีตเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้จากท้องนาตากแดดเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเก็บรักษา ซึ่งมักจะประสบกับปัญหาต่างๆ เช่น สภาพดิน ฟ้า อากาศ มีสัตว์มารบกวนและพื้นที่ตากแห้งไม่เพียงพอ ทำให้ข้าวเปลือกเกิดความสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการตากแห้งข้าวเปลือกในลานตากแห้งนั้นใช้เวลานาน

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้ได้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกตามความต้องการโดยใช้พื้นที่ในการอบแห้งที่น้อยกว่าและอัตราการลดความชื้นดีกว่าการใช้ลานตากแบบเดิมวิธีการลดความชื้นข้าวเปลือกที่นิยมใช้กันและมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงนั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนไหลผ่านวัสดุแบบบังคับซึ่งรูปแบบมีทั้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตามกัน ไหลสวนทางกัน และแบบไหลตัดขวางกัน โดยที่การไหลแบบตัดขวางนั้นได้รับการพัฒนาเป็นเครื่องอบแห้งทำงานอย่างต่อเนื่องหลายแบบ อาทิเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไธซ์เบดสเปาเต็ดเบดและแบบ LSU ซึ่งกำลังเป็นที่นิยม อันเนื่องมาจากสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้รวดเร็ว และคุณภาพของข้าวสารที่ได้หลังจากการอบแห้งก็เป็นที่ยอมรับได้ในระดับอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบดังกล่าวจะใช้ลมร้อนเป่าผ่านข้าวเปลือกอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความชื้น ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่ลมร้อนสัมผัสกับข้าวเปลือกสั้น จึงเกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมาก และหากใช้ความเร็ว

ลมสูงเกินไปจะทำให้เกิดการไหลของข้าวเปลือกในลักษณะเป็นก้อนและเกิดการหลุดออกนอกห้องอบแห้งได้ ดังนั้นจึงมีความสนใจในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกอย่างต่อเนื่องในแนวราบโดยมีลมร้อนไหลตัดขวางในแนวดิ่งด้วยการดูดอากาศร้อนบริเวณทางออกโดยพัดลมดูดอากาศ และตัวห้องอบแห้งจะมีการขยับขึ้นลงเป็นจังหวะทำให้ข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่และเกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว ซึ่งจะทำให้อากาศร้อนไหลผ่านและคลุกเคล้ากับเมล็ดข้าวเปลือกได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดพลังงานในกระบวนการอบแห้งให้น้อยลง และได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นว่าเครื่องอบแห้งในลักษณะดังกล่าวมีศักยภาพและเหมาะสมสำหรับการใช้งานและสามารถพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเครื่องอบที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยในงานวิจัยมุ่งเน้นศึกษาผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลในระดับห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศร้อนที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของอากาศร้อนที่มีผลต่อการลดความชื้นในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองอบแห้งโดยต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่มีพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้ง (20x100) cm ทำงานโดยมีแก๊ส LPG เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน
2. ทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 - 150 °C และอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05 - 0.30 m³/s
3. ทดลองอบแห้งโดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด 2 mm
4. ทดลองอบแห้งโดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 23

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

2. สามารถนำเทคนิคของการอบแห้งแบบมัสท์โฟลมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกให้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เครื่องอบแห้งมัสท์โฟล หมายถึง เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะลมร้อนไหลตัดขวาง การเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกโดยการดูด และข้าวเปลือกเคลื่อนที่โดยการขยับตัวของห้องอบแห้งแบบเป็นจังหวะ
2. การอบแห้งข้าวเปลือก หมายถึง การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้ง
3. อัตราการไหลอากาศร้อน หมายถึง ปริมาณการไหลของลมร้อนที่ผ่านชั้นข้าวเปลือกต่อหนึ่งหน่วยเวลา
4. อุณหภูมิอากาศร้อน หมายถึง อุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมในการลดความชื้นข้าวเปลือก



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการลดความชื้น

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช เป็นการทำให้ไอน้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยอาศัยคุณลักษณะของเมล็ดพืช ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซึมและคายความชื้นได้ดี เมล็ดพืชสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายกว่าการคายความชื้น เนื่องจากแรงเหนียวนำของโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีนที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อเอาเมล็ดแห้งมาผสมกับเมล็ดเปียก แล้วทิ้งไว้ให้เกิดความสมดุลของบรรยากาศในกองเมล็ด เมล็ดเปียกสามารถคายความชื้นให้แก่เมล็ดแห้ง แต่เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดเปียกก็ยังคงสูงกว่าเมล็ดแห้งที่ได้ดูดความชื้นไปแล้วการดึงเอาไอน้ำออกจากเมล็ดที่ง่ายที่สุด คือการใช้พลังงานไปช่วยกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำหลุดจากการเกาะตัว

ในกรณีของข้าวเปลือก ข้าวเปลือกมีความเป็นฉนวนทางความร้อนได้ดี ทำให้ไอน้ำและความร้อนที่สะสมอยู่ในกองหรือในยุ้ง เป็นตัวทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี การเจริญเติบโตของเชื้อราในกองเมล็ด ทำให้เมล็ดพืชเสื่อมคุณภาพลง (ข้าวเมล็ดเหลือง แอลฟาโทกซิน) หรือ อาจจะเน่าเสียได้ในที่สุดเมื่อเทียบอัตราการผลิตกับเวลาการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ใช้สารเคมีประเภทปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์ไบด์มาดูดซึมหรือทำปฏิกิริยากับน้ำในเมล็ด ใช้ระบบสุญญากาศ ใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ดพืช การตากแดดหรือการคว่ำให้เมล็ดร้อนเพื่อให้ไอน้ำภายในเมล็ดเคลื่อนย้ายออกมาภายนอกเป็นต้น และจากวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่าวิธีการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้อากาศร้อนเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด

1.1 ความชื้น

ความชื้นตามบทนิยามของสมาคมวิศวกรรมเกษตรอเมริกาได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็นสองรูปแบบคือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) และความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)

ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์

1.2 เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช

ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงและทำการลดปริมาณความชื้นเมล็ดด้วยความร้อนจนกระทั่งเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไปก็คือค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น วิธีการลดปริมาณความชื้นด้วยความร้อนในเมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีวิธีการและมาตรฐานที่ต่างกัน เปอร์เซ็นต์ความชื้นมี 2 แบบคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

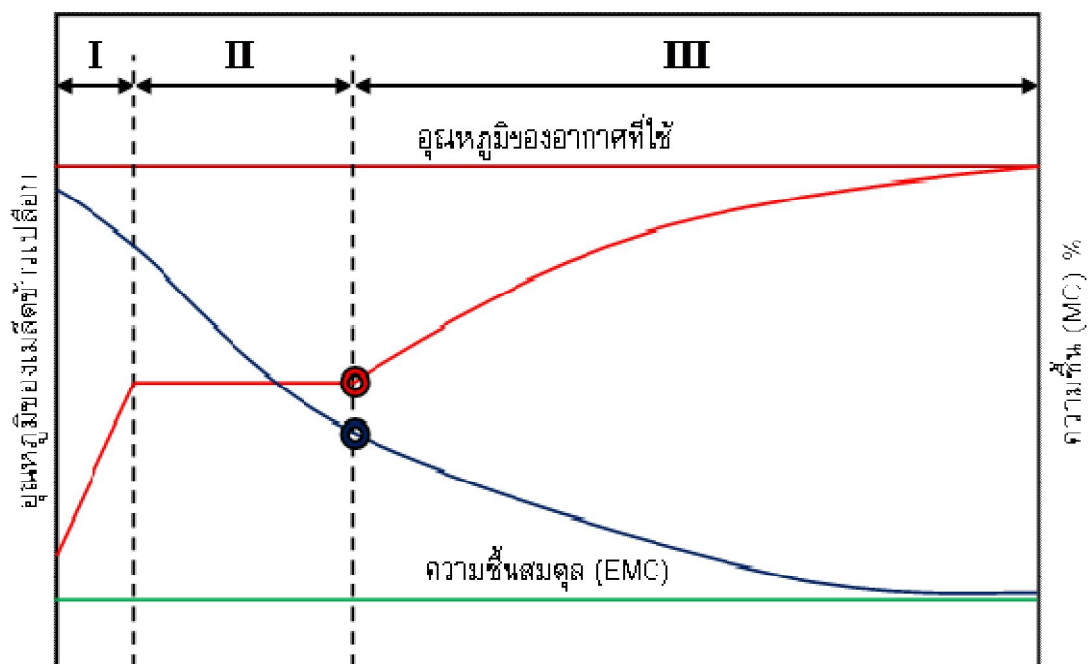
$$M_w = \frac{w-d}{w} (100\%) (\%wb) \quad (1)$$

$$M_d = \frac{w-d}{d} (100\%) (\%db) \quad (2)$$

w = น้ำหนักเปียก , d = น้ำหนักแห้ง , M = ปริมาณความชื้น

2. ทฤษฎีการอบแห้งเบื้องต้น

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการอบแห้งนอกจากจะมีการถ่ายเทความร้อนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังเกิดการถ่ายเทมวลขึ้นพร้อมๆ กัน สำหรับในกรณีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางที่ใช้ส่วนใหญ่ จะถูกใช้ไปในการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งการถ่ายเทมวลไอน้ำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ของไอน้ำที่อยู่ในบริเวณผิววัสดุกับความชื้นในตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งซึ่งเป็นช่วงที่บริเวณผิวของวัสดุอิ่มตัวด้วยไอน้ำ การถ่ายเทความร้อน และปริมาณความชื้นในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นด้วยอัตราการอบแห้งที่มีค่าคงที่ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อน้ำถูกระเหยจนวัสดุที่อบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะระเหยด้วยอัตราที่ลดลงโดยเป็นฟังก์ชันกับเวลา เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง



ภาพประกอบ 1 เส้นกราฟของการอบแห้งที่ช่วงของการอบแห้งต่างๆ

ที่มา : International Rice Research Institute (IRRI)

I. ช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง (ช่วงอัตราการอบแห้งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ)

เมื่อเมล็ดที่ชื้นได้สัมผัสกับอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง สังเกตว่าความชื้นจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากความร้อนทั้งหมดจากอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะนำไปใช้เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับเมล็ดจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน

II. ช่วงการอบแห้งคงที่ (Constant Drying Rate Period)

การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล ระหว่างวัสดุและอากาศความร้อนจะอยู่ในสภาวะสมดุล ที่สภาวะอิ่มตัวของไอน้ำขณะนั้น โดยอุณหภูมิของอากาศร้อนจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและเกิดการระเหยของน้ำจากบริเวณผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อน

III. ช่วงการอบแห้งลดลง (Falling Drying Rate Period)

การระเหยของน้ำในช่วงนี้ที่เกิดขึ้นเมื่อ ปริมาณความชื้นของวัสดุน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณความชื้นวิกฤต ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้พบว่า การระเหยของน้ำจะเกิดจากกระบวนการแพร่ของน้ำที่อยู่ภายในวัสดุไปสู่ผิวของวัสดุ ก่อนที่จะเกิดการระเหยที่ผิวหน้าของวัสดุ การระเหยของน้ำในช่วงนี้เกิดขึ้นได้ยากกว่ากรณีแรกมาก จึงพบว่า อัตราการอบแห้งในช่วงนี้มีอัตราการลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่เมื่อปริมาณความชื้นของวัสดุมีสภาวะสมดุลกับปริมาณ

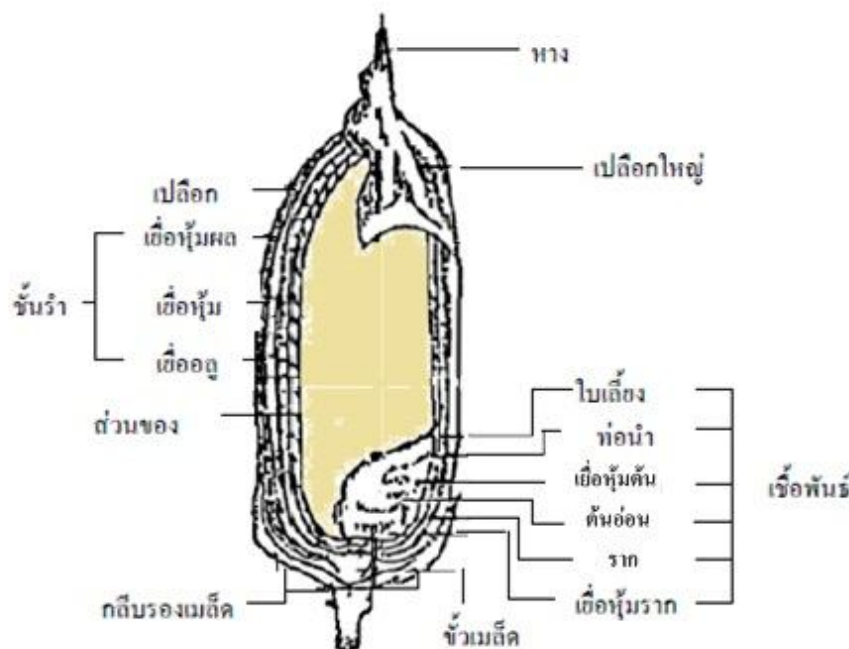
ความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง กลไกที่ควบคุมการเกิดการอบแห้งในขั้นตอนนี้ คือ ค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

3. หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปในการอบแห้งเมล็ดพืชนั้นเราต้องอาศัยอุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำเพื่อเป็นตัวกลางในการอบแห้งเพราะจะทำให้เมล็ดพืชนั้นแห้งเร็ว แต่อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งนั้นจะถูกจำกัดด้วยลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีที่ใช้ในการอบแห้งนั้นโดยส่วนใหญ่เราจะเลือกอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่สามารถจะอบได้โดยเมล็ดพืชไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากจะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้วในการอบแห้งเมล็ดพืชนั้นจะใช้อากาศร้อนบังคับให้ไหลผ่านชั้นของเมล็ดพืช ในขณะที่อากาศร้อนไหลผ่านชั้นของเมล็ดพืชนั้นจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นไปพร้อมๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช ในขณะเดียวกันความชื้นภายในเมล็ดพืชก็จะระเหยเข้าไปในอากาศ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะสูงขึ้น ส่วนภายในเมล็ดพืชจะมีความชื้นต่ำลง และเมื่อความชื้นของเมล็ดพืชลดต่ำลงภายในเมล็ดพืชนั้นอุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย จนเมล็ดพืชมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง และเมื่อความชื้นของเมล็ดพืชลดลงถึงความชื้นสมดุลของความชื้น จากนั้นก็จะทำการใช้อากาศสภาพแวดล้อมผ่านชั้นของเมล็ดพืชเพื่อที่จะลดอุณหภูมิของเมล็ดพืชให้ต่ำลง หากเก็บเมล็ดพืชไว้ทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ อาจจะเกิดการไหลเวียนของอากาศจากผลต่างของอุณหภูมิได้ซึ่งเป็นผลให้ผิวของเมล็ดพืชมีความชื้นสูงได้ และจะเป็นเหตุให้เกิดการเริ่มแพร่เชื้อราและแมลงต่อไปได้

4. ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของข้าวเปลือก ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

เมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยส่วนใหญ่น้อย 2 ส่วนใหญ่คือส่วนห่อหุ้มเรียกว่าเกลบ (hull หรือ husk) และส่วนที่รับประทานได้เรียกว่าข้าวกล้อง (caryosis หรือ brown rice)

4.1 เกลบ ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (Lenema) เปลือกเล็ก (palca) หาง (awn) ข้าวเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile lemmae)

4.2 ข้าวกล้องหรือเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้ว ประกอบด้วย

4.2.1 เปลือกหุ้มผล (pericarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นคือ epicarp mesocarp และ endocarp มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous) ผนังของเยื่อหุ้มผลมีโปรตีนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ

4.2.2 เปลือกเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันและมีสารประเภทไขมันอยู่

4.2.3 ชั้นอาลูโรน (aleurone layer) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนที่ห่อหุ้มเนื้อเมล็ด คัพภะส่วนนี้จะมีการสังเคราะห์โปรตีนสูงนอกจากนี้ยังมีน้ำมันเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ด้วย

4.2.4 ส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารอยู่ชั้นในสุดของเมล็ดประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้างแป้งในเมล็ดข้าวมีสองชนิดคืออไมโลสเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ D-glucose ที่ต่อกันแบบ branch chain และอไมโลส (amylase) ซึ่งต่อกันเป็นแบบ linear chain ส่วนประกอบของแป้งทั้งสองชนิดนี้มักมีสัดส่วนแตกต่างกันตามชนิดข้าวในข้าวเหนียวจะมีอไมโลสอยู่ประมาณ 0-2 % ส่วนที่เหลือเป็นอไมโลเพกตินข้าวเจ้ามีอไมโลสมากกว่าคือประมาณ 7-33 % ของน้ำหนักข้าวสาร

4.2.5 คัพภะ (Embryo) อยู่ติดกับเนื้อเมล็ดทางด้านเปลือกหุ้มเป็นส่วนที่เจริญไปเป็นต้นอ่อนคัพภะประกอบด้วยต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำและอาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง

5. การลดความชื้นข้าวเปลือก

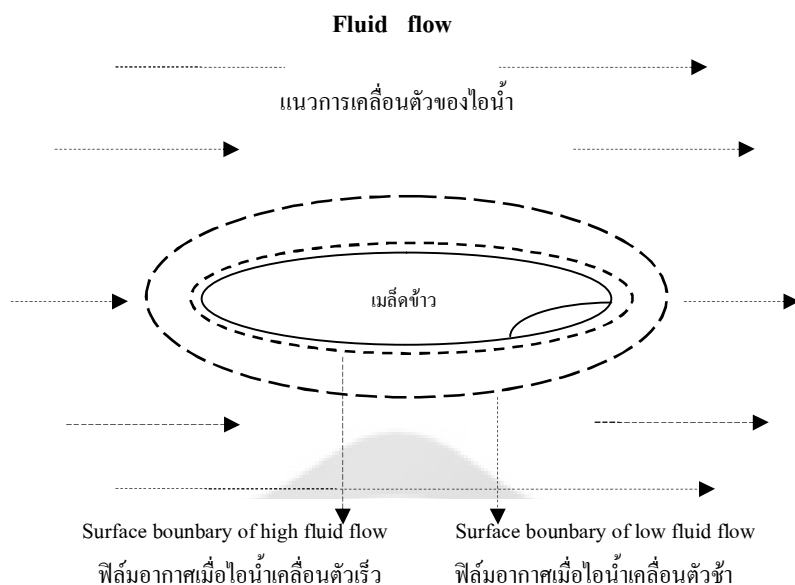
5.1 การลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเก็บรักษา เช่น เกิดเชื้อรา ดังนั้นการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถรักษาคุณภาพ ลดการสูญเสียและยืดเวลาการเก็บรักษาของผลผลิตได้ การอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการที่เอาน้ำออกจากข้าวเปลือก โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีการระเหยนํ้าออกจากข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหย ทำให้การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งพลังงานที่ใช้แบ่งได้สองชนิดคือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศร้อนซึ่งได้จาก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ หรือสิ่งเหลือใช้จากการเกษตรและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม

ข้าวเปลือกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อนำมาอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกมีค่าคงที่) น้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกจะระเหยออกไปจากเมล็ด

การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อน เป็นตัวกลางในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับข้าวเปลือกเพื่อให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นลดลง การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

5.1.1 การทำให้เมล็ดเกิดความร้อน



ภาพประกอบ 3 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

การนำข้าวเปลือกมาตากแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ขณะตากแดด ข้าวเปลือกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในข้าวเปลือกสูงขึ้น ภาพประกอบ 3 ฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชจะทำหน้าที่เป็นฉนวน (กองเกษตรวิศวกรรม, 2544) ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกสูงกว่าแรงดันไอน้ำของบรรยากาศและไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอก ผิวของข้าวเปลือกจะมีฟิล์มของอากาศซึ่งไม่เคลื่อนไหว (ไม่อาจมองเห็นได้) ดังรูปฟิล์มที่ผิวของข้าวเปลือกนี้จะเป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศเกิดความสมดุลของแรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกและฟิล์ม ฟิล์มนี้จะบางลงเมื่อมีลมเป่าผ่าน หรือตามธรรมชาติที่ว่าอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ อากาศเหนือลานตากจะมีความร้อนมากกว่า บรรยากาศซึ่งลอยตัวขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณลานตาก ฟิล์มสมดุลที่ผิวของข้าวเปลือกจึงบางลงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศง่ายขึ้นและจะง่ายมากขึ้นถ้ามีลมพัดผ่าน การตากข้าวเปลือกในลานตากไม่ควรจะให้นานมากเกินไป ความหนาของข้าวเปลือกในลานตากควรอยู่ประมาณ 3-5 cm และควรพลิกกลับอยู่เสมอ เพื่อให้ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกชั้นล่างๆ สามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ง่ายขึ้น

5.1.2 การใช้อากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดแบบบังคับ

เป็นวิธีการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งซึ่งสามารถกระทำได้ในทุกโอกาสและทุกสภาวะไม่เหมือนการตากแดดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแสงแดดทำให้เกิดปัญหามากในช่วงฤดูฝน การใช้เครื่องอบแห้งนอกจากจะช่วยลดปัญหาจากการตากแดดในฤดูฝนแล้วยังมีความสำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งถ้าอุณหภูมิของเมล็ดสูงเกินกว่า 43°C มีผลทำให้ต้นอ่อนของข้าวเปลือกสูญเสียความงอก (ถ้าเอาข้าวเปลือกตากแดดในลานตาก อุณหภูมิของข้าวเปลือกอาจสูงเกินกว่า 50°C ในขณะที่มีแดดดี) การใช้เครื่องลดปริมาณความชื้นสามารถควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้งได้อย่างใกล้ชิด

สรุปหลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

1. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะไปเพิ่มอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้สูงขึ้นเป็นผลให้แรงดันไอของข้าวเปลือกสูงกว่าบรรยากาศรอบๆ นอกของข้าวเปลือก
2. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะดูดซับความชื้นหรือไอน้ำที่ข้าวเปลือกคายออกมา
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือกจะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศร้อน
4. อุณหภูมิและความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน จะลดลงไปตามความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่อากาศร้อนพัดผ่าน

ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า อัตราการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างคือ

1. อุณหภูมิของอากาศร้อน
2. ความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือก
4. อัตราการเคลื่อนตัวของไอน้ำภายในข้าวเปลือกมาที่ผิว ซึ่งคุณสมบัติของข้าวเปลือกแตกต่างกันออกไป (Drying Characteristics)

5.2 การอบแห้งแบบชั้นบาง ๆ ของข้าว

การอบแห้งแบบชั้นบางของเมล็ดข้าวเปลือก หมายถึง กระบวนการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกโดยที่เมล็ดข้าวทั้งหมดสัมผัสกับอากาศอบแห้งภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งคือ ที่อุณหภูมิและความชื้นของอากาศคงที่โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเมล็ดข้าวเปลือกจะนำมาคิดเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง

กระบวนการของการอบแห้งนั้นเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของการสมดุลและความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งข้าวเปลือก การเกิดสมดุลความชื้นเกิดขึ้นโดยเมื่อเมล็ดข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิและความดันไอของความชื้นคงที่ ความชื้นใน

เมล็ดข้าวจะระเหยให้กับอากาศจนความดันไอของความชื้นภายในเมล็ดข้าวเท่ากับความดันไอของความชื้นภายในอากาศอบแห้ง ดังนั้นความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งจึงประกอบด้วยระยะอัตราคงที่และอัตราการลดลงของความชื้น

เมล็ดธัญพืชบางชนิดที่มีความชื้นสูงนั้นจะทำให้ระยะเวลาการลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่นั้นจะสูงและช่วงอัตราการลดความชื้นลดลงนั้นก็เกิดขึ้นตามมาในภายหลัง ซึ่งเมล็ดธัญพืชจำพวกนี้ยกตัวอย่างได้เช่น ข้าวสาลี อัตราการอบแห้งคงที่จะมีประมาณ 72% ของระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (Chakraverty, 1994) โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดอากาศเป็นอิสระกับเมล็ดธัญพืช โดยได้ระบุปัจจัยที่อัตราการอบแห้งคงที่นั้นจะขึ้นอยู่กับ

ก. ความแตกต่างของความชื้นระหว่างอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของผิวเมล็ดพืชที่ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่

ข. ความแตกต่างของความชื้นระหว่างความเร็วลมและอุณหภูมิที่กระแสของอากาศร้อนและผิวของเมล็ดคงที่

ค. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของความเร็วอากาศคงที่

เมล็ดพืชบางชนิดจะสามารถลดความชื้นได้ก็ต่อเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขของระยะเวลาในการอบแห้งลดลงภายหลังการอบแห้งคงที่นั้นและจะต้องสอดคล้องกับหลักการอบแห้งเมล็ดพืชทั้งหมดที่มีความชื้นสูงและที่มีความชื้นต่ำโดยอัตราการอบแห้งลดลงนั้นจะเกิดขึ้นในตอนท้ายของกระบวนการในช่วงเวลานี้ผิวของเมล็ดจะแห้งและจะส่งผลไปยังการหยุดการอบแห้งโดยความสามารถของการถ่ายเทความชื้นจากภายในเมล็ดให้กับพื้นผิวของเมล็ดนั้นจะเอาอัตราเทียบเท่ากับการระเหยของความชื้นจากผิวของเมล็ดไปยังอากาศสภาพแวดล้อมด้วย

ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงนั้นจะแสดงให้เห็นโดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งที่พื้นผิวและภายในของเมล็ดพืช นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศก็จะมีผลกระทบน้อยกว่าในช่วงเวลาอัตราการอบแห้งคงที่ ระยะเวลาของอัตราการอบแห้งลดลงนั้นจะถูกควบคุมโดยเมล็ดพืชและขึ้นอยู่กับเคลื่อนตัวของความชื้นภายในเมล็ดไปยังพื้นผิวของเมล็ดโดยการแพร่กระจายของความชื้นและการไล่ความชื้นที่พื้นผิวของเมล็ด

6. สมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ บน Psychrometric Chart ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

6.1 กระบวนการให้ความร้อนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Heating Process of MUST FLOW Dryer)

เมื่อกระแสของอากาศไหลผ่านขดลวดความร้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนจะทำให้กระแสของอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยที่กระบวนการนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของไอน้ำภายในกระแส

อากาศ เนื่องจากในกระบวนการนี้ไม่มีไอน้ำเข้าหรือออกจากกระบวนการ ดังนั้นในกระบวนการนี้ค่าอัตราส่วนของความชื้นคงที่ ($\omega_1 = \omega_2$) ($T_{d2} \langle T_{d1}, \omega = C, \%RH_1 \rangle \%RH_2$) แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง

6.2 กระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Drying Process of MUST FLOW Dryer)

อากาศที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดความร้อนก่อนที่จะเข้ามายังห้องอบแห้งจะเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เมื่ออากาศไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกในห้องอบแห้งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลขึ้นภายในห้องอบแห้งทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงความชื้นภายในเมล็ดต่ำลงในขณะเดียวกันอากาศอบแห้งก็จะมีอุณหภูมิต่ำลงแต่ความชื้นจะสูงขึ้น ($T_{d2} \langle T_{d1}, \omega = C, \%RH_1 \rangle \%RH_2$)

7. วิธีการอบแห้งข้าวเปลือก

ความชื้นในข้าวเปลือกนั้นมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา ซึ่งหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วควรมีการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เร็วที่สุด (ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 13-14% สามารถเก็บไว้ได้นาน 2-3 เดือน หากต้องการเก็บรักษาไว้นาน ควรลดความชื้นเมล็ดให้ต่ำกว่า 12%) การลดความชื้นในข้าวเปลือกนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

7.1 วิธีธรรมชาติ (Natural drying)

วิธีธรรมชาติเป็นการใช้ความร้อนจากแสงแดดและการไหลของอากาศทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลขึ้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศ โดยที่ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงซึ่งเกษตรกรนั้นสามารถหาวิธีลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีธรรมชาติได้ 2 วิธี คือ

7.1.1 การตากข้าวทิ้งไว้ในนาหลังการเก็บเกี่ยวแต่การตากข้าวทิ้งไว้ในนานั้นมีผลทำให้คุณภาพการสีของข้าวลดลง และอาจมีศัตรูมารบกวนทำให้ปริมาณของข้าวเปลือกบางส่วนเสียหายหรือสูญหายไป

7.1.2 การตากในลานหลังจากการเก็บเกี่ยวเพื่อลดความชื้นของข้าวเปลือกด้วยแสงแดดจะช่วยลดความเสียหายของเมล็ดข้าวได้ดีกว่าการตากข้าวไว้ในนา ซึ่งในปัจจุบันนั้นก็มีเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้รถเกี่ยวข้าวจึงทำให้ไม่สามารถที่จะตากไว้ในนาได้จึงจำเป็นต้องนำมาตากลาน โดยที่การตากข้าวในลานให้ได้ผลดีนั้นมีข้อปฏิบัติดังนี้คือ

1. ควรตากข้าวเปลือกบนวัสดุที่แห้งและสะอาด เช่น ฝาใบ ไม่ควรตากข้าวเปลือกกับพื้นซีเมนต์หรือถนนโดยตรง เพราะข้าวเปลือกอาจได้รับความร้อนจากพื้นสูงเกินไปทำให้เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ดซึ่งจะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีได้ และไม่ควรตากข้าวบนผิวดิน

โดยตรงเนื่องจากจะทำให้ความชื้นภายในดินนั้นสามารถถ่ายเทให้กับข้าวเปลือกได้และอาจมีสิ่งเจือปนติดมากับข้าวเปลือกด้วย

2. ความหนาของชั้นข้าวข้าวเปลือกที่ตากนั้นควรไม่เกิน 5 -10 ซม. เนื่องจากถ้าชั้นของข้าวเปลือกหนาเกินไปจะทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลนั้นไม่ทั่วถึงทั้งหมด และไม่ควรที่จะตากบางเกินไปเพราะจะทำให้อุณหภูมิของข้าวสูงซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี เพราะเกิดการแตกร้าวขึ้นภายในเมล็ดทำให้จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีและเกิดเมล็ดเหลืองได้ ระหว่างการตากควรมีการกลับกองข้าวทุกๆ 2 ชั่วโมง หรือวันละ 4 ครั้ง เพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนและมวลนั้นทั่วถึงจะทำให้สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ

3. ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอากาศในขณะที่ลดความชื้นข้าวเปลือกนั้นควรต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่จะสมดุลของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ การลดความชื้นจึงจะได้ผล ทั้งนี้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอากาศในตอนนั้นไม่ควรจะเกิน 60%

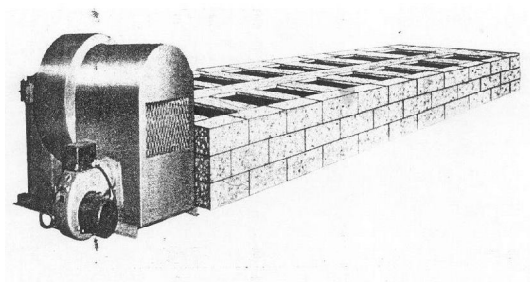
4. ในตอนเวลากลางคืนนั้นควรมีการหาวัสดุมาปกคลุมกองข้าวเปลือกเพื่อที่จะป้องกันน้ำค้างภายในอากาศไม่ให้ถ่ายเทมวลของไอน้ำให้กับข้าวเปลือกได้

7.2 การใช้เครื่องอบแห้ง (Artificial drying)

การใช้เครื่องอบนั้นมีข้อดี คือ สามารถอบแห้งได้ทุกสภาวะอากาศแม้ขณะฝนตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่เปลืองพื้นที่ในการตาก สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยจึงทำให้มีข้อดีกว่าวิธีธรรมชาติแต่อาจมีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์สูง รวมถึงต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วย เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีใช้มาจนถึงปัจจุบันสามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้

7.2.1 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกบรรจุในกระสอบ

เครื่องอบแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้กับการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ตัวเครื่องจะประกอบด้วย ห้องอากาศร้อนซึ่งทางด้านบนจะมีช่องว่างเพื่อที่จะใช้วางกระสอบของข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งมีหลาย ๆ ช่อง สามารถที่จะวางได้ครั้งละหลายกระสอบตามจำนวนของช่องว่าง ลมร้อนจะถูกเป่าผ่านช่องว่างของข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ในกระสอบ เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้อุณหภูมิต่ำ ส่วนใหญ่ไม่เกิน 45 °C และในระหว่างการอบแห้งนั้นจะต้องมีการพลิกกลับกระสอบเพื่อที่จะให้การถ่ายเทความร้อนและมวลนั้นทั่วถึงทั้งด้านบนและด้านล่างของกระสอบ

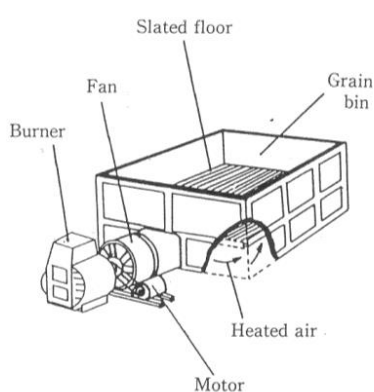


ภาพประกอบ 4 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกบรรจุในกระสอบ

ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

7.2.2 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระบะ

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระบะนั้นจะประกอบด้วยกระบะที่มีข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่บนแผ่นตะแกรง โดยทางด้านล่างของแผ่นตะแกรงจะเป็นห้องของอากาศร้อนที่ต่อเข้ากับพัดลมและชุดสร้างอากาศร้อน อากาศร้อนจะไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือก ที่อยู่นิ่งบนแผ่นตะแกรงจากด้านล่างสู่ด้านบน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกกับอากาศร้อนขึ้น โดยความชื้นของข้าวเปลือกทางด้านล่างจะลดลงเร็วกว่าทางด้านบน เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่เกิน 50°C และที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่จะใช้กับเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดข้าวอยู่กับที่จึงไม่ส่งผลต่อการแตกตัวของเมล็ดมากนัก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะสามารถลดความชื้นได้ $0.5\% \text{ db/hr}$ จากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก

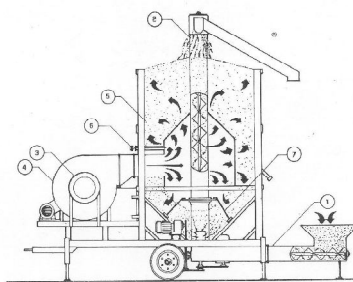


ภาพประกอบ 5 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระบะ

ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

7.2.3 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบถังหมุนเวียน

เครื่องลดความชื้นแบบนี้ถึงบรรจุข้าวเปลือกจะทำด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ส่วนกลางของถังจะมีท่อลมทำด้วยตะแกรงรูปทรงกระบอกซ้อนอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกเป่าให้ผ่าน เมล็ดตามแนวรัศมี ผ่านรูตะแกรงออกสู่ภายนอก ข้าวเปลือกที่อยู่ด้านล่างจะถูกลำเลียงขึ้นไปด้านบนใหม่หลายเที่ยวจนกว่าจะแห้ง เครื่องแบบนี้ได้มีการสร้างจำหน่ายเมื่อประมาณหลายปีมาแล้ว แต่ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากปัญหาเรื่องฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายรบกวนผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่ใกล้เคียง รวมทั้งการสึกหรอของระบบลำเลียง ซึ่งใช้เกลียวลำเลียงในแนวตั้ง



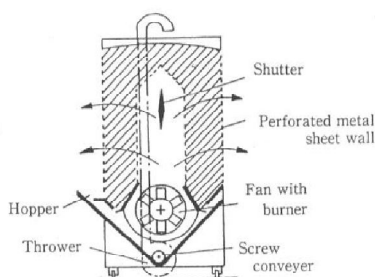
ภาพประกอบ 6 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบถังหมุนเวียน

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

7.2.4 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์

เครื่องลดความชื้นแบบนี้มองภายนอกจะเห็นถึงบรรจุเมล็ดพืชเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ส่วนใหญ่สูงมากกว่า 3 เมตร การบรรจุข้าวเปลือกจะต่อเข้ากับท่อลมร้อนทางด้านข้างซึ่งมีเตาลมร้อนและพัดลมเป็นส่วนประกอบ ส่วนทางด้านล่างของถังบรรจุเมล็ดจะมีชุดควบคุมการไหลของข้าวเปลือก เครื่องลดความชื้นแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

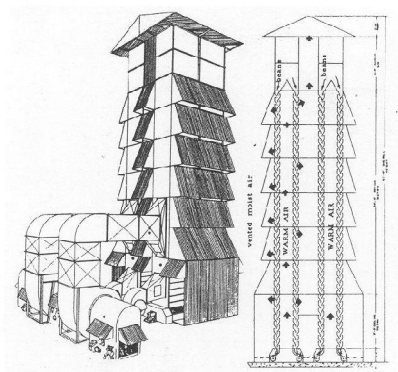
1. เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้าภายในถังบรรจุข้าวเปลือกของเครื่องลดความชื้นแบบนี้จะประกอบด้วย ช่องบรรจุข้าวเปลือกที่ด้านข้างทั้ง 2 ด้านจะเป็นตะแกรงเพื่อให้ลมร้อนผ่านได้อย่างสะดวก โดยจะต้องมีช่องว่างอย่างน้อย 2 ช่อง ตรงกลางของเครื่องจะเป็นห้องลมร้อน ซึ่งจะพัดผ่านข้าวเปลือกและออกทางแนวข้างทั้ง 2 ช่อง เครื่องลดความชื้นแบบนี้มีข้อเสีย คือ ข้าวเปลือกที่อยู่ชิดห้องลมร้อนจะแห้งเร็วกว่าทางด้านท่อลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จึงต้องใช้ปริมาณลมร้อนจำเพาะสูง เพื่อให้ความแตกต่างของความชื้นข้าวเปลือกส่วนที่ติดห้องลมร้อนกับด้านลมออกมีค่าน้อย อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะต่ำ คือประมาณ 54°C



ภาพประกอบ 7 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

2. เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะต่างจากแบบเครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกบรรจุในกระสอบ. คือ ภายในห้องอบแห้งระหว่างห้องลมร้อนกับช่องบรรจุข้าวเปลือกจะถูกกั้นด้วยแผ่นทึบที่ทำเป็นแนวกลับทิศการไหลของข้าวเปลือกสลับกันไปมา ซึ่งในระหว่างแผ่นนี้จะมีช่องว่างให้ลมไหลผ่านได้ ข้าวเปลือกที่ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างจะมีโอกาสสัมผัสลมร้อนเท่า ๆ กัน เนื่องจากข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



ภาพประกอบ 8 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า

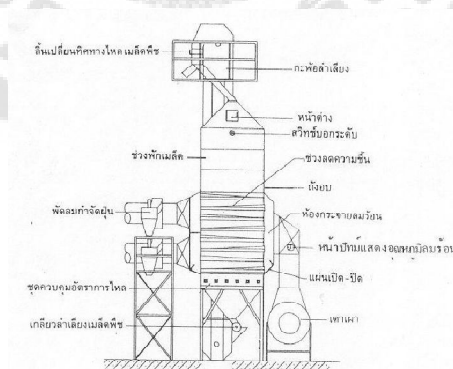
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ทั้ง 2 แบบนี้ สามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ แบบแรกใช้แบบเป็นครั้งหรืองวด โดยในขั้นแรกจะบรรจุข้าวเปลือกจนเต็มถัง จากนั้นจึงใช้พัดลมเป่าลมร้อนเข้าไปในห้องอบแห้ง ในขณะที่เดียวกันก็หมุนเวียนข้าวเปลือกในส่วนที่อยู่ทางด้านล่างของห้องอบแห้งขึ้นไปสู่ด้านบนของถังบรรจุข้าวเปลือกหลาย ๆ ครั้งจนกว่าข้าวเปลือกจะแห้งและได้ความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ จึงถ่ายข้าวเปลือกออกจากถังเก็บ ส่วนการใช้งานในลักษณะที่สอง

คือ แบบไหลต่อเนื่อง ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะไหลผ่านเข้าสู่ห้องอบแห้งจากทางด้านบนลงล่าง เพียงเทียวเดียว ความชื้นจะลดลงในระดับหนึ่ง จากนั้นนำไปเก็บในถังพักไว้ระยะหนึ่งเพื่อปรับสภาพความชื้นภายในข้าวเปลือกเองอย่างน้อย 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำกลับมาผ่านเครื่องอบใหม่ ทำในลักษณะนี้จนกว่าจะจนข้าวเปลือกจะแห้งและนำไปเก็บไว้ในถังเก็บ

7.2.5 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้าซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า แบบ LSU เครื่องลดความชื้นแบบนี้ดูภายนอกมีลักษณะเช่นเดียวกับกับแบบคอลัมน์ คือ ถังบรรจุข้าวเปลือกจะเป็นแบบถังทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ข้าวเปลือกจะไหลจากด้านบนลงล่างโดยมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของเมล็ด ภายในถังอบประกอบด้วยท่อลมเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีท่อลมหลายท่อ ท่อลมแต่ละชั้นจะเป็นท่อลมร้อนเข้าและท่อลมออกสลับกันท่อลมร้อนเข้านี้จะพัด ผ่านข้าวเปลือกในถังอบและไหลออกทางท่อลมออกที่อยู่ชั้นด้านบนและด้านล่างท่อลม แต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นรางคว่ำ ด้านบนแหลม ด้านล่างเปิดกว้างในแนวนานกับพื้นยาวตลอดถึง ที่ปลายรางด้านหนึ่งจะเจาะช่องต่อเข้ากับห้องรวบรวมลม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะปิดท่อลม แต่ละชั้นจะมีช่องที่เจาะเข้ากับห้องรวบรวมลมสลับกัน โดยชั้นหนึ่งจะต่อเข้าทางด้านห้องลมร้อนเข้า และอีกชั้นหนึ่งจะต่อเข้ากับห้องลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะทำให้ข้าวเปลือกไหลกลับไปกลับมา และมีโอกาสสัมผัสกับลมร้อนเข้าและลมขึ้นที่เป่า ออกสลับกัน เท่ากันตลอดทั้งถังบรรจุข้าวเปลือก อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้จะได้สูงกว่าแบบคอลัมน์คือ 66°C สำหรับการใช้งานก็เช่นเดียวกับกับแบบ คอลัมน์ คือ ใช้อบแบบเป็นครั้งหรืองวดและอบแบบไหลต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 9 เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืชแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

7.2.6 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบโรตารี

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบโรตารีนี้นิยมใช้ในการลดความชื้นข้าวหนึ่งในช่วงแรก หลังจากที่ข้าวเปลือกผ่านการนึ่งมาแล้ว ตัวเครื่องจะเป็นรูปถังทรงกระบอกแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 m ความยาว 15-30 m มุมเอียงถึง 2-4 องศาจากแนวนอน ถึงหมุนด้วยความเร็วรอบ 4-8 rpm โดยทั่วไปข้าวเปลือกจะอยู่ในถังประมาณ 10-20 min อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ 121-288 °C

นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นไม่เกิน 18% หรือข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไธซ์เบด ภายในถังหรือถังเก็บข้าวเปลือกจะมีการวางท่อลมไว้ที่พื้นเป็นระยะๆ ท่อลมนี้จะต่อเข้ากับพัดลม ลมที่เป่าก็คืออากาศแวดล้อมหรือลมธรรมชาตินั่นเอง เป่าจากด้านล่างขึ้นด้านบนของกองข้าวเปลือกซึ่งโดยปกติสูงไม่เกิน 4 เมตร สำหรับข้าวเปลือกจะใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ลดความชื้นจาก 18-20% เหลือ 14-15%



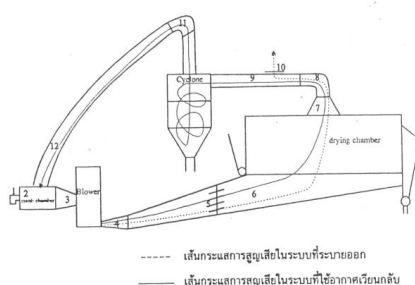
ภาพประกอบ 10 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบโรตารี

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

7.2.7 เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไธซ์-เบด

เครื่องลดความชื้นแบบนี้ได้มีการพัฒนาและสร้างออกจำหน่ายภายในประเทศและการใช้งานในลักษณะไหลต่อเนื่องและใช้ปริมาณลมสูง ส่วนของห้องอบจะเป็นห้องปิดมีตะแกรงอยู่ด้านล่างที่ปลายทั้ง 2 ด้านจะมีอุปกรณ์สำหรับป้อนเมล็ดพืชเข้าและออกจากห้องอบ ลมร้อนจะเป่าผ่านชั้นเมล็ดพืชที่อยู่บนตะแกรงและความหนาไม่เกิน 10 cm ด้วยความเร็วของอากาศร้อนประมาณ 1.9 m/s ซึ่งทำให้ข้าวเปลือกกลอยตัวได้ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้สูงกว่า 100°C และช่วงระยะเวลาที่เมล็ดสัมผัสลมร้อนจะสั้นประมาณ 3-5 นาที เหมาะสมสำหรับใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงมากกว่า 20% เนื่องจากเครื่องลดความชื้นแบบนี้ใช้ปริมาณลมและความร้อนสูงเป่าผ่านข้าวเปลือก

ในระยะเวลาอันสั้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ลมร้อนจึงมีการนำเอาความร้อนที่ผ่านข้าวเปลือกแล้วนำกลับมาทำให้ร้อนใหม่ประมาณ 80% ส่วน 20% ปลอยทิ้งไป ข้าวเปลือกเมื่อผ่านเครื่องลดความชื้นแบบนี้เพียงเที่ยวเดียวความชื้นจะลดลง 5-10% ทำให้มีอัตราการทำงานสูงเหมาะกับตลาดกลางที่มีปริมาณข้าวเปลือกความชื้นสูงเข้ามาในปริมาณมาก ข้าวเปลือกที่ผ่านเครื่องลดความชื้นแบบนี้แล้ว สามารถนำไปอบแห้งในยุ้งเก็บที่มีการเป่าอากาศผ่านกองข้าวเปลือกได้ หรืออาจใช้ร่วมกับเครื่องลดความชื้นแบบอื่นๆ ก็ได้



ภาพประกอบ 11 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบต

ที่มา: มุस्ताฟา ยะกา (2537)

7.2.8 เครื่องลดความชื้นแบบสเปาเต็ดเบต

เครื่องลดความชื้นแบบสเปาเต็ดเบตนั้นเป็นเครื่องอบแห้งที่มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบต โดยในระบบของฟลูอิดไคซ์เบตอากาศจะถูกกระจายทั้งห้องอบแห้งด้วยแผ่นกระจายอากาศแต่ระบบสเปาเต็ดเบตอากาศจะผ่านเข้ามาภายในห้องอบแห้งโดยมีลักษณะเป็นลำอากาศเข้ามาบริเวณจุดกึ่งกลางของห้องอบแห้งทรงกรวยจากทางด้านล่าง ข้าวเปลือกจะกระจายตัวภายในส่วนของห้องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบต บริเวณทางเข้าของอากาศที่เข้าอบแห้ง โดยที่จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลขึ้นอย่างรวดเร็ว เมล็ดข้าวเปลือกจะมีการเคลื่อนที่และหมุนเวียนโดยที่เมล็ดข้าวจะลอยขึ้นด้านบนภายในห้องอบแห้งส่วนของสเปาและเคลื่อนที่ตกลงในส่วน of annulus ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่แบบนี้ตลอดเวลาของการอบแห้ง ซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟลูอิดไคซ์เบตจะพบว่าสามารถใช้ออบแห้งวัสดุชนิดอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 mm และสามารถใช้กับวัสดุที่มีขนาดแตกต่างกันได้แต่การอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตนั้นเป็นการอบแห้งแบบเป็นช่วงไม่สามารถที่จะอบแห้งแบบต่อเนื่องได้



ภาพประกอบ 12 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบสเปาเต็ดเบด

ที่มา: พรศักดิ์ ทองมาและคณะ (2542)

การพัฒนาของหลักการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันโดยจะสามารถแบ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติและการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้ง ซึ่งจะเห็นว่าจากทั้ง 2 แบบนี้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกนั้นจะมีตัวแปรที่สำคัญต่อการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกันเช่น ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ลดความชื้น เป็นต้น

8. สมการที่เกี่ยวข้องสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท็อฟ

8.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2535)

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิถ่ายของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมลิตของแข็ง ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมลิตของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของของแข็งเป็นแบบการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fourier คือ

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน

k = สภาพการนำความร้อนของของไหล

$\frac{dT}{dk}$ = อุณหภูมิของของไหล

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกับกระแสของไหล มักเขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ว่า

$$q = hA(T_{\infty} - T_s) \quad (4)$$

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_s = อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง

T_∞ = อุณหภูมิกระแสของไหล

8.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปริมาณการถ่ายเทมวลนั้นขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของสารที่ได้มีมวลมากกว่าก็จะกระจายไปหรือเดินทางไปยังที่ความเข้มข้นมากกว่าซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวลสารสามารถเขียนเป็นสมการได้ (Broker et al. 1992)

$$\dot{m}_p = \frac{dM}{dL} = m_f \frac{d(RH)}{dL} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_p$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น

M = ปริมาณความชื้น

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

L = ความยาวห้องอบแห้ง

8.3 ทฤษฎีความหนาแน่นของข้าวเปลือก

ความหนาแน่นเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์การอบแห้ง ความหนาแน่นแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริงหมายถึงอัตราส่วนของมวลวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุ ความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) มักใช้กับวัสดุเม็ดซึ่งกองรวมกันอยู่เป็นปริมาณมาก และหมายถึงอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรทั้งหมดซึ่งรวมปริมาตรของเม็ดวัสดุและปริมาตรของอากาศที่แทรกตัวอยู่ตามช่องว่างของเม็ดวัสดุอีกด้วยโดยสัดส่วนช่องว่างอากาศ ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_T} \quad (6)$$

เมื่อ ε = สัดส่วนช่องว่างอากาศ

ρ_b = ความหนาแน่นปรากฏ

ρ_T = ความหนาแน่นจริง

8.4 ทฤษฎีความดันลดในชั้นข้าวเปลือก

ในขณะที่เมล็ดข้าวเปลือกเริ่มลอยตัวเป็นอิสระนั้น เมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่ในสภาวะสมดุลของแรง 2 แรง คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัวเมล็ดข้าวเปลือกกับแรงพยุงจากข้าวเปลือกหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล ซึ่งพอจะเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\Delta P = L_1(1 - \varepsilon_1)(\rho_p - \rho_a)g \quad (7)$$

เมื่อ	ΔP	= ความดันตกที่เกิดขึ้นที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก; Pa
	L_1	= ความหนาของข้าวเปลือกขณะเคลื่อนที่; m
	ε_1	= ความพรุนของข้าวเปลือกขณะเคลื่อนที่
	ρ_p	= ความหนาแน่นของข้าวเปลือก; kg/m^3
	ρ_a	= ความหนาแน่นของอากาศ; kg/m^3
	g	= ความเร่งโน้มถ่วงของโลก; 9.81 m/s^2

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดปริมาณลดความชื้นของข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง ที่ผ่านมามีและพัฒนารูปแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบการเคลื่อนที่ในแนวราบโดยใช้ลมร้อนในการอบแห้งโดยได้ศึกษาทั้งเชิงทฤษฎีและทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นแบบข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบหรือเรียกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรม พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบกับวิธีการลดความชื้นแบบอื่น เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งผลการวิจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

สมเกียรติ ปรัชญาวารการ (2534) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงและอุณหภูมิสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงาน จากนั้นจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาสภาพที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือก จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งข้าวเปลือกไม่ควรใช้อุณหภูมิอบแห้งเกิน $115^\circ C$ และความชื้นสุดท้ายหลังการอบไม่ควรต่ำกว่า 24-25 %db เนื่องจากลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งสูงสุดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งต่ำ สำหรับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าในการอบแห้งโดยฟลูอิดไดซ์เบด ควรมีอัตราเวียนอากาศกลับ 90% ใช้ความเร็วในการทดลอง 4.4 m/s ความหนาของเบด 9.5 cm และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 0.1 kg/s-kg dry matter ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งต่ออัตราการผลิตต่ำสุด

อรอนงค์ ศรีพาทกุล (2536) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ควบคุมไปกับผลการทดลองซึ่งจะพิจารณาที่อัตราการผลิตสูง ความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และข้าวที่ได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ $115^\circ C$ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 30 %db เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม $30^\circ C$ ความชื้นสัมพัทธ์ของ

อากาศแวดล้อม 70% ความสูงของเบต 10 cm อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 0.043 kg/s-kg dry matter อัตราการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80% มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ระเหยต่ออัตราการผลิตต่ำสุดโดยจะสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.9 MJ/ kg dry matter มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง 2.05 Baht/kg – water

มูस्ताฟา ยะกา (2537) ได้ศึกษาการออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบตอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง โดยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 1 ton/hr เพื่อต้องการให้เป็นต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบตอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง จากการดำเนินการทดลองสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้ สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 3 min อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 100-120 °C ความสูงของข้าวเปลือก 11 cm อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m³/s ความเร็วของอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือก 1.9 m/s อัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 66.7% ใช้กำลังไฟฟ้า 6,559 W ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเฉลี่ย 5.73 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 270 MJ/kg dry matter ที่ความสามารถในการระเหยน้ำได้ 140 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.9 MJ/kg-water

มนตรี หวังจิ (2539) ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบตระดับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตเป็น 5-10 ton/hr ขณะทำการทดสอบกำลังผลิตเท่ากับ 9.5 ton/hr มีอัตราการไหลอากาศร้อน 5.57 m³/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 2.23 m/s ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วงประมาณ 115-130 °C โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกให้อยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1.4 min ความสูงของเบตประมาณ 15 cm สามารถลดความชื้นเริ่มต้นโดยประมาณ 29 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้ายโดยประมาณ 23 %db โดยมีอัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 69% (3.50 kg/s) ใช้กำลังไฟฟ้า 32,325 W ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาเฉลี่ย 31.54 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 1,478.23 MJ/hr มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ประมาณ 420.29 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและไฟฟ้า 3.96 MJ/ kg-water

วาทัญญ รอดประพัฒน์ (2540) ได้ศึกษาออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบตเคลื่อนย้ายได้ขนาดกำลังผลิต 2.5–5.0 ton/hr โดยสภาวะที่เหมาะสมคืออัตราป้อน 3.8 ton/hr อัตราการไหลอากาศร้อน 3.5 m³/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบ 2.8 m/s อุณหภูมิเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง 144 °C ความสูงของเบต 13.5 cm อัตราการเวียนกลับของอากาศ 80% ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1.3 min ผลการทดสอบพบว่า สามารถลดความชื้น

ข้าวเปลือกจาก 32.6 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 25.8%db สิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิ 4.2 MJ/kg-water ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกทั้งหมด 1.67 Baht/kg-water

วุฒิภรณ์ จริยตันติเวทย์ (2541) ได้ศึกษาพัฒนาการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสันสะเทือน ขนาดกำลังผลิต 2.5-5 ton/hr ขณะทำการทดสอบใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 1.72 m³/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 1.37 m/s ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 130-150 °C โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1 min ความสูงของเบดประมาณ 12 และ 13 cm สามารถลดความชื้นเริ่มต้นจากประมาณ 26 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 23 %db อัตราการเวียนของอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 85% โดยมีค่าความเข้มของการสันสะเทือนประมาณ 1 (ความถี่ 7.28 Hz) ใช้กำลังไฟฟ้า 9,646 W ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 17.50 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิ 723.05 MJ/hr มีความสามารถในการระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 117.05 kg-water/hr

สุวัฒน์ ตูทศนวินท์ (2542) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสันสะเทือน สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีขนาดกำลังผลิต 5 ton/hr ความชื้นเริ่มต้น 30 %db และความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้ง 2.3 m/s อุณหภูมิอบแห้ง 149 °C อัตราการเวียนกลับของอากาศ 93% และความสูงของเบด 11.9 cm มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะ 5.74 MJ/kg-water และความชื้นสุดท้าย 24.9 %db และสำหรับการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดสันสะเทือนที่กำลังผลิตและความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน แต่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.5 m/s โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 143 °C อัตราการเวียนกลับของอากาศ 83% ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 9.9 cm ความถี่การสันสะเทือน 5 rpm และความเข้มของการสันสะเทือน 2.5 มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดประมาณ 7%

วาทัญญ รอดประพัฒน์และคณะ (2542) ได้ออกแบบและศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคสเปาเต็ดเบด พิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิต่อการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 22-24 %db ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ในช่วง 80-100 °C ความเร็วของอากาศร้อน 24.25 m/s พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศอบแห้งสูงขึ้นทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก และเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดลดลง ส่วนความขาวของข้าวสาร อุณหภูมิของอากาศอบแห้งไม่มีผลกระทบมากนัก การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ควรใช้เวลาในการอบแห้งไม่เกิน 20 min จะได้ความชื้นสุดท้าย 15.95 %db สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.87 MJ/kg-water

พรัคต์ ทองมาและคณะ (2542) ได้ออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสเปาเต็ดเบต มีการนำเอาอากาศอบแห้งเวียนกลับมาใช้ใหม่ ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 26-38 %db ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ในช่วง 130-190 °C จากการทดลองป้อนข้าวเปลือกที่ 664 kg/hr อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.73 m³/s สัดส่วนของอากาศอบแห้งเวียนกลับมาใช้ใหม่ 0.62 ระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งเฉลี่ย 17 min พบว่าสามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น ลงเหลือ 21.3 %db คุณภาพของข้าวหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.5 MJ/ kg-water

มูस्ताฟา ยะภาและคณะ (2551) ได้สร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบตชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่งโดยทำการสร้างตัวควิตี้ขนาด 95 cm x 65 cm x 80 cm ซึ่งทำจากสแตนเลสและติดตั้งตัวแมกนีตรอนและชุดควบคุมเพื่อจ่ายคลื่นไมโครเวฟเข้าในกล่องไมโครเวฟที่สองตำแหน่งพร้อมกันโดยที่แมกนีตรอนแต่ละตัวมีกำลังสูงสุดขนาด 800 W ที่ความถี่ 2.45 GHz จากผลการทดลองทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบตชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง กำลังแมกนีตรอนรวม 1600 W อุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ย 70°C มีความเร็วลม 2.3 m/s โดยในแต่ละรอบของการอบแห้งใช้เวลา 9 นาที สามารถอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 30 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 10 %wb

มูस्ताฟา ยะภาและณัฐวุฒิ ดุษฎี (2555) ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบโดยอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เคลื่อนที่ในแนวราบและมีลมร้อนไหลตัดขวาง โดยมีกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องขนาด 1 ton/hr ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23.75 %wb โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80, 90, 100 °C ความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ย 5 m/s จะทำให้ข้าวเปลือกความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.5 %wb ซึ่งสามารถจัดการสภาพของการเคลื่อนที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงในห้องอบแห้งให้มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

จากการศึกษาการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องอบแห้งที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเป็นเครื่องอบแห้งข้าวแบบฟลูอิดไดซ์เบตสเปาเต็ดเบต และแบบ LSU ซึ่งกำลังเป็นที่นิยม อันเนื่องมาจากสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้รวดเร็ว และคุณภาพของข้าวสารที่ได้หลังจากการอบแห้งก็เป็นที่ยอมรับได้ในระดับอุตสาหกรรม ต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่ต่อเนื่องในแนวราบที่มีลมร้อนไหลตัดขวางการทำงานของเครื่องอบแห้งจะมีพัดลมดูดอากาศร้อนอยู่ทางด้านทางออกของเครื่องและมีการขยับของห้องอบแห้งเป็นจังหวะและข้าวเปลือกก็จะเคลื่อนที่ไปในแนวราบ พบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังการอบแห้งนั้นมีความสม่ำเสมอกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตสเปาเต็ดเบต และแบบ LSU งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลอัตราการ

ไหลของอากาศร้อนที่มีผลต่อเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ได้คิดค้นขึ้นมาใหม่ เพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

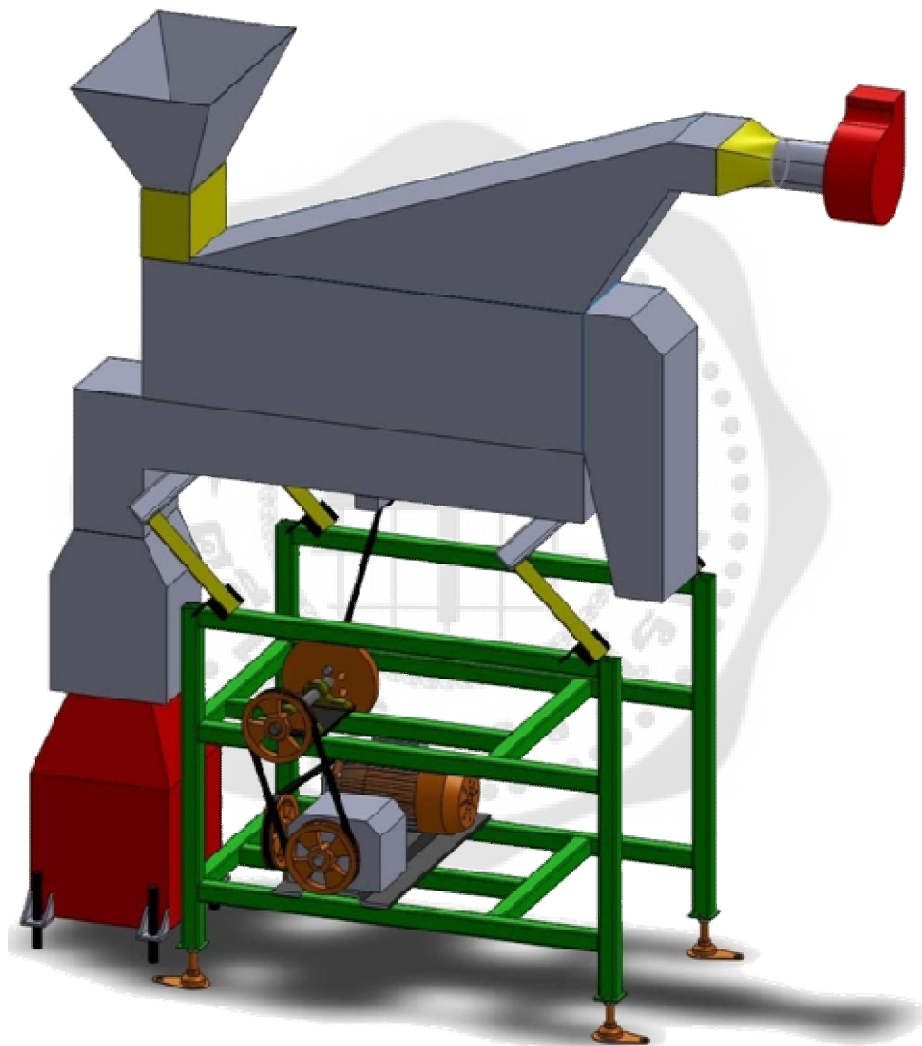


บทที่ 3

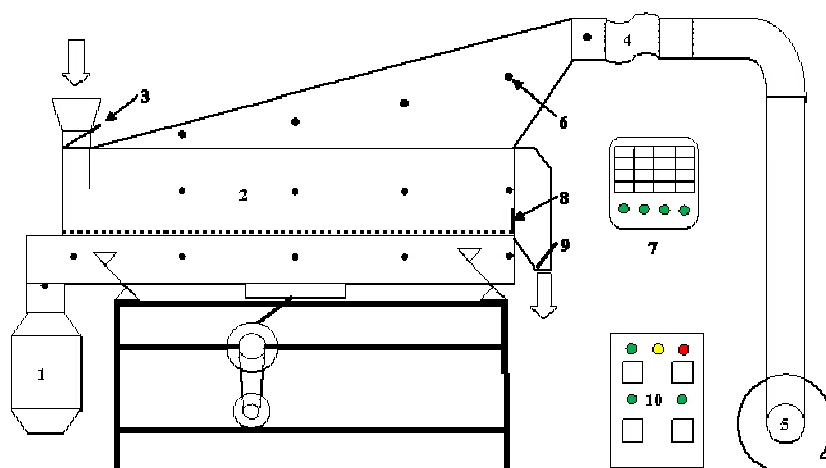
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์การทดลอง

1.1. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทสึโฟล



ภาพประกอบ 13 แสดงเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ MUST FLOW



ภาพประกอบ 14 แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอบข้าวแบบ MUST FLOW

- | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1. Heat Source | 2. Drying Chamber | 3. Paddy Feed Port |
| 4. Flexible Tube | 5. Suction Blower | 6. Thermocouple |
| 7. Data Logger | 8. Weir | 9. Paddy Discharge Port |
| 10. Electrical Control Switch | | |

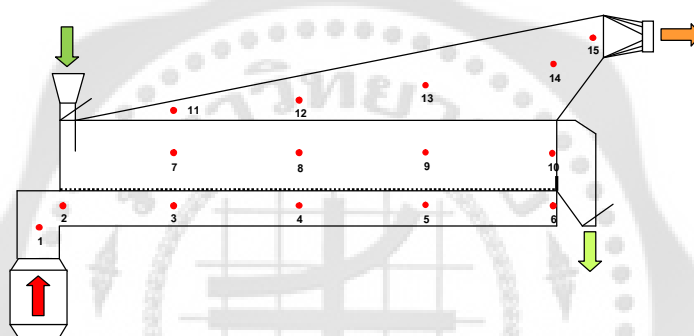
หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลเริ่มต้นจากการใช้พัดลมดูดอากาศร้อนจากห้องกำเนิดความร้อนที่อยู่ทางด้านล่างของห้องอบแห้งซึ่งมีห้องผสมอากาศสำหรับใช้เพื่อผสมอากาศร้อนกับอากาศภายนอกเข้าด้วยกัน และลมร้อนจะถูกดูดให้ไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่ตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือกในแนวตั้งที่อยู่บนตะแกรงซึ่งวางเป็นแนวระนาบในห้องอบแห้ง จากนั้นพัดลมก็จะทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนและความชื้นออกไปจากห้องอบแห้งทางด้านบน ในขณะที่ข้าวเปลือกซึ่งตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือกโดยอิสระด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีลมร้อนไหลผ่านในแนวตั้งนั้นจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในแนวราบด้วยแรงลมที่พุ่งผ่านในแนวตั้งผนวกกับการโยกโยนของห้องอบแห้งอย่างเป็นจังหวะ ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำกว่าเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูงกว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงกว่า จึงสามารถกระโดดผ่านแผ่นกันในระยะเวลาที่รวดเร็วและตกลงไปในช่องทางออกที่อยู่อีกด้านของห้องอบแห้งในที่สุด

สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้จะใช้วิธีการอบแห้งด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นในห้องอบแห้งบนแผ่นตะแกรงแนวระนาบระหว่างลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือก โดยวิธีการพาแบบบังคับและการนำความร้อน โดยเมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในห้องอบแห้งแล้วอากาศร้อนจะค่อยๆ ไหลผ่านช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นไปด้านบนเมล็ดข้าวเปลือก

จะเดินทางอย่างสม่ำเสมอและเมื่อช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวที่สม่ำเสมอทำให้มีความพรุนสูงจึงเกิดการสัมผัสและการแลกเปลี่ยนความร้อนรวมทั้งความชื้นขึ้นขึ้นรอบๆ เมล็ดข้าวเปลือกเนื่องจากค่าความเร็วผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับเมล็ดข้าวเปลือกที่มีค่าสูงจึงทำให้อัตราการลดความชื้นมีค่าสูงตามไปด้วย

1.2 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermo Couple)

การทดสอบต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล เพื่อหาค่าเสถียรภาพของอัตราการไหลของอากาศร้อนและอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง ทำโดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล ณ จุดต่างๆ ภายในห้องอบแห้งจำนวน 15 ตำแหน่งเพื่อวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเครื่องอบแห้งซึ่งแสดง ดังรูปที่ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermo Couple) ใช้ร่วมกับเครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิทัล โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด เค (Thermo Couple Type K) Operating Temperature : -100 - 1250 °C



ภาพประกอบ 16 เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด เค (Thermo Couple Type K)

1.3 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ

เครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) จำนวน 48 Chanel DCV Rang 1-5 V $\pm(0.05\% \text{ of rdg}+3 \text{ digits})$ Thermocouple Type K $\pm(0.15\% \text{ of rdg}+0.7^{\circ}\text{C})$ Resistance thermometer detector Rang Pt100 $\pm(0.15\% \text{ of rdg}+0.3^{\circ}\text{C})$ เป็นเครื่องเก็บข้อมูลของอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพประกอบ 17 เครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger)

1.4 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น Model Test 400 Range 0 ถึง 20 m/s / -20 ถึง 70 $^{\circ}\text{C}$ Accuracy $\pm(0.03 \text{ m/s} + 5\% \text{ of mv}) / \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0 to $+60^{\circ}\text{C}$) $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ (Remaining Range) สามารถวัดความเร็วลม, วัดความชื้นสัมพัทธ์, วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



ภาพประกอบ 18 ชุดเครื่องวัดความเร็วลม

1.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น Testo 845 Range -35 to $+950$ °C ± 0.75 °C สามารถปรับการวัดให้เป็นการวัดสำหรับระยะใกล้ (Close Focus) และสำหรับระยะไกล (Far Focus)



ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

1.6 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก ยี่ห้อ Grain Moisture Meter รุ่น GMK – 303 (± 0.05 % Below 20%) สามารถวัดความชื้นได้ถึง 30 % สามารถวัดความชื้นข้าวได้หลายชนิด เช่น ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเปลือก ข้าวบาร์เลย์ ข้าวบาร์เลย์ชนิดเปลือกอ่อน และข้าวสาลี เป็นต้น



ภาพประกอบ 20 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

1.7 เครื่องชั่งดิจิตอล

เครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น YAOHUA # T7 พิกัดน้ำหนัก 60/150 กิโลกรัม ค่าละเอียด 0.01 กรัม ใช้สำหรับชั่งข้าวเปลือกที่จะทำการทดลอง



ภาพประกอบ 21 เครื่องชั่งดิจิตอล

1.8 มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทสไฟล



ภาพประกอบ 22 มิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 วิธีการทดสอบ

ในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก จะทำการทดลองกับข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 %wb ใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05 - 0.30 m³/s ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 100– 150 °C โดยมีขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

2.1.1 เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยการตรวจอุปกรณ์และระบบพร้อมทั้งทำความสะอาด

2.1.2 นำตัวอย่างข้าวเปลือกมาวัดความชื้นเริ่มต้น และนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาดมาบรรจุในฮอปเปอร์ (Hopper)

2.1.3 เปิดสวิตช์ชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และเปิดสวิตช์ชุดควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ปรับอุณหภูมิอากาศร้อนเริ่มต้นที่ 100 °C

2.1.4 เมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนมีอุณหภูมิถึงสภาวะคงที่ (Steady State) แล้วทำการปรับอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่ฮอปเปอร์ (Hopper) โดยควบคุมอัตราการไหลของข้าวเปลือกด้วยความสูงของชั้นข้าวเปลือก

2.1.5 บันทึกผลการวัดอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทั้งหมด 15 ตำแหน่ง

2.1.6 บันทึกอัตราการไหลของอากาศ

2.1.7 เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการการอบแห้ง เพื่อมาตรวจสอบหาค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก

2.1.8 ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น 110-150 °C โดยเปลี่ยนอุณหภูมิครั้งละ 10 °C ในแต่ละอุณหภูมิให้ทำการทดลองซ้ำกับแบบเดิมตั้งแต่ข้อ 3.2-3.7

2.1.9 เปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศร้อนตามค่าที่กำหนดไว้ โดยช่วงการทำงานนั้นขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งในแต่ละอัตราการไหลของอากาศร้อนนั้นให้ทำการทดลองซ้ำกับแบบเดิมตั้งแต่ข้อ 3.2-3.8

2.1.10 เลือกสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดมาทำการทดลองการอบแห้งอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 min เพื่อดูความเสถียรของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลู โดยทำการเก็บตัวอย่างมาวัดความชื้นข้าวเปลือกหลังอบแห้งทุกๆ 1 min

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 จดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

2.2.2 จดบันทึกค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกก่อนการอบแห้ง

2.2.3 จดบันทึกอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในห้องอบแห้ง

2.2.4 จดบันทึกค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

2.2.5 จดบันทึกค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆ ที่เกิดขึ้น

2.3.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเดียวกันเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล

2.3.2 เปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศร้อนที่อุณหภูมิของการอบแห้งเดียวกันเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล

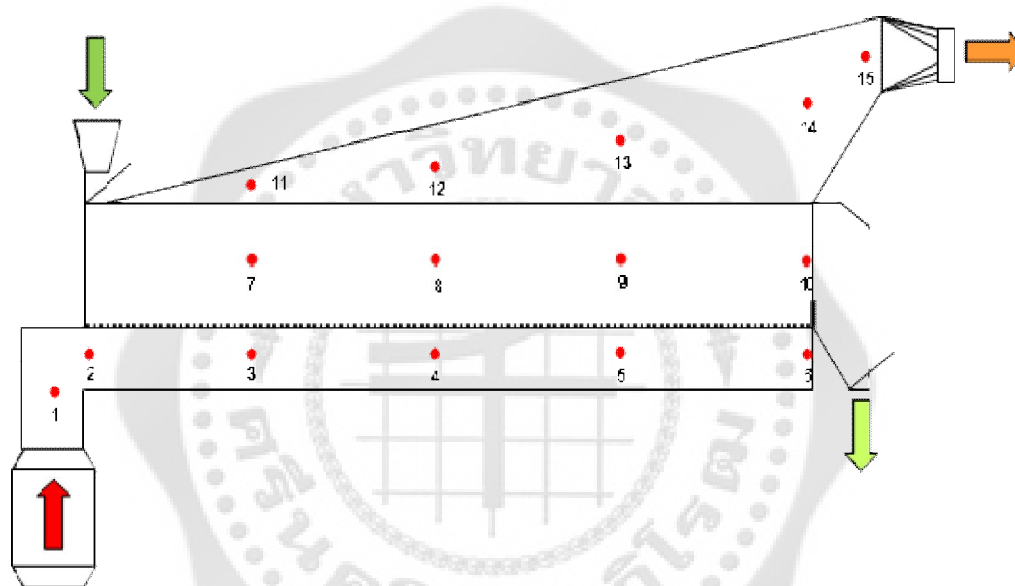


บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบจะได้กราฟดังต่อไปนี้

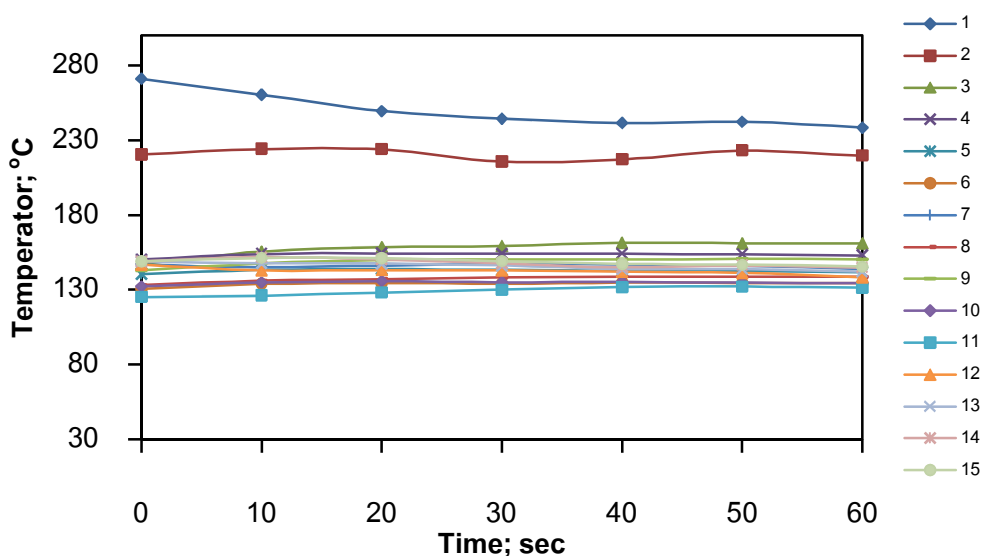
ตำแหน่งการจัดวางตัววัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟล



ภาพประกอบ 23 แสดงตำแหน่งการจัดวางตัววัดอุณหภูมิ

จากภาพประกอบ 23 เป็นการแสดงตำแหน่งการจัดวางตัววัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟล โดยได้ทำการจัดวางตัววัดอุณหภูมิไว้ทั้งหมด 15 ตำแหน่ง แบ่งการวัดออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นส่วนของห้องผสมอากาศ ตำแหน่งที่ 3 - 6 เป็นส่วนของห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ตำแหน่งที่ 7 - 10 เป็นส่วนของห้องอบแห้ง และตำแหน่งที่ 11 - 15 เป็นส่วนของห้องทางออกของอากาศร้อน ซึ่งตัววัดอุณหภูมิทั้ง 15 ตำแหน่งนี้จะใช้ดูการกระจายของอุณหภูมิและนำไปวิเคราะห์การทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลต่อไป

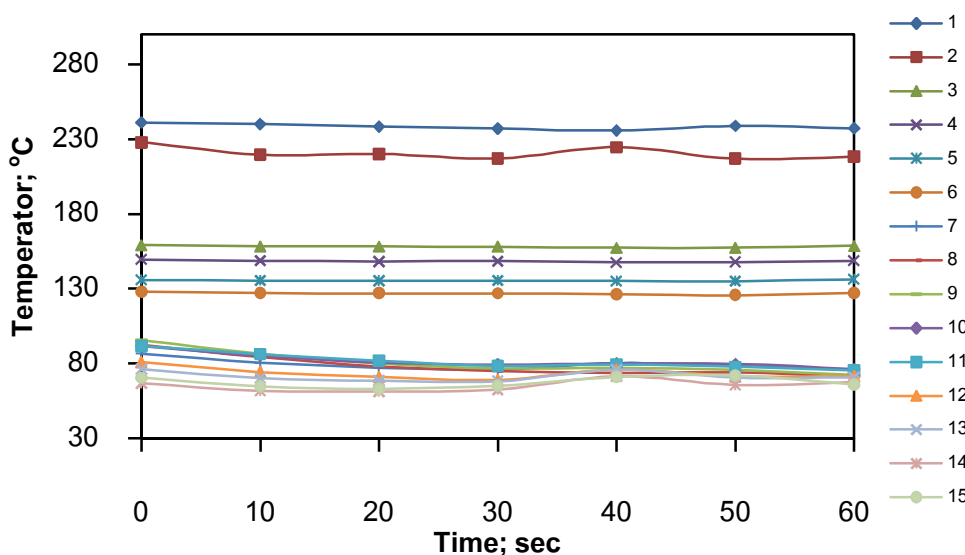
การกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลา 60 sec ของสภาพการทำงานแบบคงตัวโดยไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือก



ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลา 60 sec หลังจากเดินเครื่องปกติจนเข้าสู่สภาพคงตัวในสภาวะที่ยังไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือก

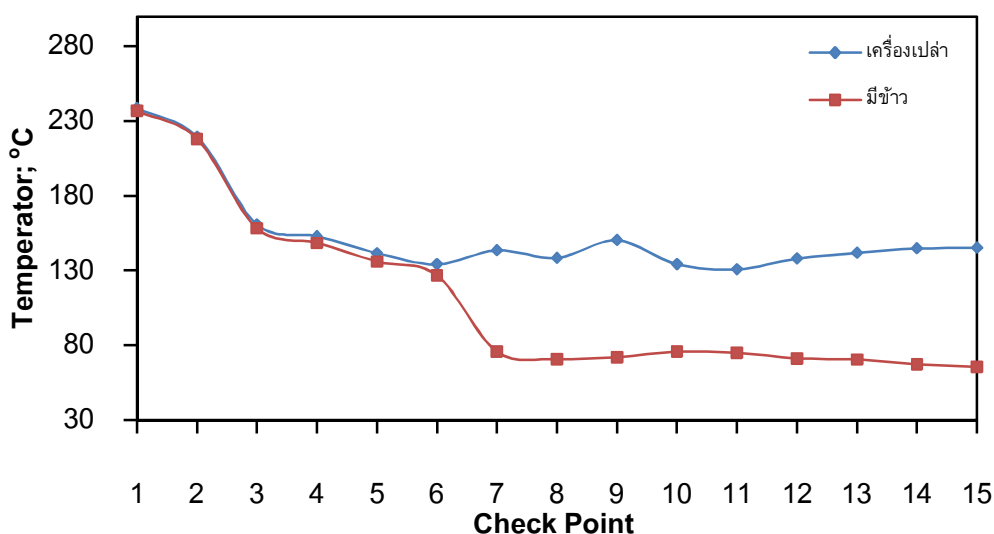
จากภาพประกอบ 24 พบว่าการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลตอนขณะที่ยังไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิทุกตำแหน่งอยู่ในสภาวะคงตัวจะเห็นได้ว่าระดับของอุณหภูมิจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 จะเป็นตำแหน่งของห้องผสมอากาศ พบว่าจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 250 °C และตำแหน่งที่ 3-15 เป็นส่วนของห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ห้องอบแห้ง และห้องทางออกของอากาศร้อน จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 150 °C เนื่องจากอากาศร้อนที่อยู่ในห้องผสมอากาศมีอุณหภูมิประมาณ 250 °C เมื่อได้ผสมกับอากาศบริสุทธิ์ก็จะได้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 150 °C ซึ่งจะเป็นค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในครั้งนี้

การกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลา 60 sec ของสภาพการทำงานแบบคงตัวโดยมีการอบแห้งข้าวเปลือก



ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โฟลตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลา 60 sec ภายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

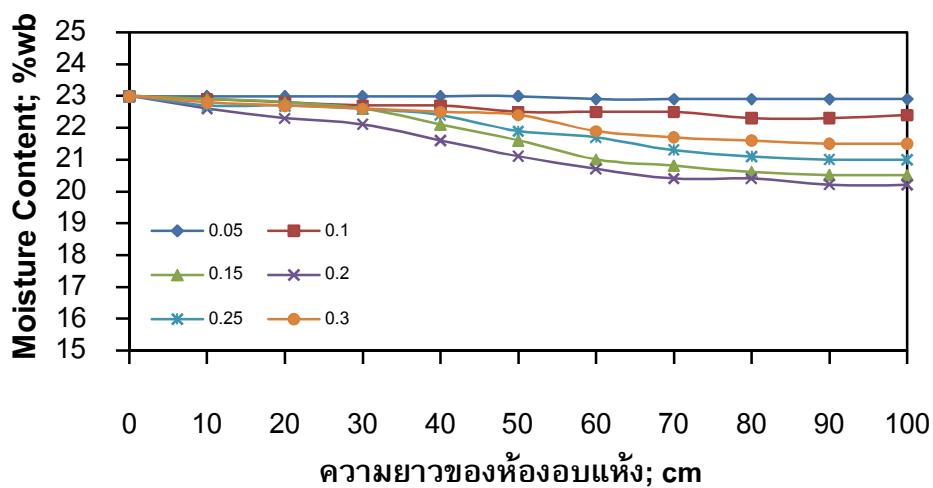
จากภาพประกอบ 25 พบว่าหลังจากที่ได้ควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งให้อยู่ในสภาวะคงตัว ต่อมาทำการปล่อยข้าวเปลือกลงมาภายในห้องอบแห้งและรอจนกว่าอุณหภูมิทุกตำแหน่งอยู่ในสภาวะคงตัวอีกครั้ง จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับชั้นของข้าวเปลือกขึ้นโดยความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งทำให้การกระจายของอุณหภูมิจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ในตำแหน่งที่ 1 และ 2 อุณหภูมิของห้องผสมอากาศนั้นยังคงเดิมโดยอยู่ที่ประมาณ 250 °C ในตำแหน่งที่ 3 - 6 ส่วนของอุณหภูมิภายในห้องควบคุมอุณหภูมิก็นั้นยังคงเดิมเช่นกัน โดยจะถูกควบคุมไว้ที่ 150 °C ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งครั้งนี้ ส่วนในตำแหน่งที่ 7 - 15 เป็นอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งและส่วนทางออกของห้องอบแห้งพบว่าอุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 70 - 80 °C เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศร้อนจากห้องควบคุมอุณหภูมินั้นเมื่อไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศและผ่านชั้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนสู่เมล็ดข้าวเปลือกจึงทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะเพิ่มสูงขึ้นและอุณหภูมิของอากาศร้อนลดลงไปเหลือประมาณ 75 °C จากอุณหภูมิ 150 °C



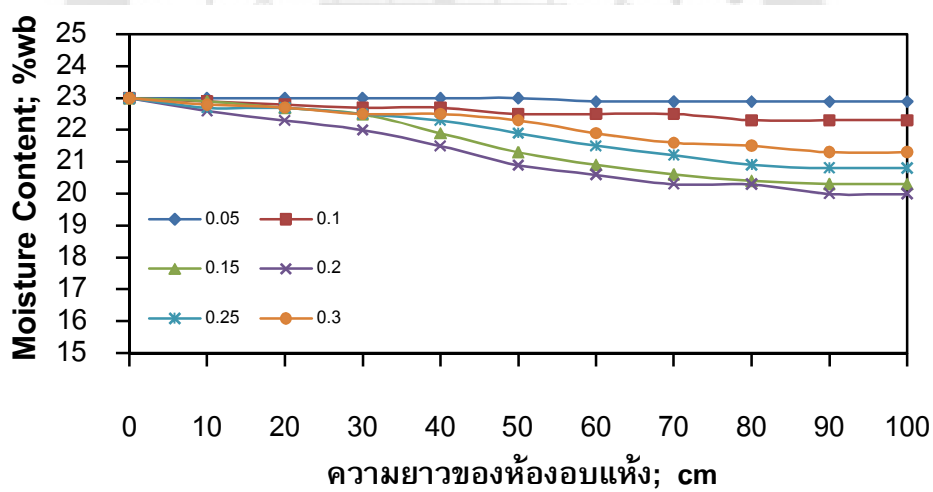
ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล ขณะที่ยังไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือกและมีการอบแห้งข้าวเปลือก

จากภาพประกอบ 26 พบว่าการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งระหว่างกรณีไม่มีการอบแห้งข้าวเปลือกและมีการอบแห้งข้าวเปลือกโดยทั้ง 2 กรณีวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ในสภาวะคงตัวจะสังเกตได้ว่าที่ตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิ 1 - 6 จะมีระดับอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน แต่ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 7 - 15 ระดับอุณหภูมิจะมีค่าต่างกัน โดยหลังจากที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนให้กับเมล็ดข้าวเปลือกทำให้ตำแหน่งที่ 7 - 15 จะมีอุณหภูมิต่างกันอยู่ที่ประมาณ 70 - 80 °C จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในชั้นข้าวเปลือกและเกิดการลดลงของความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือก

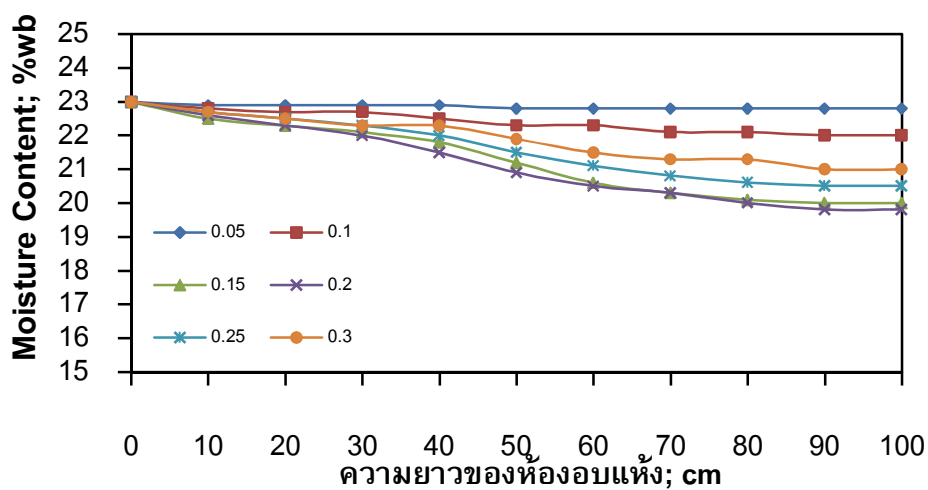
อิทธิพลของอัตราการไหลอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ



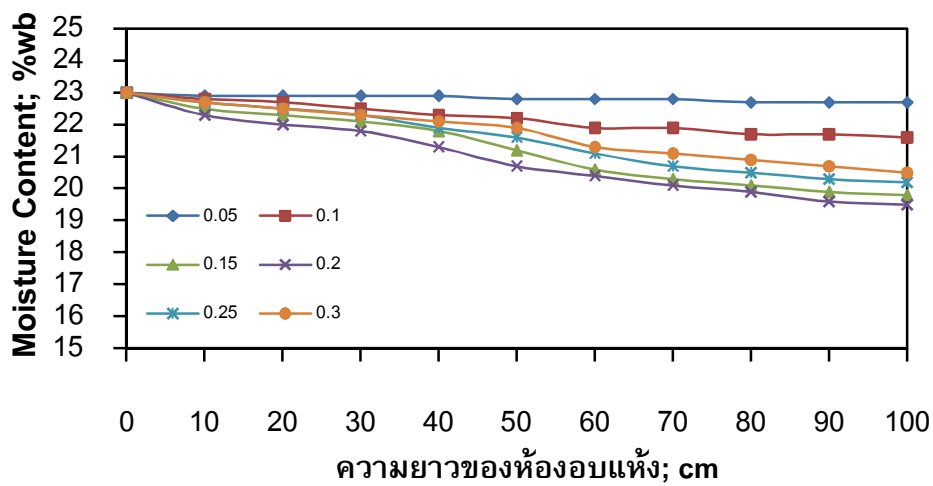
(ก) อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C



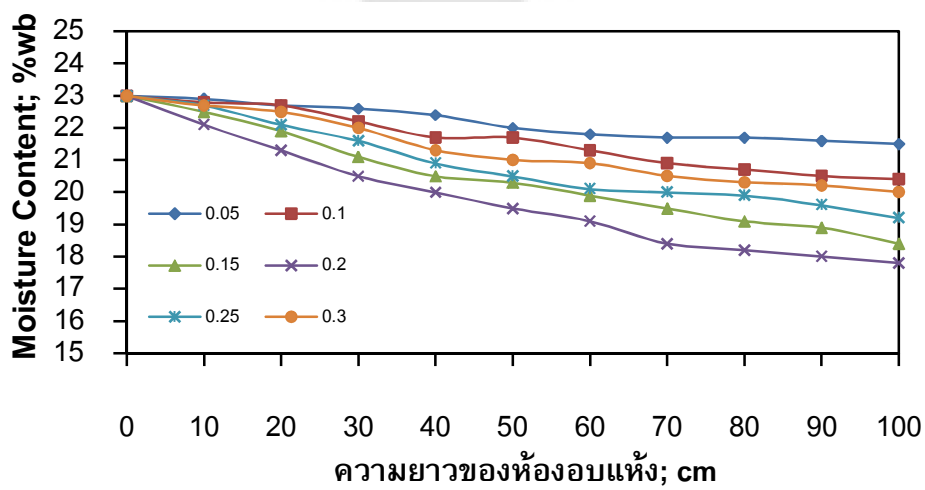
(ข) อุณหภูมิอบแห้ง 110 °C



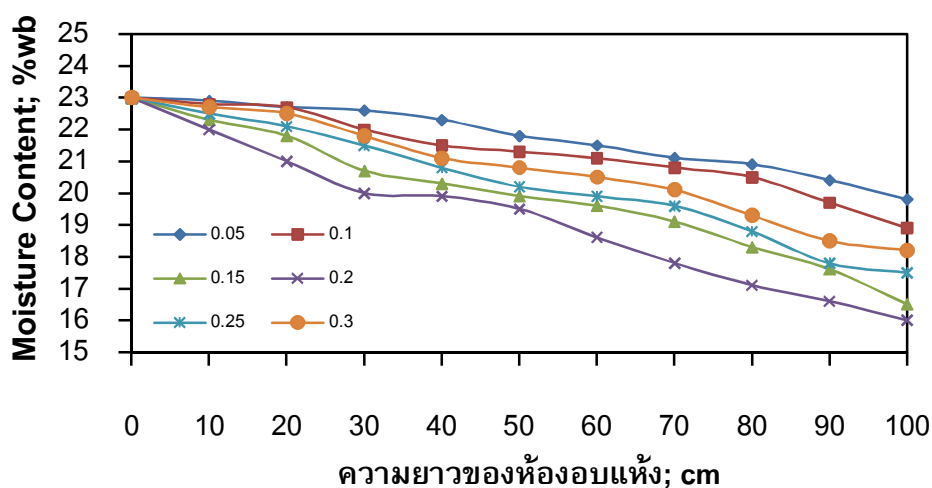
(ค) อุณหภูมิอบแห้ง 120 °C



(ง) อุณหภูมิอบแห้ง 130 °C



(จ) อุณหภูมิอบแห้ง 140 °C

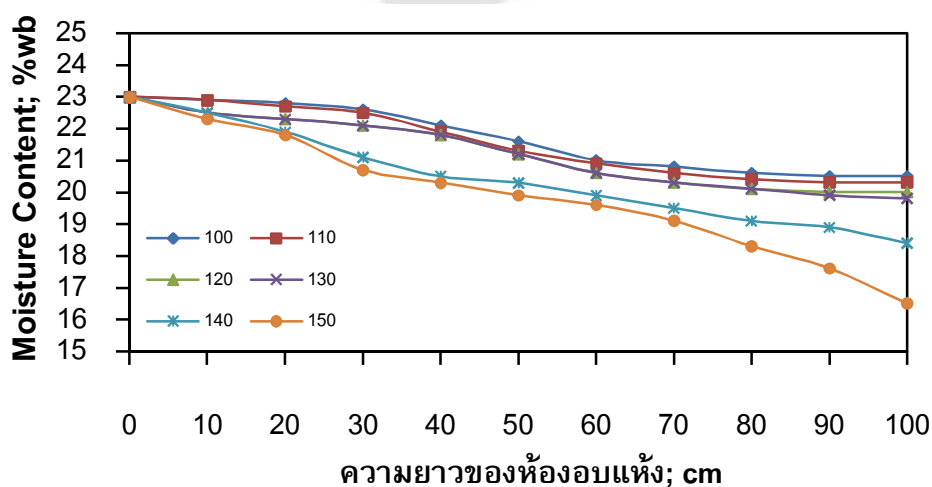
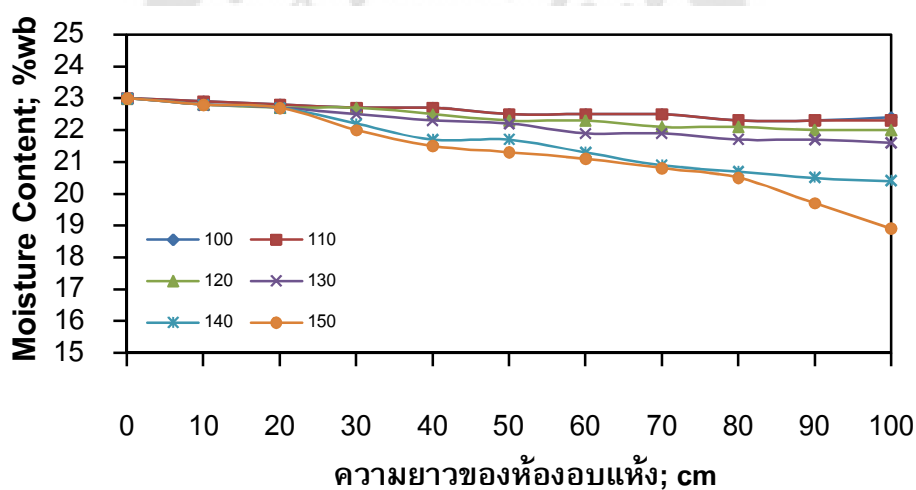
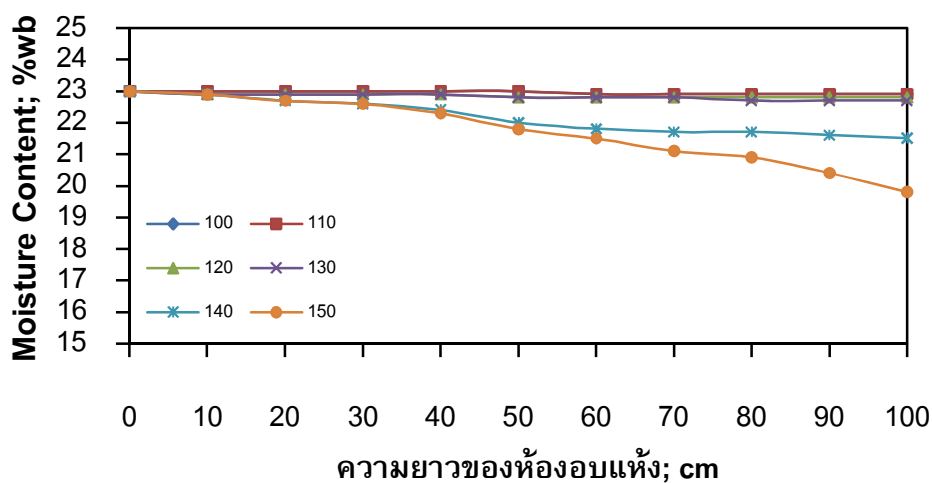


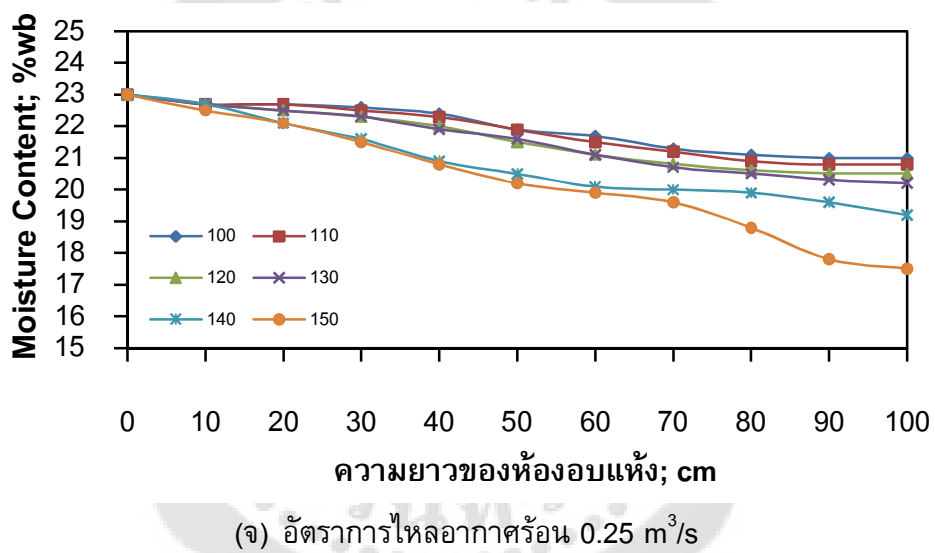
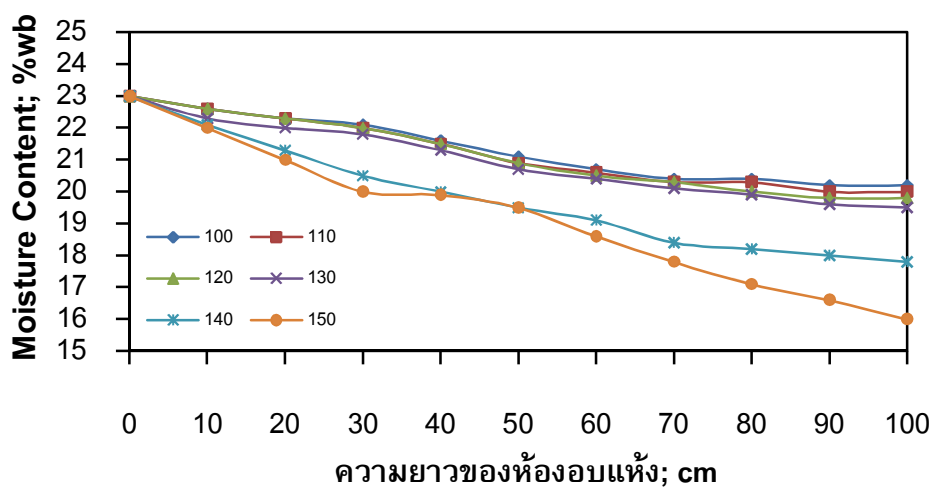
(จ) อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C

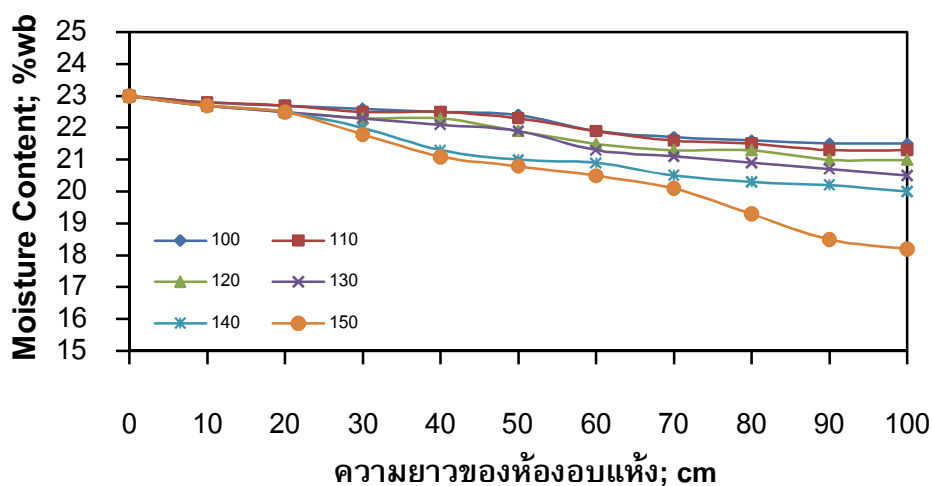
ภาพประกอบที่ 27 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโพลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่างๆ

จากภาพประกอบที่ 27 เป็นกราฟแสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้ง โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 m³/s ในช่วงความยาวของห้องอบแห้ง 100 cm จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงระยะเริ่มต้นของการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนและมีการเคลื่อนที่ในแนวราบบนแผ่นกระจายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นตลอดการอบแห้ง โดยพบว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m³/s อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือความชื้นสุดท้าย ที่ระดับ 16 %wb จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 %wb โดยที่ระดับอัตราการไหลดังกล่าวสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.15, 0.25, 0.30, 0.10 และ 0.05 m³/s เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m³/s เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบมัสทโพลซึ่งไม่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน และเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการถ่ายเทความชื้นได้ดี ส่วนความชื้นจะถูกดูดออกจากห้องอบแห้งสู่อากาศแวดล้อม

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่าง ๆ







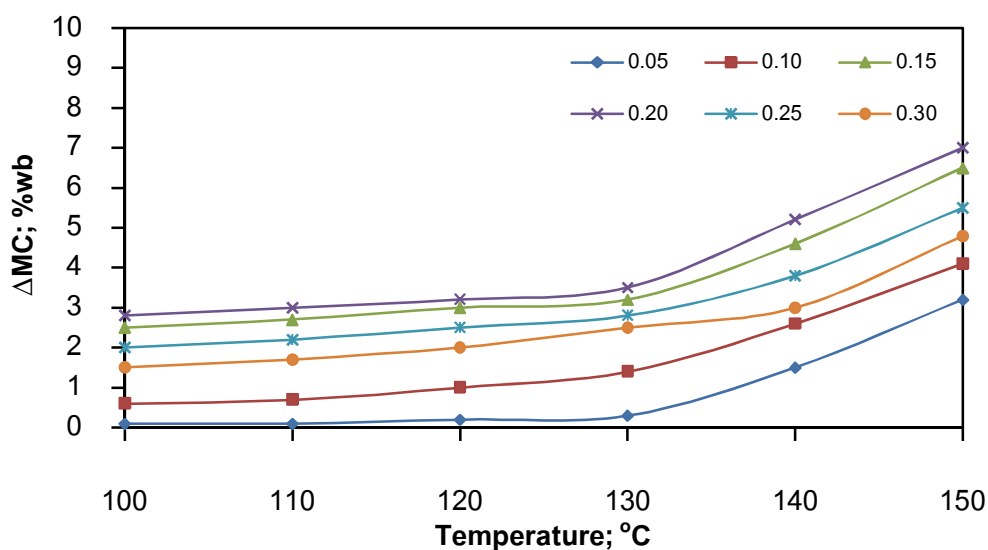
(จ) อัตราการไหลอากาศร้อน $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$

ภาพประกอบ 28 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่างๆ

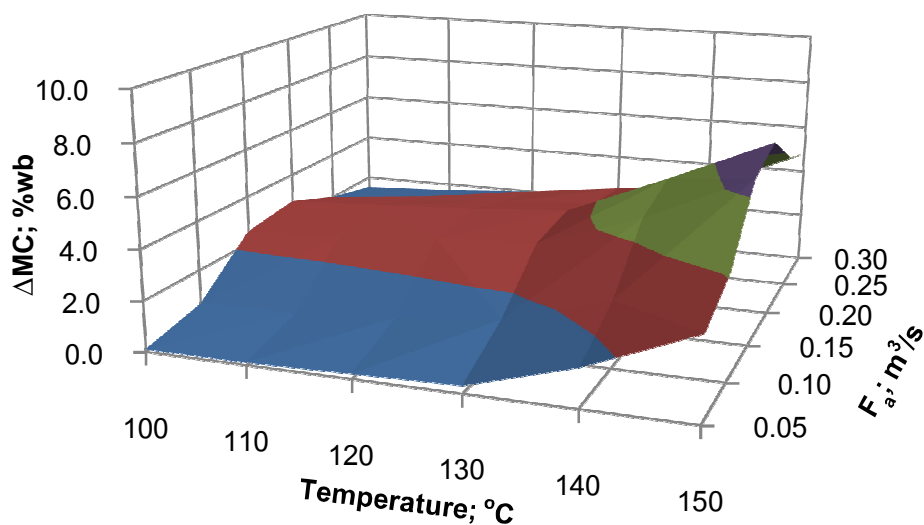
จากภาพประกอบที่ 28 เป็นกราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิมอบแห้งที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 °C ในช่วงความยาวของห้องอบแห้ง 100 cm พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือกมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะการเคลื่อนที่ในห้องอบแห้ง โดยในช่วงระยะเริ่มต้นข้าวเปลือกจะได้รับพลังงานความร้อนและมีการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในแนวราบบนแผ่นกระจายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารขึ้นตลอดการอบแห้ง โดยพบว่าที่ระดับอุณหภูมิมอบแห้ง 150 °C อัตราการไหลอากาศร้อน $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจนเหลือความชื้นสุดท้าย 16 %wb จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 %wb เนื่องจากข้าวเปลือกมีช่องว่างที่สม่ำเสมอทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการถ่ายเทความชื้นได้ดี และยังพบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งลดลงเมื่อระยะของห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ผลการทดลองอบแห้งที่ทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ แสดงให้เห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิมอบแห้ง 150 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อุณหภูมิมอบแห้ง 140, 130, 120, 110 และ 100 °C ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้เกิดการพาความร้อนได้ดีกว่า ส่งผลให้น้ำภายในเมล็ดข้าวเปลือกระเหยออกสู่อากาศได้มากทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงในปริมาณมากกว่าของทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศ

อิทธิพลของอัตราการไหลอากาศร้อนต่อผลต่างความชื้นข้าวเปลือก จากห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ



(ก) รูปแบบ 2 มิติ



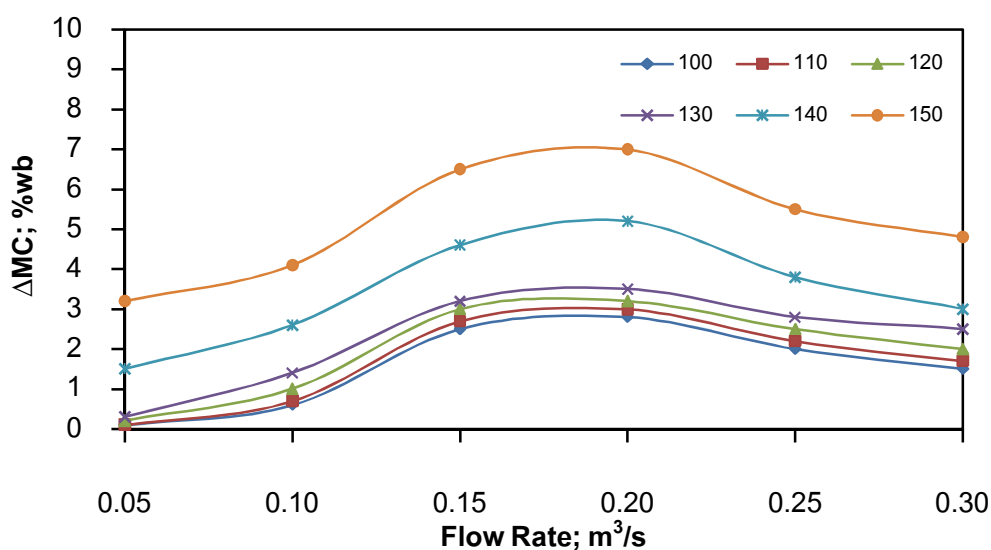
(ข) รูปแบบ 3 มิติ

ภาพประกอบ 29 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลอัตราการไหลอากาศร้อนต่อผลต่างความชื้นข้าวเปลือกของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลที่ระดับอุณหภูมิอากาศร้อนต่างๆ

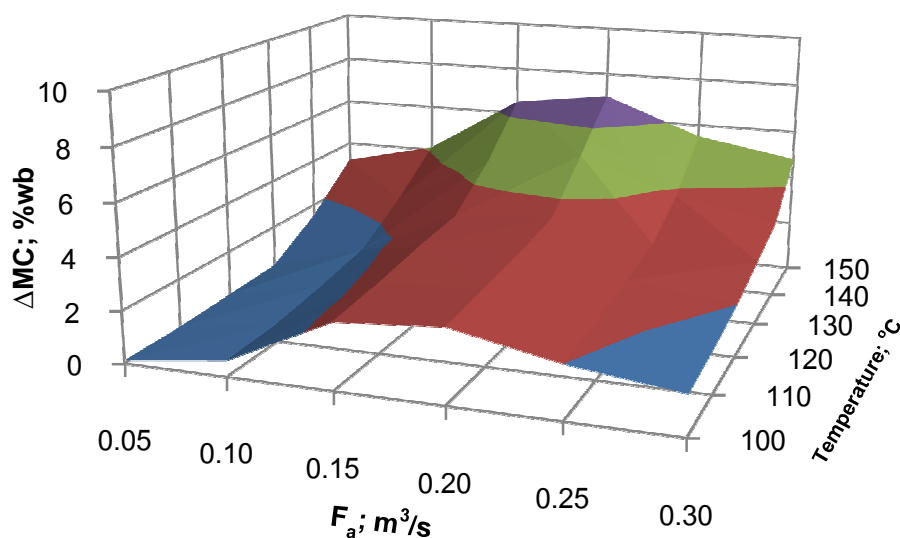
จากภาพประกอบที่ 29 เป็นกราฟเปรียบเทียบอิทธิพลอัตราการไหลอากาศร้อนต่อผลต่างความชื้นข้าวเปลือกของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ของอากาศร้อน

โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 m^3/s ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 $^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลองพบว่าผลต่างความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อการลดลงของความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกและยังพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m^3/s ผลต่างความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.15, 0.25, 0.30, 0.10 และ 0.05 m^3/s เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.2 m^3/s เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลซึ่งไม่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันและเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการถ่ายเทความชื้นได้ดี ส่วนความชื้นจะถูกดูดออกจากห้องอบแห้งสู่อากาศแวดล้อม

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลต่างความชื้นของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่าง ๆ



(ก) รูปแบบ 2 มิติ

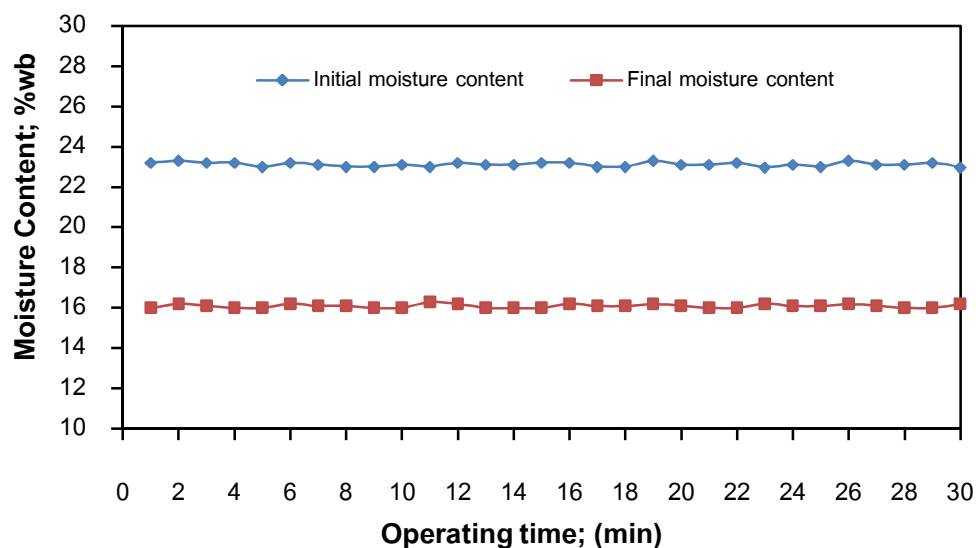


(ข) รูปแบบ 3 มิติ

ภาพประกอบ 30 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลต่างความชื้นของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่อัตราการไหลอากาศร้อนต่างๆ

จากภาพประกอบที่ 30 เป็นกราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลต่างความชื้นของห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่อัตราการไหลต่างๆ ของอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 °C อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 m³/s จากผลการทดลองพบว่าผลต่างความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 0.20 m³/s จากนั้นผลต่างความชื้นของข้าวเปลือกจะค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนมากกว่า 0.20 m³/s เนื่องจากที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m³/s ข้าวเปลือกมีช่องว่างที่สม่ำเสมอทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการถ่ายเทความชื้นได้ดี และยังพบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งลดลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C ผลต่างความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 140, 130, 120, 110 และ 100 °C ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้เกิดการพาความร้อนได้ดีกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเมล็ดข้าวเปลือกระเหยออกสู่บรรยากาศได้มากทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงในปริมาณมากกว่าของทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศ

แสดงความสม่ำเสมอของการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล



ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสม่ำเสมอของการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

จากภาพประกอบที่ 31 แสดงให้เห็นว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยการเก็บตัวอย่าง อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที โดยในระหว่างการทดลองทำการเก็บตัวอย่างของข้าวเปลือกใน hopper (ทางเข้า) และทางออกของเครื่องอบแห้งทุก ๆ 1 นาทีพบว่าที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันทำให้ผลของข้าวเปลือกที่หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลมีค่าความชื้นสุดท้ายที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล) ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 %wb โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 m^3/s และใช้อุณหภูมิอบแห้ง 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 $^{\circ}\text{C}$ ในช่วงความยาวของห้องอบแห้ง 100 cm ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงระยะเริ่มต้นของการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนและมีการเคลื่อนที่ในแนวราบบนแผ่นกระจายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นตลอดการอบแห้ง โดยพบว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m^3/s อุณหภูมิอบแห้ง 150 $^{\circ}\text{C}$ สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือความชื้นสุดท้าย ที่ระดับ 16 %wb จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 %wb โดยที่ระดับอัตราการไหลดังกล่าวสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.15, 0.25, 0.30, 0.10 และ 0.05 m^3/s เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m^3/s เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลซึ่งไม่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน และเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการถ่ายเทความชื้นได้ดี ส่วนความชื้นจะถูกดูดออกจากห้องอบแห้งสู่อากาศแวดล้อมนอกจากนี้ผลการทดลองอบแห้งที่ทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.05 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 m^3/s แสดงให้เห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิอบแห้ง 150 $^{\circ}\text{C}$ สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้มากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 140, 130, 120, 110 และ 100 $^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้เกิดการพาความร้อนได้ดีกว่า ส่งผลให้น้ำภายในเมล็ดข้าวเปลือกระเหยออกสู่บรรยากาศได้มากทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงในปริมาณมากกว่าของทุกๆ ระดับของอัตราการไหลของอากาศ

ความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยการเก็บตัวอย่าง อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 min โดยในระหว่างการทดลองทำการเก็บตัวอย่างของข้าวเปลือกใน hopper (ทางเข้า) และทางออกของเครื่องอบแห้งทุกๆ 1 min พบว่าที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันทำให้ผลของข้าวเปลือกที่หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลมีค่าความชื้นสุดท้ายที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล) ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาต้นแบบของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยในปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานจริงอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีการพัฒนามาจากเครื่องอบแห้งที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในอนาคตควรมีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้ละเอียดและควรมีการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเข้ามาคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลเพื่อที่จะให้เป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปออกแบบสร้างเครื่องขนาดใหญ่ที่สามารถรองรับผลผลิตของโรงสีข้าวได้

ควรมีการศึกษาออกแบบแผ่นกระจายอากาศรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มช่วงในการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้สามารถทำงานได้หลายสภาวะ





บรรณานุกรม

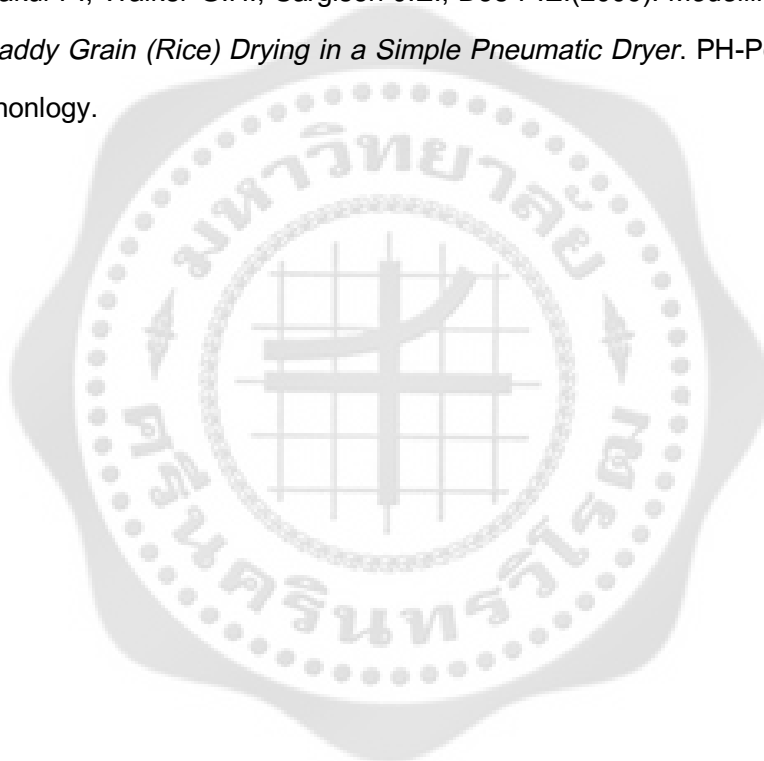
- กองเกษตรวิศวกรรม. (2544, เมษายน-มิถุนายน). หลังการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. *กรมวิชาการเกษตร*. 4(2).
- พรศักดิ์ ทองมาและคณะ. (2542). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบตขนาดอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีพลังงาน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มูस्ताฟา ยะกา. (2537). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไชน์เบตแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีพลังงาน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- (2555). ต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบ. *ประชุมวิชาการการถ่ายทอดผลงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 11*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดจันทบุรี.
- มนตรี หวังจิ. (2539). การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไชน์เบตระดับอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีพลังงาน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วัทธัญ รอดประพัฒน์. (2540). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไชน์เบตเคลื่อนย้ายได้. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีพลังงาน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- (2542). การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบต. *สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ*.
- วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์. (2541). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ ฟลูอิดไชน์เบตสั่นสะเทือน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมเกียรติ ปรัชญารากร. (2534) การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไชน์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (วิศวกรรมเคมี). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. (2535). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 5, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุวัฒน์ ตรุทัศน์นรินทร์. (2542). *แนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหรรอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไช้เบดแบบสั่นสะเทือน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม).
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล. (2536). *การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไช้เบดอย่างต่อเนื่อง*.
วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: (วิศวกรรมอาหาร). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Broker D B; Bakker-Arkema F W; Hall C W. (1992). *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. AVI Book Publishing, New York.

Bunyawanchakul P.; Walker G.H.; Sargison J.E.; Doe P.E.(2006). *Modelling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer*. PH-Postharvest
Techonlogy.







ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ. (2556). ผลกระทบของอัตราการใช้และอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล). การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27. จังหวัดชลบุรี.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ. (2557,มกราคม - มิถุนายน). ผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่มีต่อผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.9(1): 28-35.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ. (2557,มกราคม - มิถุนายน). การทบทวนการพัฒนาของหลักการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม.วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.9(1): 68-74.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ. (2557). การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล. การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 13.



ตาราง 1 แสดงงบประมาณในการทำปริญญานิพนธ์

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวน	เป็นเงิน	รวมเป็นเงิน งบประมาณ (บาท)
ค่าวัสดุ อุปกรณ์ในการวิจัยประกอบด้วย			
1. ข้าวเปลือก	1,000 kg	13,000	13,000
2. สายวัดอุณหภูมิ	1 ม้วน	4,500	4,500
3. ชุดหัวแก๊ส	1 ชุด	2,000	2,000
4. ถังแก๊ส LPG พร้อมค่าเติมแก๊ส	1 ชุด	3,000	3,000
5. เหล็กแผ่น	1 แผ่น	3,500	3,500
ค่าสาธารณูปโภค ประกอบด้วย			
1. ค่าจ้างสำเนาเข้าปกเย็บเล่มรายงานโครงงาน		3,000	3,000
2. ค่าอุปกรณ์จัดบันทึกผลกาทดลอง		1,000	1,000
รวม		30,000	30,000



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ	m^2
a	ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดของท่อ	m
b	ความสูงของพื้นที่หน้าตัดของท่อ	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อที่กระแสน้ำไหลผ่าน	m
D_H	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
d	น้ำหนักแห้ง	kg
f	แฟคเตอร์ความเสียดทาน	-
g	ความเร่งเนื่องจากโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$kg/m^2 \cdot ^\circ C$
h_L	การสูญเสีย	m
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
k	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย	-
L	ความยาวห้องอบแห้ง	m
L_2	ความสูงของเบดข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง	m
l	ความยาวของแผ่นกระจายอากาศ	m
M	ปริมาณความชื้น	%
M_d	ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง	% db
M_w	ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก	% wb
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น	$kg/s - m^2$
$\dot{m}_p$	อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก	$kg/s - m^2$
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
T	อุณหภูมิของของไหล	$^\circ C$
T_s	อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก	$^\circ C$
T_∞	อุณหภูมิกระแสของไหล	$^\circ C$
V	ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลในท่อ	m/s

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
w	น้ำหนักเปียก	$^{\circ}\text{C}$
w	ความกว้างของแผ่นกระจายอากาศ	m
ε_2	ความพรุนของเบตข้าวเปลือก	-
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ρ_p	ความหนาแน่นของเบตข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง	kg/m^3
ρ_t	ความหนาแน่นของข้าวเปลือก	kg/m^3
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	%
ΔP_B	ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นที่เบตข้าวเปลือก	Pa
ΔP_D	ความดันตกคร่อมที่แผ่นกระจายอากาศ	Pa
ΔP_T	ความดันตกคร่อมทั้งหมด	Pa
ϕ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นายพิรสิทธิ์ ทวยนาค
วันเดือนปีเกิด	28 กุมภาพันธ์ 2531
สถานที่เกิด	ชุมพร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	2027 หมู่ 3 ซ.ด่านสำโรง 52/1 ถ.สุขุมวิท ต.สำโรงเหนือ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270 โทรศัพท์ 087-279-4815 E-mail: pirasit_me07@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546	มัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนบ้านเขาขันไต่ะ
พ.ศ. 2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างยนต์ จาก วิทยาลัยเทคนิคชุมพร
พ.ศ. 2551	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างยนต์ จาก วิทยาลัยเทคนิคชุมพร
พ.ศ. 2554	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
พ.ศ. 2558	ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ