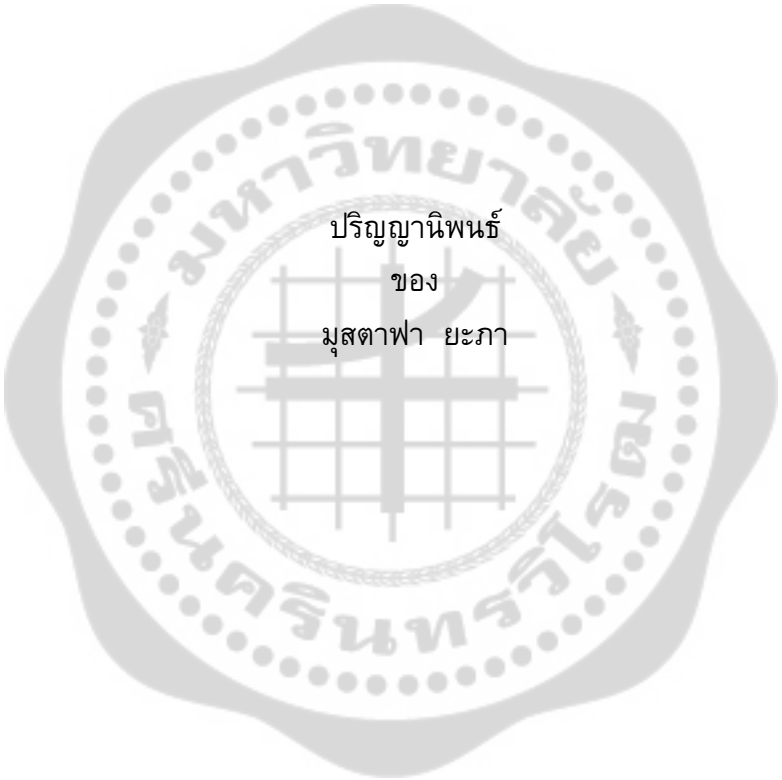
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรม



ปริญญานิพนธ์

ของ

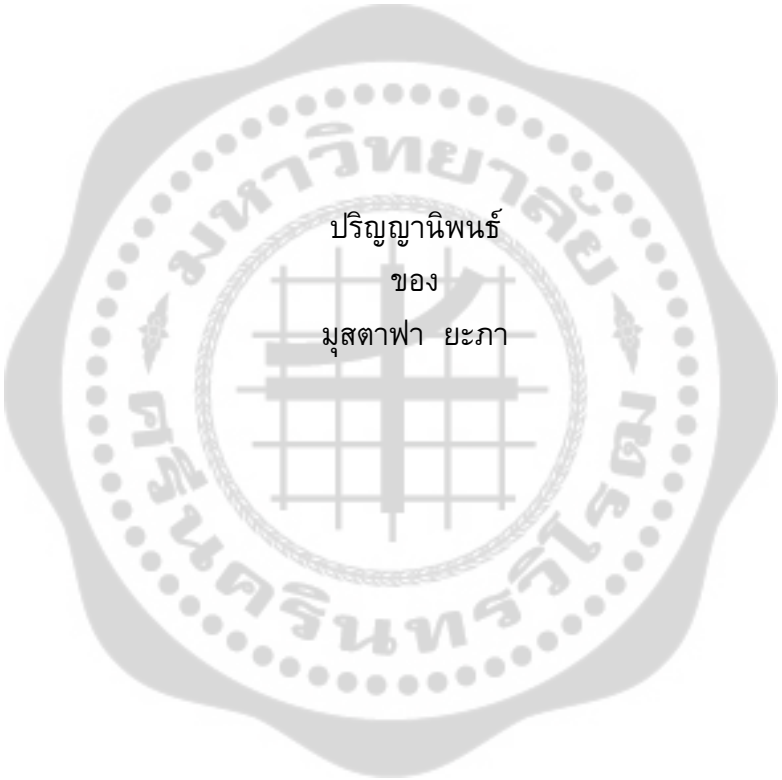
มุสตาฟา ยะภา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กรกฎาคม 2559

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรม



ปริญญานิพนธ์

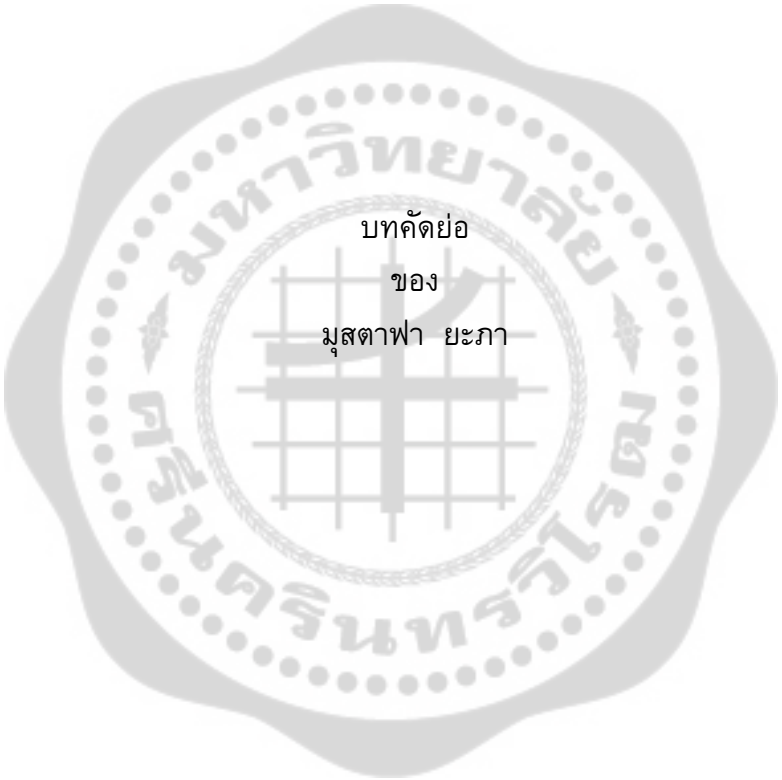
ของ

มุสตาฟา ยะภา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กรกฎาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรม



บทคัดย่อ

ของ

มุสตาฟา ยะภา

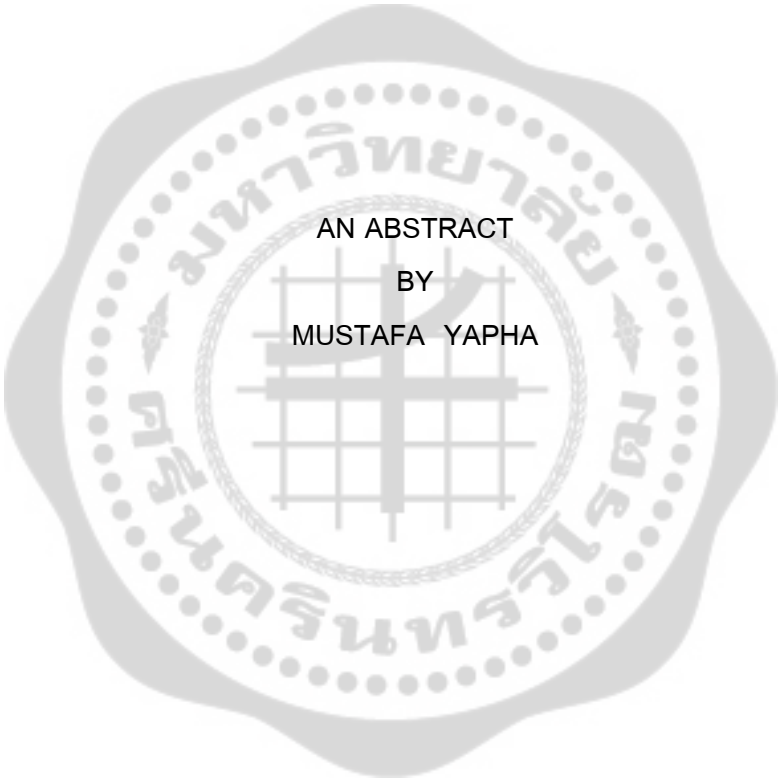
เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กรกฎาคม 2559

มุสตาฟา ยะภา. (2559). *เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรม.* ปริญญานิพนธ์ ปร.ด.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.ประชา บุณยวานิชกุล.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการลดความชื้นในข้าวเปลือกสดด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ซึ่งมีมิติของพื้นที่เบดการอบแห้งข้าวเปลือกขนาด กว้าง 2400 mm x ยาว 7000 mm โดยกำหนดให้ความสูงของระยะยกจากศูนย์ตายบนจนถึงศูนย์ตายล่างมีค่าเป็น 50 mm ขับเคลื่อนผ่าน Gear speed reducer, Ratio 5.2 โดยใช้อุณหภูมิของกระแสลมร้อนที่ 130 140 150 160 และ 170 $^{\circ}$C ด้วยความเร็วคงที่ที่ฐานตะแกรงของเบดการอบแห้งแบบมัสท์โฟลเป็น 1.53 m/s ที่ไหลตัดผ่านกองชั้นข้าวเปลือกจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของเบดการอบแห้ง ซึ่งพบว่า ความพรุนของข้าวเปลือกภายใน Hold up drying bed จะมีค่าคงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบดการอบแห้งทำให้การไหลของกระแสลมร้อนมีประสิทธิภาพ และยังพบว่าที่ระยะยกของห้องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะมัสท์โฟลจะทำให้เกิดพฤติกรรมของเมล็ดข้าวเปลือกขยับตัวเป็นอิสระเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างเป็นระเบียบซึ่งจะมีน้ำหนักข้าวเปลือกสดในสภาวะ Hold up 1,033.32 kg ที่ต้องมีอัตราการป้อน 333.33 kg/min เป็นการก่อเกิดสภาวะของการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลภายในห้องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดได้ค่าความชื้นสุดท้ายที่สม่ำเสมอเกือบเท่ากันทุกเมล็ด สำหรับผลิตภัณฑ์ Coarse rice จะให้ค่ามวลข้าวเต็มเมล็ดไม่ต่ำกว่า 45 g และสำหรับผลิตภัณฑ์ White rice จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นไม่ต่ำกว่า 62 % มีการใช้กำลังไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนอย่างเป็นระบบรวม 41.54 kW โดยคิดเป็นความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของพลังงานปฐมภูมิ 476.68 MJ/h ใช้เชื้อเพลิงแกลบสร้างกระแสลมร้อนในรูปของพลังงานความร้อน 1.75 GJ/h คิดเป็นพลังงานปฐมภูมิรวม 2.23 GJ/h สามารถระเหยปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกในเวลาหนึ่งชั่วโมงเฉลี่ย 4565.96 kg $_{\text{water evap.}}$ และสามารถประเมินค่าการแพร่ความชื้นของข้าวเปลือกในรูปแบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลจะใช้ปริมาณพลังงานปฐมภูมิจำเพาะเป็น 519.08 MJ/kg water evap. ดังนั้นในยุคที่พลังงานมีราคาแพงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่มีกำลังการผลิต 20 t/h เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการสีข้าวมากที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวเปลือกสด อบแห้งข้าวเปลือก เครื่องอบแห้ง เครื่องอบแบบมัสท์โฟล

INDUSTRIAL SCALE MUST FLOW PADDY DRYER



AN ABSTRACT

BY

MUSTAFA YAPHA

Presented in Fulfillment of the Requirements for the

Phylosophy of Doctoral in Mechanical Engineering

at SrinakharinwirotUnivercity

July 2016

Mustafa Yapha. (2016). *Industrial Scale Must Flow Paddy Dryer.* Doctoral thesis, Ph.D. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Pracha Bunyawanichakul.

This research studied the effect of reducing moisture in the grain dryers with fresh paddy must flow device. The design and the building the bed area of the must flow dryer has dimensions of a width of 2400 mm by a length of 7000 mm. Also, the height of the lift from top dead center to bottom dead center was set to 50 mm.This machine used the Powered Gear speed reducer Ratio 5.2 to drive. The hot air temperature during use was at 130, 140, 150, 160 and 170 ^{o}C with a constant speed 1.53 m/s pass on the grille of bet drying. The hot air can pass through striker class paddy from the bottom to top of the drying bed. It was found that the porosity of paddy hold up drying bed will be consistent across the board to make the flow of hot air drying more efficient. It was also found that the lift of a drying nature, the float will cause the behavior of the paddy to move independently and forward in an orderly manner, which will weight paddy live in conditions hold up 1,033.32 kg by feed rate of 333.33 kg/min. This rate is most efficient way for drying coarse rice because the moisture had dried up nearly all of the seeds. The mass of coarse rice products were higher than 45 g. The white rice products to the head rice yield was over 62% of the electric power used to propel a 41.54 kW by a system which includes accounting for the consumption of electrical energy in the form of primary energy 476.68 MJ/h. A Husk fuel change was used to create energy by generating wind energy in the form of heat at 1.756 GJ/h, equivalent to a total primary energy .234 GJ/h. It can evaporate the moisture content in a paddy, an average of 4565.96 kg water evaporated per hour. It can estimate the diffusion of moisture in the grain drying paddy must flow, the float will be used to quantify the specific primary energy was 519.08 MJ/ kg water evaporation. So, in an era where energy is expensive, it can be concluded that must flow dryer has a drying rate of 20 t/h, suitable for use in the milling industry.

Keywords: Paddy, Coarse Rice, Dryer, Must Flow

.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรม
ของ
มุสตาฟา ยะภา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธางกูร)
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษา .....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพพานโต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

ประกาศคุณูประการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล อาจารย์ผู้ควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยพร้อมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณอาจารย์ มณฑล ชูโชนาค ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุน และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทดสอบครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในระหว่างการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือ ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

มุสตาฟา ยะภา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎีการอบแห้งเบื้องต้น	4
การลดความชื้น	4
ความชื้น	5
ความชื้นสมดุล	6
การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล	7
การไล่ความชื้นในข้าวเปลือก	10
การลดความชื้นโดยใช้อากาศร้อน	11
สรุปหลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน	12
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก	13
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะถ่ายเทอย่างช้าๆ	13
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะถ่ายเทอย่างเร็ว	17
เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะปรับคุณภาพ	20
คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก	21
มิติทางกายภาพของข้าว	21
ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว	23
ความถ่วงจำเพาะ	24
ความหนาแน่น	24
ค่าความพรุน	26
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของข้าวเปลือก	27
ความต้านทานการไหลของอากาศ	28
ความดันลดสถิต	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
คุณสมบัติเชิงความร้อนของข้าวเปลือก	30
ความร้อนเฉพาะ	31
ค่าการนำความร้อน	31
การแพร่กระจายของความร้อน	32
ความร้อนของการระเหย	32
การถ่ายเทความร้อนและมวล	33
การถ่ายเทความร้อน	33
การถ่ายเทมวล	34
การอบแห้งแบบชั้นบาง	35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	42
รูปแบบและหลักการทำงานของ Must Flow Dryer	42
ส่วนประกอบของ Must Flow Dryer	43
หลักการทำงานของ Must Flow Dryer	44
ระบบอบแห้งของข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลระดับอุตสาหกรรม	45
การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล	47
การประกอบและติดตั้งเครื่องอบแห้ง	56
ลักษณะการทำงานของระบบการอบแห้งโรงสีข้าวนาทอง	56
การหากำลังขับสำหรับยกห้องอบแห้ง	59
4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	61
การทดสอบการอบแห้ง	61
การทดลองเดินเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล	61
การบันทึกข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือก	63
คุณลักษณะและสมรรถนะเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล	67
การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง	67
การทดสอบคุณภาพข้าวเปลือก	68
การวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง	75

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
สรุปผลการทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสโฟล	82
ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	89
ประวัติย่อผู้วิจัย	178

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงความชื้นสมดุลของเมล็ดธัญพืช..... 6
2 แสดงสมการความชื้นสมดุลของเมล็ดพืช..... 9
3 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ทางกายภาพของข้าวเปลือก..... 22
4 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับมิติทางกายภาพของข้าวเปลือก..... 22
5 แสดงปริมาตรของข้าวและข้าวเปลือกที่ได้จากการวัดและจากแบบจำลอง..... 23
6 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของข้าวและข้าวเปลือก..... 24
7 แสดงค่าความหนาแน่นจริงที่ได้จากการวัดของข้าวและข้าวเปลือก..... 25
8 แสดงค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวและข้าวเปลือก..... 26
9 แสดงค่าความพรุนของข้าวและข้าวเปลือก..... 27
10 แสดงค่าคงที่ในสมการความต้านทานการไหลของสมการที่ 10..... 29
11 แสดงแบบจำลองสำหรับหาความดันลดสถิตและอัตราการไหลของอากาศ..... 30
12 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของข้าวและข้าวเปลือก ที่ได้รับการยอมรับจาก ASAE..... 31
13 แสดงค่าการนำความร้อนของข้าวเปลือก..... 31
14 แสดงค่าการแพร่กระจายของความร้อนของกองข้าวและข้าวเปลือก..... 32
15 แสดงค่าความร้อนแฝงของการระเหยของข้าวเปลือก Brooker et al. (1974)..... 33
16 แสดงสมการของการอบแห้งแบบชั้นบาง..... 35
17 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกสดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ณ.จุดชี้บ่งกำหนด..... 65
18 แสดงค่าการกระจายอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล..... 66
19 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคมัสท์โฟล..... 68
20 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด..... 68
21 คุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล..... 72
22 คุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด..... 72
23 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล..... 75
24 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบด..... 76
25 แสดงความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล..... 77
26 แสดงความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล
ภายหลังซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน..... 78
27 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแกลบ..... 79
28 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิของการลดความชื้นในข้าวเปลือกสด..... 80
29 แสดงปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของการระเหยน้ำ..... 81

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 แสดงเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอมที่ได้จากกระบวนการคายและการดูดซับความชื้นของข้าวเปลือก..... 7

2 Characteristics of Drying Rate..... 10

3 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก..... 12

4 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดท่อส่งลมร้อน..... 13

5 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดกระบะบังคับปริมาตร..... 14

6 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังกลมทรงกระบอกตั้ง..... 14

7 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังหมุน..... 15

8 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังเหลี่ยมแนวตั้ง..... 15

9 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU..... 16

10 เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด..... 17

11 เครื่องอบแห้งไวโบรฟลูอิไดซ์เบด..... 18

12 เครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด..... 19

13 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ..... 20

14 เครื่องอบแห้งอินฟราเรด..... 21

15 แสดงโครงสร้างของข้าวเปลือก..... 23

16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอากาศและความดันลดที่ผ่านเบดสำหรับเมล็ดชนิดต่างๆ 28

17 แสดงการอบแห้งชั้นบาง..... 36

18 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล..... 42

19 แสดงอุปกรณ์หลักของเครื่องอบข้าวเปลือกมัสท์โฟล..... 43

20 ในระบบหลักของเครื่องอบข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลสีเหลืองแสดงทางเดินของข้าวเปลือกสีแดงแสดงกระแสลมร้อน สีฟ้าแสดงอากาศชื้นจากบรรยากาศ สีเทาแสดงกระแสลมร้อนชื้น..... 46

21 Schematic of Paddy Drying System..... 48

22 ก. ปรากฏการณ์กระแสลมร้อนไหลผ่านแผ่นตระแกรงเข้าสู่ห้องอบแห้ง..... 51

22 ข. ปรากฏการณ์กระแสลมร้อนไหลผ่านแผ่นตระแกรงโดยมีข้าวเปลือกบรรจุอยู่ในห้องอบแห้งแสดงแบบจำลองการกระจายของกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง.... 52

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

23 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ออกแบบสมบูรณ์ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการสร้างและติดตั้งที่โรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา..... 52

24 แสดงผังโรงสีข้าวนาทอง การวางตำแหน่งเครื่องจักร..... 57

25 การติดตั้งฯ ตามผังของโรงสีข้าวนาทอง ที่ส่งมอบรับมอบการวางตำแหน่งเครื่องจักรเพื่อจะขออนุมัติทดสอบการเดินเครื่องจักรอย่างเป็นระบบครบทุกอุปกรณ์เต็มพิกัด..... 58

26 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ดำเนินการติดตั้งสมบูรณ์ และทดสอบเดินเครื่องจักรตัวเปล่าเพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์เครื่องจักร 58

27 ชุดควบคุมระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ดำเนินการติดตั้งสมบูรณ์..... 59

28 แผนภูมิทางเดินเอกสารการอบแห้งข้าวเปลือกของโรงสีข้าวนาทอง..... 64

29 กราฟแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่จุดบ่งชี้ตามเกณฑ์กำหนด..... 65

30 กราฟแสดงค่าการกระจายอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล..... 66

31 แสดงรูปข้าวเปลือกแห้ง และมวลข้าวกล้องเต็มเมล็ด..... 70

32 ข้าวเปลือกแห้ง พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล 73

33 Coarse Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.. 73

34 Brown Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด.. 74

35 White Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.... 74

36 แสดงเมล็ดข้าวเปลือกสดที่จะชี้บ่งว่าสะสมความร้อนเกินพิกัด มีรอยไหม้บนเมล็ดพยากรณ์ว่าเมล็ดไม่ขยับตัวตามที่ได้ออกแบบ ไม่เกิดพฤติกรรมลักษณะมัสท์โฟล..... 84

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรของโลกซึ่งมีฝนตกชุกเป็นฤดูกาลทำให้ประชากรส่วนใหญ่ในพื้นที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยในบริเวณที่ลุ่มมีอากาศร้อนชื้นเกษตรกรจะทำนาปลูกข้าวเพื่อดำรงชีพ และจัดเป็นพืชเศษฐกิจที่สำคัญที่มีการเพาะปลูกทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งอดีตได้ใช้แรงงานคนเป็นหลักในการเพาะปลูกแต่ปัจจุบันมีการเพาะปลูกอยู่ในลักษณะเกษตรอุตสาหกรรมซึ่งใช้เครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาทดแทนแรงงานคนช่วยทำให้ได้ผลผลิตในปริมาณครั้งละมากๆ ซึ่งเป็นข้อด้อยที่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น การสะสมของสิ่งเจือปนการหมักหมมในกองเมล็ดข้าว ซึ่งจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกริยาความชื้นสมดุล และทำให้การเก็บเกี่ยวข้าวจำเป็นต้องทำการเก็บเกี่ยวช่วงข้าวแก่เหลืองเพื่อลดปริมาณการร่วงหล่นของเมล็ดข้าว

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ข้าวเปลือกหลังจากเก็บเกี่ยวด้วยกระบวนการนี้มีค่าความชื้นสูงและมีความจำเป็นต้องลดปริมาณความชื้นเพื่อป้องกันความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น ในอดีตเกษตรกรลดความชื้นโดยวิธีการตากลาน และมักจะประสบกับปัญหาสภาพดินฟ้าอากาศแปรปรวน แมลงรบกวน อีกทั้งพื้นที่ลานตากแห้งไม่เพียงพอ ดังนั้นต้องใช้เวลาในการลดความชื้นนานอาจจะทำให้เกิดความสูญเสียทั้งปริมาณและคุณภาพ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาค้นคว้าหาวิธีการลดความชื้นและแนวทางการจัดการให้มีประสิทธิผลมากที่สุด เพื่อเป็นการยืดอายุในการเก็บรักษาและคงคุณภาพของข้าวเปลือก อย่างไรก็ดีหากลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกต่ำเกินไปอาจทำให้การดูแลรักษามีความยุ่งยากมากอันเนื่องมาจากความชื้นสมดุลและยังจะทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์รวมทั้งทำให้เกิดการแตกหักและเสื่อมคุณค่าทางอาหาร

เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกได้รับการพัฒนารูปแบบและเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือก เนื่องจากเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศแวดล้อม และมีอัตราการผลิตสูงกว่าวิธีตากลาน อีกทั้งข้าวเปลือกที่ได้ยังมีคุณภาพสูง นอกจากนี้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกยังสามารถกำหนดอัตราการอบแห้งข้าวเปลือกได้ตามความต้องการของท้องตลาด และใช้พื้นที่ในการอบแห้งน้อยกว่าวิธีตากลาน

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวเปลือกอยู่กับที่ เช่น แบบถังเก็บ แบบเป็นชั้น แบบเป็นงวด เป็นต้น และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ เช่น แบบเป็นงวดที่ใช้ใบกวนเมล็ดข้าว แบบเป็นช่อง (ไหลตามไหลสวน ไหลขวาง และไหลแบบผสม) แบบฟลูอิไดซ์เบด แบบสเปาเต็ดเบด เป็นต้น

ในปัจจุบันข้าวจัดเป็นผลผลิตทางเกษตรที่มีระบบการจัดการผลิตในรูปแบบเกษตรอุตสาหกรรมที่มีการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาเกี่ยวข้องในแทบทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต สิ่งนี้เองจึงเป็นเหตุให้เกิดความเสี่ยงทั้งทางด้านคุณภาพและทางด้านเศรษฐศาสตร์เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาจากท้องนานั้นโดยส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูงและมีความจำเป็นต้องลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ด้วยการจัดการอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพื่อคงคุณภาพของข้าวเปลือก และป้องกันการเสื่อมคุณค่าทางโภชนาการซึ่งตามปกติทั่วไปสำหรับอุตสาหกรรมโรงสีข้าวในปัจจุบัน ก็มีการคำนึงถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของการผลิตข้าวเป็นลำดับแรก แต่เนื่องด้วยเทคโนโลยี อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความประณีตไม่เพียงพอ จึงส่งผลให้ความประณีตในการผลิตยังไม่อยู่ในระดับที่ดีพอ เป็นเหตุให้ความชื้นของข้าวเปลือกภายหลังกระบวนการอบแห้งมีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยค่าของความชื้นของข้าวเปลือกบางส่วนไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นคุณภาพของข้าวเปลือกจึงไม่สม่ำเสมอตามเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ด้วยข้อด้อยดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนากระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีผลต่ออุตสาหกรรมการสีข้าวให้มีคุณภาพสูงขึ้น มีความสามารถในการแข่งขัน และเพิ่มศักยภาพในโอกาสของการส่งออกข้าว เพื่อนำเข้าเงินตราต่างประเทศ โดยการค้นคว้าหาแนวทางการสร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้เทคนิคใหม่ซึ่งมีความประณีตเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้มีคุณภาพสม่ำเสมอเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิตและรักษาคุณภาพกระบวนการผลิตให้ได้ประสิทธิภาพ และตรงตามมาตรฐานที่กำหนดของสมาคมการส่งข้าวออก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลในระดับอุตสาหกรรม
2. ศึกษาคุณลักษณะ และสมรรถนะการทำงาน
3. ตรวจสอบคุณภาพของข้าวภายหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลขนาดกำลังการผลิต 20 t/h
2. ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแกลบ
3. เก็บข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกสดและการใช้พลังงานจำเพาะ ($MJ/kg_{water\ evap.}$)
4. ทำการทดสอบคุณภาพของข้าวตามมาตรฐานสมาคมการส่งออกข้าว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ใหม่ในการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกมัสท์โฟล
2. ได้ต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกมัสท์โฟลเพื่อใช้งานเชิงพาณิชย์
3. สามารถนำเทคนิคของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกมัสท์โฟลมาประยุกต์ใช้กับธัญพืชอื่นๆ
4. เพิ่มโอกาสการแข่งขันของประเทศไทย
5. ตอบสนอง นโยบายของรัฐบาลที่ใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตอาหารโลก
6. เพิ่มคุณภาพข้าวไทยให้สูงกว่าเกณฑ์ของประเทศอื่นที่ผลิตเพื่อการส่งออก

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เชื้อเพลิงชีวมวล หมายถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัยนี้คือแกลบที่ได้จากการสีข้าว
2. ข้าวเปลือกสด หมายถึงข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่ ยังไม่ผ่านการลดความชื้นใดๆ
3. ข้าวเปลือกหมาด หมายถึงข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นบ้างแล้ว
4. ข้าวเปลือกแห้ง หมายถึงข้าวเปลือกที่มีความชื้นไม่เกิน 15% (wb)
5. ฟลูอิดไดเซชั่นเสมือน หมายถึงพฤติกรรมของเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกทำให้เกิดการลอยตัวเสมือนเป็นของไหลอยู่ในอากาศด้วยระบบกลไก (Mechanical Fluidization)
6. เบดการอบแห้ง หมายถึงพื้นที่รองรับปริมาณที่ข้าวเปลือกสดภายในห้องอบแห้งที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้น
7. Hold up หมายถึงปริมาณข้าวเปลือกสดที่คงมีอยู่ในห้องอบแห้งตลอดเวลา
8. ตะแกรงรองรับข้าวเปลือก หมายถึงตำแหน่งต่ำสุดของข้าวเปลือกสดขณะที่อยู่ภายในห้องอบแห้งมัสท์โฟล
9. ห้องอบแห้งเคลื่อนไปที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน หมายถึงข้าวเปลือกสดภายในเบดการอบแห้งจะถูกยกให้อยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด
10. ห้องอบแห้งเคลื่อนไปที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง หมายถึงข้าวเปลือกสดภายในเบดการอบแห้งจะถูกกดให้อยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด
11. กองชั้นข้าวเปลือก หมายถึง ข้าวเปลือกสดที่ปริมาตร Hold up
12. ความพรุนกองชั้นข้าวเปลือก หมายถึงข้าวเปลือกที่ปริมาตร Hold up ที่ตำแหน่งสูงสุด

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการอบแห้งเบื้องต้น

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นหรือไล่ความชื้นออกจากวัสดุที่ชื้นโดยการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยในกระบวนการอบแห้งส่วนมากน้ำจะเป็นของเหลวที่ต้องการระเหยและอากาศเป็นสารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อมกัน เมื่ออนุภาคของวัสดุชื้นได้รับความร้อนจะทำให้น้ำภายในระเหยกลายเป็นไอและถูกไล่ออกจากวัสดุไปยังสารตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งกระบวนการเริ่มจากการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากสิ่งแวดล้อมไปยังพื้นผิวของอนุภาค และจากนั้นจะถ่ายเทด้วยการนำเข้าไปภายในวัสดุที่ชื้น ส่วนความชื้นจะถูกถ่ายเทในทิศทางตรงกันข้ามในสภาวะที่เป็นของเหลวหรือไอจากภายในออกสู่พื้นผิว จากนั้นจะเกิดการระเหยและส่งผ่านด้วยการพาไปยังสิ่งแวดล้อม

ความร้อนและการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นกลไกที่สำคัญในกระบวนการอบแห้ง ความร้อนเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นออกจากเมล็ดโดยการเคลื่อนที่จากภายในเมล็ดออกสู่พื้นผิว และการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเมล็ดจะทำให้ความชื้นที่ผิวระเหยสู่บรรยากาศแวดล้อม ดังนั้นอัตราของการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับความชื้น อุณหภูมิของเมล็ด ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่สัมผัสกับเมล็ด

2.1.1 การลดความชื้น

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชจึงเป็นการทำให้ไอน้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยอาศัยคุณสมบัติของเมล็ดพืช ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซึมและคายความชื้นได้ดี เมล็ดพืชสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายกว่าการคายความชื้น

ในกรณีของข้าวเปลือก ซึ่งมีความเป็นฉนวนทางความร้อนได้อย่างดีนั้น ไอน้ำและความร้อนที่สะสมอยู่ในกองหรือในยุ้งฉางเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี การเจริญเติบโตของเชื้อราในกองเมล็ดจะทำให้เมล็ดพืชเสื่อมคุณภาพลง (ข้าวเมล็ดเหลือง แอลฟลาท็อกซิน) หรือ อาจเน่าเสียได้ในที่สุดเมื่อเทียบอัตราการผลิตกับเวลา

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น

1. ใช้สารเคมีประเภทปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์ไบต์มาดูดซึมความชื้นให้ออกไป
2. ใช้ระบบสุญญากาศเพื่อให้ความชื้นแพร่ออกมา
3. ใช้วิธีตากแดดหรือคั่วให้เมล็ดร้อน
4. ใช้ความร้อนเป่าเพื่อให้ไอน้ำภายในเมล็ดเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวภายนอก
5. ใช้คลื่นกระตุ้นความชื้นในเมล็ดโดยเปลี่ยนสถานะให้เกิดเป็นไอ

2.1.2 ความชื้น (Moisture Content : MC)

ความชื้นเป็นตัวบอกถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุด้วยการเปรียบเทียบกับมวลวัสดุโดยแสดงค่าเป็นร้อยละ เพื่อบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นชื้นหรือแห้ง ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชประกอบไปด้วยปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงและทำการลดปริมาณความชื้นเมล็ดด้วยความร้อนจนกระทั่งเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไปก็คือค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ได้ยาวนานขึ้น

ความชื้นตามบทนิยามของสมาคมวิศวกรรมเกษตรอเมริกาได้แบ่งการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นออกเป็น 2 รูปแบบคือ

2.1.2.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis : % wb)

ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

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

เมื่อ

MC_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

MC_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ น้ำหนักเปียก

d คือ น้ำหนักแห้ง

MC คือ ปริมาณความชื้น

2.1.2.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis : %db)

ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

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

การแปลงค่าความชื้นระหว่างมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$MC_d = 0.0003(MC_w)^3 + 0.0026(MC_w)^2 + 1.124(MC_w) - 0.7435 \qquad (3)$$

2.1.3 ความชื้นสมดุล (The equilibrium moisture content : EMC)

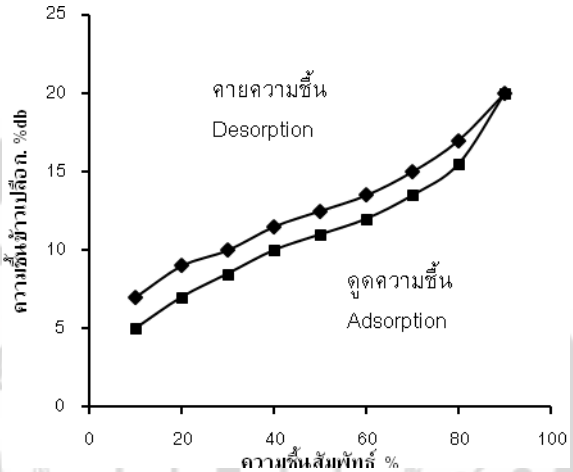
ความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการวิเคราะห์การอบแห้งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เมื่อนำเมล็ดพืชไปวางไว้ภายใต้สภาวะคงที่ใดๆ ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ วัสดุอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ หรือดูดซับความชื้นจากอากาศ (Adsorption) ถ้าวางไว้เป็นเวลานานๆ วัสดุก็จะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งที่จุดนี้ความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศและอุณหภูมิของวัสดุก็จะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่า “ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content : EMC)” ขณะที่วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลความชื้นนั้นอัตราการสูญเสียความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศที่อยู่รอบๆ จะมีค่าเท่ากับอัตราการได้รับความชื้นจากอากาศรอบๆ ความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสมดุลสำหรับเมล็ดธัญพืชบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงความชื้นสมดุลของเมล็ดธัญพืช

Grains	Relative Humidity: RH (%)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
	Equilibrium Moisture Content : EMC (% wb) at 25 °C							
Barley	8.5	9.7	10.8	12.1	13.5	15.8	19.5	26.8
Shelled Maize	8.3	9.8	11.2	12.9	14.0	15.6	19.6	23.8
Paddy	7.9	9.4	10.8	12.2	13.4	14.8	16.7	-
Milled Rice	9.0	10.3	11.5	12.6	12.8	15.4	18.1	23.6
Sorghum	8.6	9.8	11.0	12.0	13.8	15.8	18.8	21.9
Wheat	8.6	9.7	10.9	11.9	13.6	15.7	18.7	25.6

ที่มา: Brooker et al . (1974) wb = มาตรฐานเปียก

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของเมล็ดพืชและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า “**เส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอม (Equilibrium Moisture Content Isotherm Curve) หรือ ความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิคงที่**” แต่เส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอมที่ได้จากกระบวนการคายและการดูดซับความชื้นที่ได้จากเมล็ดพืชชนิดเดียวกันอาจจะมีค่าแตกต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ฮีสเตอรีซีส (Hysteresis)” โดยปกติความชื้นสมดุลของเมล็ดที่ได้จากกระบวนการคายความชื้นให้กับอากาศรอบ ๆจะมีค่ามากกว่ากระบวนการดูดซับจากอากาศรอบ ๆ ดังรูปที่ 2.1



ภาพประกอบ 1 แสดงเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอมที่ได้จากกระบวนการคายและการดูดซับความชื้นของข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม , 2544

2.1.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นสมดุลของวัสดุต่าง ๆ หรือสมการความชื้นสมดุลของเมล็ดพืชต่าง ๆ ทั้งสมการทางทฤษฎี สมการกึ่งทฤษฎี และสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical) และพบว่าสมการทางทฤษฎีไม่สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ได้อย่างแม่นยำตลอดช่วงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสมการกึ่งทฤษฎีและและสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical) จะให้ความแม่นยำกว่า โดยสมการความชื้นสมดุลของเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ ทั้งสมการทางทฤษฎี สมการกึ่งทฤษฎี และสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical) ที่ได้รับการพัฒนาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมามีดังนี้

2.1.4.1 สมการเบท (BET Equation)

Brunauer et al, 1938 ได้สร้างสมการทางทฤษฎีที่เรียกว่า BET สำหรับใช้อธิบายความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ โดยสมมติว่าการจับตัวของความชื้นมีมากกว่าความหนาของโมเลกุล 1 ชั้น สมการดังกล่าวเขียนได้ว่า

$$\frac{P_v}{V(P_{vs}-P_v)}=\left(\frac{1}{V_mC}\right)\left(\frac{C-1}{V_mC}\right)\left(\frac{P_v}{P_{vs}}\right) \quad (4)$$

หรือ

$$\frac{RH}{(1-RH)(EMC)}=\left(\frac{1}{M_mC}\right)+\left(\frac{C-1}{M_mC}\right)RH \quad (5)$$

เมื่อ C คือค่าคงที่

P_v คือ ความดันไอที่ผิว

P_{vs} คือ ความดันไออิ่มตัว

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

EMC คือ ความชื้นสมดุล

M_m คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุล

สมการของเบททำนายความชื้นสมดุลได้ดีในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 0.5

2.1.4.2 สมการกึ่งทฤษฎีของ Henderson, 1952

สมการประเภทนี้เป็นสมการที่นิยมใช้หาความชื้นสมดุลของเมล็ดพืชอีกสมการหนึ่ง สมการดังกล่าวเขียนได้ว่า

$$1-RH=\exp^{\left(-k(T)(EMC)^n\right)} \quad (6)$$

เมื่อ

k, n คือ ค่าคงที่

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

EMC คือ ความชื้นสมดุล

T คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุล

สมการความชื้นสมดุลสำหรับเมล็ดพืชสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตาราง 2 แสดงสมการความชื้นสมดุลของเมล็ดพืช

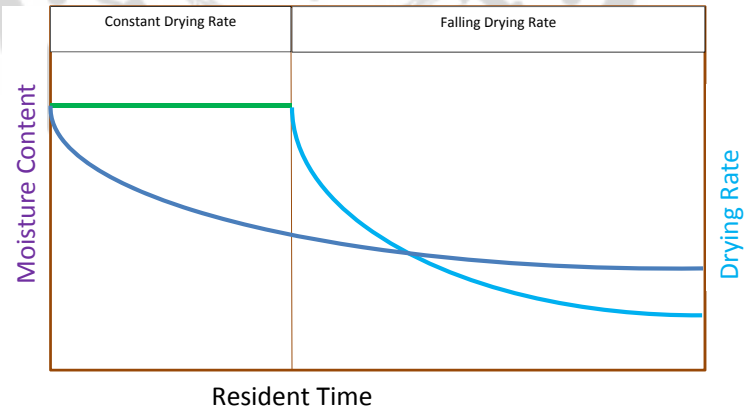
Year	Name	Equation	Meterials
1871	Kevin	$\ln(RH)=\frac{2V\cos d}{R_0 T_{abs}}$	
1918	Langmuir	$V=V_m\left(\frac{b+P_v}{1+bP_v}\right)$	
1938	BET	$\frac{P_v}{V(P_{vs}-P_v)}=\left(\frac{1}{V_m C}\right)\left(\frac{C-1}{V_m C}\right)\left(\frac{P_v}{P_{vs}}\right)$	
1944	Harkins - Jura	$\ln\left(\frac{P_v}{P_{vs}}\right)=\frac{d-e}{V^2}$	
1947	Smith	$V=P_1-P_2\ln(1-RH)$	
1952	Henderson	$1-RH=\exp\left(-kT_{abs}M^n\right)$	Agri. materials
1961	Haynes	$\ln(P_v)=P_1+P_2\ln(P_{vs})+P_3\ln(M)+P_4\ln(P_{vs})^2+P_5(P_{vs}M)$	Corn,Wheat, Sorghum, Fescue,Crimson, Clover
1965	Day - Nelson	$1-RH=\exp\left(P_1T^{P2}M^{P3T4}\right)$	Wheat
1967	Chung-Pfost	$\ln(RH)=\frac{-A}{RT_{abs}}\exp(-BM)$	Corn,Wheat
1967	Strohman and Yoerger	$RH=\exp\left[P_1\exp(-P_2M)\ln(P_s)-P_3\exp(-P_4M)\right]$	Wheat
1969	Chen	$RH=\exp\left[P_1+P_2\exp(P_3M)\right]$	Agri. meterials
1969	Nelson et al.	$M=P_1RH+P_2RH^2+P_3T+P_4RH\cdot T$	
1972	Chen-Clayton	$RH=\exp\left[P_1T^{P2}\exp(P_3T^{P4}M)\right]$	
1972	Dunstan	$RT\ln(RH)=\exp\left[RT(P_1+P_2T)-(P_3P_4T)M\right]$	Sorghum
1972	Henderson- Thompson	$1-RH=\exp\left[-P_1(T+P_2)M^{P3}\right]$	Corn,Wheat
1976	Chung-Pfost	$\ln(RH)=\frac{-P_1}{R(P_2+T)}\exp(-P_3M)$	Agri. materials
1979	Zuritz	$RH=1-\exp\left[-(1-T/T_c)^{-P1}(P_2M^{P3T}-P_4)/T\right]$	Rough Rice
1980	Sehgal	$RH=\exp\left[-(35.912/T^{.5})\exp(-0.194156M)\right]$	Rough Rice
1980	Patranon R.	$\ln(RH/(100-RH))=P_1+P_2+P_3M^2+P_4T+P_5MT$	Rough Rice

ที่มา: Sehgal (1980)

2.1.5 การไล่ความชื้นในข้าวเปลือก

ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกมีอยู่สองส่วน ได้แก่ ความชื้นที่ผิวและความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือก ความชื้นที่ผิวจะระเหยออกอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดข้าวเปลือกได้รับความร้อนจากกระแสลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ส่วนความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือกจะระเหยออกอย่างช้าๆ เนื่องด้วยความชื้นจะต้องเคลื่อนที่จากภายในออกสู่ผิวของเมล็ด จากนั้นจึงจะระเหยจากพื้นที่ผิวสู่อากาศที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง เป็นผลให้การระเหยของความชื้นที่พื้นผิวและภายในเมล็ดข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันและทำให้อัตราของการอบแห้งแตกต่างกันด้วย

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้น จะมีการถ่ายเทความร้อนแล้วเกิดการถ่ายเทมวลขึ้นพร้อมๆ กัน สำหรับในกรณีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก การถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางที่ใช้ส่วนใหญ่ จะถูกใช้ไปในการระเหยน้ำที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ของไอน้ำที่อยู่ในบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเปลือกกับความชื้นที่มีในอากาศร้อนดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งซึ่งเป็นช่วงที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าวเปลือกอิ่มตัวด้วยไอน้ำ การถ่ายเทความร้อน และปริมาณความชื้นในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นอบแห้งที่มีค่าคงที่ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อน้ำถูกระเหยจนวัสดุที่อบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าอัตราการค่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำที่อยู่ภายในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกจะแพร่กระจายมายังผิวแล้วระเหยด้วยอัตราที่ลดลงโดยเป็นฟังก์ชั่นกับเวลา เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลงดังรูปที่ 2



ภาพประกอบ 2 Characteristics of Drying Rate

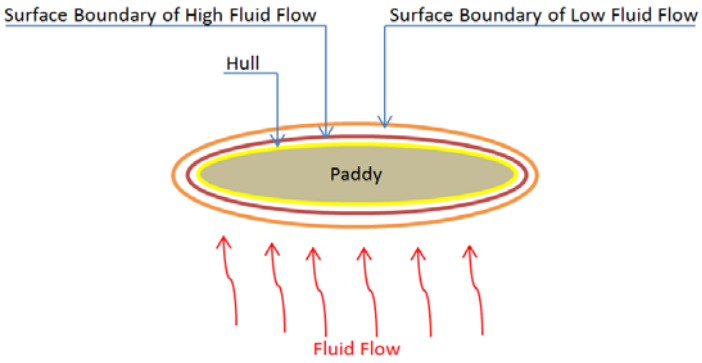
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

กรณีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล ระหว่างวัสดุและอากาศความร้อนจะอยู่ในสภาวะสมดุล ที่สภาวะอิ่มตัวของไอน้ำขณะนั้น โดยอุณหภูมิของอากาศร้อนจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและเกิดการระเหยของน้ำจากบริเวณผิวของวัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของอากาศร้อน

กรณีช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การระเหยของน้ำในช่วงนี้เกิดขึ้นเมื่อ ปริมาณความชื้นของวัสดุน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณความชื้นวิกฤต ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้พบว่า การระเหยของน้ำจะเกิดจากกระบวนการแพร่ของน้ำที่อยู่ภายในวัสดุไปสู่ผิวของวัสดุ ก่อนที่จะเกิดการระเหยที่ผิวของวัสดุ การระเหยของน้ำในช่วงนี้เกิดขึ้นได้ยากกว่ากรณีแรกมาก จึงพบว่า อัตราการอบแห้งในช่วงนี้มีค่าลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่เมื่อปริมาณความชื้นของวัสดุมีสภาวะสมดุลกับปริมาณความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง กลไกที่ควบคุมการเกิดกระบวนการอบแห้งในขั้นตอนนี้ คือ ค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.1.6 การลดความชื้นโดยใช้อากาศร้อน

การนำข้าวเปลือกมาตากแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ขณะตากแดดข้าวเปลือกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้น รูปที่ 2.3 แสดงฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชจะทำหน้าที่เป็นฉนวน (กองเกษตรวิศวกรรม, 2544) ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกสูงมากกว่าแรงดันไอน้ำของบรรยากาศและไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอก ผิวของข้าวเปลือกจะมีฟิล์มของอากาศซึ่งไม่เคลื่อนไหว (ไม่อาจมองเห็นได้) ดังรูปที่ 3 ฟิล์มที่ผิวของข้าวเปลือกนี้จะเป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศเกิดความสมดุลของแรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกและฟิล์ม ฟิล์มนี้จะบางลงเมื่อมีลมเป่าผ่าน หรือตามธรรมชาติที่ว่าอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ อากาศเหนือลานตากจะมีความร้อนมากกว่าบรรยากาศซึ่งลอยตัวขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณลานตาก ฟิล์มสมดุลที่ผิวของข้าวเปลือกจึงบางลงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศง่ายขึ้นและจะง่ายมากขึ้นถ้ามีลมพัดผ่าน การตากข้าวเปลือกในลานตากไม่ควรจะให้หนามากเกินไป ความหนาของข้าวเปลือกในลานตากควรอยู่ประมาณ 3 ถึง 5 cm และควรพลิกกลับอยู่เสมอ เพื่อให้ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกชั้นล่างๆ สามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้สะดวกง่ายขึ้น



ภาพประกอบ 3 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

การใช้อากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดแบบบังคับเป็นวิธีการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งซึ่งสามารถกระทำได้ในทุกโอกาสและทุกสภาวะไม่เหมือนการตากแดดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแสงแดดทำให้เกิดปัญหามาก ในช่วงฤดูฝน การใช้เครื่องอบแห้งจะช่วยลดปัญหาจากการตากแดดโดยการนำอากาศร้อนมาควบคุมให้เกิดประโยชน์ การใช้เครื่องลดปริมาณความชื้นสามารถควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้งได้อย่างใกล้ชิด

2.1.7 สรุปหลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

1. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้สูงขึ้นเป็นผลให้แรงดันไอของข้าวเปลือกสูงกว่าบรรยากาศรอบนอกของข้าวเปลือก
2. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะดูดซับความชื้นที่ข้าวเปลือกคายออกมา
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือกจะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศร้อน
4. อุณหภูมิของอากาศร้อน และความสามารถในการดูดซับความชื้นจะลดลงตามความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่อากาศร้อนพัดผ่านตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า

อัตราการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็ว และอัตราการเคลื่อนตัวของไอภายในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกมาที่ผิว (Drying Characteristics)

2.2 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

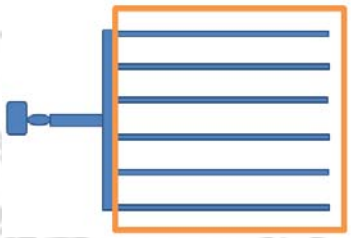
ในอุตสาหกรรมการสีข้าว การใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก พอที่จะแบ่งออกได้เป็นสามประเภทใหญ่ๆดังนี้ คือ

2.2.1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะถ่ายเทอย่างช้า ๆ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะนี้ เป็นการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกในลักษณะที่เลียนแบบธรรมชาติมากที่สุดโดยคำนึงถึงอัตราการระเหยของความชื้นให้ออกจากเมล็ดข้าวเปลือกอย่างช้าๆ จะใช้ความร้อนไม่มาก ใช้เวลาในการอบไล่ความชื้นนาน ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะนี้ไม่เหมาะที่จะใช้อบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด ดังนี้

2.2.1.1. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดท่อส่งลมร้อน

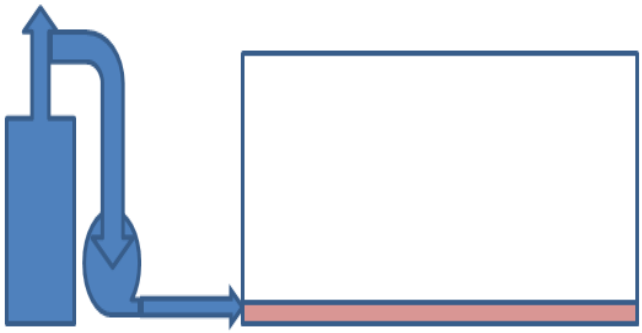
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมส่งลมร้อน ท่อรับลมร้อนหลัก ท่อส่งลมร้อน ตะแกรงส่งลมร้อน วาวล์ควบคุมลมร้อน ซึ่งมีลักษณะเป็นการวางท่อให้อยู่บนพื้นโดยบังคับให้ตะแกรงส่งลมร้อนอยู่ด้านบน แล้วนำข้าวเปลือกมากองให้ทับท่อส่งลมร้อนให้ได้ความหนาของกองชั้นข้าวเปลือกตามที่กำหนดทุกพื้นที่ที่กองเมล็ดข้าวเปลือก เพื่อต้องการให้ลมร้อนสามารถทะลุผ่านกองข้าวเปลือกได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่



ภาพประกอบ 4 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดท่อส่งลมร้อน

2.2.1.2 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดกระบะบังคับปริมาตร

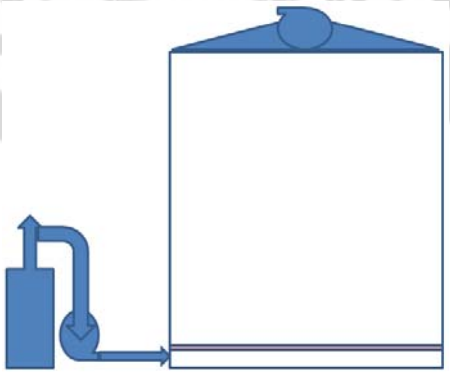
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมส่งลมร้อน ห้องรับลมร้อน ตะแกรงรองรับข้าวเปลือก กระบะควบคุมลมร้อนและปริมาตรของข้าวเปลือก ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจะมีลักษณะเป็นการแบ่งให้มีสองส่วนโดยคั่นด้วยแผ่นตะแกรงซึ่งจะให้ด้านล่างเป็นส่วนของห้องส่งลมร้อน และด้านบนเป็นส่วนของกระบะรองรับบรรจุข้าวเปลือกเต็มพื้นที่ โดยให้ลมร้อนสามารถวิ่งผ่านแผ่นตะแกรงแล้วทะลุชั้นของข้าวเปลือกที่อยู่ด้านบน โดยที่ขอบของกระบะที่มีขนาดคงที่ทำให้สามารถควบคุมปริมาตรของเมล็ดข้าวเปลือกให้คงที่ด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดท่อส่งลมร้อน ให้มีการควบคุมคุณภาพได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากปริมาณลมร้อนต่อปริมาณของกองข้าวเปลือกมีอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถควบคุมทิศทางของลมร้อนได้ดี



ภาพประกอบ 5 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดกระบะบังคับปริมาตร

2.2.1.3. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังกลมทรงกระบอกตั้ง

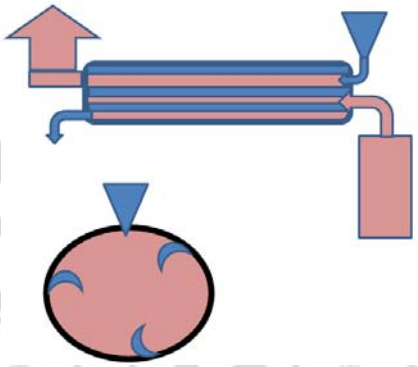
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมส่งลมร้อน พัดลมดูดอากาศชื้น ห้องรับลมร้อน ตะแกรงรองรับข้าวเปลือก ถังทรงกระบอกรองรับข้าวเปลือก ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจะมีลักษณะเป็นการแบ่งให้มีสองส่วน โดยคั่นด้วยแผ่นตะแกรงซึ่งจะให้ด้านล่างเป็นส่วนของห้องส่งลมร้อน และด้านบนเป็นส่วนของถังรองรับบรรจุข้าวเปลือกเต็มพื้นที่ โดยบังคับให้ลมร้อนวิ่งผ่านแผ่นตะแกรงแล้วทะลุชั้นของข้าวเปลือกที่อยู่ภายในถัง โดยที่พัดลมดูดอากาศชื้นจะทำงานเป็นจังหวะตามค่าความชื้นที่เกิดขึ้นภายในถัง ซึ่งถังบรรจุข้าวเปลือกนี้ก็จะแปลงสภาพเป็นถังเก็บข้าวเปลือกด้วย เมื่อข้าวเปลือกที่บรรจุนั้นได้ค่าความชื้นตามที่กำหนด



ภาพประกอบ 6 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังกลมทรงกระบอกตั้ง

2.2.1.4. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังหมุน

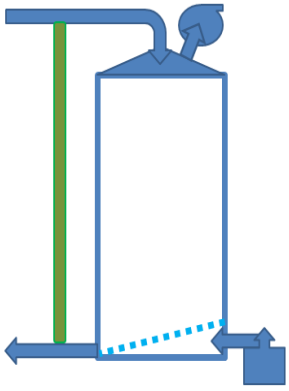
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมดูดอากาศชื้น ครีบโปรยเมล็ดข้าวเปลือก ชุดขับเคลื่อนถังหมุน ถังป้อนข้าวเปลือก ช่องระบายข้าว ถังหมุนทรงกระบอกรองรับข้าวเปลือก ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกวางในแนวนอนและจะหมุนตลอดเวลาเป็นเหตุให้เมล็ดข้าวเปลือกที่อยู่ในถังหมุนเกิดการขยับตัวเคลื่อนที่ แล้วไหลออกจากถังหมุน ในที่สุดเมล็ดข้าวเปลือกจะถูกลำเลียงกลับมาบรรจุเข้าถังป้อนอีกครั้ง และจะดำเนินเช่นนี้จนกว่าค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าได้ตามที่กำหนด



ภาพประกอบ 7 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังหมุน

2.2.1.5. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังเหลี่ยมแนวตั้ง

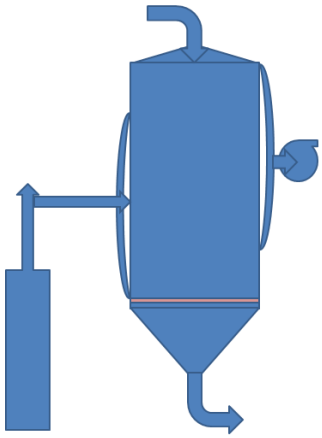
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมดูดอากาศชื้น ลิ้นโปรยเมล็ดข้าวเปลือก กระพ้อเวียนข้าวเปลือก ท่อป้อนข้าวเปลือก ลิ้นระบายข้าวเปลือก ถังบรรจุข้าวเปลือก ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมวางในแนวตั้ง เมื่อบรรจุข้าวเปลือกเต็ม จะเริ่มปล่อยลมร้อนให้ทะลุผ่านกองข้าวเปลือกโดยวิธีการดูดด้วยพัดลม และจะหมุนเวียนเมล็ดข้าวเปลือกตลอดเวลาจนกระทั่งเมล็ดข้าวเปลือกแห้งได้ค่าความชื้นตามที่กำหนด จากนั้นถังอบนี้จะปรับสถานภาพเป็นไซโลเก็บข้าวเปลือก



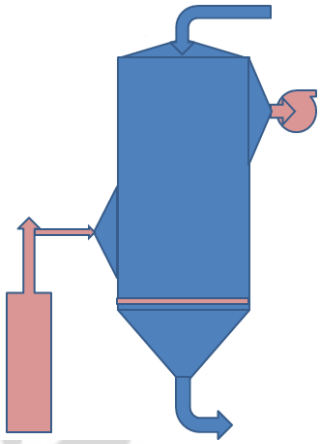
ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดถังเหลี่ยมแนวตั้ง

2.2.1.6. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU

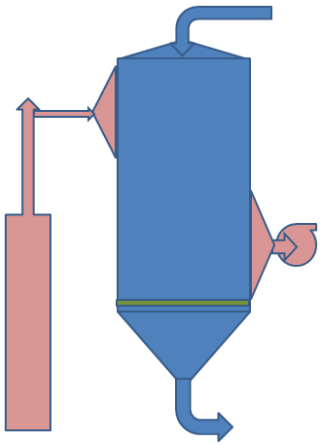
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ เตาสร้างลมร้อน พัดลมดูดอากาศชื้น ลิ้นโปรยเมล็ดข้าวเปลือก กระพ้อเวียนข้าวเปลือก ท่อป้อนข้าวเปลือก ลิ้นระบายข้าวเปลือก ถังบรรจุข้าวเปลือก และช่องลมทรงสามเหลี่ยม ซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมวางในแนวตั้งเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนและมวลด้วยการเพิ่มช่องว่างภายในถังทรงสี่เหลี่ยม โดยที่ช่องลมทรงสามเหลี่ยมจะมีสองลักษณะซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องส่งลมร้อนเข้าห้องอบแห้งและระบายอากาศชื้นให้ออกจากห้องอบแห้งด้วยการโปรยเมล็ดข้าวเปลือกจากด้านบนของถังอบแห้ง แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นที่บริเวณระหว่างช่องส่งลมร้อนและช่องระบายอากาศชื้น **เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU** ได้มีการออกแบบให้มีข้อดีข้อเด่นที่แตกต่างกันหลายแบบเพื่อเพิ่มสมรรถนะและประหยัด เช่น LSU-ชนิดลมร้อนไหลตัดขวาง LSU-ชนิดลมร้อนไหลตาม LSU-ชนิดลมร้อนไหลสวนทาง และ LSU-ชนิดลมร้อนไหลผสมผสานกัน



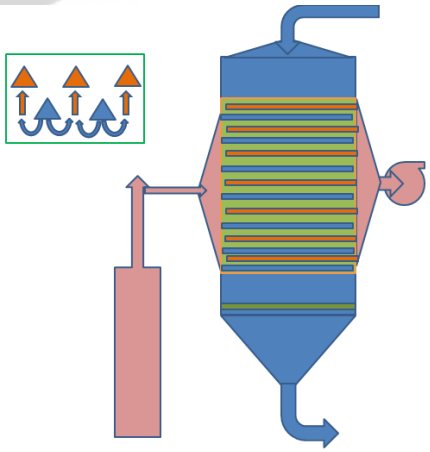
ก. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU-แบบไหลตัดขวาง



ข. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU-แบบไหลสวนทาง



ค. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU-แบบไหลตาม



ง. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU-แบบไหลผสมผสาน

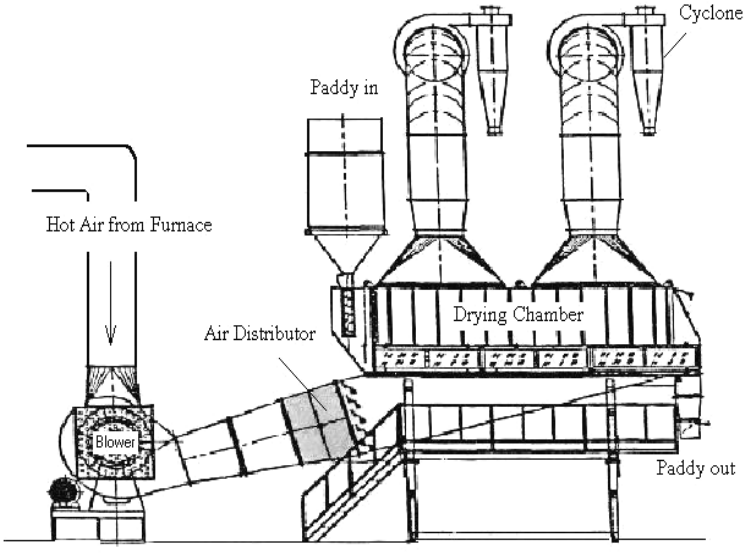
ภาพประกอบ 9 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก LSU

2.2.2 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะถ่ายเทอย่างเร็ว

เนื่องจากการอบแห้งข้าวเปลือกในปัจจุบันนี้ต้องการคุณภาพ ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ตาม spec ที่กำหนด กอปรด้วยเมล็ดข้าวเปลือกมีขนาดที่ไม่เท่ากัน น้ำหนักของแต่ละเมล็ดไม่เท่ากัน จึงได้มีการพัฒนาและสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะได้ดังต่อไปนี้

2.2.2.1. Fluidized Bed Dryer

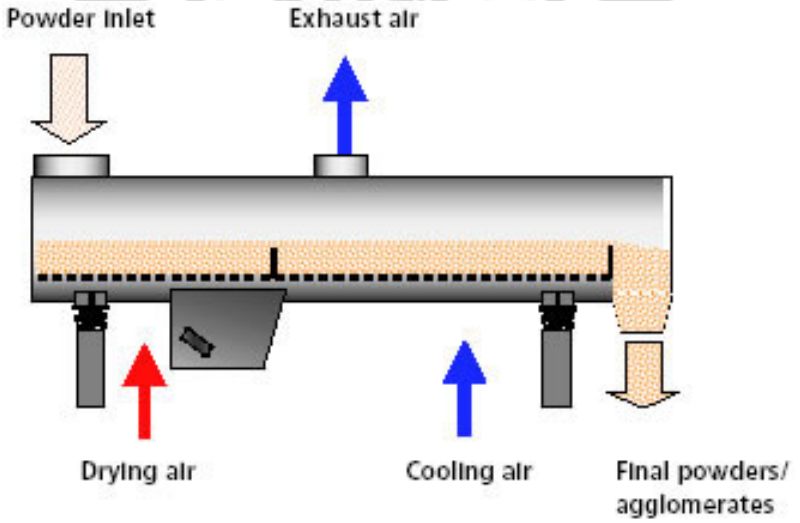
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มีค่าสูงมาก โดยใช้ลมเป็นพาหะในการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น เมื่อวัสดุที่จะอบแห้งอยู่ในลักษณะเป็นของแข็ง เป็นชิ้นเล็กๆ ลมร้อนจะถูกเป่าด้วยความเร็วที่สูงพอจนเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในอากาศได้ โดยมีคุณลักษณะเหมือนของไหลและเคลื่อนที่ไปตามแนวแรงที่เกิดขึ้นในทิศทางด้วยความเร็วที่สัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาด รูปทรงของวัสดุ เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ ชุดสร้างลมร้อน พัดลมสร้างแรงดัน แผ่นตะแกรงรองรับข้าวเปลือก ห้องอบแห้ง ลิ้นกำหนดความหนาชั้นข้าวเปลือก ถังและเกลียวป้อนข้าวเปลือก เกลียวและช่องระบายข้าวเปลือก ไซโคลน ถังเก็บฝุ่นและเศษสิ่งเจือปน ซึ่งจะมีหลักการทำงานโดยพัดลมจะรับลมร้อนจากตัวสร้างความร้อนแล้วเพิ่มแรงดันลมให้เป่าทะลุแผ่นตะแกรงผ่านกองชั้นข้าวเปลือกที่ถูกลำเลียงป้อนเข้าห้องอบแห้งอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจน ข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลแล้วเคลื่อนที่จนกระทั่งหลุดออกไปจากห้องอบแห้ง ในขณะที่ดำเนินการอบแห้งนั้นลมร้อนจะถูกส่งเข้าห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทความร้อนและความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นอากาศชื้นที่เกิดในห้องอบแห้งจะถูกส่งไปที่ไซโคลนเพื่อแยกเศษสิ่งเจือปนและควบคุมฝุ่นละเอียดไม่ให้ออกไปยังบรรยากาศโดยรอบ



ภาพประกอบ 10 เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด

2.2.2.2. Vibro Fluidized Bed Dryer

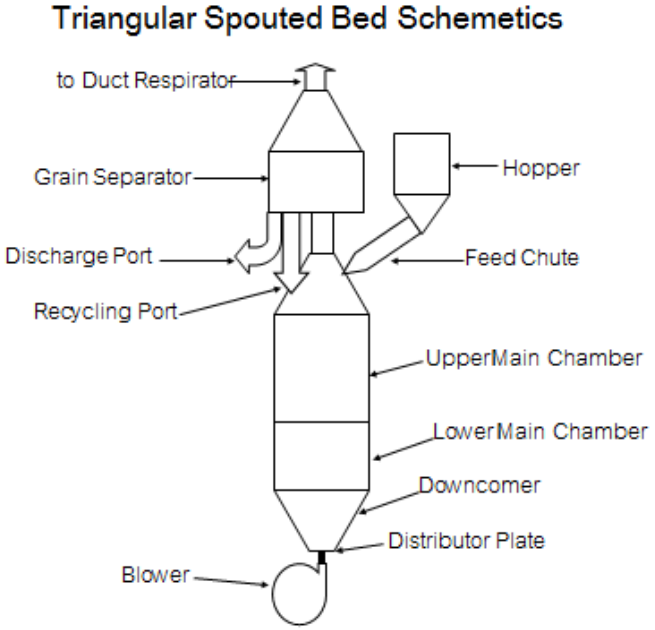
เครื่องอบแห้งนี้ถูกออกแบบเพื่อลดค่าปริมาณการใช้พลังงานความร้อนโดยการปรับปรุงเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดให้มีประสิทธิภาพและประหยัด ซึ่งจะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มีค่าสูงมาก โดยใช้ลมเป็นพาหะในการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น เมื่อวัสดุที่จะอบแห้งอยู่ในลักษณะเป็นของแข็ง เป็นชิ้นเล็กๆ ลมร้อนจะถูกเป่าด้วยความเร็วที่สูงพอที่จะต้องเอาชนะแรงโน้มถ่วงของวัสดุแล้วทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในอากาศได้ โดยมีคุณลักษณะเหมือนของไหลและคลื่อนที่ไปตามแนวแรงที่เกิดขึ้นในทิศทางด้วยความเร็วที่สัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาด รูปทรงของวัสดุ แล้วทำการเขย่าแผ่นตะแกรงให้กองชั้นข้าวเปลือกเกิดพฤติกรรมขยับตัวตลอดเวลาเพื่อลดความเร็วที่สัมผัสและความหนาแน่นของกองข้าวเปลือกให้มีความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นตะแกรงห้องอบแห้ง เครื่องอบแห้งไวโบรฟลูอิไดซ์เบดจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ ชุดสร้างลมร้อน พัดลมสร้างแรงดัน แผ่นตะแกรงรองรับข้าวเปลือก ห้องอบแห้ง ชุดเขย่า ลิ้นกำหนดความหนาชั้นข้าวเปลือก ถังและเกลียวป้อนข้าวเปลือก เกลียวและช่องระบายข้าวเปลือก ไซโคลน ถังเก็บฝุ่นและเศษสิ่งเจือปน ซึ่งจะมีหลักการทำงานโดยที่พัดลมจะรับลมร้อนจากตัวสร้างความร้อนแล้วเพิ่มแรงดันลมให้เป่าทะลุแผ่นตะแกรงผ่านกองชั้นข้าวเปลือกที่ถูกลำเลียงป้อนเข้าห้องอบแห้งอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลโดยมีชุดเขย่าช่วยเสริมให้การเคลื่อนที่ในแนวราบสมบูรณ์จนกระทั่งหลุดออกไปจากห้องอบแห้ง ในขณะที่ดำเนินการอบแห้งนั้นลมร้อนจะถูกส่งเข้าห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทความร้อนและความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นอากาศชื้นที่เกิดในห้องอบแห้งจะถูกส่งไปที่ไซโคลนเพื่อแยกเศษสิ่งเจือปนและควบคุมฝุ่นละเอียดไม่ให้ออกไปยังบรรยากาศโดยรอบ



ภาพประกอบ 11 เครื่องอบแห้งไวโบรฟลูอิไดซ์เบด

2.2.2.3. Spouted Fluidized Bed Dryer

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มีค่าสูงมาก โดยใช้ลมเป็นพาหะในการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น เมื่อวัสดุที่จะอบแห้งอยู่ในลักษณะเป็นของแข็งเป็นชิ้นเล็กๆ ลมร้อนจะถูกเป่าด้วยความเร็วที่สูงพอที่จะต้องเอาชนะแรงโน้มถ่วงของวัสดุแล้วทำให้วัสดุลอยตัวเคลื่อนที่ไปตามช่องทางที่บังคับในแนวตั้งจนหลุดออกไปสู่ห้องควบคุมบรรยากาศตามแรงโน้มถ่วงของโลกจนกระทั่งตกลงมาด้านล่างและเคลื่อนที่ไถลไปตามแนวแรงที่เกิดขึ้นในทิศทางแนวศูนย์กลางด้วยความเร็วสัมผัส ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาดรูปทรงของวัสดุเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ ชุดสร้างลมร้อน พัดลมสร้างแรงดัน แผ่นตะแกรงรองรับข้าวเปลือก ห้องบรรจุข้าวเปลือก ช่องควบคุมทิศทางการไหลถังป้อนข้าวเปลือก ช่องระบายข้าวเปลือก ห้องเก็บฝุ่น ซึ่งจะมีหลักการทำงานโดยที่พัดลมจะรับลมร้อนจากตัวสร้างความร้อนแล้วเพิ่มแรงดันลมให้เป่าทะลุแผ่นตะแกรงผ่านชั้นข้าวเปลือกที่ไถลเข้าแนวศูนย์กลาง ลมร้อนที่มีความเร็วจะสัมผัสเมล็ดข้าวเปลือกให้เคลื่อนตัวไปตามช่องควบคุมทิศทางการไหลของข้าวเปลือกขึ้นสู่ด้านบนจนกระทั่งความเร็วสัมผัสเป็นศูนย์ และเมล็ดข้าวเปลือก จะมีพฤติกรรมตกลงมาด้านล่างแล้วไถลเคลื่อนที่จนกระทั่งเข้าไปอยู่ในแนวศูนย์กลาง ในขณะที่ดำเนินการอบแห้งนั้นลมร้อนจะถูกส่งเข้าห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทความร้อนและความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นอากาศชื้นที่เกิดในห้องอบแห้งจะถูกส่งไปด้านบนเข้าสู่ไซโคลนเพื่อควบคุมฝุ่นละเอียดไม่ให้ออกไปยังบรรยากาศโดยรอบ



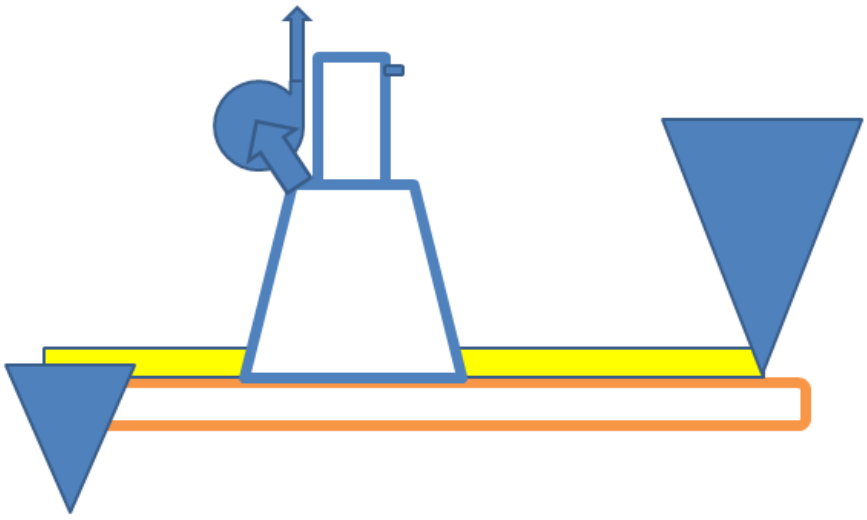
ภาพประกอบ 12 เครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด

2.2.3 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกลักษณะปรับคุณภาพ

นอกจากเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว และนำไปเก็บรักษาเมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลานานเมล็ดข้าวเปลือกจะมีการหายใจจนกระทั่งค่าความชื้นไม่คงที่จึงจำเป็นจะต้องปรับปรุงค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกให้ได้ตามที่กำหนด ซึ่งมีวิธีการอบแห้งที่พอจะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆดังต่อไปนี้คือ

2.2.3.1. Microwave Dryer

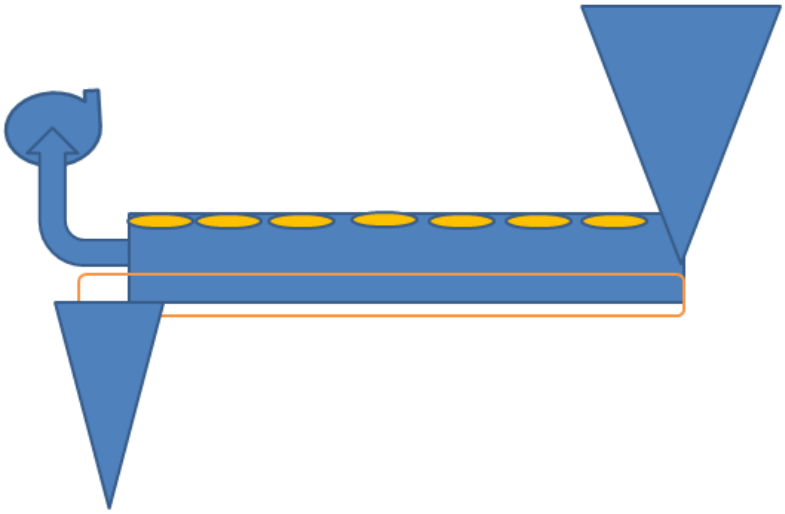
ในกิจกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกปัจจุบันนี้ ต้องการคุณภาพที่ดีตรงตาม SPEC ที่กำหนด เพื่อควบคุมค่าความชื้นจึงได้นำคลื่นอีเลคโทรแมกเนติคมาใช้กระตุ้นความชื้นในเมล็ดให้เปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วแพร่ออกมาที่ผิว เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ แมกนีตรอน เวฟไกด์ คาวีตี ไอโซเลเตอร์ ถังป้อนข้าวเปลือก ช่องระบายข้าวเปลือก ซึ่งจะมีหลักการทำงานพอสังเขปคือคลื่นอีเลคโทรแมกเนติคจะถูกสร้างขึ้นมาจากแมกนีตรอน แล้วส่งผ่านเวฟไกด์เข้าภายในคาวีตีและเกิดปรากฏการสะท้อนทำให้คลื่นไมโครเวฟกระจายทั่วคาวีตี เมล็ดข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ในคาวีตีก็จะกระทบกับคลื่นไมโครเวฟเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นจะดูดซับคลื่นไมโครเวฟจนทำให้เกิดปรากฏการแปลงให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือก และความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะไปไล่น้ำหรือความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกให้ออกไปจนกระทั่งความชื้นมีค่าได้ตามที่กำหนด



ภาพประกอบ 13 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ

2.2.3.2 . Infrared Dryer

ในกิจกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกที่ต้องการควบคุมความชื้นที่ผิวเมล็ดแห้งมากๆ ให้มีคุณภาพที่ดีตรงตามเกณฑ์กำหนดชี้บ่งเพื่อควบคุมค่าความชื้นบริเวณผิวให้สม่ำเสมอ จึงได้มีการนำคลื่นอินฟราเรดมาใช้ควบคุมป้องกันการคืนความชื้นกลับเข้าสู่เมล็ด เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักพอสังเขปดังต่อไปนี้ กล่องควบคุมกระแสไฟฟ้า หลอดคลื่นอินฟราเรด ห้องอบแห้ง ถังป้อนข้าวเปลือก ช่องระบายข้าวเปลือก ซึ่งจะมีหลักการทำงานพอสังเขปคือไฟฟ้ากระแสจะถูกส่งไปยังหลอดคลื่นอินฟราเรดทำให้เกิดเป็นแสงสว่างในขณะเดียวกันก็จะปล่อยคลื่นอินฟราเรดกระจายทั่วทั้งห้องอบแห้ง เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกถูกป้อนเข้าภายในห้องอบแห้งก็จะกระทบคลื่นอินฟราเรดแล้วทะลุเข้าใต้ผิวเมล็ดข้าวเปลือก เกิดเป็นความร้อนไปไล่ความชื้นที่มีในเมล็ดข้าวเปลือกให้ออกไปจนกระทั่งความชื้นมีค่าได้ตามที่กำหนด



ภาพประกอบ 14 เครื่องอบแห้งอินฟราเรด

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก (Physical Property of Paddy)

2.3.1 มิติทางกายภาพของข้าว (Physical dimensions of rice)

มิติทางกายภาพ เช่น ความยาว ความกว้าง ความหนาและปริมาตรของเมล็ดข้าว จะเปลี่ยนแปลงไปตามสายพันธุ์ของข้าว วิธีการปลูก สภาวะแวดล้อมของอากาศ อุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดเพราะว่าเมล็ดข้าวเป็นวัสดุพรุนแบบไฮโกรสโคปิค (hygroscopic) ซึ่งจะมีความชื้นอยู่ภายในโครงสร้างของเมล็ด ดังนั้นความชื้นจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับมิติทางกายภาพของเมล็ดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2.3-2.5

ตาราง 3 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ทางกายภาพของข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (% wb)	Length (10^{-3}m)	Width (10^{-3}m)	Thickness (10^{-3})
Paddy	Short grain Caloro	10.4-22.6	7.46-7.59	3.46-3.56	2.28-2.39
	Medium grain Satum	12-18	7.89-7.98	3.12-3.18	1.96-2.01
	Long grain Bluebonnet	12-18	9.68-10.03	2.59-2.69	1.91-1.98

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995)

ตาราง 4 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับมิติทางกายภาพของข้าวเปลือก

Variety	Moisture content (%wb)	Length (10^{-3}m)	Width (10^{-3}m)	Thickness (10^{-3})
Model[a]		L = a + b MC	W = a + b MC	T = a + b MC
Short grain Caloro	10.40-21.89	a = 7.318, $b = 1.22 \times 10^{-2}$	a = 3.358, $b = 8.90 \times 10^{-3}$	a = 2.287, $b = 8.90 \times 10^{-3}$
Medium Grain Saturn	12-18	a = 7.747, $b = 1.27 \times 10^{-2}$	a =2.842, $b = 7.62 \times 10^{-3}$	a = 1.842, $b = 8.9 \times 10^{-3}$
Long grain Bluebonnet	12-18	a = 8.941, $b = 5.84 \times 10^{-2}$	a = 2.388, $b = 1.65 \times 10^{-2}$	a = 1.765, $b = 1.43 \times 10^{-3}$

L = length, W = width, T = thickness; MC = moisture content.

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995)

ตาราง 5 แสดงปริมาตรของข้าวและข้าวเปลือกที่ได้จากการวัดและจากแบบจำลอง

Grain	Variety	Moisture content (%wb)	Kernel volume (10^{-5} m^3)	Models
Paddy	Medium grain Satum	12-18	16.06-19.17	9.7339+0.5097 MC
	Long grain Bluebonnet	12-18	18.35-19.66	15.4038+0.2994 MC
Rice	Caloro	8.6	21.35 (0.38)	
	Calrose	9.2	19.71 (0.288)	
	Hy Mix Early	8.8	17.86 (0.24)	

MC = moisture content (%, wb) Numbers in parentheses indicate the standard deviations.

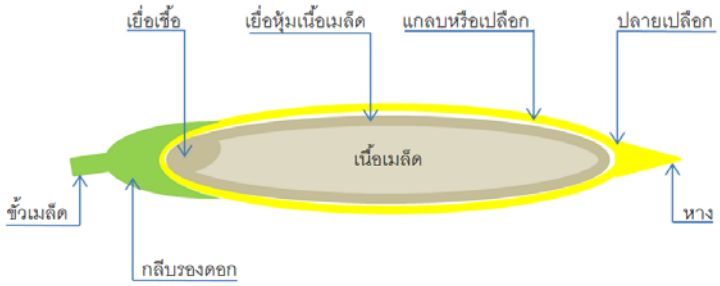
ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995)

2.3.2 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ข้าวเปลือกจะมีส่วนประกอบหลักใหญ่ๆซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน

1. แกลบ (Hull, Husk) หรือเปลือกหุ้มเนื้อเยื่อเมล็ด ซึ่งจะอยู่ด้านนอกสุดมีหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อเมล็ดจากสภาวะแวดล้อมไม่ให้สัมผัสกันโดยตรง
2. เนื้อเยื่อเมล็ดหรือเมล็ดข้าวกล้อง (Brown Rice) ประกอบด้วย จมูกข้าวและรำข้าว
3. เนื้อเมล็ดข้าว (Endosperm) หรือเมล็ดข้าวสาร(White Rice)

ดังแสดงในรูปที่ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงโครงสร้างของข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

2.3.3. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะของเมล็ดพืชจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และความชื้นสำหรับข้าวและข้าวเปลือกค่าความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1.11 ถึง 1.39 Wratten et al. (1969) และ Morita and Singh (1979) ได้สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายความถ่วงจำเพาะของข้าวเปลือกเมล็ดสั้น ปานกลาง และยาว ดังแสดงในตารางที่ 6

ตาราง 6 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของข้าวและข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%wb)	Specific gravity	Model
Rice	Caloro	8.6	1.36	
	Calrose	9.2	1.36	
	Hy Mix Early	8.0	1.39	
	Hondurus	11.9	1.11[b]	
	Wateribune	12.4	1.12[b]	
Paddy	Short, Caloro	10.8-21.5	1.299-1.359	1.424-0.00564 MC
	Medium, Satum	12-18	1.325-1.374	1.465-0.076 MC
	Long, Bluebonnet	12-18	1.384-1.385	1.436-0.0042 MC

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995) MC = moiature content (% wb).

2.3.4 ความหนาแน่น (density : ρ)

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรอีกตัวที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้ง ซึ่งความหนาแน่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความหนาแน่นจริงและความหนาแน่นปรากฏ (True and bulk density)

ความหนาแน่นจริง (True density : ρ_T)

หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลต่อหน่วยปริมาตรของเมล็ด บางครั้งเรียกว่าความหนาแน่นของเมล็ดหรือหน่วยของความหนาแน่น ความหนาแน่นจริงใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารผ่านเมล็ด ตลอดจนใช้ในการจำลองในการอบแห้งเมล็ดพืช ความหนาแน่นจริงสามารถหาได้จากการวัดโดยตรงหรือโดยทางอ้อมจากข้อมูลของความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่นจริงที่ได้จากการวัดดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งเห็นได้ว่าจะเปลี่ยนแปลงไปกับความชื้น ดังนั้นนักวิจัยบางคนได้สร้างแบบจำลองเชิงเส้นในการทำนายความหนาแน่นจริงในช่วงของความชื้นที่กำหนด แบบจำลองเชิงเส้นบางแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นจริงจะลดลงเป็นเชิงกับการเพิ่มขึ้นของความชื้น

ตาราง 7 แสดงค่าความหนาแน่นจริงที่ได้จากการวัดของข้าวและข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	True density (kg/m^3)	Models
Rice	Caloro	8.6	1358.4	
	Calrose	9.2	1364.8	
	Hy Mix Early	8.8	1387.2	
Paddy	Medium	12-18	1324.3-1371.8	
	Medium	16.5	1395.3	
	Medium	11.5	1404.9	
	Long	12-18	1362.9-1384.0	
	Long	14-22	1027.4-1054.7	1046.1-1.01MC
	Long	15.2	1403.3	
	Long	11.5	1391.1	

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995)

MC = moisture content (% wb)

ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density values : ρ_b)

ความหนาแน่นปรากฏใช้กับวัสดุที่เป็นเมล็ดที่วางกองรวมกันเป็นปริมาณมากๆ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรทั้งหมด ซึ่งปริมาตรทั้งหมดประกอบด้วยปริมาตรของเมล็ดและปริมาตรของช่องว่าง ความหนาแน่นปรากฏจะขึ้นอยู่กับความชื้น ขนาดของเมล็ด (ความละเอียด) แหล่งที่มาของเมล็ด และการบรรจุ โดยทั่วๆไปความหนาแน่นปรากฏของข้าว และข้าวเปลือก จะทำการวัดภายใต้สภาวะการบรรจุแบบหลวม ซึ่งในกระบวนการอบแห้งความหนาแน่นปรากฏจะมีความสำคัญกว่าความหนาแน่นจริง ค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวและข้าวเปลือกดังแสดงในตารางที่ 8

ตาราง 8 แสดงค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวและข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	Bulk density (kg/m^3)	Model
Rice	Caloro	8.6	571.1(1.7)	
	Calrose	9.2	570.7(6.2)	
	Hy Mix Early	8.8	591.2(9.3)	
Paddy	Short, Caloro	11.24-20.95	632-664	583.6 + 4.27 MC
	Short	14-22	-	537.6 + 1.22 MC
	Medium, Satum	12-18	598.3-648.3	499.7 + 8.33 MC
	Medium	6-28	-	567.2 + 4.13 MC
	Medium	13.2	590.0	
	Long	12-18	585.6-615.1	519.4 + 5.29 MC
	Long	9-11	561.0-598.0	
	Long	13.5	710.0-780.0	
	Long	14-22	-	529.2 – 1.105 MC + 0.00955 MC^2
	Unspecified	12-16	590.0	
	Unspecified	9.6-25	656.8-752.9	
	Unspecified	-	579	
	Long. Yobonnet	12-24	480-604	

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995).

MC = moisture constent (% wb).

Number in parentheses indicate the standard deviations.

2.3.5. ค่าความพรุน (Porosity values : ε)

ความพรุนเป็นเศษส่วนปริมาตรของอากาศในช่องว่างและเป็นอัตราส่วนของอากาศหรืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมด ความพรุนสามารถหาได้โดยวิธีการวัดเศษส่วนปริมาตรของอากาศโดยตรงหรือโดยอ้อมโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุน ความหนาแน่นจริงและความหนาแน่นปรากฏ

ค่าของความพรุนสำหรับข้าวดังแสดงในตารางที่ 9 ค่าความพรุนบางค่าได้จาก ASAE Wratten et al (1969) และนักวิจัยอื่นๆ ค่าความพรุนของข้าวและข้าวเปลือกจะอยู่ในช่วง ช่วง 46-60 % (0.45-0.6) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และความชื้นของข้าว โดยทั่วๆ ไปค่าของความพรุนจะขึ้นอยู่กับลักษณะการบรรจุ ขนาดของวัสดุ ความหนาแน่นปรากฏและความชื้น แต่เนื่องจากความ

หนาแน่นปรากฏจะขึ้นอยู่กับลักษณะการบรรจุ ขนาดของวัสดุและความชื้น ดังนั้น ค่าของความพรุนจะเป็นฟังก์ชั่นของความหนาแน่นปรากฏ

ตาราง 9 แสดงค่าความพรุนของข้าวและข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	Porosity (%)	Model
Rice	Hondurus	11.9	50.4[b]	
	Wateribune	12.4	46.5	
Paddy	Durar	11.4	51.0	
	Taichung	9.3	52.0	
	Kalinpong	9.7	54.5	
	Short	14-22	46.4-47.6	49.7-0.227 MC
	Medium	12-18	58.5-53.1	65.6-0.475 MC
	Medium	13.2	52.5	
	Long	12-18	56.9-59.6	69.5-0.885 MC
	Long	14-22	48.4-50.8	49.4 + 0.064 MC-0.0099 MC^2
	Unspecified	12-16	48.0	

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995)

MC = moisture constent (% wb)

2.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของข้าวเปลือก

โดยทั่วๆ ไป ความหนาแน่นจริง (True density values : ρ_T) หรือความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density values : ρ_b) จะมีความสัมพันธ์กับความชื้น (Moisture Content : MC) ในลักษณะเชิงเส้น หาได้จาก

$$\rho = a + b(MC) \qquad (7)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นจริง หรือความหนาแน่นปรากฏ ; kg/m^3

MC คือ ความชื้นของวัสดุ ; %wb

a และ b คือ ค่าคงที่

ความพรุนจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นในลักษณะเชิงเส้น เช่นกันหาได้จาก

$$\varepsilon = a + b(MC) \qquad (8)$$

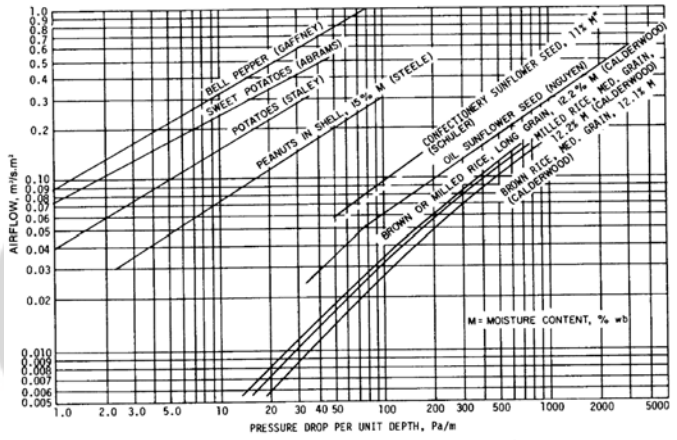
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นจริง (ρ_T) ความหนาแน่นปรากฏ (ρ_b)และความพรุน (ε)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_T} \qquad (9)$$

2.3.7 ความต้านทานการไหลของอากาศ(Resistance to Air Flow)

พลังงานที่ใช้ในการขับดันอากาศให้ไหลผ่านเบดของเมล็ดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของอากาศ ความสูงของเบด และคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ด เช่น พื้นผิว รูปทรง ขนาดของเมล็ดที่กระจาย ความชื้น ปริมาณ และลักษณะของการปนเปื้อน หิน ฟาง วัชพืช ฯลฯ

ความสัมพันธ์ระหว่างอากาศที่ไหลผ่านและความดันลดที่ผ่านเบดสำหรับเมล็ดชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 16 โดยทั่วไปข้อมูลได้จากเมล็ดที่สะอาดและแห้ง



ภาพประกอบ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอากาศและความดันลดที่ผ่านเบด
สำหรับเมล็ดชนิดต่างๆ

ที่มา: ASAE (2006) ASAE D272.3 DEC01.

2.3.8 ความดันลดสถิต (Static pressure drop)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช จะต้องทราบค่าของความดันลดเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบดเมล็ดพืชของอากาศที่แน่นอน เพื่อนำไปใช้เลือกพัดลมที่เหมาะสม มีนักวิจัยหลายคนพบว่าอัตราการไหลของอากาศ ลักษณะของพื้นผิวและรูปทรงของเม็ด ขนาดและรูปแบบของช่องว่าง ความชื้น ความไม่สม่ำเสมอของขนาดเมล็ด ความสูงของเบด รูปแบบของการบรรจุ และจำนวนของวัสดุอื่นๆ จะส่งผลกระทบต่อความดันลดของการไหลผ่านเมล็ดพืชของอากาศ

Brooker et al. (1974) ได้รายงานว่าความต้านทานของความดันจะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ของความละเอียดของเมล็ด Haque et al. (1982) ศึกษาผลกระทบของความชื้นของ

เมล็ดพืชที่มีต่อความต้านทานของการไหลของอากาศ พบว่าความดันสถิตที่ผ่านเมล็ดได้รับอิทธิพลจากอัตราการไหลของอากาศและความชื้น Hukill and Shedd (1955) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายความดันลดในช่วงของอัตราการไหลของอากาศ 0.01-0.20 m^3/s m^2 และหาค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องในสมการสำหรับเมล็ดพืชทั่วๆ ไป

Haque et al. (1978) และ Chung et al. (1985) ได้เสนอสมการความดันลดเป็นโพลิโนเมียลอันดับสองของอัตราการไหลของอากาศ ความชื้นของเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ของความละเอียดของเมล็ด (ขนาดเมล็ด) Siebenmorgen และ Lindal (1987) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายความดันลดเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบดของข้าวเปลือกและระบุว่าความเร็วของอากาศเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความดันลด

ASAE พัฒนาสมการเพื่อหาค่าความดันลดสถิตของอากาศที่ไหลผ่านเบดของข้าว ดังสมการที่10 ค่าคงที่ในสมการสำหรับข้าวเปลือกและข้าวโพดดังแสดงในตารางที่ 10

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\ln(1+bQ)} \qquad (10)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดสถิตย์ (Pa)

L คือ ความสูงของเบด (m)

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ ($m^3/(s\ m^2)$)

a, b คือ ค่าคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตาราง 10 แสดงค่าคงที่ในสมการความต้านทานการไหลของสมการที่ 10

Grain	Variety	Value of a ($Pa\sum s^2/m^3$)	Value of b ($m^2\sum s/m^3$)	Range of Q ($m^3/m^2\sum s$)
Rice	Long, Brown	2.05×10^4	7.74	0.0055-0.164
	Long, Milled	2.18×10^4	8.34	0.0055-0.164
	Medium, Brown	3.49×10^4	10.9	0.0055-0.164
	Medium, Milled	2.90×10^4	10.6	0.0055-0.164

ที่มา: Chony-HO Lee and DO Sup Chung (1995)

สมการหาค่าความดันลดสถิตย์ของอากาศที่ไหลผ่านเบดของเมล็ดข้าวดังแสดงในตารางที่ 11

ตาราง 11 แสดงแบบจำลองสำหรับหาความดันลดสถิตและอัตราการไหลของอากาศ

Model	Parameter	Value of constants
$\ln(Q) = a(\ln \Delta P)^2 + b \ln(\Delta P) + c$	Q= airflow rate (m^3/sm^2)	Paddy (long grain)
	P = Pressure (Pa/m)	a = -0.031
	Moisture constent (12.8 %wb)	b = 0.92
	Bed depth (5-30 cm)	c = -3.024
$P_s = (mD + e)A^{D+c}$	P_s = static pressure (mmH_2O)	Paddy
	D = bed depth (cm)	m = 0.322
	Q = air flow rate ($m^3/min\ m^2$)(1-6)	c = -1.32
	Moisture content (ft)(2-8)	D = 2.14
		e = -0.0089
$SP = A(AF) + B(AF)^2$ $- C(AF)(MC) - D(AF)(MC)$	SP= static pressure (Pa/m)	Paddy (long grain)
	AF= airflow rate ($m^3/s\ m^2$)(0.0508-0.381)	A = 3749.15
	MC = moisture content (% wb)(11.8-19.5)	B = 8289.97
	FM = % fine material (0-8)	C = 117.12
		D = 164.23
$P = V(b_1F + b_2M + b_3D + b_4V)$	P= pressure drop (Pa/m)	Paddy (long grain)
	V = airvelocity (m/s) (0.013-0.387)	b_1 = 25.859
	F = fines percentage (%) (0-30)	b_2 = -90.056
	M = moisture content (% wb) (12-24)	b_3 = 5.587
	D = bulk density (kg/m^3) (480-604)	b_4 = 9133.696

ที่มา: Chony-HO Lee and DO Sup Cchung (1995)

2.4 คุณสมบัติเชิงความร้อนของข้าวเปลือก (Thermal Property of paddy)

ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวเปลือกเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อต้องการศึกษาถึงปัญหาในการอบแห้งและการเก็บรักษาข้าวเปลือก ในส่วนนี้จะพิจารณาความร้อนจำเพาะ การนำความร้อน การแพร่กระจายความร้อน เส้นไอโซเทอม และความร้อนของการระเหย

2.4.1 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

ความร้อนจำเพาะคือปริมาณความร้อนที่จำเป็นที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของมวลของวัสดุหนึ่งหน่วย ให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วยองศา ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะมีความสำคัญมากที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของเมล็ดเพิ่มขึ้นในระดับที่ต้องการ ในที่นี้จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะและความชื้นของข้าว โดยได้มีนักวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 12

ตาราง 12 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของข้าวและข้าวเปลือก ที่ได้รับการยอมรับจาก ASAE.

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	Specific heat (kJ/kg K)
Ricce	Shelled	9.8-17.6	1.202 + 0.00381 MC
	Milled	10.8-17.4	1.110 + 0.0448 MC
	-	10.2-17.0	0.9214 + 0.0545 MC
Paddy	Short	11-24	1.532
	Medium	10-20	1.691

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995). MC = moisture content (% wb)

2.4.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

จากกฎของฟูเรียร์กล่าวว่า ฟลักซ์ของการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเกรเดียนท์ขององอุณหภูมิ ซึ่งค่าคงที่ที่ได้ก็คือค่าการนำความร้อนของวัสดุ ซึ่งค่าการนำความร้อนของข้าวเปลือกจะอยู่ในช่วง 0.1021-0.1270 W / m K จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และความชื้นของข้าว

สมการที่ใช้ในการทำนายค่าการนำความร้อนของข้าวเปลือก ดังแสดงในตารางที่ 13

ตาราง 13 แสดงค่าการนำความร้อนของข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	Conductivity (W/m °K)	Estimation model (W/m °K)
Paddy	Short	11-24	0.113-0.127	k=0.10000 + 0.00111 MC
	Medium	10-20	0.1020-0.1124	k=0.0866 + 0.00133 MC
	Medium	-	-	k=0.319+0.479MC/(1+MC)

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995) MC = moisture content (%, wb)

2.4.3 การแพร่กระจายของความร้อน (Thermal diffusivity)

การแพร่กระจายของความร้อนสามารถหาได้โดยการวัดโดยตรงหรือโดยทางอ้อมจากค่าการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่นของข้อมูล

Wratten et a1. (1969) และ Morita และ Singh (1979) ได้คำนวณหาค่าการแพร่กระจายของความร้อนของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์ โดยใช้ค่านำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่นของข้อมูล พบว่าค่าการแพร่กระจายของความร้อนของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 0.0003084-0.000395 m^2/h ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด(สายพันธุ์) และความชื้นของข้าวเปลือก Jones et at. (1992) ค่าการแพร่กระจายของความร้อนของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 0.0003600-0.0003852 m^2/h ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นและความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก ค่าการแพร่กระจายของความร้อนของข้าวดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 แสดงค่าการแพร่กระจายของความร้อนของกองข้าวและข้าวเปลือก

Grain	Variety	Moisture content (%.wb)	Diffusivity[a] (m^2/h)
Paddy	Short	10-20	0.000451-0.00000585MC
	Medium	10-20	0.000468+0.00000897MC

ที่มา: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung (1995).

MC = moisture content (% wb)

2.4.4 ความร้อนของการระเหย (Heat of vaporization)

ความร้อนของการระเหย หมายถึง ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวให้เป็นไอที่อุณหภูมิและความดันคงที่ สำหรับการระเหยของความชื้นจากเมล็ดเมื่อเมล็ดได้รับพลังงานในรูปของความร้อนแฝงของการระเหย ซึ่งความร้อนแฝงของการระเหยของเมล็ดจะขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิ และจะมีค่ามากกว่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อยู่อย่างอิสระ โดยเฉพาะเมื่อเมล็ดนั้นมีความชื้นต่ำ ถ้าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดมีค่าต่ำค่าความร้อนแฝงของการระเหยจะมีค่าสูง สำหรับข้าวเปลือกค่าความร้อนแฝงของการระเหยที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 15

ตาราง 15 แสดงค่าความร้อนแฝงของการระเหยของข้าวเปลือก Brooker et al. (1974)

อุณหภูมิ (°C)	ความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of vaporization) ; kJ/kg					
	น้ำที่อยู่อย่างอิสระ	ความชื้น (Moisture Content) ; % wb				
	(free Water)	14	16	18	20	22
25	2,443	2,605	2,518	2,483	2,464	2,453
30	2,431	2,593	2,506	2,471	2,452	2,441
35	2,419	2,580	2,493	2,458	2,440	2,429
40	2,407	2,567	2,482	2,447	2,428	2,417
45	2,395	2,555	2,469	2,434	2,416	2,405
50	2,383	2,542	2,456	2,422	2,404	2,393
55	2,371	2,529	2,444	2,410	2,391	2,381
60	2,359	2,516	2,432	2,398	2,379	2,369

สมการสำหรับคำนวณหาค่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในข้าวเปลือกหาได้จาก (**สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535**)

$$h'_{fg} = h_{fg}\left(1 + 2.496\exp^{(-21.733\ MC)}\right) \quad (11)$$

เมื่อ h'_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในข้าวเปลือก ; (kJ/kg)

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อยู่อย่างอิสระ ; (kJ/kg)

= 2502-2.386 T

MC คือ ความชื้นของข้าวเปลือก ; (% wb)

T คือ อุณหภูมิ ; (°C)

2.5 การถ่ายเทความร้อนและมวล (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535)

2.5.1 การถ่ายเทความร้อน

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิถ้าของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมล็ดของแข็ง ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมล็ดของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของของแข็งเป็นแบบการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fourier คือ

$$q = -kA\frac{dT}{dx} \qquad (12)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน

k คือ สภาพการนำความร้อนของของไหล

T คือ อุณหภูมิของของไหล

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกับกระแสของไหล มักเขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ว่า

$$q = hA(T_{\infty} - T_s) \qquad (13)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง

T_{∞} คือ อุณหภูมิกระแสของไหล

2.5.2 การถ่ายเทมวลสาร

ปริมาณการถ่ายเทมวลนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของสาร ที่ใดมีความเข้มข้นมากกว่าก็จะกระจายไปหรือเดินทางไปยังที่ความเข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวลสาสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\dot{m}_p = \frac{dM}{dL} = \dot{m}_f \frac{d(RH)}{dL} \qquad (14)$$

เมื่อ $\dot{m}_p$ คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก

$\dot{m}_f$ คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น

M คือ ปริมาณความชื้น

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

L คือ ความยาวห้องอบแห้ง

2.6 การอบแห้งแบบชั้นบาง

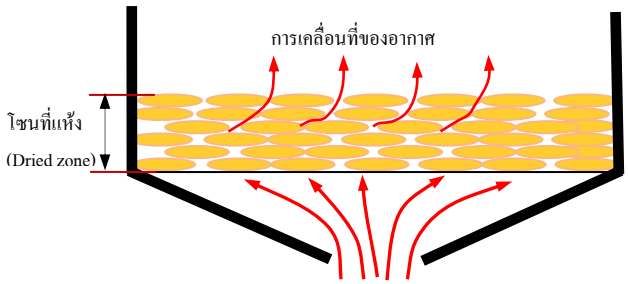
การอบแห้งแบบชั้นบางหมายถึงกระบวนการอบแห้งของเมล็ดที่ทุกเมล็ดจะสัมผัสกับอากาศที่ใช้ในการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งคงที่ใดๆ ภายในเบดของการอบแห้งแบบชั้นบาง โซนของการอบแห้งจะมีความหนากว่าความหนาของเบด ซึ่งการอบแห้งจะเกิดตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งผ่านเบด ดังแสดงในรูปที่ 17

การพัฒนาสมการของการอบแห้งแบบชั้นบาง ดังแสดงในตารางที่ 16

ตาราง 16 แสดงสมการของการอบแห้งแบบชั้นบาง

Name of model	Model equation	Reference
Lewis	$MR = \exp^{(-kt)}$	Lewis (1921)
Henderson and pabis	$MR = a\exp^{(-kt)}$	Henderson and pabis(1969)
Logarithmic	$MR = a\exp^{(-kt)} + c$	Chadra and Singh(1995)
Two term	$MR = a\exp^{(-k_1t)} + b\exp^{(-k_2t)}$	Henderson and pabis(1974)
Modified Henderson and Pabis	$MR = a\exp^{(-kt)} + b\exp^{(-gt)} + c\exp^{(-ht)}$	Karathanos (1999)
Two term exponential	$MR = a\exp^{(-kt)} + (1-a)\exp^{(-kat)}$	Sharaf-Elden et al. (1980)
Diffusion approach	$MR = a\exp^{(-kt)} + (1-a)\exp^{(-kbt)}$	Yaldiz and Ertekin (2001)
Verma et al.	$MR = a\exp^{(-kt)} + (1-a)\exp^{(-gt)}$	Verma et al. (1985)
Page	$MR = \exp^{(-kt^n)}$	Page (1949)
Modified Page	$MR = \exp^{(-(kt)^n)}$	Overhults et al. (1973)
Midilli et al.	$MR = a\exp^{(-kt^n)} + bt$	Midilli et al. (2002)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)
Quasi-stationary	$MR = \frac{1}{\left(1+(t/x)^y\right)}$	Kudra and Efremov (2003)
Teter	$MR = \exp^{\left(-X^*t^Y\right)}$ $X = 0.026 - 0.0045RH + 0.01215T$ $Y = 0.013362 + 0.194RH - 0.000177RH^2 + 0.009468T$	Teter (1987)

ที่มา: Oktay Hacihafizoglu et al. (2008) , Khanali et al. (2012)



ภาพประกอบ 17 แสดงการอบแห้งชั้นบาง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดปริมาณความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง ได้มีการศึกษาเชิงวิเคราะห์และเชิงทดลองในรูปแบบต่างๆ ที่ผ่านมามีนักวิจัยได้ทำการออกแบบทดลองและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆ ของวิธีการลดปริมาณความชื้นผลผลิตทางการเกษตร ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรม พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบกับวิธีการลดความชื้นแบบอื่นๆ เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นสังเขป

M.,Yapha (1994) ได้ออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิต 1 t/h ให้มีการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถอบแห้งลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45%(db) ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24%(db) โดยที่ข้าวเปลือกใช้เวลาอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 3 นาที ให้ฟลูอิดไดซ์เบดข้าวเปลือกสูง 11 cm ความเร็วกระแสอากาศร้อน 1.9 m/s อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m^3/s อัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 66.4% ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงประมาณ 100-120 $^{\circ}C$ ใช้กำลังไฟฟ้า 6,559 W ใช้เชื้อเพลิงดีเซล 5.73 L/h มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 270 MJ/h

S.,Soponronnarit et al. (1995) ได้สร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวางและ สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db โดยให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 3 min อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 100-120 °C ความสูงของข้าวเปลือก 11 cm อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m^3/s ความเร็วของความอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือก 1.9 m/s พบว่าระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุณภาพของข้าว เช่น ข้าวเต็มเมล็ด และความขาว ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์สูง

S.,Wetchacama et al. (2000) ได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบ ต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือนที่มีความสามารถในการอบแห้ง 2.5–5 t/h และลดความชื้นได้จาก 28 to 23% (db) ที่อัตราการป้อนข้าว 4821 kg/h

Chaiyong Taechapairoj et al. (2003) ได้ทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำซุปเปอร์ฮีท ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่จะเข้ามาแทนที่แบบการใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง กลไกของการถ่ายเทมวลสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงของความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 25 - 44.5% db จะถูกควบคุมโดยการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเมล็ด และใช้สมการเอ็กซ์โปเนนเชียลอันดับสองอธิบายการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเมล็ด พารามิเตอร์ของการอบแห้งจะเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิและความสูงของเบด พบว่าข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำซุปเปอร์ฮีทจะมีสูงขึ้นในช่วงของความชื้นสุดท้ายที่กว้างขึ้นและมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อน เพื่อรักษาข้าวเต็มเมล็ดขอแนะนำว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงไม่ควรอบแห้งให้ความชื้นต่ำกว่า 18 % db.

Adnan Topuz et al. (2004) ได้ศึกษาเชิงทดลองและเชิงตัวเลขของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของถั่วเฮเซลนัท โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลแบบไม่คงที่ในการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของถั่วเฮเซลนัทและได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่มีผลต่อคุณลักษณะของการอบแห้งถั่วเฮเซลนัท จากการศึกษาพบว่าที่สภาวะเริ่มต้นของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งจะมีค่าสูงมากเนื่องจากความชื้นที่พื้นผิวมีค่าสูง อย่างไรก็ตามอัตราการอบแห้งจะลดลงขณะที่มีการระเหยของความชื้นที่ผิว

Garnavi et al. (2006) ได้จำลองเชิงตัวเลขของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีสองเฟสของการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่น จากการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขพบว่าความเร็วของแก๊สร้อน อุณหภูมิที่ทางเข้าของแก๊สที่ใช้อบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ขนาดของอนุภาคและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง จะมีผลต่อกระบวนของการอบแห้ง ผลที่ได้จาการจำลองสามารถนำไปใช้กับแบบจำลองที่สมมติให้ขนาดของฟองสม่ำเสมอได้ พบว่าขนาดของฟองจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงของเบด

Abhay Kr et al. (2006) ได้ศึกษา ลักษณะการดูดซับน้ำของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และแกลบทำการวัดที่อุณหภูมิสามค่าจากช่วง 30 ถึง 60 $^{\circ}$C พบว่าแกลบเป็นอุปสรรคสำคัญในกระบวนการดูดซับน้ำของข้าวกล้อง และยังพบว่าอัตราของความชื้นในเมล็ดจะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มของอุณหภูมิที่ใช้แช่

Hideo INABA (2007) ทำการศึกษาผลกระทบของการถ่ายเทความร้อนและมวลที่มีต่อประสิทธิภาพของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยทำการศึกษาสภาวะอินพุทและเอาท์พุทที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์จะใช้วัสดุสองชนิดที่แตกต่างกัน คือข้าวสาลีและข้าวโพด แบบจำลองของพลังงานและเอคเซอร์จี้ได้พัฒนาโดยใช้กฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

ผลกระทบของไฮโดรไดนามิกส์ (hydrodynamics) และสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์เช่น อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า ความชื้นเริ่มต้น ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวเลขฟูเรียร์และเรย์โนลด์ที่มีต่อประสิทธิภาพพลังงานและเอคเซอร์จี้โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ผลที่ได้จากแบบจำลองที่ทำการพัฒนาสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง

P.,Bunyawanichakul al et. (2007) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งที่ลำเลียงด้วยลมที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างแก๊สร้อนและอนุภาคเกิดขึ้นพร้อมกันกับการขนถ่ายในระหว่างการอบแห้ง โดยใช้การสมดุลมวลและพลังงานเพื่อสร้างแบบจำลองของการอบแห้งในระดับมหาภาคหนึ่งมิติของเบด และคิเนติคของการแพร่กระจ่ายของความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือก สมการที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญไม่เชิงเส้นและใช้วิธีเชิงตัวเลขแก้สมการเพื่อศึกษาการกระจายของความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกและกระแสอากาศตลอดความยาวเครื่องอบแห้ง โดยพิจารณาถึงผลกระทบของอัตราการไหลของอากาศจำเพาะซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเครื่องอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวเปลือก และความเร็วอากาศที่ทางเข้าที่มีผลกระทบต่อความชื้นสุดท้าย และอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกและกระแสอากาศ พบว่าอัตราส่วนอากาศจำเพาะจะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องอบแห้งและความเร็วของอากาศที่ทางเข้า ในทางตรงกันข้าม อัตราส่วนอากาศจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนข้าวเปลือกลดลง การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของอากาศจำเพาะก็จะช่วยเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่สภาวะสมดุลด้วย (T_{eq}) และส่งผลให้อัตราการแพร่กระจ่ายของความชื้นสูงกว่าภายในเมล็ดข้าวเปลือก ดังนั้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องอบแห้งและความเร็วอากาศที่ทางเข้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการป้อนข้าวเปลือกลดลง และพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้กับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งที่ลำเลียงด้วยลมได้ แต่ไม่สามารถใช้อบแห้งวัสดุที่อุ้มน้ำได้ เช่นเมล็ดข้าวเปลือกที่อุ้มน้ำเพราะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในระบบใช้ระยะเวลาสั้นๆ

Oktay Hacıhafızoglu et al. (2008) ได้ใช้หลักของสถิติวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของแบบจำลองต่างๆ ของการอบแห้งชั้นบางสำหรับข้าวเมล็ดยาวที่ได้มีผู้พัฒนามาแล้วก่อนหน้านี้ โดยค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองหาได้จากสภาวะที่อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง 40 ° C, 45 ° C, 50 ° C, 55 ° C และ 60 ° C และอัตราการไหลของอากาศ จาก 1.5 m/s และ 3.0 m/s ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของ Midilli et al เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งชั้นบางของข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ แบบจำลองที่มีพารามิเตอร์สองตัวในแบบจำลองของ Page และ แบบจำลองที่มีพารามิเตอร์สามตัวในแบบจำลองของ Verma et al และ แบบจำลองของการแพร่กระจายจะมีความถูกต้องกว่าแบบจำลองเอ็มพิริคัล ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ค่าสัมประสิทธิ์การอบแห้ง k และ ค่าเอ็กซ์โพเนน n ในแบบจำลองของ Midilli et al. เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

Sebastien Janas et al. (2010) ได้ศึกษาการกระจายของอุณหภูมิและความชื้นในเมล็ดข้าวโพด และจลน์ศาสตร์ของการสูญเสียคุณภาพซึ่งมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทั้งสองนี้ โดยสร้างแบบจำลองทางกายภาพของการถ่ายเทความร้อนและมวลในเมล็ดข้าวโพดจากสมการของฟิกค์และฟูเรียร์ และแก้สมการโดยวิธีไฟไนท์อิเลเมนต์ (FEM) รูปทรงทางคณิตศาสตร์เชิงสามมิติของเมล็ดข้าวโพดหาได้จากการถ่ายภาพโดยใช้ NMR และนำไปใช้ในการสร้างกริดสำหรับการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีไฟไนท์อิเลเมนต์ แบบจำลองที่สร้างขึ้นอธิบายถึงการกระจายของความชื้นของข้าวโพดและเกลือที่ละลายในโปรตีนระหว่างการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งคงที่อยู่ระหว่าง 50 °C และ 100 °C ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

Tayyeb Nazghelichi et al. (2010) ได้วิเคราะห์พลังงานและเอคเซอร์จี้ของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของแครอทรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ อัตราส่วนพลังงานที่ใช้ เอคเซอร์จี้สูญเสียและประสิทธิภาพเอคเซอร์จี้ พบว่า อนุภาคที่มีขนาดเล็ก ที่เบดหนาๆ และ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าสูงๆ พลังงานที่ใช้ อัตราส่วนพลังงานที่ใช้ และการสูญเสียเอคเซอร์จี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพเอคเซอร์จี้จะมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ใช้สูงขึ้น อนุภาพขนาดใหญ่และชั้นของเบดบางๆ

Siri Doungporn et al. (2012) ได้พัฒนาสมการอบแห้งเพื่อทำนายจลน์ศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางของข้าวหอมมะลิไทยโดยใช้อากาศร้อน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ แก๊สไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ใช้ข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้น 32 %db พบว่าอัตราการอบแห้งไม่ได้รับผลกระทบจากแก๊สที่ใช้อบแห้งแต่จะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มอุณหภูมิของแก๊ส

Fernanda Ribeiro Gaspar Branco da Silva et al. (2012) ได้วิเคราะห์เชิงทดลองและเชิงตัวเลขของการอบแห้งกากถั่วเหลืองในฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อหาจลน์ศาสตร์ของการอบแห้งกากถั่วเหลือง และอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วของการอบแห้ง และความสูงของเบดในกระบวนการรอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ผลจากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งของการถั่วเหลืองจะลดลงอย่างเดียวระหว่างกระบวนการ ซึ่งถูกควบคุมด้วยการแพร่กระจายภายในวัสดุเป็นกลไกที่ควบคุมอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการขณะที่ความสูงของเบดและความเร็วของการอบแห้งจะไม่มีผลในช่วงของการทดลอง และผลที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองจะใกล้เคียงกับผลจากการทดลองซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

Khanali et al. (2012) ได้ทำการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเชิงทดลองของข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ใช้อุณหภูมิของอากาศในการอบแห้ง 50, 60 และ 70 °C ความเร็วของการเกิดฟลูอิดไดเซชั่น 2.3, 2.5 และ 2.8 m/s และ holdups 0.66 และ 1.32 kg จากการใช้แบบจำลองของการอบแห้งแบบเอ็มพิริคัลและแบบกึ่งเอ็มพิริคัลของการอบแห้งต่างๆ พบว่า แบบจำลองของ Midilli *et al*. เป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการอบแห้งโดยใช้ฟลูอิไดซ์เบดได้ดีที่สุด พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะมีผลต่อคิเนติกของการอบแห้ง นั้นคือ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการ

อบแห้งจะทำให้อัตราของการอบแห้งเพิ่มขึ้นและอัตราของการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกับการเพิ่มความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ขณะเดียวกันจะลดลงเล็กน้อยกับการเพิ่ม hold up ของข้าว

จากการศึกษาการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้กันในระดับอุตสาหกรรมนั้นเป็นเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ LSU ชนิดไหลสวน ไหลขนาน ไหลขวางและไหลแบบคลุกเคล้า และแบบฟูอิดไดซ์เซชั่น

ในปี ค.ศ.1991 ศาตราจารย์ ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดได้ประสบผลสำเร็จ ได้มีการพัฒนาความสามารถในการผลิตไปสู่เชิงพาณิชย์ แต่อย่างไรก็ตามจากผลของการใช้งานภายในโรงสีข้าว ในประเทศไทยได้มีข้อเสนอแนะเรื่องการใช้ปริมาณพลังงานของพัดลมสร้างแรงดันในห้องอบแห้งข้าวเปลือกมีอัตราส่วนการใช้มากเกินไป ถ้าสามารถลดพลังงานส่วนนี้ลงได้ก็จะทำให้เครื่องอบแห้งแบบเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดเป็นที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น และประกอบกับในเรื่องของการเคลื่อนตัวของเมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่นเต็มพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ แต่ในทางปฏิบัติจริงการสร้างสภาวะในห้องอบแห้งจะถูกควบคุมโดยเมล็ดข้าเปลือกในห้องอบแห้งทั้งหมดหรือที่เรียกว่า เบดของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกแต่ละเมล็ดมีขนาดรูปทรงและน้ำหนักที่แตกต่างกันจึงทำให้เบดของเมล็ดข้าวเปลือกเป็น plug flow fluidization ซึ่งจะทำให้การควบคุมของเมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบแห้งยากขึ้น ซึ่งเป็นจุดที่ต้องการการปรับปรุงและพัฒนา ของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ต่อมาในปี ค.ศ.1995 ได้แก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นโดยสร้างเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน โดยอาศัยแรงดันจากพัดลมเพื่อให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เซชั่นซึ่งกระแสลมที่พัดลมสร้างแรงดันยังคงมีจุดด้อยในการทำงาน ที่ขอบของห้องอบแห้งที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า บางครั้งแรงดันตกคร่อมภายในห้องอบแห้งและบริเวณห้องกระจายอากาศร้อนเกิดสภาวะที่แตกต่างกันมากเกินไป จะทำให้เกิด plug flow fluidization ได้เช่นกัน แต่โอกาสเกิดยังคงมีน้อยกว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา

Nattapol Maneechot et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยทำการทดสอบในห้องอบแห้งที่มีขนาด กว้าง 20 cm X ยาว 100 cm X สูง 30 cm ใช้แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm, 1.5 mm, 2.0 mm และที่ระดับความหนาของเบดข้าวเปลือก 1-5 cm โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนตั้งแต่ 0.05 – 0.30 m^3/s พบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศที่ 1.5 mm และที่ใช้ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm จะมีค่าความดันตกคร่อมต่ำที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือก

Pongsakorn Suwato et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล โดยทำการทดสอบความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm, 160 rpm และระยะยกที่ 4 cm, 4.6 cm, 5.2 cm โดยใช้ความหนาของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง 1 - 5 cm อัตราการไหลของกระแสอากาศตั้งแต่ 0 – 0.3 m^3/s พบว่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ที่ระยะยก 4 cm ความถี่ 140 rpm ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ใช้อัตราการไหลของกระแสอากาศที่ 0.2 m^3/s จะให้ค่าความพรุนของชั้นข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งมากที่สุด

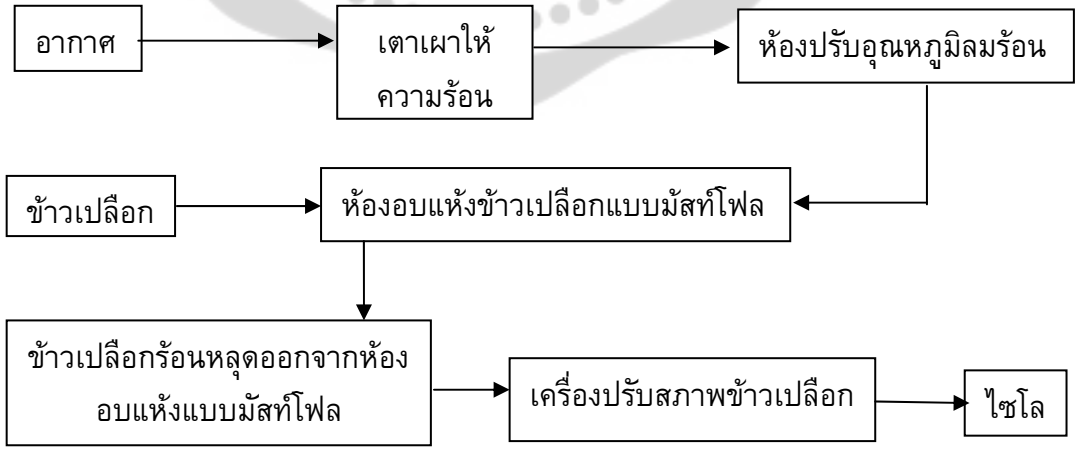
Pirasit Thauynak et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและระดับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่มีผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ซึ่งใช้อัตราการไหล 0.15, 0.25, 0.30, 0.40 and 0.50 m^3/s ใช้อุณหภูมิ 100, 110, 120, 130, 140 and 150 ^{o}C ทำการทดสอบโดยใช้ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23 %wb สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ลดลงเหลือ 16 %wb ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ระยะยกห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ 140 rpm พบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลนั้นสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ จนได้ระดับความชื้นสุดท้ายที่ใกล้เคียงกัน

บทที่ 3
อุปกรณ์และการออกแบบ

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการลดความชื้นในข้าวเปลือกที่ใช้อยู่ในระดับอุตสาหกรรมจะใช้วิธีตากลานคอนกรีต ในกรณีที่เป็นฤดูเก็บเกี่ยวจะใช้เครื่องอบแห้งเป็นแบบถัง LSU และแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยเฉพาะแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะต้องใช้แรงดันลมสูงเพื่อทำให้ข้าวเปลือกเกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก ซึ่งทางผู้วิจัยได้มองเห็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยวิธีการเปลี่ยนจากแรงดันของพัดลมที่ส่งเข้าไปในห้องอบแห้งให้เป็นแรงดูดจากพัดลมบังคับให้ไหลผ่านห้องอบแห้งให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจ่ายอากาศโดยควบคุมชั้นความหนาของเบดข้าวเปลือกให้ทำหน้าที่เสมือนแผ่นกรองอากาศและการเกิดความพรุนของเบดข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะถูกควบคุมโดยการยกเบดข้าวเปลือกขึ้นแล้วปล่อยลงให้ตกลงมาด้านล่างอย่างอิสระเรียกว่า กระบวนการมัสท์โฟล (Must Flow Processing) และผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกมัสท์โฟลขนาดอุตสาหกรรมเพื่อยกระดับกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งในอุตสาหกรรมการสีข้าวต้องการเทคนิคและวิธีการเพื่อให้สามารถแข่งขันในเวที Asian Economic Committee และตลาดการค้าข้าวโลก

3.1 รูปแบบและหลักการทำงานของ Must Flow Dryer

แนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกตามกระบวนการมัสท์โฟลสามารถสรุปรายละเอียดได้เป็นหลักการทำงานได้พอสังเขป ดังจแสดงให้เห็นในแผนภูมิตามรูปที่ 18 ซึ่งแสดงกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญๆ ในระบบ



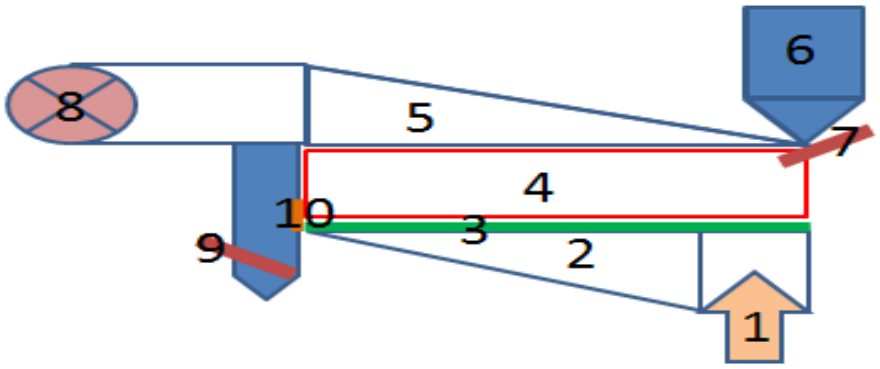
ภาพประกอบ 18 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

อากาศภายนอกถูกดูดผ่านเตาเผาเพื่อเพิ่มอุณหภูมิสำหรับใช้เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารในระบบอบแห้ง จากนั้น จะถูกส่งผ่านระบบท่อเข้าสู่ห้องปรับอุณหภูมิลมร้อน โดยมีการผสมกับอากาศจากภายนอกอีกครั้ง เพื่อปรับระดับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการอบแห้ง ข้าวเปลือกที่จะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการอบแห้งในห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ข้าวเปลือกชื้นถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องอบแห้งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารเป็นผลให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความชื้นที่เหมาะสม ข้าวเปลือกจะหลุดออกจากห้องอบแห้ง และถูกลำเลียงไปยังเครื่องปรับสภาพข้าวเพื่อลดระดับอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกให้เหมาะสมกับการเก็บรักษาในไซโลต่อไป

3.1.1 ส่วนประกอบของ Must Flow Dryer

จากแนวคิดและการออกแบบเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล มีการกำหนดอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบหลักที่จำเป็นซึ่งพอจะสรุปได้เบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 19

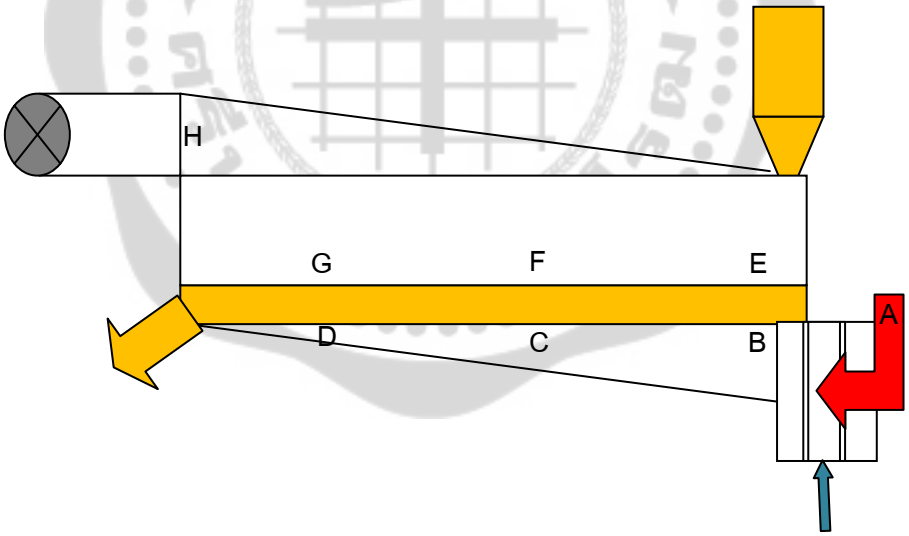
(1) ชุดสร้างความร้อน เป็นเตาเผาแกลบทรงกระบอกตั้งที่สร้างลมร้อนส่งให้ระบบอบแห้ง
(2) ห้องควบคุมการกระจายของกระแสลมร้อน เพื่อให้เบดการอบแห้งได้รับความร้อนเต็มพื้นที่
(3) แผ่นกระจายอากาศเป็นตัวรองรับข้าวเปลือกบริเวณเบดการอบแห้งให้เกิดสภาวะมัสท์โฟล
(4) ห้องอบแห้งมัสท์โฟลเป็นชุดควบคุมกระแสลมร้อนและข้าวเปลือกให้มีสภาพสมมาตร
(5) ฝาครอบห้องอบแห้งเป็นช่องที่ควบคุมอากาศร้อนชื้นให้ถูกส่งออกไปได้สะดวก
(6) ถังป้อนข้าวเปลือกสดมีหน้าที่เตรียมพร้อมเพื่อเริ่มกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก
(7) ชุดควบคุมอัตราการป้อนข้าวเปลือกสดมีหน้าที่ควบคุมการป้อนให้เกิดความสม่ำเสมอ
(8) พัดลมดูดอากาศร้อนมีหน้าที่ระบายอากาศร้อนชื้นให้ออกจากห้องอบแห้งโดยเหมาะสม
(9) ชุดควบคุมการปล่อยข้าวเปลือกออกจากเบดการอบแห้งที่สามารถควบคุมเมล็ดข้าวได้
(10) แผ่นปรับความสูงของเบดเพื่อปรับระยะความพรุนของเบดการอบแห้งข้าวเปลือก



ภาพประกอบ 19 แสดงอุปกรณ์หลักของเครื่องอบข้าวเปลือกมัสท์โฟล

3.1.2 หลักการทำงานของ Must Flow Dryer

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must Flow งานวิจัยนี้ กำหนดให้การทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow เริ่มต้นจากพัดลมจะดูดลมร้อนจากระบบผ่านท่อส่งกระแสลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผารูปทรงกระบอกตั้ง และบังคับให้กระแสลมร้อนไหลผ่านห้องผสมอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิของกระแสลมร้อนให้ได้ตามเกณฑ์กำหนด การเติมอากาศแวดล้อมเพื่อปรับอุณหภูมิกระแสลมร้อนกับอากาศภายนอกเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้กระแสลมร้อนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ แล้วส่งเข้าทางด้านล่างของห้องอบแห้งรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีแผ่นตะแกรงรองรับกองชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง ด้วยการดูดกระแสลมร้อนให้ไหลผ่านเต็มพื้นที่หน้าตัดของเบดการอบแห้งและกองชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะเกิดปรากฏการณ์ การแลกเปลี่ยนความร้อนจากกระแสลมร้อนให้กับเมล็ดข้าวเปลือกเป็นเหตุให้เมล็ดข้าวเปลือกร้อนขึ้นและมีการแลกเปลี่ยนมวลความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกให้กับอากาศแห้งโดยรอบภายในห้องอบแห้งแบบมัสท์โฟลเป็นเหตุให้เมล็ดข้าวเปลือกมีค่าความชื้นลดลง ในเบดการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกป้อนเข้าห้องอบแห้งจะมีพฤติกรรมเป็นลักษณะฟลูอิดไดซ์เบดเสมือนทำให้เมล็ดข้าวเปลือกทุกเมล็ดเกิดสภาวะขยับตัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างเป็นอิสระจนกระทั่งหลุดออกจากห้องอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 20 ในส่วนของอากาศร้อนชื้นที่ผ่านการแลกเปลี่ยนรวมถึงฝุ่นผงจะถูกพัดลมส่งไปเก็บในห้องเฉพาะกิจอเนกประสงค์



ภาพประกอบ 20 ในระบบหลักของเครื่องอบข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลสีเหลืองแสดงทางเดินของข้าวเปลือกสีแดงแสดงกระแสลมร้อน สีฟ้าแสดงอากาศชื้นจากบรรยากาศ สีเทาแสดงกระแสลมร้อนชื้น

ในออกแบบงานวิจัยนี้ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล จะต้องคำนึงความปราณีตในการทำงานของอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทำงานที่สัมพันธ์กันโดยหลักการทำงานของ Must flow reaction ที่มีจุดประสงค์หลักให้เมล็ดข้าวเปลือกขยับตัวอิสระและเกิดความพรุนในกองชั้นข้าวเปลือกในขณะที่อยู่ในเบดการอบแห้ง ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกแต่ละเมล็ดเมื่อสัมผัสความร้อนจากกระแสลมร้อนจนความชื้นและน้ำภายในเมล็ดข้าวเปลือกสามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและเคลื่อนตัวจากภายในออกสู่ผิวเมล็ดข้าวเปลือก และมวลของความชื้นจะถูกกระแสลมร้อนดูดออกไปจากเบดของข้าวเปลือกในห้องอบแห้งแบบมัสท์โฟลและไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

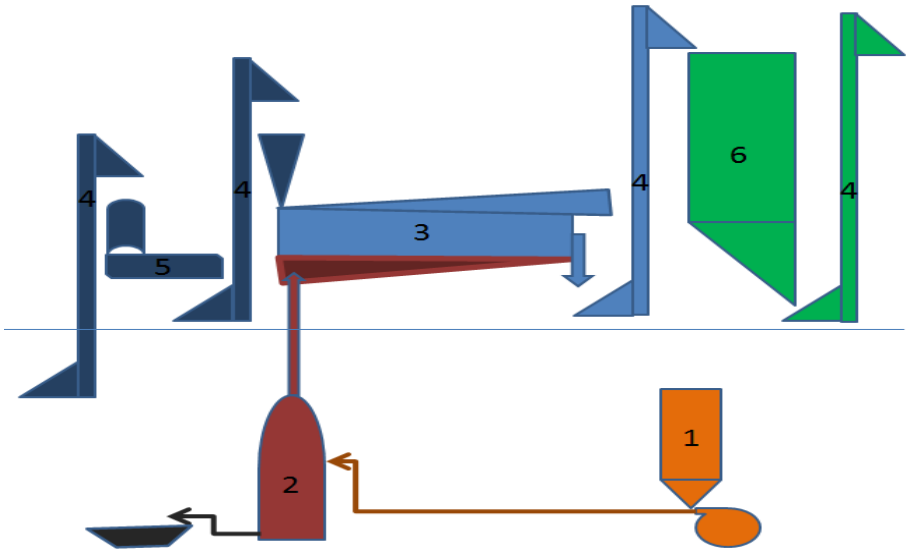
เมล็ดข้าวเปลือกเหล่านี้ถูกป้อนเข้าในห้องอบแห้งตกลงบนแผ่นตะแกรง ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลมร้อนจะถูกดูดผ่านทางด้านล่างของแผ่นตะแกรงที่รองรับเมล็ดข้าวเปลือก ลมร้อนนี้จะไหลผ่านชั้นกองเมล็ดข้าวเปลือก แล้วไหลออกทางด้านบนของห้องอบแห้ง ในขณะเดียวกันเมล็ดข้าวเปลือกที่อยู่บนตะแกรง จะถูกยกขึ้นแล้วปล่อยให้เป็นอิสระในอากาศ และเมล็ดข้าวเปลือกจะตกลงบนตะแกรงรองรับข้าวเปลือกอีกครั้ง และจะเป็นปรากฏการณ์เช่นนี้ตลอดเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง ซึ่งกระบวนการนี้ที่เกิดขึ้นในห้องอบแห้งนั้นจะเรียกว่าการทำให้เกิดเบดความพรุนเสมือน (Porosity of Drying Bed) จนในที่สุด เมล็ดข้าวเปลือกจะขยับตัวเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน และเมล็ดข้าวเปลือกจะมีระยะห่างเกือบเท่ากันทุกตำแหน่งในห้องอบแห้ง ซึ่งพฤติกรรมของข้าวเปลือกที่ขยับตัวเป็นอิสระภายในห้องอบแห้ง มีระยะความพรุนของกองชั้นข้าวเปลือก ทำให้กระแสลมร้อนที่ไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง สามารถควบคุมทิศทางการไหลได้ ลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า Must flow drying bed ในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิค Must Flow จะทำการวัดเบดของการอบแห้งเริ่มตั้งแต่แผ่นตะแกรงรองรับข้าวเปลือก จนถึงระดับสูงสุดที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกที่ลอยอยู่ จะเรียกว่า Must flow bed

การเกิดปรากฏการณ์ Must flow จะทำให้การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การที่ข้าวเปลือกถูกยกให้สูง แล้วปล่อยให้ลอยอยู่ในอากาศ และตกลงมาด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก และขณะที่กำลังตกลงมานั้น จะเกิดลักษณะการหมุนรอบตัวเองของเมล็ดข้าวเปลือกอย่างช้าๆ และเกิดการขยับตัวไปข้างหน้าอย่างอิสระ จะเรียกว่า การเกิดปรากฏการณ์เบดสม่ำเสมอ พฤติกรรมของเบดการอบแห้งข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งเป็นกระบวนการที่เมล็ดข้าวเปลือก เมื่อมีการสัมผัสกับกระแสลมร้อนในขอบเขตพื้นที่ควบคุมที่จำกัด เมล็ดข้าวเปลือกเหล่านั้นจะมีสมบัติคล้ายๆ วัตถุของแข็งลอยตัวในอากาศอย่างอิสระ

3.1.3 ระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลระดับอุตสาหกรรม

จากแนวคิดในการใช้งานกระบวนการมัสท์โฟล ในการอบแห้งข้าวเปลือกดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ยังเป็นเพียงรูปแบบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ได้รับการทดลองและพัฒนาโดยหน่วยวิจัยวิศวกรรมการเกษตรและออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ดำเนินการหาค่าความดันลดหรือความพรุนของกอง

ชั้นข้าวเปลือกความเร็วของกระแสลมร้อน และอุณหภูมิในเบดการอบแห้งที่เหมาะสม แต่การใช้งานกระบวนการอบแห้งแบบมัสท์โฟลในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเครื่องจักรอุปกรณ์เสริมเพื่อประกอบในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow ให้เป็นระบบการผลิตที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กันระหว่างเครื่องจักรเป็นการเบื้องต้นเนื่องจากเหตุผลในเงื่อนไขกำหนดให้มีกำลังความสามารถในการอบแห้งข้าวเปลือกสูงมาก ซึ่งไม่สามารถใช้แรงงานคนเพื่อป้อนข้าวเปลือกให้แก่เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ได้ทันดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักรเสริมที่มีส่วนช่วยให้เครื่องจักรต่างๆสามารถทำงานต่อเนื่องสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ ดังแสดงในรูปที่ 21 โดยระบบต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้



ภาพประกอบ 21 Schematic of Paddy Drying System

1. ถังป้อนแกลบ (Husk Storage and Feeder) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้ได้ค่าคงที่ ด้วยการปรับอัตราการป้อนให้มากหรือน้อยโดยรับสัญญาณจาก Thermal Sensor ที่อ่านค่าของกระแสลมร้อนบริเวณท่อส่งก่อนเข้ากล่องผสมอากาศ

2. เตาเผาแกลบทรงกระบอกตั้ง (Furnace) เป็นเครื่องจักรที่สร้างความร้อนให้แก่ระบบโดยการสันดาปภายในห้องเผาไหม้รูปทรงกระบอกตั้งด้วยการเติมลมจากภายนอกเพื่อให้เกิดกระแสลมร้อนหมุนวนภายในเตาเผา จะทำให้เถ้าที่เกิดจากการไหม้ของแกลบตกลงมาด้านล่างทำให้กระแสลมร้อนที่ลอยสูงขึ้นสะอาดจนสามารถส่งไปใช้งานที่มีประสิทธิภาพ

3. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Must Flow Dryer) เป็นเครื่องจักรที่สำคัญที่เป็นเป้าหมายของงานวิจัยครั้งนี้ ทำหน้าที่ควบคุมเมล็ดข้าวเปลือกสดทุกๆ เมล็ดที่ผ่านเบดการอบแห้งลักษณะมัสท์โฟลเกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารที่ต้องการให้แพร่และคายความชื้นออกไปจนสามารถลดให้คงเหลือเป็นค่าความชื้นสุดท้ายในระดับที่ต้องการ

4. กะพ้อตักข้าวเปลือก (Bucket Elevator) เป็นอุปกรณ์ช่วยเสริมที่จำเป็นสำหรับการลำเลียงข้าวเปลือกให้ขึ้นที่สูงเพื่อปล่อยให้ข้าวเปลือกสามารถไหลเข้าในกระบวนการอย่างต่อเนื่องโดยน้ำหนักและแรงโน้มถ่วง

5. เครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือก (Paddy Cleaner) กรณีโรงสีข้าวนาทอง ซึ่งรับซื้อข้าวเปลือกสดจากพื้นที่ต่างๆโดยตรง จะมีเศษสิ่งของที่ไม่พึงประสงค์ปะปนมากับข้าวเปลือกสดเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ระบบการอบแห้งข้าวเปลือกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคัดแยกและขจัดสิ่งเจือปนต่างๆ

6. เครื่องปรับสภาพข้าวเปลือก (Rice Conditioner) ข้าวเปลือกสดหลังจากทำความสะอาดและถูกส่งไปอบแห้งลดความชื้น เมล็ดข้าวเปลือกจะมีความร้อนสะสมเกิดความเครียดภายในเนื้อเมล็ด จึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องปรับสภาพของเมล็ดข้าวเปลือกให้มีการคายความร้อนอย่างช้าๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับบรรยากาศจึงสามารถขนถ่ายไปเก็บในถังไซโลให้เป็นปกติ

3.2 การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

เนื่องด้วยมีข้อกำหนดเป็นขนาดอุตสาหกรรม จะต้องสามารถทำงานเป็นระบบและการป้อนข้าวเปลือกจะต้องเป็นลักษณะอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการออกแบบเครื่องอบแห้งลักษณะมัสท์โฟลนี้จะเป็นการออกแบบงานเฉพาะกิจ สำหรับใช้อบแห้งข้าวเปลือกสดชนิดเดียวเนื่องจากต้องการสมรรถนะประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อกำหนดในการทำงาน

เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนทุนในรูปของวัสดุอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลจากโรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งหากอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่จำเป็นจะต้องใช้ในการออกแบบครั้งนี้และทางโรงสีข้าวนาทองมีอุปกรณ์นั้น ให้เขียนรายการลงในแบบฟอร์มขอใช้ ส่งให้สำนักงานทวนสอบและอนุมัติก่อนที่จะนำไปใช้งาน
ในส่วนของโลหะวัสดุที่จะต้องสั่งซื้อ จะต้องเขียนใบขอซื้อส่งให้ผู้มีอำนาจอนุมัติซื้อโดยจะต้องระบุวันเวลาที่ต้องการใช้ให้ชัดเจน พร้อมระบุด้วยว่าจะนำไปทำอะไรที่ไหน
ส่วนของวัสดุสิ้นเปลือง เช่น แก๊ส ลวดเชื่อม ใบหินเจียร ฯลฯ สามารถมาขอเบิกจากคลังพัสดุในเวลาทำการได้ตลอดเวลา และทุกๆ วันจันทร์จะต้องมาประชุมสะสางงานค้างเพื่อยกยอดให้เป็นปัจจุบัน

ข้อกำหนดกำลังการผลิต

สำหรับโรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทราเดิมได้ขึ้นทะเบียนธุรกิจการค้าเป็นอุตสาหกรรมการสีข้าวเพื่อการบริโภค จำหน่ายและส่งออกโดยผ่านหยง (พ่อค้าคนกลางที่มีใบอนุญาติส่งข้าวไปต่างประเทศเพื่อจำหน่าย) โดยที่จะมีระบบการอบแห้งข้าวเปลือกออกเป็นสองวิธี คือ การผลิตข้าวด้วยวิธีการทำเป็นข้าวนึ่ง (Parboiling Rice) มีกำลังการผลิตลักษณะเป็น Batching Process 30 ton

โดยใช้เวลา 3 วันต่อรอบดำเนินการ และสองการผลิตข้าวด้วยวิธีการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เบด (Fluidized Bed Dryer) มีกำลังการผลิตที่ป้อนข้าวเปลือกสด 20 t/h การผลิตข้าวทั้งสองวิธีนี้จำเป็นจะต้องใช้บุคลากรที่ชำนาญ และมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อน

ฉะนั้นจากข้อสรุปที่ประชุม ได้กำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสดแบบมัสท์โฟล มีกำลังการผลิต 20 t/h (Feeder) เพราะว่าจะได้มีข้อเปรียบเทียบกับระบบการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เบด และเป็นการขยายกำลังการผลิตโดยนำมาทดแทนส่วนที่เป็นการผลิตด้วยวิธีการทำเป็นข้าวนึ่งที่กำลังจะหมดอายุการใช้งานในเร็ววันนี้

หมายเหตุ เมื่อเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลสามารถส่งมอบรับมอบเป็นที่เรียบร้อย และใช้งานเป็นปกติ 6 ฤดูกาลจึงจะประชุมหารือสรุปยุติการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เป็นการผลิตด้วยวิธีการทำเป็นข้าวนึ่ง

ข้อกำหนดของระยะเวลาการอบแห้ง

จากการศึกษาทดสอบในระดับปฏิบัติการและร่วมดำเนินงานวิจัยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่มีกำลังการผลิต 400 kg/h เป็นลักษณะการผลิตอย่างต่อเนื่องที่มีใช้งานในหน่วยวิจัยวิศวกรรมการเกษตรและออกแบบผลิตภัณฑ์ (Reseach Center of Agricultural Engineering and Product Design) พิรสิทธ์ (2558) ณัฐพล (2558) และ พงศกร (2558) จึงทำให้ทราบว่า ข้าวเปลือกสดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลจะมีความสามารถหรือสมรรถนะการอบแห้งขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 4 ประการ ดังนี้คือ

1. ความเร็วของกระแสลมร้อน
2. อุณหภูมิของกระแสลมร้อน
3. ความเป็น Porosity of Drying Bed
4. ความสามารถในการแพร่ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกเมื่อสัมผัสความร้อน

ดังนั้นจากทดสอบทดลองปฏิบัติงานอบแห้งข้าวเปลือกสดแบบมัสท์โฟลจึงพอที่จะสรุปได้พอเป็นที่สังเขปดังต่อไปนี้ คือ

A. สำหรับข้าวเปลือกสดชนิดเมล็ดสั้นจะใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนจนกระทั่งแพร่และคายความชื้นจนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 18 %wb ภายในระยะเวลา 1.2 นาที
B. สำหรับข้าวเปลือกสดชนิดเมล็ดยาวจะใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนจนกระทั่งแพร่และคายความชื้นจนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 18 %wb ภายในระยะเวลา 2.3 นาที
C. สำหรับข้าวเปลือกสดชนิดเมล็ดอ้วนยาว หรือข้าวเหนี่ยวจะใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนจนกระทั่งแพร่และคายความชื้นจนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 18 %wb ภายในระยะเวลา 3.1 นาที

ดังนั้นจึงสามารถทำการคำนวณเพื่อหาขนาดของห้องอบแห้ง Must flow ได้จากการเลือกใช้รูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นรูปแบบห้องอบแห้งที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายที่สุด จะได้ว่า

Hold up = (Feed Rate) (Residence time)

Feed Rate = (Hold up) / (Residence time)

$$F = (AH\rho p) / t$$

โดยที่ F คือ อัตราการป้อนเมล็ดข้าวเปลือก kg / min

t คือ เวลาที่เมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง min

A คือ พื้นที่ของแผ่นตะแกรงรองรับข้าวเปลือก m^2

H คือ ความสูงของเบดข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง m

ρ_p คือ ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือก kg/m^3

เมื่อแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณหาขนาดของห้องอบแห้งแบบ Must flow

$$F = (AH\rho p) / t$$

$$AH\rho_p = F \cdot t$$

$$A = (F \cdot t) / (H\rho_p)$$

Capacity = 20 t/h

= 20 x 1,000 kg/h

= 20,000 / 60 kg / min

∴ อัตราการป้อน = 333.33 kg/min

Hold up = $F \cdot t$

= 333.33 x 3.1

= 1,033.32 kg

∴ ที่เวลาใด ๆ จะมีปริมาณของข้าวเปลือกคงอยู่ในห้องอบแห้งตลอดเวลา เพื่อต้องการให้เกิดปรากฏการณ์ของ Heat transfer and mass transfer ของเมล็ดข้าวเปลือกทุก ๆ เมล็ดเกิดขึ้นอย่างอิสระ และขยับตัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างเป็นอิสระเช่นกัน

จากการปฏิบัติและทดลองในห้องปฏิบัติการณ์ ทดสอบหาค่าความพรุนของกองชั้นข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งทั้งหมด สำหรับเครื่องอบแห้งแบบเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่นค่าสูงสุดของเบดการอบแห้งรูปทรงสี่เหลี่ยมไม่ควรเกิน 20 - 22 เซนติเมตร และเมื่อปรับสภาวะให้เกิดเป็น Must

flow reaction จะทำให้ค่าความดันลดคงที่ตลอดทั้งเบดของกองชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง ซึ่งจะได้ค่าสูงสุดไม่ควรเกิน 13.65 เซนติเมตร ตามความสูงของกองชั้นข้าวเปลือก ดังนั้นก็จะสามารถหาค่าของพื้นที่ตะแกรงรองรับข้าวเปลือกทั้งหมดในห้องอบแห้งได้ดังสมการนี้

$$A = (F \times t)/(H \times \rho_p)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ของแผ่นกระจายลมร้อน m^2

F คือ อัตราการป้อนข้าวเปลือก 333.33 kg/min

t คือ เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง 3.1 min

H คือ ความสูงของชั้นกองข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง 0.1365 m

ρ_p คือ ความหนาแน่นจริงของชั้นข้าวเปลือก 1,166 kg/m^3

$\therefore$ เงื่อนไขในการออกแบบขนาดของแผ่นกระจายลมร้อนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow เพื่อประยุกต์ใช้งานให้สามารถทำการผลิตและสร้างเป็นเชิงพานิชย์ได้ ซึ่งสามารถแทนค่าในสมการได้ดังนี้

$$A = (Ft) / (H\rho_p)$$
$$= (333.33 \times 3.1) / (0.1365 \times 1{,}166)$$
$$= 6.49 \ m^2$$

ดังนั้น เพื่อให้มีความมั่นใจและเกิดความปลอดภัยในการออกแบบจึงกำหนดค่า Safety Factor ให้มีค่าเท่ากับ 2 หมายความว่า ลดความเสี่ยงที่จะไม่เกิดฟลูอิดไดเซชั่นเสมือน

$$A = 6.49 \times 2 \ m^2$$
$$= 12.98 \ m^2$$

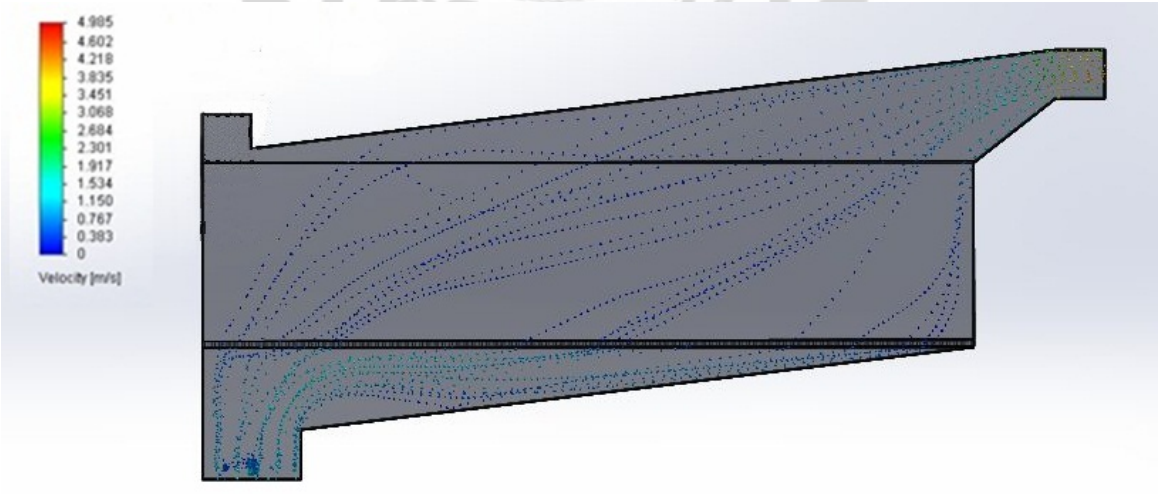
แต่สำหรับงานวิจัยนี้ ทางผู้ออกแบบได้กำหนดเงื่อนไขให้ห้องอบแห้งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นนิยามของพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตะแกรงจะมีค่า ที่สามารถกำหนดให้มีพื้นที่ตามขนาดของวัสดุที่มีขายในตลาดภายในประเทศ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$A = W L$$
$$= 2.4 \times 7.0$$
$$= 16.8 \ m^2$$

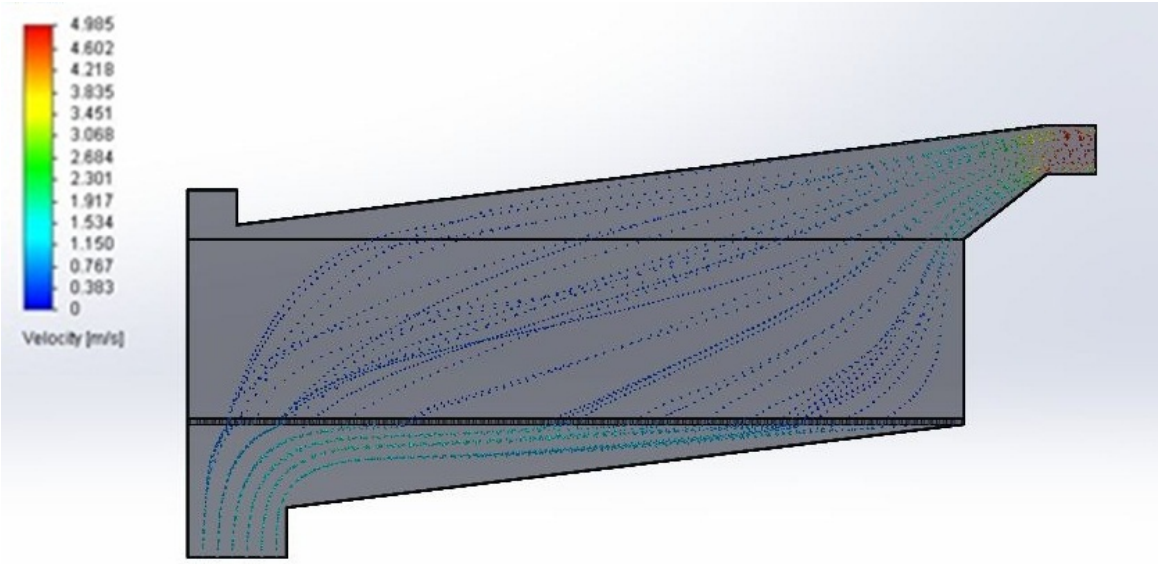
ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าหากใช้หรือกำหนดให้มีพื้นที่ของตะแกรงรองรับข้าวเปลือกในห้องอบแห้งที่ตำแหน่งต่ำสุดของระยะยกของเบดการอบแห้ง ยังจะสามารถทำให้เกิดเป็นปรากฏการณ์ Must Flow Reaction ได้อย่างสมบูรณ์

ข้อกำหนดกระแสลมร้อนสูงสุด

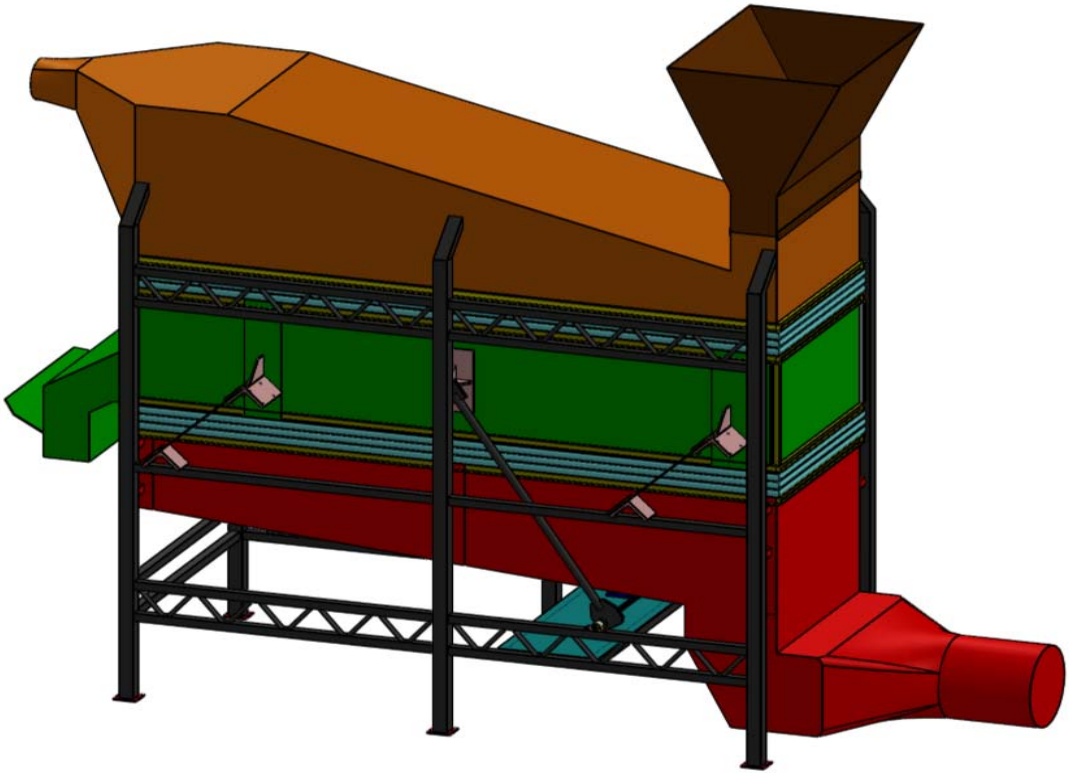
เนื่องด้วยการกำหนดขนาดกำลังการผลิตเป็น 20 t/h แล้วคำนวณหาปริมาณข้าวเปลือกที่จะต้องคงค้างอยู่ในห้องอบแห้งตลอดเวลาเป็น 1,033.32 kg เพื่อชี้บ่งขนาดพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้งที่สามารถจัดซื้อจัดหาภายในประเทศได้ค่าเป็น 2,400 x 7,000 cm ความเร็วของอากาศไม่ควรเกิน 1.53 m/s อันเนื่องมาจากในระบบฟลูอิดไดเซชั่นค่าความเร็วของกระแสลมร้อนไม่ควรต่ำกว่า 1.53 m/s เพราะจะเป็นสาเหตุของข้าวเปลือกไม่สามารถลอยตัวในอากาศ จากนั้นนำไปจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหามิติอื่นๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow โดยพิจารณาจากแบบจำลองที่มีการกระจายของกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้งที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบต่อไป ผลจากการจำลองพบว่า ตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด 2.0 mm. ระยะห่างของรู 3.0 mm. และความลาดเอียงของฝาครอบส่งกระแสลมร้อนทั้งด้านบนและด้านล่างควรทำมุมเป็น 16 องศาจากแนวระนาบของห้องอบแห้งจะมีกระแสของการกระจายของลมร้อนเหมาะสมเพียงพอที่จะทำให้ความพรุนของกองชั้นข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งที่ความสูงของเบดไม่เกิน 13.65 cm ดังแสดงในรูปที่ 22 ก และ 22 ข



ภาพประกอบ 22 ก. ปรากฏการณ์กระแสลมร้อนไหลผ่านแผ่นตระแกรงเข้าสู่ห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 22 ข. ปรากฏการณ์กระแสลมร้อนไหลผ่านแผ่นตระแกรงโดยมีข้าวเปลือกบรรจุอยู่ในห้องอบแห้งแสดงแบบจำลองการกระจายของกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 23 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ออกแบบสมบูรณ์ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการสร้างและติดตั้งที่โรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากการดำเนินงานและประสบการณ์ในการผลิตและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่น ได้พบว่า ความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสดที่อยู่ภายในห้องอบแห้งที่มีปริมาตรเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและกระแสของลมร้อนไหลผ่านกองชั้นข้าวเปลือกที่กำหนดให้ไหลตัดขวางจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ไม่ควรต่ำกว่า 1.53 m/s จะทำให้เกิดพฤติกรรมของเมล็ดข้าวเปลือกยกตัวลอยขึ้นเสมือนเป็นคล้ายของไหล ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบ Must flow ในงานวิจัยนี้จะต้องทำให้ข้าวเปลือกสดยกตัวขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด (Top Dead Center) แล้วปล่อยให้เมล็ดข้าวเปลือกแต่ละเมล็ดตกลงมาสู่ด้านล่างอย่างอิสระ เพื่อต้องการให้เกิดเป็นปรากฏการณ์ Must Flow Reaction สามารถลดความเร็วลมร้อนที่ไหลตัดขวางกองชั้นข้าวเปลือกจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงและสามารถประหยัดพลังงานความร้อน ดังนั้นจากแนวคิดหลักการนี้ความเร็วของกระแสลมร้อนในการใช้ Must flow techniquesไม่ควรเกิน 1.53 m/s มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ปรากฏการณ์ Plug Flow Fluidization ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองกระแสลมร้อนโดยไม่จำเป็น

ในการออกแบบระบบลมที่ไหลในท่อตามมาตรฐานของ ASHREA เพื่อการออกแบบสร้างเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์จากลมร้อนส่งด้วยท่อ สามารถหาได้จากสมการนี้

$$Q = AV$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของลมร้อนที่ผ่านห้องอบแห้ง m^3/s

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตะแกรงกระจายลมร้อน m^2

V คือ กระแสลมร้อนที่ไหลผ่านกองชั้นข้าวเปลือก m/s

เพราะฉะนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าของปริมาณลมร้อนที่ต้องการใช้ภายในห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow techniques ได้ดังนี้คือ

$$Q = 16.8\ m^2 \times 1.53\ m/s$$
$$= 25.704\ m^3/s$$

เนื่องด้วยเงื่อนไขจากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must Flow อัตราการไหลของกระแสลมร้อนผ่านห้องอบแห้งจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งประการแรก เพื่อให้เกิดเป็นปฏิภาคโดยตรงต่อการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นพฤติกรรมที่จำเป็นสำหรับลักษณะงานแบบ Must flow ทำให้เกิดประโยชน์ต่อการดำเนินงานการอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งจะสังเกตได้ว่ากระแสลมร้อนที่ไหลผ่านห้องอบแห้งแบบ Must flow จะมี 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นลมร้อนจากการเผาไหม้อุณหภูมิสูงตั้งแต่เตาเผาไปจนถึงใต้แผ่นตะแกรง และส่วนที่สองจะนับตั้งแต่กองชั้นข้าวเปลือกไปจนถึงพัดลมดูดกระแสลมร้อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ตามกฎเกณฑ์มาตรฐานห้องอบแห้งรูปทรงสี่เหลี่ยม ASHRAE กำหนดความดันสูญเสียในระบบตามสมบัติของ Industrial

Blower ที่มีขายตามองค์กรต่าง ๆในตลาดมีค่าเป็นเบื้องต้นคือ 18.0 m-air และเมื่อจะนำไปประกอบเป็นระบบครบสมบูรณ์นั้นจำเป็นจะต้องคูณด้วยค่า Safety Factor 1.2

$$\text{Total Head Loss} = 18.0 \times 1.2$$

$$(h_L) = 21.6 \text{ m-air}$$

ดังนั้น $\text{Pressure} = \rho_a g h_L$

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน 0.84 kg/m^3

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2

h_L คือ ความดันสูญเสียทั้งหมด 21.6 m-air

เมื่อนำมาแทนค่าในสมการ ก็จะได้เป็นดังต่อไปนี้

$$\text{Pressure} = 0.84 \times 9.81 \times 21.6$$

$$= 177.992 \text{ Pa}$$

จะใช้ Pressure = 178.0 Pa

จากเงื่อนไขต่อเนื่องที่ได้ออกแบบตามเกณฑ์กำหนดของการนำค่ามาตรฐานจากการปฏิบัติงานจริงของ ASHRAE Std. จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ เป็นส่วนของพัดลมสร้างแรงดันให้เกิดขึ้นในระบบ และกลไกทางไฟฟ้าสำหรับ ขับเคลื่อนให้อยู่ในรูปต้นกำลัง ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\text{Power of Blower} = \rho_a g h_L Q$$

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน 0.84 kg/m^3

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2

h_L คือ ความดันสูญเสียทั้งหมด 21.6 m – air

Q คือ อัตราการไหลของลมร้อนที่ไหลผ่านระบบ 25.704 m^3/s

จึงนำมาแทนค่า จะได้ค่าดังต่อไปนี้

$$\text{Power of Blower} = 0.84 \times 9.81 \times 21.6 \times 25.704$$

$$= 4{,}575.12 \text{ W}$$

$$= 4.57512 \text{ kW}$$

ในด้านการนำค่ามาตรฐาน มาคำนวณเพื่อตรวจสอบระบบ ในข้อกำหนดของ ASHRAE ได้ระบุประสิทธิภาพของอุปกรณ์สูงสุดไม่ควรเกิน 95 %แต่ในภาคอุตสาหกรรมงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกันกำหนดเกณฑ์ให้เป็น

ประสิทธิภาพของ Blower = 85 %

ประสิทธิภาพของ Motor = 80 %

Power of motor = 4,575.12 / (0.85 × 0.80)

= 6,728.11 W

= 6.72811 kW

ควรเลือกใช้กำลังของ Electrical motor 7 kW แต่ในทางปฏิบัติ เมื่อเสนอขอซื้อ ทางโรงสีข้าวนาทองโดยหน่วยงานคลังพัสดุแจ้งว่ามีพัสดุคงคลัง Electrical motor 4 Pole 3 Phase 7 kW 1,460 rpm ซึ่งสามารถนำมาติดตั้งได้

ข้อกำหนดระดับอุณหภูมิในการอบแห้ง

เงื่อนไขของการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow กำหนดให้มีกำลังการผลิตที่ 20 t/h ใช้ข้าวเปลือกสดจากท้องนาที่มีการเก็บเกี่ยวทุกช่วงเวลาของวัน และขนส่งมายังโรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา เฉลี่ยความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่า 38.1%wb (จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่หน้าโรงสีข้าวนาทอง ของหน่วยงาน QC ก่อนที่จะนำส่งให้แผนกบัญชี เพื่อบันทึกบัญชีต้นทุนเชิงการค้า) และในการสร้างกระแสลมร้อนเพื่อส่งเข้าระบบอบแห้งข้าวเปลือกนั้น จะใช้แกลบซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากภายในโรงสีข้าวนาทอง เดิมนั้นจะต้องทำการกำจัดทิ้ง และทางโรงสีข้าวนาทองได้ทำการจัดซื้อเตาเผาแกลบแบบทรงกระบอกตั้ง เพื่อทำการสร้างกระแสลมร้อนส่งเข้าห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยตรงซึ่งจะได้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบโดยตรงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการนี้

$$q = \rho_a Q_a C_a (T - T_a)$$

โดยที่ ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม 0.97 kg/m^3

Q_a คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศแวดล้อม 25.704 m^3/s

C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม 1.01 kJ/kg°C

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 180 °C

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม 32 °C

ดังนั้นเมื่อนำมาแทนค่าลงในสมการ

$$q = \rho_a Q_a C_a (T - T_a)$$

$$q = 0.97 \times 25.704 \times 1.01(180 - 32)$$

= 3,726.96 kJ/s

= 3,726.96 kW

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าในห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow จำเป็นจะต้องใช้ความร้อนจากกระแสของลมร้อนที่ไหลผ่านกองชั้นข้าวเปลือกภายใน Must flow drying bed จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3,726.96 kW และในออกแบบเพื่อให้สามารถดำเนินงานการผลิตเพื่อการอบแห้งข้าวเปลือกสดนั้นควรมีพิกัดเผื่อเป็นค่า Safety Factor 1.2 เท่าของค่าที่คำนวณได้

Effective Heat Require = 3,726.96 x 1.2

= 4,472.35 kW

ดังนั้น จึงได้กำหนดพิกัดออกแบบของเตาเผาแกลบที่ผลิตความร้อนมีค่าเป็น 5,000 kW

ดังนั้นในทางปฏิบัติการจุดเตาเผาแกลบที่ต้องสร้างกระแสลมร้อนที่ออกจากเตาเผาให้ได้อุณหภูมิประมาณ 180 ^{o}C แล้วส่งผ่านชุดท่อส่งเข้าห้องอบแห้งข้าวเปลือกจะทำให้ควบคุมอุณหภูมิยุ่งยากลำบากมาก แต่สามารถดำเนินการให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่ประณีต ง่ายต่อการปฏิบัติโดยสามารถทำการสร้างกระแสลมร้อนจากเตาเผาแกลบให้มีอัตราการไหลของกระแสลมร้อนที่มีค่าเป็น 30 % ของค่าความร้อนที่ออกแบบ แต่จะต้องปรับปริมาณการป้อนแกลบให้เตาเผาทรงกระบอกตั้งสร้างอุณหภูมิของกระแสลมร้อนที่สูงมากถึง 600 ^{o}C แล้วส่งผ่านชุดท่อส่งซึ่งมีอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินตามมาตรฐานความปลอดภัยของโรงงาน กระแสลมร้อนที่ได้นั้นจะมีค่าความแห้งมาก ดังนั้นก่อนที่กระแสลมร้อนนี้จะถูกส่งไปยังห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผสมอากาศแวดล้อมเข้าไปอีก เพื่อปรับค่าความแห้งของกระแสลมร้อน และค่าของอุณหภูมิกระแสลมร้อนที่จะใช้งานให้ได้ค่า 180 ^{o}C ตามที่ต้องการ ส่งเข้าห้องอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลสารภายในบริเวณเบดการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

3.3 การประกอบและติดตั้งเครื่องอบแห้ง

สำหรับการออกแบบสร้างอุปกรณ์เครื่องจักรหลัก เครื่องจักรช่วยเสริมนั้นจะต้องดำเนินการให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อการตัดสินใจว่าจะต้องสร้างอุปกรณ์ ชิ้นส่วนใดก่อนหลัง ควรนำชิ้นส่วนใดเข้าไปติดตั้งก่อนหลัง เนื่องด้วยมีข้อจำกัดด้านอาคารโรงคลุมที่จะต้องใช้งานร่วมกัน ซึ่งด้านการผลิตของโรงสีข้าวนาทองยังคงดำเนินการเป็นปกติ

3.3.1 ลักษณะการทำงานของระบบการอบแห้งโรงสีข้าวนาทอง

โดยทั่วไประบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบMust flow จะต้องสามารถที่จะใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เครื่องจักรอื่นๆเสริมเพื่อคงสภาวะให้เกิดเป็นประสิทธิผล ดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญหลักๆเป็น 5 ลักษณะการทำงานดังนี้ คือ

1. ชุดของถังเชื้อเพลิงแกลบ เพื่อเป็นแหล่งควบคุมของอุณหภูมิของกระแสลมลมร้อนที่จะส่งเข้าระบบการอบแห้งข้าวเปลือก

2. เตาเผาแกลบรูปทรงกระบอกตั้ง เพื่อเป็นแหล่งสร้างกระแสลมร้อนให้มีอุณหภูมิสูงได้ค่าตามที่เกณฑ์กำหนด สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow

3. หลุมเทข้าวเปลือกสด เป็นจุดเริ่มต้นของการป้อนเข้าระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ซึ่งจะได้รับคำสั่งผลิตให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดจากหน่วยควบคุมคุณภาพ

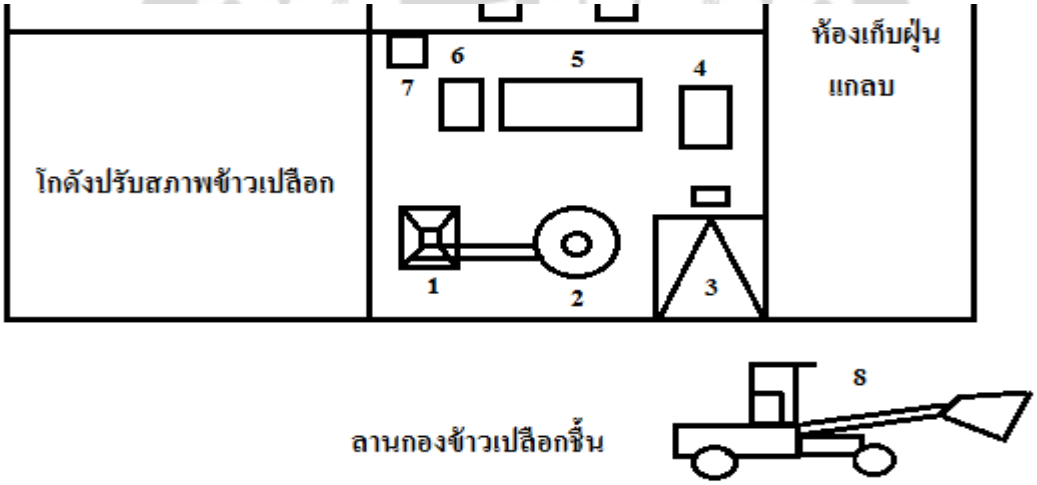
4. ชุดของเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกที่ได้มาจากพื้นที่ต่างๆ แล้วนำข้าวเปลือกสดมาขจัดสิ่งเจือปนออก และเตรียมส่งไปพักในถังป้อน

5. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลภายในห้องอบแห้ง แล้วทำการควบคุมไอความชื้นให้ออกจากระบบหลักเช่น ฝุ่น อากาศร้อนชื้นที่ได้จากห้องอบแห้ง เป็นต้น

6. ถังปรับสภาพข้าวเปลือกภายหลังไล่ความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือก และควบคุมอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกที่ร้อนให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงบรรยากาศแวดล้อมกำหนด

6. ไซโลเก็บข้าวเปลือกแห้ง ซึ่งจะมีอยู่หลายถังซึ่งจะแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์

7. ตู้อุปกรณ์ไฟฟ้า และควบคุมอุปกรณ์เครื่องจักรของระบบการอบแห้งฯ



ภาพประกอบ 24 แสดงผังโรงสีข้าวนาทอง การวางตำแหน่งเครื่องจักร

ภาพประกอบ 25 การติดตั้งฯ ตามผังของโรงสีข้าวนาทอง ที่ส่งมอบรับมอบการวางตำแหน่ง เครื่องจักรเพื่อจะขออนุมัติทดสอบการเดินเครื่องจักรอย่างเป็นระบบครบทุกอุปกรณ์เต็มพิกัด

ภาพประกอบ 26 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ดำเนินการติดตั้งสมบูรณ์ และทดสอบเดินเครื่องจักรตัวเปล่าเพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์เครื่องจักร

ภาพประกอบ 27 ชุดควบคุมระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ดำเนินการติดตั้งสมบูรณ์

3.4 การหากำลังขับสำหรับยกห้องอบแห้ง

โดยปกติทั่วไปแล้ว เพลาเป็นชิ้นส่วนที่หมุนและยึดให้อยู่กับที่ แล้วใช้สำหรับส่งกำลัง ดังนั้น วัสดุที่จะใช้ทำเพลาขับควรจะต้องเป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่หากต้องการให้มีประสิทธิภาพและมั่นใจในระบบที่ได้ทำการออกแบบนั้นจะต้องให้มีความเหนียวและทนทานต่อแรงกระแทกแรงกระตุก ให้เป็นพิเศษมักจะต้องใช้โลหะผสมหรือที่ท้องตลาดโดยทั่วไปเรียกว่าเหล็กกล้าผสมโลหะอื่นๆ นำมาทำเพลาขับ เช่น AISI 3140 3150 หรือ 4340 เป็นต้น สำหรับเพลาขับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตมากๆ จะใช้เหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน

สำหรับงานการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้ได้เลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อนอัดแท่ง แล้วนำมากลึงขึ้นรูปให้ได้ตามขนาดตามที่ต้องการ ตามมาตรฐานโค๊ดของ ASHRAE สำหรับงานออกแบบระบบนี้ใช้กับลมร้อนที่มีกระแสลมร้อนไหลผ่านตลอดเวลาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเพลาขับจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรทั้งนี้อันเนื่องมาจากเพลาหมุนตลอดเวลาและแรงที่มากระทำนั้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็เป็นได้ ซึ่งอาจจะทำให้เพลาขับมีความเสี่ยงสูงหรือเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้าเป็นสำคัญ สำหรับการคำนวณของงานออกแบบครั้งนี้จะใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ซึ่งจะต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วยซึ่งตารางข้อแนะนำของ ASHRAE Std. กำหนดให้ค่าแรงบิดหมุน (T_w) 85.56 Nm ใช้กับลูกเบี้ยว (Ecentric Cam) ที่มีลูกปืนเม็ดกลิ้งไถล (Rolling Bearing) ประกอบเป็นอุปกรณ์ที่มีระยะเยื้องศูนย์ยาวไม่เกินกึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางเพลาขับกลวงโดยมีแรงส่งสปริงรองรับน้ำหนัก แล้วนำมาแทนค่าดังนี้

$$W_p = 2\pi n T_w$$

โดยที่ W_p คือ กำลังขับ

n คือ ความเร็วรอบของเพลาขับ

T_w คือ แรงบิด

เมื่อนำมาทำการแทนค่าลงในสมการเพื่อหาค่ากำลังขับของ Must Flow Chamber เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในภาระงานที่จะเกิดต่อเพลาขับ ซึ่งสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$\omega_p = 2\pi\, nT_w$$

$$= 2\pi\,(460/60)85.56$$

$$= 4121.51 \text{ W}$$

$$= 4.12 \text{ kW}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ Electrical motor 5 kW สำหรับขับเคลื่อนที่ห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow เพื่อควบคุมความพรุนของกองชั้นข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาของการดำเนินงานอบแห้งข้าวเปลือกสด ให้เกิดประสิทธิภาพ และประสิทธิผล

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงสีข้าวนาทองซึ่งได้สัญญาว่าให้การสนับสนุนในการสร้างเครื่องอบแห้งเทคนิคใหม่ที่มีความสามารถและประสิทธิผลเทียบเท่าเครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่นที่มีอยู่เดิมที่กำลังการผลิต 20 t/h จำเป็นและสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวัดผล คือ

A. การคาดการณ์เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่ทำการออกแบบใหม่ต้องมีกำลังการผลิต 20 t/h ทำให้เกิดผลของการอบแห้งจนสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกแห้ง (Dried Paddy) ข้าวกล้อง (Brown Rice) ข้าวขาว (White Rice)
B. การออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลต้องติดตั้งถาวรในโรงสีข้าวนาทองจังหวัดฉะเชิงเทราเพื่อดำเนินธุรกรรมการสีข้าว
C. การทดสอบทดลองอบแห้งข้าวเปลือกสดที่เก็บเกี่ยวจากนาพื้นที่ต่างๆ โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเป็นไปตามค่าความเป็นจริงตามการเก็บเกี่ยวในพื้นที่ และช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวข้าว
D. ค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะต้องได้ตามที่หน่วยควบคุมคุณภาพระบุในใบสั่งผลิตของแต่ละเกณฑ์ที่ลูกค้าชี้บ่ง

การดำเนินการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกสดด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Must flow ที่มีกำลังการผลิต 20 t/h ที่โรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อทำการออกแบบสร้างอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ และได้ดำเนินการติดตั้งภายในโรงสีข้าวนาทองทันทีเป็นระยะๆ ตามความสำคัญก่อนหลังและความเร่งด่วนของการติดตั้งในพื้นที่จริง เช่น จะต้องปรับพื้นที่ห้องที่จะต้องรับมอบจากผู้มีอำนาจของโรงสีข้าวนาทอง และกำหนดบริเวณพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งหรือวางอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องจักรชั่วคราว เพื่อรอวาระการติดตั้งตามขั้นตอนที่ถาวร

4.1 การทดสอบการอบแห้ง

จากการดำเนินงานวิจัยโดยการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลแล้วทำการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องจักรในพื้นที่โรงสีข้าวนาทองตามแผนผังกำหนด เมื่อทำการเตรียมพื้นที่ที่จะดำเนินการและทำการตรวจสอบระดับพื้นระนาบว่ามีความสมบูรณ์เพียงใด จะต้องตรวจสอบหลุมเทข้าวเปลือกสดเพื่อป้อนเข้าระบบ จากลานปูนคอนกรีตไปยังกะพ้อตักข้าวเปลือกสด และจะต้องตรวจสอบห้องแบ่งกั้นระหว่างข้าวเปลือกสดกับห้องที่ทำการอบแห้งข้าวเปลือก จากนั้นทำการติดตั้งฐานรากของอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องจักรของแต่ละชุดให้ได้พิกัดสำคัญเป็นจุด ๆ ตามที่ได้กำหนดใน

แปลนของการวางระยะระหว่างเครื่องจักรต่อเครื่องจักร และจะต้องตรวจสอบมุมเหลี่ยมของเครื่องจักร ให้ได้แนวระนาบพิกัดให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด มิฉะนั้นเครื่องจักรอาจจะไม่สามารถทำงานได้อันเนื่องมาจากมุมเท มุมไถลของข้าวเปลือก หรือการต่อท่อรางข้าวเปลือกระหว่างเครื่องจักรเพื่อเข้ากระบวนการที่ต่อเนื่องต่อไป เมื่อสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลเสร็จเรียบร้อย และทำการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อย จะต้องทำการทดสอบเครื่องจักรอุปกรณ์แต่ละอย่างแต่ละชนิดให้ได้ตามเกณฑ์กำหนดของแต่ละเครื่อง แล้วสุดท้ายจะต้องทดสอบการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ และเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้สามารถทำงานสัมพันธุ์กันอย่างเป็นระบบ แล้วทดสอบเดินเครื่องจักรอุปกรณ์รวมทั้งเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้สามารถทำงานพร้อมกันทั้งระบบ และทำการตรวจสอบค่าขณะ No load เป็นเวลา 3 วันทำการเสร็จแล้วทางเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบของทางโรงสีข้าวนาทองจะมารับมอบเครื่องจักรอุปกรณ์ ว่าทุกอย่างได้ทำการติดตั้งในพื้นที่ของโรงสีข้าวนาทองครบสมบูรณ์ พร้อมที่จะดำเนินการขั้นตอนต่อไป ในขณะส่งมอบเครื่องจักรนี้ จะต้องมีช่างเทคนิคตรวจสอบหาข้อบกพร่องหรือสาเหตุที่อาจจะทำให้เกิดความเสี่ยง หรืออาการของอุปกรณ์เครื่องจักรที่มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้ และจะต้องปรับแก้ไขอุปกรณ์ ทำให้ระบบทำงานได้สมบูรณ์และดีที่สุด

จากนั้นจะต้องแจ้งทางหน่วยงานควบคุมคุณภาพของโรงสีข้าวนาทอง เพื่อเตรียมคนมาทำการตรวจสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้เป็นไปตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ที่โรงสีข้าวนาทองรับคำสั่งซื้อ

กำหนดวันทดสอบ ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกสด แล้วตรวจสอบผลของการอบแห้ง 100 % แจ้งผลของการทดสอบ 3 ครั้งต่อ 24 ชั่วโมง ครั้งแรกเวลา 10.00 น. ครั้งที่สองเวลา 13.00 น. และครั้งที่สามเวลา 17.00 น. การตรวจสอบหาคุณภาพของข้าวมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้ คือ

1 เครื่องวัดความเร็วลม
2 เครื่องวัดความดันตกคร่อม
3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
4 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Thermometer
5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Thermocouple
6 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger
7 เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับงาน Laboratory
8 เครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก
9 นาฬิกาจับเวลา
10 เครื่องดูดฝุ่น ทำความสะอาด เศษข้าวเปลือก
11 เครื่องทดสอบ การกะเทาะข้าวเปลือกเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ข้าว
12 กล่องบรรจุระบุตามสีของบรรจุภัณฑ์ เพื่อเก็บตัวอย่าง

- ถังพลาสติกดำเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกสดจากนา
- ถังพลาสติกเขียวเก็บตัวอย่างข้างเปลือกสดจากลานกองปูน
- กล่องพลาสติกเหลี่ยมแดง เก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่านเครื่องอบแห้ง
- กล่องพลาสติกเหลี่ยมขาว เก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่านเครื่องปรับสภาพข้าว
- กล่องพลาสติกเหลี่ยมน้ำเงิน เก็บตัวอย่างข้าวที่ผ่าน LSU
- กล่องพลาสติกเหลี่ยมเหลือง เก็บตัวอย่างข้าวหลังกะเทาะเปลือก
- ถุงซิปขาว เก็บตัวอย่างข้าวเต็มเมล็ดหลังตรวจสอบหาเปอร์เซ็นต์ข้าว

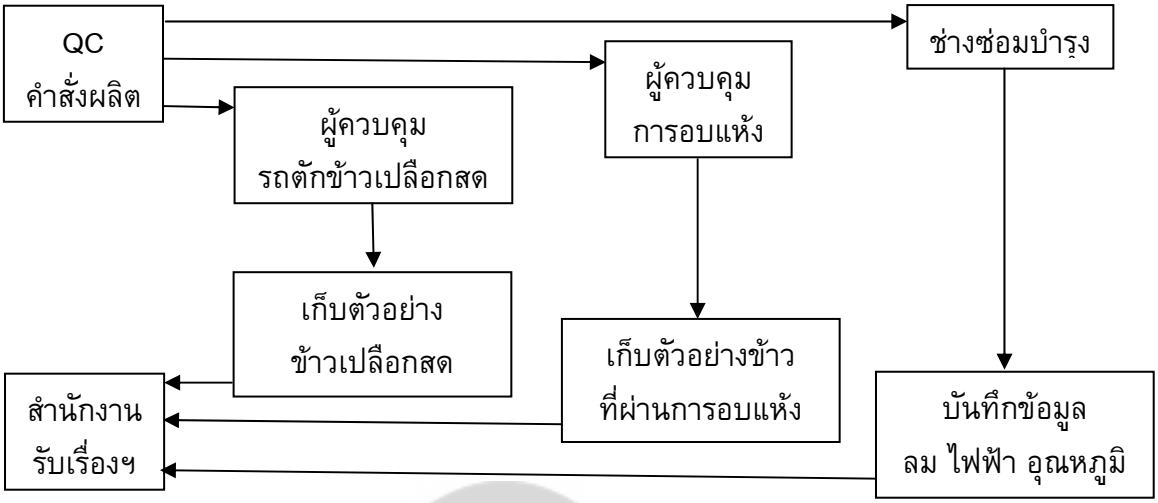
4.1.1 การทดลองเดินเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

เมื่อได้รับแจ้งจากแผนกควบคุมคุณภาพของสำนักงานโรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา หัวหน้างานที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบการอบแห้งข้าวเปลือกจะต้องไปลงชื่อรับทราบและรับมอบกองข้าวเปลือกสดที่จะทำการอบแห้งพร้อมเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกส่งให้หน่วยตรวจผลทดสอบ เพื่อบันทึกบัญชีขึ้นระเบียนต้นทุน จากนั้นหัวหน้าจะแจ้งให้ผู้ดูแลเตาเผาแกลบ ช่างไฟฟ้าโรงสีข้าวนาทอง และหัวหน้าหน่วยรถตักกองข้าว ซึ่งทั้งสามหน่วยนี้จะต้องตรวจสอบใบสั่งปฏิบัติงานให้เป็นรหัสหมายเลขเดียวกันด้วยวิธีการโทรศัพท์แจ้งให้เจ้าหน้าที่รับโทรศัพท์ในสำนักงานทำการบันทึกบัญชีว่า รหัสหมายเลขที่ได้รับแจ้งนี้ ตรงตามคำสั่งของลูกค้า ต้องการให้ผลิตผลิตภัณฑ์ให้เป็นอะไร เช่น

1. ผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกแห้ง (Dried Paddy)
2. ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง (Coarse Rice)
3. ผลิตภัณฑ์ข้าวขาว (White Rice)
4. และทั้งสามผลิตภัณฑ์นี้จะต้องเหลือความชื้นสุดท้ายตามที่ระบุ

ดังนั้น ผู้ที่มีหน้าที่แต่ละหน่วยพร้อมพนักงานผู้ปฏิบัติประจำที่ เพื่อให้อุปกรณ์เครื่องจักร แต่ละส่วนที่ดูแลทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในส่วนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลจะต้องได้รับกระแสลมร้อนจากเตาเผาแกลบที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 600 $^{\circ}$C แล้วจะมาทำการปรับปรุงอุณหภูมิก่อนส่งเข้าห้องอบแห้งข้าวเปลือกให้ได้อุณหภูมิตามคำสั่งซื้อของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

ดังนั้นจะต้องเปิด Damper ผสมอากาศแวดล้อมเข้าในระบบให้อุณหภูมิได้ตามเกณฑ์กำหนดแล้วจะต้องควบคุมให้อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งข้าวเปลือกคงที่ที่ค่าของเกณฑ์กำหนดตลอดเวลา จากนั้นจึงทำการปล่อยข้าวเปลือกสดจากกองลานปูนเข้าหลุมกะพ้อตักข้าวเปลือก มาทำความสะอาดด้วยเครื่องจักร Paddy Cleaner และส่งไปยังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยกำหนดให้ข้าวจะต้องพักที่ถังป้อนข้าวเปลือกสดให้อยู่ในระดับกำหนด (Full) เมื่อทุกอย่างพร้อมทำการเปิดลิ้นควบคุมที่ถังป้อนข้าวเปลือก เพื่อดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกสด ให้ได้ค่าตามที่ถูกระบุในใบสั่งผลิตและทุกเวลาที่กำหนดในใบแบบฟอร์มเอกสารควบคุม จะต้องทำการเก็บตัวอย่างเพื่อส่งให้กับแผนกควบคุมคุณภาพตามเวลาชี้บ่งที่กำหนดขณะดำเนินการอบแห้งตามข้อกำหนดในคำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์



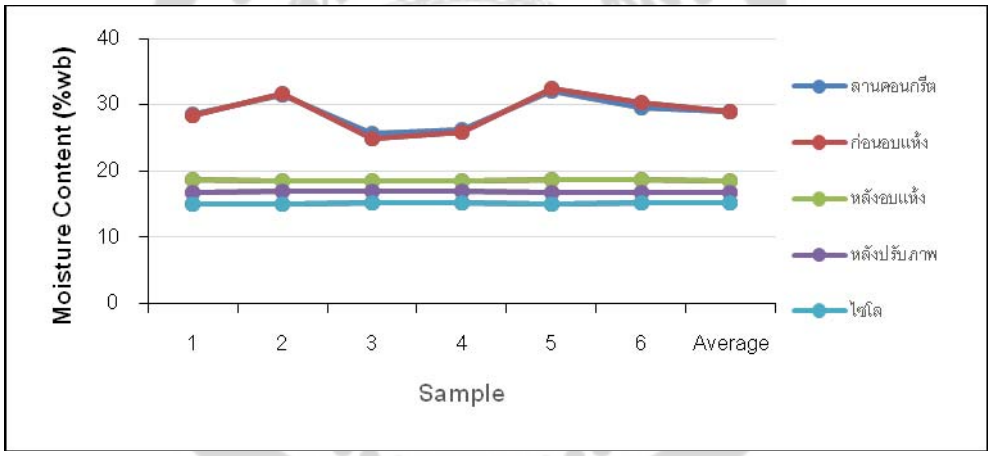
ภาพประกอบ 28 แผนภูมิทางเดินเอกสารการอบแห้งข้าวเปลือกของโรงสีข้าวนาทอง

4.1.2 การบันทึกข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือก

เนื่องด้วยระบบการอบแห้งข้าวเปลือกที่โรงสีข้าวนาทองเป็นลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่องการบันทึกบัญชีข้อมูลจะต้องเป็นระบบและเก็บข้อมูลที่จำเป็นเท่านั้นเพื่อระบุชี้บ่งชนิด ปริมาณ คุณภาพ และข้อหารือเฉพาะ ในการทดลองงานวิจัยนี้ได้มีข้อตกลงเป็นการเบื้องต้น พนักงานที่อยู่ประจำตำแหน่งเป็นผู้เก็บตัวอย่างแล้วนำส่งเข้าระบบบริหารการจัดการ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่ลานคอนกรีตกองข้าวเปลือกสดจนถึงเครื่องปรับสภาพข้าว ส่วนของไซโลเป็นต้นไปไม่อยู่ในข้อกำหนดนี้ และการใช้เครื่องมือทดสอบ การตรวจสอบคุณภาพจะมีพนักงานของโรงสีข้าวนาทองดำเนินการตามหน้าที่ประจำตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 17 ที่ดำเนินการในช่วงการทดสอบเพื่อการส่งมอบรับมอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h เป็นข้าวเปลือกสดพันธุ์ กข 27 ปริมาณน้ำหนักทั้งหมด 12,243 kg, Order no.122010257#นครราชสีมา

ตาราง 17 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกสดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ณ.จุดชี้บ่งกำหนด

	Paddy Moisture Content (%wb)					%
Sample	ลานคอนกรีต	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	หลังปรับภาพ	ไซโล	RH
1	28.5	28.3	18.6	16.8	15.1	67
2	31.4	31.6	18.5	16.9	15.1	65
3	25.7	24.8	18.5	16.9	15.3	65
4	26.3	25.9	18.5	16.9	15.2	65
5	32.1	32.4	18.7	16.7	15.1	65
6	29.6	30.3	18.6	16.8	15.3	66
Average	28.93	28.88	18.56	16.83	15.18	65.50



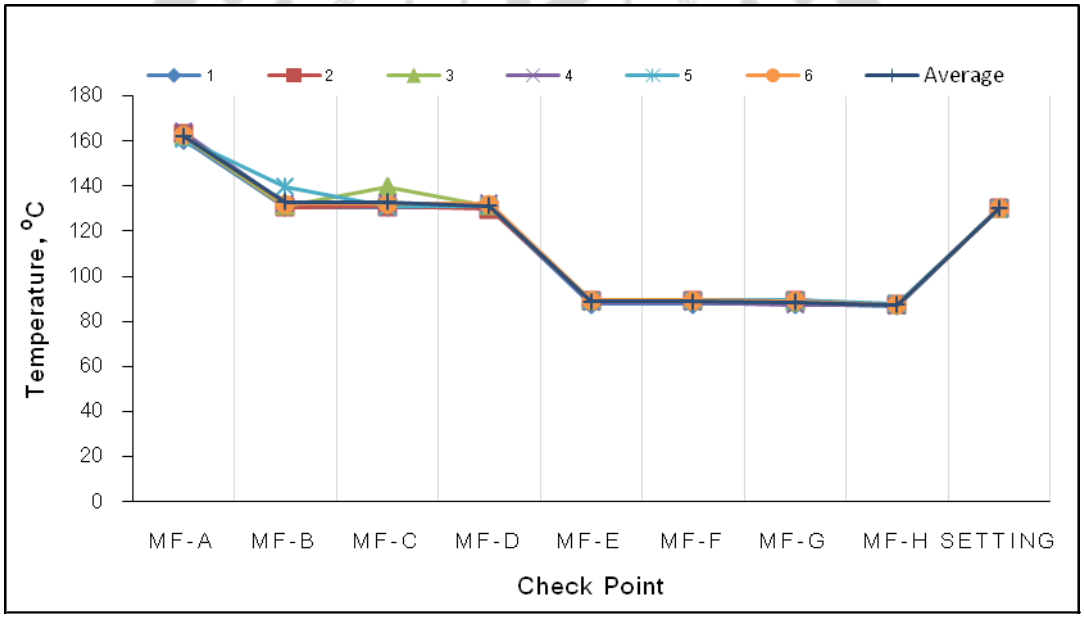
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่จุดบ่งชี้ตามเกณฑ์กำหนด

ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิของกระแสลมร้อน นับตั้งแต่ได้รับคำสั่งผลิตจะมีพนักงานประจำรถตักเตรียมความพร้อมที่ต้องดูแลเชื้อเพลิงแกลบให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน แล้วดำเนินการเริ่มจุดเตาเผาแกลบใช้เวลา 4 นาที การสันดาปจะลุกเป็นไฟติดต่อเนื่อง จากนั้นจะเปิดพัดลมส่งเชื้อเพลิง รอจนไฟลุกไหม้เต็มพื้นที่ตะแกรงของเตาเผา แล้วทำการเปิดพัดลมเติมอากาศ ตรวจสอบให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ช่วงนี้จะใช้เวลา 8 นาที อุณหภูมิที่ตู้ไฟฟ้าควบคุมจะแสดงค่าออกมาประมาณ 100 °C ให้ทำการเฝ้าระวังที่จุดนี้อย่างประณีตอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค้างที่ค่าใดๆให้ทำการเปิดสกรูป้อนเชื้อเพลิงแกลบ เฝ้าระวังจนอุณหภูมิขึ้นเป็น 200 °C ปรับสวิทช์ให้เป็นอัตโนมัติและกำหนดอุณหภูมิที่ต้องการจะใช้ในห้องอบแห้ง รอจนกระทั้งอุณหภูมิได้ค่าตามที่เกณฑ์กำหนดแล้วสามารถเริ่มป้อนข้าวเปลือกสดเพื่อดำเนินการอบแห้งตามระเบียบปฏิบัติพนักงานประจำ

ตำแหน่งชี้บ่งจะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิจุดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มส่งเข้าสำนักงานรับเรื่อง ซึ่งแสดงในตารางที่ 18 และรูปที่ 29 จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดูรูปที่ 3.3 ประกอบการพิจารณาด้วย\

ตาราง 18 แสดงค่าการกระจายอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

	Temperature (°C)								
Sample	MF-A	MF-B	MF-C	MF-D	MF-E	MF-F	MF-G	MF-H	Setting
1	160.5	130.6	130.6	130.6	87.6	87.6	87.6	86.9	130.0
2	163.3	130.7	130.9	129.9	89.3	89.3	89.3	87.3	130.0
3	162.1	131.3	139.9	131.3	89.3	89.3	88.4	87.4	130.0
4	164.2	132.4	132.4	132.4	88.4	88.4	87.4	87.1	130.0
5	161.2	139.9	130.9	131.3	89.3	89.3	89.3	87.9	130.0
6	162.6	132.1	132.1	132.1	89.3	89.3	89.1	87.3	130.0
Average	162.31	132.83	132.80	131.23	88.86	88.86	88.51	87.31	130.00



ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงค่าการกระจายอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

4.2 คุณลักษณะและสมรรถนะของเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล

ในการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล พนักงานที่มีหน้าที่ดูแลอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องจักร ทุกตำแหน่งจะต้องทำการตรวจวัดค่าทางเทคนิคตามแบบฟอร์มบ่งชี้เพื่อป้องกันมิให้เกิดข้อผิดพลาดแบบฉุกเฉิน (Break Down Maintenance) และจะทำการวัดปริมาณไฟฟ้าของทุกอุปกรณ์ในระบบอบแห้งข้าวเปลือก ตั้งแต่หลุมเทข้าวเปลือก ไปจนถึงถังไซโลกับเก็บข้าวเปลือกหรือถังบรรจุข้าว (Coarse Rice & White Rice) อัตราการป้อนแกลบต้องควบคุมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด โดยตรวจสอบผลของกระแสลมร้อนที่ท่อส่งลมร้อน จะต้องดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและจะต้องควบคุมให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด เช่น กองข้าวในลานปูนจะต้องนำกองไหน หมายเลขอะไรเข้าก่อน – หลังจนกระทั่งหมด ตามน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ระบุในใบคำสั่งผลิต

4.2.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

การอบแห้งข้าวเปลือกที่โรงสีข้าวนาทองด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่มีการใช้กำลังการผลิต 20 t/h ได้ออกแบบให้ใช้พัดลมลักษณะรูปหอยโข่งโค้งหลัง (Centrifugal Blower) เป็นตัวสร้างแรงดันที่มีค่าคงที่โดยใช้ประโยชน์ทางด้านดูดที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่างบริเวณตะแกรงมีค่าเป็น 178 Pa กระแสลมร้อนที่อัตรากาไหลคงที่ 25.704 m^3/s เบดการอบแห้งข้าวเปลือกคงที่โดยมีพื้นที่รวมเป็น 16.8 m^2 จะต้องใช้ปริมาณข้าวเปลือกสดขณะดำเนินการอบแห้งคงค้าง (Hold up) ในเบดการอบแห้งลักษณะมัสท์โฟลเป็น 1,033.32 kg ดังนั้นต้องป้อนข้าวเปลือกสดเข้าห้องอบแห้งที่อัตราป้อนคงที่ 333.33 kg/min ใช้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบทั้งหมด 45 kW

สำหรับการทดสอบหาค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคมัสท์โฟลต้องปรับตั้งค่าให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่หน่วยควบคุมคุณภาพสั่งผลิต เช่น ข้าวเปลือกแต่ละพันธ์ อุณหภูมิของกระแสลมร้อน ปริมาณของการป้อนข้าวเปลือกสด อากาศแวดล้อมรอบสถานที่ปฏิบัติงาน ความชำของเมล็ดข้าวเปลือก ระยะเวลายาวนานหลังจากเก็บเกี่ยว ความเป็นตำหนิของเมล็ดข้าวเปลือกจากเชื้อต่างๆ ล้วนแต่จะทำให้เมล็ดข้าวหักง่าย ดังนั้น เมื่อได้รู้สภาวะการณ์ของข้อมูลดิบ ก็จะทำให้การดำเนินงานอบแห้งข้าวเปลือกลดอัตราเสี่ยงลง ข้าวหรือผลิตผลที่ออกมาได้คุณภาพ

จากรายงานที่ประชุมกลุ่มย่อยเดือนมีนาคม 2558 ได้เปรียบเทียบความชื้นของข้าวเปลือกที่ทำการอบแห้งข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 45 อุณหภูมิกระแสลมร้อนที่ 130 $^{\circ}C$ รับข้าวเปลือกมาจากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาสรุปได้ว่า หนึ่งหากทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลดังแสดงในตารางที่ 19 เป็นข้อมูลค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 32.75 %wb ที่สามารถลดลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 15.20 %wb

ตาราง 19 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคมัสท์โฟล

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	255.2	15.2	17.90	58
200.4	140.1	30.0	43.04	300.4	254.3	15.3	18.12	59
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	255.3	15.1	17.78	62
200.6	125.6	37.4	59.71	300.4	254.3	15.3	18.12	62
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	255.2	15.2	17.90	64
200.4	140.1	30.0	43.04	300.7	255.3	15.1	17.78	64
เฉลี่ย		32.75	49.20	เฉลี่ย		15.20	17.93	61.50

ตาราง 20 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก(g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก(g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	243	19.1	23.70	66
200.4	140.1	30.0	42.85	300.4	241	19.7	24.64	66
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	241.8	19.6	24.40	66
200.5	147.4	26.5	36.05	300.2	241.6	19.5	24.25	67
	เฉลี่ย	29.95	43.14		เฉลี่ย	19.47	24.24	66.25

และสองด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดดังแสดงในตารางที่ 4.4 เป็นข้อมูลค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 29.95 %wb ที่สามารถลดลงเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 19.47 %wb บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผล ที่หากทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยระบบการอบแห้งแบบมัสท์โฟลจะสามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่า

4.2.2 การทดสอบคุณภาพข้าวเปลือก

จากตัวอย่างข้าวเปลือกสดที่ดำเนินการตามคำสั่งซื้อ โดยที่ใบสั่งผลิตจะออกโดยหน่วยงานควบคุมคุณภาพ และกระบวนการทวนสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะถูกเก็บรวบรวมส่งคืนให้หน่วยงานควบคุมคุณภาพตามขั้นตอนกำหนด ตัวอย่างที่นำส่งจะถูกตรวจสอบโดยพนักงานประจำที่ห้องตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งจะมีวิธีการกำหนดเกณฑ์ปฏิบัติตามขั้นตอนเฉพาะดังนี้ คือ

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือกตัวอย่างด้วยการเขย่ากำจัดฝุ่นในอุปกรณ์กำหนด
2. ทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ล่ะถังหรือแต่ล่ะกล่อง
3. เตรียมถ้วยกระป๋องอลูมิเนียมให้สะอาดและชั่งน้ำหนักและบันทึก
4. บรรจุข้าวเปลือกเข้าในด้วยกระป๋องอลูมิเนียมและชั่งน้ำหนังและลงบันทึก
5. นำเข้าเครื่องอบไฟฟ้ามาตรฐานข้าวส่งออก ตั้งค่าที่อุณหภูมิ 107 ˚C
6. ตั้งโมดตรวจสอบข้าวเปลือกเพื่อไล่ความชื้นให้เป็นเกณฑ์วิเคราะห์ผล
7. เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะนำออกมาใส่โถแก้วปิดให้สนิท
8. ปล่อยไว้ให้เย็นจนใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศ
9. จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักรวมกระป๋องและชั่งน้ำหนักเฉพาะข้าวเปลือก บันทึกน้ำหนัก
10. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง
11. เมื่อได้ค่าความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกก็จะสะท้อนค่าความชื้นของกองข้าวเปลือกสด
12. นำตัวอย่างข้าวเปลือกไปหาค่าคุณภาพข้าวด้วยเครื่องกะเทาะแบบลูกยางกลม 2 ลูก
13.และไปหาค่าคุณภาพข้าวด้วยเครื่องขัดแบบลูกเหล็ก

การทดสอบคุณภาพการสีข้าวเป็นที่ยอมรับในวงการซื้อขายข้าวเปลือกในประเทศไทย อันเนื่องมาจากข้าวเปลือกเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วจะมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง จะเก็บไว้นานไม่ได้จะทำให้มีอัตราเสี่ยงสูง เสียหายเน่าเปื่อย ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของข้าวเปลือกและป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดตามมา แต่เนื่องจากวิถีชีวิตของชาวนาในประเทศไทย และภูมิอากาศในเขตศูนย์สูตร ทำให้ข้าวเปลือกในพื้นที่นาในแต่ละช่วงเวลาของวัน จะมีค่าความชื้นตกค้างในเมล็ดข้าวเปลือกที่ไม่เท่ากัน เป็นผลทำให้ข้าวเปลือกสดเมื่อนำมาเข้ากระบวนการ จะมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ไม่เท่ากันด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ที่รับซื้อข้าวเปลือก จะกำหนดราคาซื้อข้าวเปลือกด้วยการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของการแตกหัก

การหาเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าว

ในอุตสาหกรรมการสีข้าวขาวในตลาดโลกนั้นจะคำนึงถึงข้าวที่มีเมล็ดเต็มสีสวยเรียบไม่ด่างไม่ลายจะได้ราคาขายที่สูง และหากเมล็ดข้าวขาวที่เมล็ดหักปลายนิดหน่อย และสีสวยเรียบไม่ด่างไม่ลายก็ได้ราคาขายที่ต่ำกว่าลงมา จนกระทั่งข้าวขาวหักจะมีราคาซื้อขายต่ำมาก ดังนั้นเจ้าของโรงสีข้าวที่จะรับซื้อข้าวเปลือก เพื่อทำการอบแห้งไล่ความชื้น เพื่อการเก็บรักษาให้ได้นานจะต้องทดสอบความเป็นข้าวขาวเต็มเมล็ด และความเป็นผิวเรียบสีขาวนวล ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดโลกซื้อขายได้ง่ายราคาถูก ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการทดสอบเพื่อตรวจสอบสภาพของข้าวเปลือกที่มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวขาวได้ดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างข้าวเปลือกสด 50 g ทำความสะอาดผ่านเครื่องเป่าลม
2. ตรวจสอบเมล็ดข้าวเปลือกเมล็ดเต็มขจัดเมล็ดลีบ สิ่งเจือปนออก
3. นำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะลูกยางคู่
4. นำผลของชิ้นส่วนเมล็ดข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนักและบันทึก
5. นำข้าวกล้องมาชั่งน้ำหนักและบันทึก
6. นำไปคัดแยกด้วยเครื่องคัดตะแกรงกลม
7. นำข้าวต้นไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล
8. นำข้าวหักไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล
9. นำข้อมูลไปเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่น้ำหนักข้าว 50 g จะเป็น 100 %
   เปอร์เซ็นต์แกลบ = [(นน.ข้าวเปลือก – นน.ข้าวกล้อง) / นน.ข้าวเปลือก]×100
   เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น = (นน.ข้าวต้น / นน.ข้าวเปลือก)×100
   เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก = [(นน.ข้าวสาร – นน.ข้าวต้น) / นน.ข้าวเปลือก]×100
   เปอร์เซ็นต์รำ = [(น้ำนน.ข้าวกล้อง – นน.ข้าวสาร) / นน.ข้าวเปลือก]×100
10. นำผลของเปอร์เซ็นต์ข้าวที่ได้ เปรียบเทียบกับตารางราคาจะอยู่ในเกณฑ์ช่วงใด
11. ชี้บ่งราคาของข้าวเปลือกสดว่า จะสามารถซื้อขายได้เป็นราคาเท่าไร

ภาพประกอบ 31 แสดงรูปข้าวเปลือกแห้ง และมวลข้าวกล้องเต็มเมล็ด

การทดสอบหาค่าความขาวของข้าวสาร

ในการดำเนินงานของอุตสาหกรรมข้าวบรรจุถุง จะมีการซื้อ ขาย ต้องระบุค่าความขาวนวลของข้าวสารด้วย อันเนื่องจากในปัจจุบันนี้ในระดับอุตสาหกรรมจะทำการเคลือบขาวหรือฟอกขาว ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการวัดค่าความส่องสว่างของแสงที่สามารถส่องผ่านทะลุชั้นเมล็ดข้าวสาร แล้วไปเปรียบเทียบกับค่าการส่องผ่านทะลุชิ้นตัวอย่างเพื่อประมวลผลออกมาเป็นค่าเกณฑ์กำหนด

ในการทดสอบความขาวนี้โรงสีข้าวนาทอง ตรวจสอบความขาวของข้าวสาร โดยใช้เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิคส์ ยี่ห้อ Kett C-300 (Whiteness Tester) ซึ่งจะระบุลักษณะเฉพาะของเครื่องมือได้พอสังเขปดังนี้ คือ

1. Principle	=	Reflecting index with photo-diode
2. Rang	=	5-70
3. Indicator	=	Whiteness / 4fig LED
4. Ability Read	=	0.1
5. Reflected on	=	GAP / photo-diode
6. Light Source	=	Tungsten Lamp
7. Filter	=	Blue / 44 nm
8. Dimension	=	W 300 × D 500 × H 105
9. Weight	=	8 kg

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบหาค่าความขาวของข้าวสารมีดังนี้ คือ

1. ตรวจสอบความพร้อมและความสมบูรณ์ของระบบไฟฟ้า และปลั๊กไฟฟ้า
2. เปิดเครื่องมือวัด Kett C-300 รอเมื่อมีเสียงสัญญาณเตือนให้กดปุ่ม Reset
3. นำแผ่นกรองมาใส่ในตำแหน่งกำหนดของเครื่องมือวัด รอสัญญาณที่หน้าปัดแสดงค่าว่า Wait กระพริบแล้วนำหลอดอ้างอิงมาทดสอบ หน้าจอจะต้องแสดงค่าเป็น 86.3
4. นำข้าวสารที่เตรียมในหลอดทดสอบมาสอดเข้าในตำแหน่งกำหนด รอจนเครื่องมือวัดอ่านค่ากระพริบกดปุ่มบันทึกหน้าปัดจะแสดงเป็นตัวเลขออกมา รอจนตัวเลขกระพริบ
5. กดปุ่มแล้วบันทึกค่าอีกครั้งเครื่องมือวัดจะแสดงค่าเป็นตัวเลขออกมา รอจนกระพริบ
6. กดปุ่ม Average เครื่องมือวัดจะแสดงค่าเฉลี่ยจากการอ่านสองครั้ง
7. ดึงหลอดทดสอบความขาวของข้าวสารออกจากเครื่องมือวัด
8. ดึงแผ่นกรองออกจากเครื่องมือวัด
9. ปิด Switch จะมีสัญญาณ รอจนไฟดับปิดสวิช์ทไฟฟ้า

ตาราง 21 คุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	44.9
กข 47	97.2	47.9	65.7	16.9	17.4	45.8
กข 49	96.8	49.5	65.1	18	16.9	44.2
เฉลี่ย	97.20	48.83	65.13	17.13	17.73	44.96

ตาราง 22 คุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.3	39.2	49.8	26.3	25.4	41.6
กข 49	97.2	38.1	49.4	22.6	26.7	42.7
เฉลี่ย	97.25	38.65	49.60	24.45	26.05	42.15

ดังแสดงในตารางที่ 21 เป็นการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิกระแสลมร้อน 140 °C ทำการทดสอบข้าวเปลือก พันธุ์ กข 27 47 และ 49 จะได้ค่ามวลข้าวกล้องเฉลี่ย 97.20 g มวลข้าวเต็มเมล็ดเฉลี่ย 48.83 และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเฉลี่ย 65.13 เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ย 17.13 เปอร์เซ็นต์ข้าวปลายเฉลี่ย 17.73 ข้าวสารมีค่าความนวลขาวเฉลี่ยเป็น 44.96 และในตารางที่ 4.6 เป็นการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิกระแสลมร้อน 140 °C ทำการทดสอบข้าวเปลือก พันธุ์ กข 27 และ 49 จะได้ค่ามวลข้าวกล้องเฉลี่ย 97.25 g มวลข้าวเต็มเมล็ดเฉลี่ย 38.65 และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเฉลี่ย 49.60 เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ย 24.45 เปอร์เซ็นต์ข้าวปลายเฉลี่ย 26.05 ข้าวสารมีค่าความนวลขาวเฉลี่ยเป็น 42.15

ภาพประกอบ 32 ข้าวเปลือกแห้ง พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ภาพประกอบ 33 Coarse Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ภาพประกอบ 34 Brown Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

ภาพประกอบ 35 White Rice พันธุ์ กข 49 ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

4.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกสดที่โรงสีข้าวนาทองเป็นการใช้งานจริง เป็นไปตามสภาพของคำสั่งซื้อจากคู่ค้า ในการปฏิบัติงานใดๆ ที่เป็นการทำงานปกติจะใช้พนักงานประจำตำแหน่งที่มีหน้าที่รับผิดชอบดำเนินการเก็บบันทึกข้อมูลการอบแห้ง ซึ่งจะต้องตอบผู้บริหารระดับสูงว่ามีการใช้ต้นทุนสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ มีค่าการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันและการซ่อมบำรุงฉุกเฉินเกินความพอดีหรือไม่ สำหรับพลังงานเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่ควรศึกษาบันทึกความสิ้นเปลือง ในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลได้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าต้นกำลังที่ใช้ในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกดังที่ได้แสดงในตารางที่ 23 โดยรวมพลังงานไฟฟ้าต้นกำลัง (Name Plate) 45 kW วัดค่าการใช้กระแสไฟฟ้ารวมจะได้ 78.6 Ampere คำนวณเป็นการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งระบบเป็น 41.37 kW และคำนวณย้อนกลับเป็นความสิ้นเปลืองพลังงานในรูปของพลังงานปฐมภูมิจะมีค่าเป็น 476.68 MJ/h ค่าตัวช่วยคงที่ในการคำนวณมีดังนี้

1. Cos θ for Power Factor 0.8
2. Conversion for Electricity Factor to Primary Energy 3.2
3. Electricity Energy = Power x Factor to Primary Energy x 60 x 60
4. Electrical Power = $\sqrt{3}$ IV Cos θ

ตาราง 23 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

Item	Description	Name Plate (kW)	Ampere (A)	Electrical Power (kW)	Primary energy (MJ/h)
1	Elevator 1	3	5.2	2.74	31.54
2	Paddy Cleaner	3	4.9	2.58	29.72
3	Elevator 2	3	4.4	2.32	26.68
4	MF Porosity	5	9.2	4.84	55.80
5	MF Blower	7	12.6	6.63	76.42
6	Elevator 3	3	5.4	2.84	32.75
7	RC Blower	5	9.2	4.84	55.80
8	Shuttle Vale	3	5.3	2.79	32.14
9	Elevator 4	3	5.4	2.84	32.75
10	Belt Conveyor	3	5.5	2.90	33.35
11	Screw Feeder	1	1.6	0.84	9.70
12	Husk Feeding	1	1.6	0.84	9.70
13	FN Blower	2	3.5	1.84	21.22
14	Blade Reducer	2	3.5	1.84	21.22
15	Ash Conveying	1	1.3	0.68	7.88
Summation		45	78.6	41.37	41.38

ตาราง 24 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบด

item	Description	Name Plate (kW)	Ampere (A)	Electrical Power (kW)	Primary energy (MJ/h)
1	Elevator 1	3	4.9	2.58	29.72
2	Paddy Cleaner	3	5.1	2.69	30.93
3	Elevator 2	3	4.7	2.47	28.50
4	FB Blower 1	30	53.6	28.22	325.12
5	FB Blower 2	30	53.1	28.12	323.91
6	Elevator 3	3	5.4	2.84	32.75
7	RC Blower	2	9.1	4.79	55.19
8	Shuttle Vale	3	5.5	2.90	33.35
9	Elevator 4	3	5.3	2.79	32.14
10	Belt Conveyor	3	5.5	2.90	33.35
11	Screw Feeder	1	1.6	0.84	8.70
12	Husk Feeding	1	1.5	0.79	9.09
13	Blower	2	3.5	1.84	21.22
14	Blade Reducer	2	3.6	1.90	21.83
15	Ash Conveying	1	1.4	0.74	8.49
Summation		93	163.80	86.39	86.40

ที่โรงสีข้าวนาทองในสายการผลิตเดิมจะมีเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดใช้กำลังการผลิต 20 t/h ได้ออกแบบให้ใช้พัดลมลักษณะรูปหอยโข่งโค้งหลัง (Centrifugal Blower)เป็นตัวสร้างแรงดันที่มีค่าคงที่จำนวนสองชุดโดยใช้ประโยชน์ทางด้านลมเป่าโดยตรงบริเวณตะแกรง ดังนั้นต้องป้อนข้าวเปลือกสดเข้าห้องอบแห้งที่อัตราป้อนคงที่ 333.33 kg/min ใช้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบทั้งหมด 93 kW ดังแสดงในตารางที่ 24 เป็นรายการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าต้นกำลังที่ใช้ในระบบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยที่หากวัดค่าการใช้กระแสไฟฟ้ารวมจะได้ 163.8 Ampere คำนวณเป็นการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งระบบเป็น 86.397 kW และคำนวณย้อนกลับเป็นความสิ้นเปลืองพลังงานในรูปของพลังงานปฐมภูมิจะมีค่าเป็น 995.29 MJ/h

เมื่อผ่านกระบวนการส่งมอบรับมอบเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อย โรงสีข้าวนาทองได้ดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกสดผลิตผลิตภัณฑ์ Coarse Rice เป็นกิจกรรมหลัก เมื่อเดือนสิงหาคม 2558 ครบวาระต้องเข้าทำงาน Preventive Maintenance และได้ทดสอบระบบการอบแห้งข้าวเปลือกสดแบบมัสท์โฟล ดังแสดงในตารางที่ 25 ที่ทำการทดสอบก่อนทำงานซ่อมบำรุงเชิง

ป้องกันโดยใช้กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิกระแสลมร้อน 130 °C ใช้อัตราการไหลของกระแสลมร้อน 25.70 m^3/min ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 41.45%db สามารถลดความชื้นในข้าวเปลือกสดให้เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเป็น 21.23 %db โดยสามารถระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 3087.05 $kg_{water\ evap.}$/h คงเหลือน้ำหนักแห้งของข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 15525.23 kg/h

ตารางท 25 แสดงความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

Item	RH	Initial Moisture Cotent		Final Moisture Content	Dry Matter	Water Evap.
	(%)	(% wet basis)	(% dry basis)	(%dry basis)	(kg/h)	(kg/h)
1	66	35.70	55.51	20.99	14738.39	5087.69
2	69	36.00	56.31	21.52	14705.88	5116.18
3	62	27.70	38.31	21.32	15661.71	2660.92
4	62	28.70	40.19	20.99	15540.02	2983.68
5	64	23.70	31.02	21.32	16168.15	1568.31
6	64	26.70	36.50	21.52	15785.32	2364.64
7	65	24.40	32.36	20.99	16077.17	1827.97
Average	64.50	28.98	41.45	21.23	15525.23	3087.05

และในตารางที่ 25 เป็นการทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลภายหลังเสร็จสิ้นการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิกระแสลมร้อน 170 °C ใช้อัตราการไหลของกระแสลมร้อน 25.704 m^3/min ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 49 มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 49.14%db สามารถลดความชื้นในข้าวเปลือกสดให้เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเป็น 17.90 %db โดยสามารถระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 4678.39 $kg_{water\ evap.}$/h คงเหลือน้ำหนักแห้งของข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น15077.94kg/h

ตาราง 26 แสดงความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ภายหลังซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

item	RH	Initial Moisture Cotent		Final Moisture Content	Dry Matter	Water Evap.
	(%)	(% wet basis)	(% dry basis)	(dry basis)	(kg/h)	(kg/h)
1	58	35.8	55.75	17.90	14727.54	5574.37
2	59	30.0	43.04	18.12	15384.62	3833.85
3	62	27.5	37.93	17.78	15686.27	3160.78
4	62	37.4	59.71	18.12	14556.04	6053.86
5	64	35.8	55.75	17.90	14727.54	5574.37
6	64	30.0	43.04	17.78	15384.62	3886.15
7	65	36.1	56.43	17.82	14695.08	5673.77
8	67	27.5	37.93	17.78	15686.27	3160.78
9	61	30.0	43.04	18.12	15384.62	3833.85
10	61	36.1	37.93	18.12	15686.27	3107.45
11	61	30.0	55.75	17.78	14727.54	5592.05
12	57	36.1	43.04	17.90	15384.62	3867.69
13	56	27.5	56.43	17.82	14695.08	5673.77
14	55	35.8	43.04	18.12	15384.62	3880.00
15	57	30.0	56.43	17.78	14695.08	5629.68
16	61	35.8	37.93	18.12	15686.62	3160.78
17	64	27.5	55.75	17.78	14727.54	5574.37
18	62	35.8	43.04	17.90	15384.62	3886.15
19	62	30.0	56.43	17.82	14695.08	5629.68
20	54	36.1	56.43	17.90	14695.08	5679.65
21	55	30.0	43.04	17.78	15384.62	3867.69
22	56	35.8	55.75	17.90	14727.54	5586.16
23	67	37.4	59.71	17.82	14556.04	6085.88
Average	60.57	32.74	49.14	17.90	15077.94	4678.39

ตาราง 27 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแกลบ

tem	Order No.	Description	Paddy (ton)	Operate (h)	Husk Fuel (kg)
1	140010257	Dried Paddy	140	7.00	854.00
2	178010257	White Rice	178	8.90	1059.20
3	206010257	Coarse Rice	206	10.30	1225.40
4	142010257	Dried Paddy	142	7.10	827.80
5	172010257	White Rice	172	8.60	1019.80
6	146010257	Coarse Rice	146	7.30	867.40
7	123010257	Coarse Rice	123	6.15	730.70
8	105010257	Coarse Rice	105	5.25	624.70
9	132010257	White Rice	132	6.60	774.80
10	180010257	Coarse Rice	180	9.00	1060.00
11	453010257	White Rice	453	22.65	2670.70
12	346010257	Coarse Rice	346	17.30	2045.40
13	723010257	Coarse Rice	723	36.15	4260.20
14	986010257	Coarse Rice	986	49.30	5812.40
15	794010257	Coarse Rice	794	39.70	4674.60
16	643010357	Coarse Rice	643	32.15	3798.40
17	398010357	Coarse Rice	398	19.90	2353.20
18	892010357	Coarse Rice	892	44.60	5267.80
19	843010457	Coarse Rice	843	42.15	4978.70
20	985010457	Coarse Rice	986	49.30	5827.40
21	765010457	Coarse Rice	765	38.25	4521.50
22	578020557	Coarse Rice	578	28.90	3423.20
23	914020557	Coarse Rice	914	45.70	5376.60
	Summation		10,845	542.25	64,053.90

ตาราง 28 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิของการลดความชื้นในข้าวเปลือกสด

Operate	Feeding (kg/h)	Power (kW)	Electricity Energy (MJ/h)	Thermal Energy (MJ/h)	Total Energy (MJ/h)
1	117.34	42.76	492.60	1751.30	2243.89
2	117.93	42.57	490.41	1760.11	2250.51
3	116.76	42.12	485.22	1742.64	2227.87
4	118.07	41.37	476.58	1762.19	2238.78
5	118.02	41.98	483.61	1761.45	2245.06
6	117.22	41.94	483.15	1749.51	2232.66
7	117.31	41.69	480.27	1750.85	2231.12
8	118.07	43.45	500.54	1762.19	2262.74
9	117.05	43.62	502.50	1746.97	2249.47
10	117.09	40.44	455.87	1747.57	2213.44
11	118.09	40.21	463.21	1762.49	2225.71
12	118.08	40.15	462.53	1761.60	2224.13
13	117.97	40.11	462.07	1760.70	2222.77
14	117.69	40.83	470.36	1756.52	2226.88
15	117.49	40.68	468.63	1753.54	2222.17
16	117.23	41.32	476.01	1749.66	2225.66
17	118.11	41.26	475.32	1762.79	2238.11
18	118.15	41.31	475.89	1763.39	2239.28
Average	117.66	41.54	478.55	1756.15	2234.70

การใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าเพื่อดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกสดที่ทำให้ระบบการอบแห้งทำงานได้ประสิทธิภาพที่สามารถทวนสอบความสิ้นเปลืองพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 27 และตาราง 28 โดยมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแกลบเฉลี่ย 117.66 kg/h ให้ค่าความร้อนในรูปพลังงานปฐมภูมิเป็น 1,756.14 MJ/h หากรวมกับพลังงานปฐมภูมิด้านไฟฟ้าหรืออาจจะเรียกว่า พลังงานปฐมภูมิทั้งหมด (Total Energy) จะมีค่าเป็น 2,234.69 MJ/h ซึ่งแสดงในตารางที่

4.13สามารถระเหยน้ำหรือความชื้นในข้าวเปลือกสดได้ 4565.96 $kg_{water\ evap.}/h$ โดยสามารถระบุเป็นปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของการระเหยน้ำได้ 519.08 $MJ/kg_{water\ evap.}$

ตาราง 29 แสดงปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของการระเหยน้ำ

Operate	Total Primary Energy (MJ/h)	Water Evap. (kg/h)	Specific Energy Consumption ($MJ/kg_{water\ evap.}$)
1	2243.89	5574.37	402.52
2	2250.51	3833.85	587.01
3	2227.87	3160.78	704.85
4	2238.78	6053.86	369.81
5	2245.06	5574.37	402.75
6	2232.66	3886.15	574.52
7	2231.12	5673.77	393.23
8	2262.74	3160.78	715.88
9	2249.47	3833.85	586.74
10	2213.44	3107.45	712.30
11	2225.71	5592.05	398.01
12	2224.13	3867.69	575.05
13	2222.77	5673.77	391.76
14	2226.88	3880.00	573.94
15	2222.17	5629.68	394.72
16	2225.66	3160.78	704.15
17	2238.11	5574.37	401.50
18	2239.28	3886.15	576.22
19	2239.03	5639.68	397.72
Average	2234.70	4565.97	519.09

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกสด ด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยที่กระแสลมร้อนได้มาจากการเผาไหม้ของแกลบที่เป็นเศษสิ่งเหลือใช้จากภายในโรงสีข้าวนาทอง ซึ่งกำหนดกำลังการผลิตในการอบแห้งข้าวเปลือกสดเป็น 20 t/h ของน้ำหนักป้อน และกระแสลมร้อนที่ไหลอยู่ในระบบของการอบแห้งข้าวเปลือกจะเป็นลักษณะ Negative flow ซึ่งดำเนินงานออกแบบและสร้างชิ้นส่วนรวมถึงโลหะอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีขายในประเทศทั้งหมด และนำไปติดตั้งในพื้นที่ของโรงสีข้าวนาทอง โดยที่ค่าใช้จ่ายในการออกแบบผลิตชิ้นส่วนและสร้างเครื่องอบแห้งฯ ทางโรงสีข้าวนาทองเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในรูปแบบวัตถุดิบทั้งหมดเป็นเงินงบประมาณทั้งสิ้น 7 ล้านบาท

5.1 สรุปผลการทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่มีกำลังการผลิตขนาด 20 t/h ทำงานแบบต่อเนื่องที่มีพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้งขนาดกว้าง 2.4 m และยาว 7.0 m ได้ออกแบบสร้างและติดตั้งในพื้นที่โรงสีข้าวนาทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา มีอัตราการไหลของลมร้อน 25.70 m^3/s ไหลตัดขวางเบดของข้าวเปลือกจากด้านล่างสู่ด้านบน พื้นที่รองรับข้าวเปลือก 16.8 m^2 ความสูงของระยะยกเบดการอบแห้ง 50 mm ชุดขับเคลื่อนห้องอบแห้งข้าวเปลือกใช้กำลังงานขับเคลื่อนผ่าน Gear speed reducer (SEW) ; Speed ratio 5.24 จะทำให้เกิดเป็นลักษณะการอบแห้งข้าวเปลือกสดแบบมัสท์โฟลที่เสถียรตลอดทั่วทั้งเบดการอบแห้ง

ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ใช้ข้าวเปลือกพันธ์ต่างๆ ตามคำสั่งซื้อของคู่ค้า เช่น ข้าวพันธ์ กข 7 9 27 29 45 47 และ 49 เป็นต้น ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งบริเวณเบดการอบแห้งที่ 130 140 150 160 และ 170 $^{\circ}C$ ซึ่งข้าวเปลือกสดจากท้องนามีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 26%wb ถึง 40%wb และมีขนาดและรูปทรงของเมล็ดที่แตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่า เมื่อข้าวเปลือกผ่านเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลภายใต้สภาวะเงื่อนไขต่างๆ เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 ถึง 18 %wb และสามารถควบคุมให้ค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากันตามที่ต้องการ เมื่อทำการตรวจสอบความชื้นที่จุดต่างๆ ตามความยาวในแนวนอนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล พบว่าในช่วงแรกระยะตั้งแต่จุดป้อนเข้าห้องอบแห้งจนถึงระยะที่ 40 cm จะเป็นช่วงของการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเปลือก จนกระทั่งอุณหภูมิของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความชื้นแบบคงที่ระหว่างเมล็ดกับกระแสลมร้อนในช่วงระยะที่ 40 cm ถึง 400 cm จากนั้นตั้งแต่ช่วงระยะที่ 400 cm ถึง 500 cm เป็นช่วงของการถ่ายเทความชื้นแบบลดลง และช่วงสุดท้ายที่ระยะ 500 cm ถึง 700 cm เป็นช่วงของการปรับสภาวะความชื้นของแต่ละเมล็ดตาม

ความหนาแน่นจนกระทั่งออกจากห้องอบแห้ง นอกจากนั้นยังพบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแกลบสำหรับสร้างกระแสลมร้อนด้วยเตาเผารูปทรงกระบอกตั้งเฉลี่ย 118 kg/h ให้ค่าความร้อนจำเพาะ 14,925 kJ/kg และมีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิรวม 2.234 GJ/h โดยแบ่งเป็นพลังงานปฐมภูมิจากไฟฟ้า 478.55 MJ/h และเป็นพลังงานปฐมภูมิจากความร้อนโดยตรง 1.756 GJ/h มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ 4,565.96 $kg_{water\ evap.}/h$ มีค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะเป็น 519.08 $MJ/kg_{water\ evap}$.

คุณภาพของข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล จากการทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง (Brown Rice & Coarse Rice) หาค่ามวลข้าวโดยวิธีการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 100 g ไปผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกด้วยลูกยางคู่ พบว่าจะได้ข้าวกล้องประมาณ 93.03 g และนำมาคัดแยกหาข้าวเต็มเมล็ดได้ประมาณ 49.50 g สำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวขาว (White Rice) พบว่า จะได้ปริมาณข้าวต้นเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 65 % ข้าวหักเฉลี่ย 20 % และปลายข้าวเฉลี่ยไม่เกิน 20 % และทำการตรวจสอบความขาวนวลของเมล็ดพบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 42 ซึ่งจัดอยู่ในเกรด 3A

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อได้เปรียบของการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

1. เครื่องอบแห้งมีขนาดกระทัดรัดและประสิทธิภาพสูง
2. เมล็ดข้าวเปลือกทุกเมล็ดในห้องอบแห้งจะขยับตัวอยู่ตลอดเวลา
3. จะเกิดการผสมผสานกันอย่างรวดเร็วของเมล็ดข้าวเปลือกทั่วทั้งเบดการอบแห้ง
4. อุณหภูมิภายในเบดการอบแห้งคงที่ สม่ำเสมอ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สม่ำเสมอ
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกกับกระแสลมร้อนมีมากและทั่วถึงเป็นผลทำให้เกิดประโยชน์ในการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. จากสมบัติของ Must flow bed จึงสามารถควบคุมพฤติกรรมของเมล็ดข้าวเปลือกให้สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้ดี
7. เมล็ดข้าวเปลือกที่ขยับตัวอย่างอิสระนั้นสามารถขยับหลุดออกจากเบดการอบแห้งได้เอง

ข้อเสียเปรียบของการอบแห้งแบบมัสท์โฟล

1. กระแสลมร้อนที่สัมผัสเมล็ดข้าวเปลือกมีเวลาสั้น ขึ้นกับความสูงของเบดชั้นกองข้าวเปลือก
2. สิ้นเปลืองความร้อนมาก ซึ่งหลุดออกไปกับกระแสอากาศร้อนชื้น

อุปสรรคของการดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือก

ในด้านชิ้นส่วนที่เป็นอุปกรณ์โดยตรงของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล เกิดอาการแตก ร้าว ฉีก ขาด เป็นเหตุให้เมล็ดข้าวเปลือกสะดุดติดค้างบนแผ่นตะแกรงไม่สามารถขยับตัวเคลื่อนที่ ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกที่ไม่ได้ขยับตัวเกิดการสะสมของความร้อนเกินพิกัดและเกิดอาการไหม้จากผิวเมล็ดข้าวเปลือกสู่ภายในเนื้อข้าวดังแสดงในรูปที่ 34

ภาพประกอบ 36 แสดงเมล็ดข้าวเปลือกสดที่จะชี้บ่งว่าสะสมความร้อนเกินพิกัด มีรอยไหม้บนเมล็ดพยากรณ์ว่าเมล็ดไม่ขยับตัวตามที่ได้ออกแบบ ไม่เกิดพฤติกรรมลักษณะมัสท์โฟล

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับผู้ประสงค์ใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลแนะนำให้ตัวเบดของการอบแห้งควรที่จะทำการผลิตจากโลหะไร้สนิม เนื่องจากสัมผัสกับเมล็ดข้าวเปลือกโดยตรงซึ่งเป็นอาหารตามหลักเกณฑ์ข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภค ในด้านวิศวกรรมการสึกหรออันเนื่องมาจากการขยับตัวอย่างเป็นอิสระของเมล็ดข้าวเปลือกจะทำให้เกิดการขัดสีระหว่างผิวของเบดการอบแห้ง ยิ่งอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะเป็นเหตุให้อายุการใช้งานสั้น และแผ่นตะแกรงฐานของมัสท์โฟลเบดรองรับข้าวเปลือกควรจะมีความหนาไม่ต่ำกว่า 5 mm

ในด้านการใช้งานเพื่อดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกสดนั้น จำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือก ไม่ควรมีสิ่งเจือปนใดๆ ในด้านส่วนของกระแสลมร้อน ที่ห้องควบคุมทิศทางกระแสลมร้อนสมควรทำความสะอาดเป็นระยะในรูปของ Preventive Maintenance หรือ Weekly Clean

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กองเกษตรวิศวกรรม. (2544). *หลังการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. กรมวิชาการเกษตร.* ปีที่ 12. ฉบับที่ 2. เมษายน-มิถุนายน 2543.

ณัฐพล มณีโชติ. (2558). *ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พงศกร สุวโท. (2558). *ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม.(สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค. (2558). *ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล).* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม.(สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2535). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.* พิมพ์ครั้งที่ 5,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มุสตาฟา ยะภา. (2537). *การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Abhay Kr et al. (2006). Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking. *Journal of Food Engineering 75.* 252–257

Adnan Topuz , Mesut Gur and M. Zafer Gul.(2004). An experimental and numerical study of fluidized bed drying of hazelnuts. Applied Thermal Engineering 24. 1535–1547

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

Bunyawanichakul P.; Walker G.H.; Sargison J.E.; Doe P.E. (2007). Modelling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer. Biosystems Engineering 96 (3), 335–344

Chaiyong Taechapairoj , Isares Dhuchakallaya , Somchart Soponronnarit , Somboon Wetchacama and Somkiat Prachayawarakorn(2003). Superheated steam fluidized bed paddy drying. *Journal of Food Engineering.* 5867–73

Chaiyong Taechapairoj , Somkiat Prachayawarakorn and Somchart Soponronnarit (2006). Modelling of parboiled rice in superheated-steam fluidized bed. *Journal of Food Engineering 76.* 411–419

Chong-Ho Lee and Do Sup Chungt.(1995). Grain Physical and Thermal Properties Related to Drying and Aeration. Grain Drying in Asia. Proceedings of an International Conference held at the FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand. 17-20 October 1995.

Fernanda Ribeiro Gaspar Branco da Silva,Marcos de Souza, Alexandre Marconi de Souza da Costa, Luiz Mario de Matos Jorge and Paulo Roberto Paraíso (2012) Experimental and numerical analysis of soybean meal drying in fluidized bed. Powder Technology 229. 61–70

Garnavi, N. Kasiri and S.H. Hashemabadi. (2004). Computer Simulation of Fluidized Bed Dryer with Bubble Size Variation *Drying.* Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) Sao Paulo. Brazil. 22-25 August 2004. vol. A, pp. 405-413

Garnavi, Kasiri,and Hashemabadi(2006). Mathematical modeling of a continuous fluidized bed dryer. International Communications in Heat and Mass Transfer 33. 666–675

Hideo INABA (2007). Heat and Mass Transfer Analysis of Fluidized Bed Grain Drying**.** Memoirs of the Faculty of Engineering. Okayama University. Vol.41. pp.52-62. January, 2007

Izadifar and Mowla (2003). Simulation of a cross-flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice. *Journal of Food Engineering 58.* 325–329

Khanali, Rafiee, Jafari, Hashemabadi and Banisharif (2012). Mathematical modeling of fluidized bed drying of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain. *Journal of Agricultural Technology 8(3)*: 795-810.

Miklos Nemenyi, Istvan Czaba, Attila Kovacs, and Tamas Jani (2000). Investigation of simultaneous heat and mass transfer within the maize kernels during drying. Computers and Electronics in Agriculture 26 . 123–135

Oktay Hacıhafızoglu, Ahmet Cihan and Kamil Kahveci (2008). Mathematical modelling of drying of thin layer rough rice. food and bioproducts processing 8 6 268–275

Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (1993). *Development of equation of fluidized bed paddy drying. Proceedings of the Technical Seminar on Research and Development on Science and Technology* (pp. 20–21). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi.

Sebastien Janas , Sebastien Boutry , Paul Malumba , Luce Vander Elst and Franois Bera (2010). Modelling dehydration and quality degradation of maize during fluidized-bed drying. Journal of Food Engineering 100 527–534.

Siri Doungporn, Nattapol Poomsa-ad and Lamul Wiset (2012) Drying equations of Thai Hom Mali paddy by using hot air, carbon dioxide and nitrogen gases as drying media Food and bioproducts processing 9 0 187–198

Soponronnarit, S., Yapha, M., & Prachayawarakorn, S. (1995). Crossflow fluidized bed paddy dryer: prototype dryer and commercialization. Dry. Technol., 13(8&9), 2207–2216.

Syahrul , Hamdullahpur and Dincer (2002). Thermal analysis in fluidized bed drying of moist particles. Applied Thermal Engineering 22, 1763–1775

Tayyeb Nazghelichi, Mohammad Hossein Kianmehr and Mortaza Aghbashlo (2010). Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes, Energy 35, 4679-4684

Wetchacama, S., Soponronnarit, S., & Jariyatontivait, W. (2000). Development of a commercial scale vibro-fluidized bed paddy dryer. Kasetsart-J.-Nat.-Sci., 34(3), 423–430.

Wu; Yang and Jia (2004). A Three-dimensional Numerical Simulation of Transient Heat and Mass Transfer inside a Single Rice Kernel during the Drying Process. Biosystems Engineering 87 (2). 191–200

Zare , Minaei , Mohamad Zadeh , and Khoshtaghaza, (2006) Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer. Energy Conversion and Management 47 3241–3254

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

การตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่ปรากฏในฐานข้อมูลการจัดลำดับวารสาร SJR หรือมีการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่ปรากฏในฐานข้อมูลสากล ISI หรือ Scopus

1. Mustafa Yapha, Monthon Chuchonaak and Pracha Bunyawanichakul (2014). Development of a Commercial Scale Must Flow Paddy Dryer. International Journal of Mechanical and Industrial Technology. ISSN 2348-7593 (Online) Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014,
2. Mustafa Yapha, Pracha Bunyawanichakul, Nifahmee Hayinilah (2014). Coarse Rice Products by Must Flow Fluidization Techniques for Diabetes Patients. International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 3 Issue 6, June 2014 P 99-103, ISSN (Online): 2319-7064
3. Mustafa Yapha, Pracha Bunyawanichakul, Nifahmee Hayinilah (2014). Must Flow Dryer for Rough Rice. ISBN: 978-0-9891305-4-7 ©2014 SDIWC.

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

Development of a Commercial Scale Must Flow Paddy Dryer

[1]Mustafa Yapha, [2]Monthon Chuchonaak, [3]Pracha Bunyawanichakul

[1,2,3]Research Center of Agricultural Engineering and Product Design, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak District, Nakornnayok Province 26120

Abstract: **Several drying methods which are used in industrial production of the fresh paddy today cannot reduce moisture content at the same level for all gain. Then it causes to stimulate the growth of bacteria, fungi and yeast. Therefore this research aims to develop the dryer which is namely "Must Flow dryer". This type of dryer is able to reduce the moisture content at the same level for all gain which is better than using the Fluidized Bed and the Relying Sunny Breezes method. The performance of the Must Flow dryer for drying can be accounted with a superior level because of the electrical power consumption can be save about 33 kW, and the head rice yield has met the criteria at the average of 58.3 %as well as the final moisture content can be control at the average of 15.0 %wb and the whiteness color index better than the Relying Sunny Breezes method (concrete patio) and the Fluidized Bed dryer, which is almost equal to amounts of rice, a fresh paddy quantity of 420tons. The developed "Must Flow dryer" also keeping the whiteness color index of dried paddy about 40.3.**

Keywords: **Paddy, Rough rice, Un-husk rice, Must Flow, dryer.**

I. INTRODUCTION

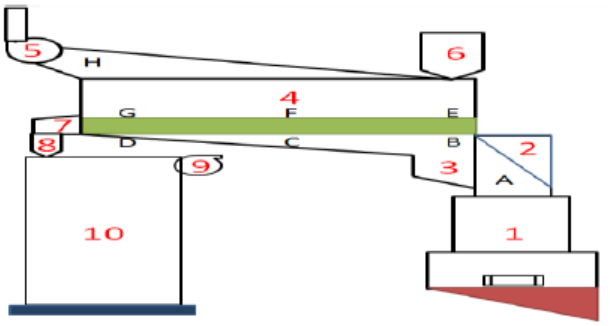
Soponronnarit S. [1] studied drying of high moisture content Paddy which the fluidization technique. The factors affecting on the paddy rice quality and the electrical consumption to drying un-husk rice have not yet been solving. Therefore the fresh paddy harvest from the field to the drying process must be additionally done to reduce the moisture content before sending to the dry storage [2], [3]. Whenever the dehumidifier is dried quickly it must be using more energy. Nowadays, the dryer methods use the specific energy consumption in the range of 4 to15 MJ/kg $water_{evap.}$ [4], [5]. Fluidized Bed and Spouted Bed dryer which is used as an industrial drying dehumidifier able to dry quickly but they are sensitively effect to the product quality, however they given better performance for drying of the high moisture content un-husk rice grain[4], [6].Generally, the dryer machine can be divided into 3 types such as grain moving, grain static, grain combination. The grain moving dryer can be separated into two types which are LSU dryer and Fluidized Bed dryer. For LSU dryer, the fresh paddy drop through the air vertically by gravity force and flows through the baffles and moves in the horizontal plane pass through the horizontal flow air [7], [8]. Drying process to reducing moisture content in fresh paddy is needed to used high temperature and short residence time in order to keep high nutrition value as well as to maintain the qualification of paddy to protecting bacteria or fungi harmful to consumers. For all paddies drying machine using in rice mills normally produce the different of the final moisture content grain at the high level. It is likely to be hazard to various microorganisms [9].This problem can be eliminated by using the drying process to meet standard moisture content. If the fresh paddy reaches the standard moisture content, it will reduce the long-term impact to the consumer's health problems in the future. Then the "Must Flow dryer" has been developing to substitute the previous ones. It is able to use the renewable energy which is taking from rice mills (husk) to produce the hot air for entering the dryer zone.

II. MATERIALS AND METHOD

A Must Flow Paddy dryer with capacity of 20 tons/h was fabricated by Musta Engineering Company limited, Bangkok and tested at Nathong Rice Mill, Chacheoungsaow Province, Thailand. The Must Flow paddy dryer has been divided into ten units, each unit comprised of a husk furnace and combustion chamber, a backward curved blade centrifugal blower

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

driven by the motor 7 kW, the steel sheets screen size 1.2 x 7.0 x 1.4 m which has the thickness 5 mm and diameter holes 1.8 mm. The chamber unit comprised of revolution cams, watch springs motor 3 kW with vertical amplitude of 12.5 cm, feed hopper, feed valve, discharge valve, the detail as show in Fig. 1 and Fig. 2.



1. Husk Furnace
2. Safety valve
3. Main hot air
4. Must Flow chamber
5. Exhaust blower
6. Fresh paddy Hopper
7. Discharge Valve
8. Shutter elevator
9. Suction blower
10. Silo tank

Fig.1: Diagram of a Must Flow paddy dryer.

During drying process, is picked up ovary30 minute to investigate their moisture content and test quality. The sampling paddy positions temperature measuring are were shown in Fig. 1, temperatures were measured(A,B,C,D,E,F,G,H) by a thermocouple type K, connected to a data logger with an accuracy of ± 1oC. An electrical power was measured by a clamp-on meter with an accuracy of ± 0.5 %.

Fig. 2: Photograph of a Must Flow paddy dryer.

III. MUST FLOW PADDY DRYER

The proposed process which is called Must Flow paddy dryer is expected to dry fresh rough rice in short time period without damage [10]. The advantage of this process are able to reduce the side effects, energy consumption, and environmental friendly, It also give high head rice yield, as well as concern the quality of rice. Fig. 2, illustrates the feature of Must Flow paddy dryer. The hot air flows from the husk furnace through the rough rice layer and leaves at the top of chamber through the hopper unit. The high moisture content rough rice fed into the drying chamber and controlled by feed valve. Density of the paddy is used as the selective criteria for the final product. The dried paddy is fed from the chamber by discharge valve then stored in silo tank. During the drying process, the paddy will be separated into short grain, medium grain, long grain, and damaged grain. The beginning stage of drying process is mainly involved in heat exchanging which is able to separate into 3 phases namely preheat, moisture content discharge, and moisture content blowout. The overall process takes time 120 second for long grain paddy. The heat exchanging process is derived from the thin layer theory. The hot air vertical flow of 0.48 m/s is force to flow through the layer of paddy. Fresh paddy is slowly fed forward and be sorted by density and porosity of paddy layer. Heat exchanging and moisture releasing are appearance completed vertically. Relative velocity between hot air and paddy inside Must Flow dryer is very high so that moisture content is removed continuously at very high rate in the chamber while the hot air as well as moisture content flow throughout the chamber's section. Paddy is lifted and dropped in relative to the moving forward direction because

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

the moisture paddy will drop to the below of grill. The relative velocity drop is very high in short residence time. All grain is forced to move forward by the particular temperature strictly control at mention above, the quality of dried paddy and head rice yield is high. The hot spot phenomenon is rarely occurring. The moisture content is controlled well then the growth of micro-organism, fungus and bacteria is limited.

IV. RESULT AND DISCUSSION

In this research, Must Flow paddy dryer with were tested the total fresh rough rice sample 420 tons. The characteristics of the paddy drying are as follows: paddy feed flow rate at 20 t/h, drying hot air velocity in chamber at 0.48 m/s, drying air temperature setting at 150 °C, revolution drying chamber at 280 rpm, and vertical amplitude at 12.5 cm. Experimental results shown is table 1, 2 and 3. Initial moisture content of paddy is 27- 30 %wb, final moisture content of paddy is controlled at 14.9 - 15.1 %wb. The dryer operate continuously, the paddy will be clean by using pre-cleaner. The sampling 300 g of high moisture rough rice and dried paddy has been tested to find the average time and the moisture content by using the G won/GMK- 303 standards. This experimental was conducted for 10 hours. Before drying, the head rice yield, whiteness color index and gum gelatinized has been measured [11], [12]. The moisture content must be measured continuously to adjust the proper temperature in the drying chamber for each batch of paddy .The physical properties and testing conditions of the Must Flow paddy dryer shows in Table I and its properties is compared to the Relying Sunny Breezes and the Fluidized Bed dryer as show in Table II and Table III respectively.

Table I. Quality of paddy by Hom Pathum rice dehumidifier with Must Flow paddy dryer capacity 20 t/h, Drying Temperature 150°C, and paddy sample 300 g. where BR = Brown Rice, HRY = Head Rice Yield.

Sampling	MC_i (%)	MC_f (%)	BR (g)	Husk (g)	HRY (g)	Whiteness
1	29.9	14.9	240.2	60.6	57.7	40.2
2	29.7	14.9	240.3	61.1	58.2	40.2
3	29.4	15.1	240.1	61.3	58.9	40.1
4	27.3	15.1	240.3	60.8	58.3	40.5
5	28.6	14.9	240.2	60.7	58.6	40.1
6	27.1	15.0	240.1	60.9	58.7	40.4
7	28.2	15.1	240.2	61.4	57.9	40.3
8	28.7	14.9	240.3	61.3	58.4	40.2
9	27.9	15.0	240.3	61.1	58.2	40.4
average	28.61	14.99	240.22	61.02	58.32	40.27

Table II. Quality of paddy by Hom Pathum rice dehumidifier with Relying Sunny Breezes, using paddy sample 300 g. where BR = Brown Rice, HRY = Head Rice Yield.

Sampling	MC_i (%)	MC_f (%)	BR (g)	Husk (g)	HRY (g)	Whiteness
1	27.2	15.1	230.1	64.5	54.72	42.8
2	28.1	15.3	231.3	64.6	54.44	43.7
3	27.4	15.4	230.6	65.1	54.56	42.6
4	27.6	14.8	229.9	64.8	54.32	42.9
5	27.7	15.2	229.5	65.2	54.92	43.4
6	28.3	14.9	230.6	64.7	54.24	43.1
7	27.9	15.5	231.2	65.2	54.33	42.7
8	27.8	15.2	229.8	65.2	54.41	42.3
9	27.3	15.5	229.7	64.9	54.46	42.8
average	27.7	15.21	230.30	64.91	54.49	42.92

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

Table III. Quality of paddy by Hom Pathum rice dehumidifier with Fluidized Bed dryer capacity 20 tons/h, Drying Temperature 150°C, and paddy sample 300 g. where BR = Brown Rice, HRY = Head Rice Yield.

Sampling	MC_i (%)	MC_f (%)	BR (g)	Husk (g)	HRY (g)	Whiteness
1	28.5	15.2	225.2	66.2	55.12	38.3
2	28.4	15.6	221.4	66.4	55.34	38.5
3	28.2	14.4	229.3	65.7	55.17	38.7
4	27.5	15.3	222.4	66.8	55.41	35.2
5	27.6	15.6	224.1	66.9	55.39	33.1
6	27.4	14.8	230.6	65.4	55.46	37.6
7	27.7	14.9	221.7	67.1	54.67	38.6
8	28.3	14.3	223.5	67.8	54.78	38.4
9	28.2	14.1	229.8	67.3	55.23	38.2
average	27.98	14.91	225.33	66.62	55.17	37.40

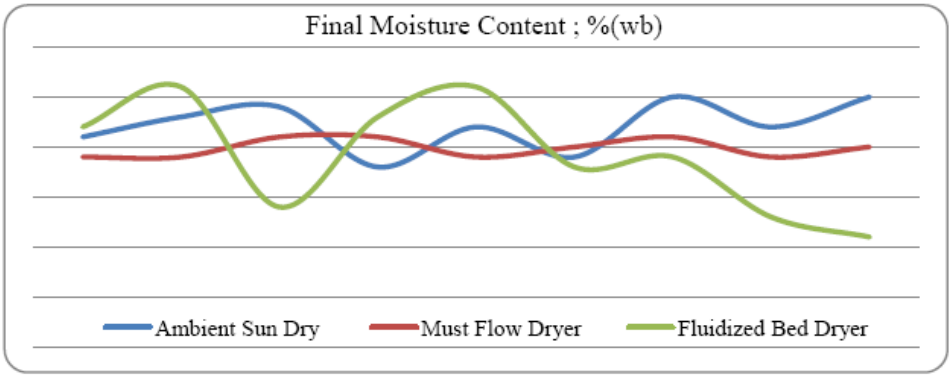


Fig.3: Comparison of the final moisture content of paddy.

Table IV: Comparing the energy consumption of the grain drying process.

Item	Description	Must Flow Dryer 20 t/h		Fluidized Bed Dryer 20 t/h	
		Name Plate (kW)	Current (amp.)	Name Plate (kW)	Current (amp.)
1	Elevator 1	3	4.92×10^{-3}	3	4.88×10^{-3}
2	Cleaner	3	4.73×10^{-3}	3	4.79×10^{-3}
3	Elevator 2	3	4.66×10^{-3}	3	4.71×10^{-3}
4	Poro Dryer	5	8.43×10^{-3}	-	-
5	Blower Dryer	7	0.012×10^{-3}	45	11.52×10^{1}
6	Elevator 3	3	4.61×10^{-3}	3	4.59×10^{-3}
7	Blower Cond.	5	8.36×10^{-3}	5	8.41×10^{-3}
8	Shuttle Vale	3	4.23×10^{-3}	3	4.22×10^{-3}
9	Belt Elevator	5	8.16×10^{-3}	5	8.22×10^{-3}
10	Feed Husk	3	3.96×10^{-3}	3	3.89×10^{-3}
11	Blower Husk	1	1.42×10^{-3}	1	1.46×10^{-3}
12	Screw Ash	1	1.42×10^{-3}	1	1.45×10^{-3}
Summation		42		75	

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

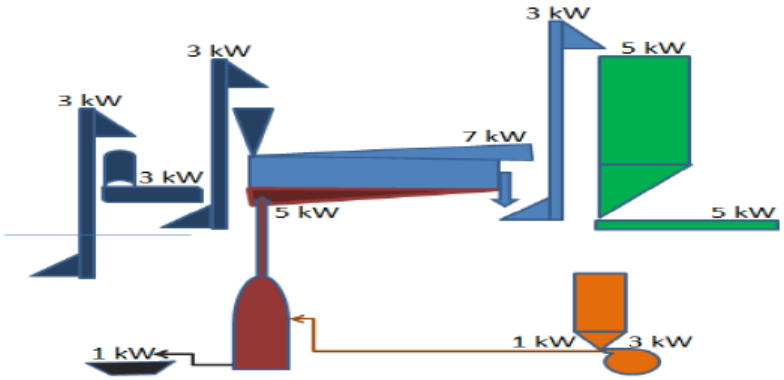


Fig.4: N Electrical power consumption diagram of Must Flow paddy drying process.

The quality of fresh paddy is tested, this research using in three types of paddy dryers to remove the moisture. First type, using Relying Sunny Breezes or with an outdoor concrete patio to dry for 3 days (from 9.00 am to 17.30 pm).Second type, using Fluidized Bed dryer to dry fresh rough rice capacity 20 t/h at drying temperature 115 °C. And third type, using Must Flow dryer to dry fresh rough rice capacity 20 t/h at drying temperature of 150 °C. In this research, using the fresh rough rice Hom Pathum rice from Chacheoungsaow Province, Thailand. Table II shows quality of paddy Hom Pathum rice dehumidifier using relying sunny breezes dried, this method drying on concrete patio thickness 2 cm and then the grain yield spread back with the bulldozer every 30 minutes. Distinguish of nine times were used to sampling the grain at the same place. The final moisture content fall into the range of 14.2 – 15.5 %wb, which is a gap of 1.3 %wb, the head rice yield fall into the range of 54.32–54.92 %, and the whiteness color index fall into the range of 40.1–40.7 (show in fig. 3). Table III shows the final moisture content of the Fluidized Bed dryer with nine sampling, the final moisture content fall into the range of 14.1 - 15.6 %wb, which is a gap of 1.5 %wb. The head rice yield fall into the range of 54.67 – 55.46 % and the whiteness color index fall into the range of 33.1–38.7. Table I shows the final moisture content of the Must Flow dryer which nine times sampling, the moisture content fall into the range of 14.9-15.1%wb which is a gap of 0.2 %wb, the head rice yield fall into the range of 57.7 % to 58.9 % and the whiteness color index in range 40.1 to 40.5. It can concluded that the method of drying dehumidifier of Must Flow dryer is able to make the final moisture content close to the same value, and derive the head rice yield higher than Fluidized Bed and concrete patio dryer. And found that the whiteness color index value of its fall into between the exposed concrete patio and Fluidized Bed dryers. In term of electrical energy, for the exposed concrete patio does not require electricity but it use a lot of labour force (about 50 persons per concrete patio) and must take time to reduce humidity for 3 days (about 26 hours). For the Fluidized Bed data as shown in Table 4, which can combine the total electric power consumption of the drying process 75 kW, the main power of its use for drive the fan to create a pressure drop in the drying chamber to achieve a phenomenon fluidized bed most about 45 kW. Must Flow dryer using the total electric power consumption 42 kW, regarding the main power for 12 kW, 5 kW uses for a phenomenal Must Flow in a drying room and for moving the drying chamber to create porosity drying bed and 7 kW uses for move the moisture out of the chamber by the blower

For above mention found that the techniques to reduce the moisture content between Fluidized Bed dryer and Must Flow dryer are different, as shown in Fig. N. The electrical power consumption of Must Flow dryer using less than Fluidized Bed dryer about 33kW and economize 12 men per shift operations to maintain control of the drying process and collect samples for analysis.

V. CONCLUSIONS

By using Hom Pathum rice which is grown in Chachoengsao province at the quantity of 420 tons to be the sample to test for drying dehumidifier. It found that the moisture content is able to be reduced into different level due to the different methods such as Relying Sunny Breezes or concrete patio dryer will provide the head rice yield average 54.62 %, can reduce the humidity to final moisture content at the average of 14.85 %wb, and give the whiteness color index at the average of 40.4.Fluidized Bed dryer the time taken of drying process shorter and using less lab or force than the Relying Sunny Breezes or concrete patio dryer. It can produce the head rice yield at the average of 55.06 %, the final moisture content at the average of 14.85 %wb, and give the whiteness color index at the average of 35.9. Regarding the Must Flow

International Journal of Mechanical and Industrial Technology ISSN 2348-7593 (Online)
Vol. 2, Issue 1, pp: (45-50), Month: April 2014 - September 2014, Available at: www.researchpublish.com

dryer for drying, it can operated at superior level because of it can save the electrical power consumption 33 kW, the final product has met the criteria of the head rice yield at the average of 58.3 %, the final moisture content at the average of 15.0 %wb, and give the whiteness color index at the average of 40.3 which is fallen in between the concrete patio and the Fluidized Bed dryer.

Notice that the results of analysis from the operator's questionnaires, the response found that the Must Flow dryer is more convenience use and easier control of the drying process than the Fluidized Bed dryer.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the suggestions of Assoc. Prof. Dr. Santi Wangnipparnto, electrical department, Pathumwan Institute of Technology, Asst. Prof. Dr. Paitoon reingkamol, retirement due to old age from science and technology department, Pathumwan Institute of Technology, Dr. Dusit Ngamrungroj, social and applied science department College of Industrial Technology, King Mongkut's university of technology north bangkok. And wishes to express their thanks to Nathong Rice Mill company limited for all un-husked rice plant dryer.

REFERENCES

[1]. Soponronnarit S. and Prachayawarakorn S., "Optinum Strategy for fluidized bed paddy drying", Drying Technology, Vol. 12, No.7, pp. 1667 - 1686, 1994.

[2]. Han W., Mai B. and Gu I., "Residence time distribution and drying characteristics of a Continuous vibro-fluidized bed", Drying Technology, Vol. 9, No. 1, pp.159-181,1991.

[3]. Ringer D. and Mujumdar A.S., "Flow and immersed surface heat transfer in a vibrio Fluidized bed", proceeding of third International symposium on Drying at McGill University, Montreal, pp.201-207,1982.

[4]. Yapha M. and Soponronnarit S., "Design and testing of pilot continuous fluidized bed paddy dryer" Master of Engineering, Energy technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi,1994.

[5]. Bunyawamichakul P., Walker G.H., Sorgison J.E. and Doe P.E., "Modeling and Simulation of paddy grain (Rice Drying in a simple Pneumatic Dryer)", PH – Postharvest technology, 2006.

[6]. Yapha M. and Bunyawanichakul P., "Analysis and prototype design of the commercialized combined double feed microwave source and spouted bed system (a cases of paddy drying)", the 7th International at Srinakarinwirot University, Bangkok, April 1-2, 2013.

[7]. Yapha M. and Dhussady N., "Rectangular plane dryer for paddy drying" the 11st Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and process,Chaolao Cabana,Chanthaburi, March 14-15, 2012.

[8]. Yapha M. and Bunyawanichakul P., "Must Flow Dryer for coarse Rice", the 13th conference an energy heat and muss thermal equipment and process ChaolaoCabana, Chenthaburi, March 13-14, 2014.

[9]. Yapha M. and Bunyawamchakul P., "Must Flow Dryer for Rough Rice", The second International conference on Green computing Technology and Innovation, Asia Pacific University of technology and Innovation, ISBN: 978-0-9891305-4-7, pp. 26-30, 2014.

[10]. Tuynaak P., Chuchonaak M., Yapha M. and BunyawanichakulP., "Influence of flow rate and temperature of hot air to moisture content reduction of paddy (case study of Must Flow paddy dryer)", MEnett 27th DhusitThani, PattayaChonburi, October 16-18, 2013.

[11]. Naaksang S, Chuchonaak M. and YaphaM., "Experimental study of paddy drying using pneumatic paddy dryer", The 12nd conference on energy heat and mass transfer equipment and process, Imperial golden triangle, chiangsan, chiangrai, pp. 94-99, March 14-15, 2013.

[12]. Yapha M., Bunyawanichakul P.and Hayinilah N.,"Coarse Rice Products by Must Flow Fluidization Techniques Diabetes Patients", International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN: 2319-7064, Vol. 3 Issue 6, pp. 9-13, June 2014.

International Journal of Science and Research (IJSR)
ISSN (Online): 2319-7064
Impact Factor (2012): 3.358

Coarse Rice Products by Must Flow Fluidization Techniques for Diabetes Patients

Mustafa Yapha[1], Pracha Bunyawanichakul[2], Nifahmee Hayinilah[3]

[1, 2] Research Center of Agricultural Engineering and Product Design, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak Distric, Nakornnayok Province

[3]Chanae Hospital, Chanae District, Narathiwas Province 96220

Abstract: *Rice is the food of mankind contains the most important nutrients that human body need. It is the most important economic crop of Thailand that sold as an income in form of foreign currency. On the other hand, if it is produced in from of particular products for specific consumer, it will increase in value as well. For example, patients with diabetes has an excessive sugar syndrome that should not be eaten white rice, but able to eat coarse rice normally. Therefore, in this paper, the fresh harvested paddy (Rough Rice) from field that dried by Must Flow dryer and then de-husked into Coarse Rice is studied their opportunities for diabetes patients consume. In this research, Rough Rice of "Hom-Mali-Daeng" from Nakhornnayok provience of 700 tons are dried by Must Flow dryer to meet the commercial Rice Mill standard. Hot air temperature of 150°C is used to remove the water evaporated from Rough Rice to the final moisture content of 14.9-15.1%wb within one-pass operation with unlimited initial moisture contents. It is then de-husk into Coarse Rice and test their nutrients. It is found that have higher nutrients contents than fluidized Bed dried Coarse Rice. Test results of clinical neurology for diabetes patients who always eat this Coarse Rice could be control the sugar level in blood within the normal range and this could be another way to relieve the diabetes symptoms. In addition, the texture of Coarse Rice is tenderness, aroma and no dullness meets with the nutritious therapy. The most important is that the lower level of energy consumption of Must Flow Dryer operation.*

Keywords: Dryer, Dehydration, Must Flow, Rough rice, Coarse rice.

1. Introduction

Health is most important factor of human being. If you have a good health, your lifestyle is then good as well. Also, if the citizen has good health, faster development of country could be finally obtained. It is known that for those who not eating properly would causes various diseases. For example, eating high carbohydrate or more sweet would causes diabetes. But, for those who eating in the right way, it might encourage the good health. Typically, rice is the major source of carbohydrate for human body. It is the compound of carbon, hydrogen and oxygen that composed into molecule of the small until large size. It is the most important nutrient for life because it is the main source of energy. It could classified by physical and chemical properties into two types as sugar that would soluble in the water and starch and cellulose that would not soluble in the water. The smallest molecule of carbohydrate classified into three types;

1. Monosaccharide such as glucose, fructose and gallactose
2. Disaccharide such as Maltose, Lactose and Sucrose
3. Polysaccharide such as Starch, Glycogen and Cellulose

It can be seen that monosaccharide carbohydrate in form of glucose could be directly absorb through the intestinal wall to change into energy that the human body required by means of metabolism process. An excessive carbohydrate would keep in form of glycogen in the liver to maintain the level of glucose in blood. For others form of carbohydrate such disaccharide and starch that the human body could not directly absorb must have enzymes to decompose into the form of monosaccharide carbohydrate. As mentioned earlier, Rice is known to be an important source of carbohydrate. To obtain the high quality carbohydrate and safe for eating, the process of quality management of rice must be done neatly and appropriately. In generally, Rice is the seasonal crop and simultaneously harvested at the same time. Therefore, if handling with an improper process, it could cause losses in both quality and quantity, particularly, moisture content inside grain which is the most important factor that might accelerate the losses of rough rice. Then, the rough rice must control their moisture content into an exactly level with highly delicate process because of the following reasons. 1.Moisture can affect the spoilage of rough rice during storage due to microbial growth that could occur when the moisture content is enough for the growth of microorganisms such as bacteria, yeast and fungal. 2. Moisture can affect the food safety of rice due to the growth of pathogen microbial that produce the toxic substances such as aflatoxin and patulin that harmful for human health. 3. Moisture can affect the physical and chemical properties of rough rice such as boiling point, melting point, conductivity and specific heat capacity. 4. Moisture can affect the appearance texture that represents the quality of rough rice such as crispness, hardness, toughness and cake homogeneity. 5. Moisture can affect the chemical reaction of rough rice during storage such as Browning Reaction and Lipid Oxidation. 6. Moisture affect the selling price of rough rice that varied according to the level of moisture content. From the foregoing reasons, it is necessary to invent and design the new dryer that have neatly and appropriately operation to reduce and control moisture content of the rough rice into the same level.

2. Must Flow Dryer

This research paper aims to study the moisture reduction process of "Rough Rice" that mean the paddy that freshly harvested from the field and never pass any process before which contain moisture content of 33%wb , 30%wb, 28 %wb, and 38%wb when harvest at the morning, afternoon, evening and during the rain fall, respectively. If there not manage neatly and properly, it could cause losses in both

Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY

International Journal of Science and Research (IJSR)
ISSN (Online): 2319-7064
Impact Factor (2012): 3.358

quality and quantity of rough rice. There are now two different ways to manage rough rice in Thailand. First way is drying to reduce the moisture and then mill and contain in commercial size bags for sale in the market. Second alternative way is drying to reduce moisture and then stored in silos in form of rough rice and waiting for sale with an appropriate marketing opportunity. From the present practice that the rough rice might keep in silos for a long time before mill and sale in the market, if there still have excessive moisture content in rough rice grain, some microorganism such as bacteria yeast and mold could be growth and causes deterioration. Therefore, the most important process is the drying process to reduce moisture content of rough rice before storage and mill. It has many of research in the past develop the more effective moisture reduction machine. Hence, LSU and Fluidized bed dryer is now the standard dryer for rough rice in Thailand. It is generally used in commercial rice mill but still have some pros and cons. With today world trade of rice which has the system to control the quality of rice to meet the specific standard and specification of moisture content of each grain, therefore, the more neatly drying process is required. Must Flow Dryer which is the newly develop dryer that could reduce the moisture content of each paddy grain into nearly the same level of final moisture content within one-pass operation either if it has any initial moisture content seem to be more appropriate for rough rice drying to meet the world trade specification and standard. The schematic diagram of Must Flow dryer shows in Figure 1.

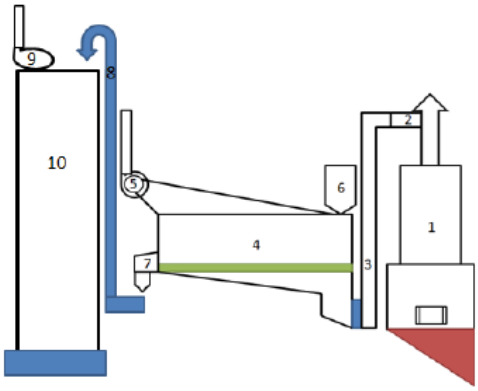


Figure 1: Schematic of Must Flow Dryer are 1.Furnace Renewable Energy, 2. Baffle Valve & Safety Device, 3.Hot Air Main Duct, 4.Must Flow Chamber, 5.Exhoust Blower, 6.Feed Hopper, 7.Discharge Port, 8.Bucket Elevator, 9.Moisture Suction Fan and 10.Silo Tank.

Figure 1 illustrates the component and system of Must Flow Dryer that develop to have the more effective moisture reduction of rough rice. It designs for working continuously and uses for the purpose of moisture content reduction to the final moisture content required that can be stored without any change of rough rice features. It has 20 t/h operating capacity, 700 x 120 x 140 cm in length x width x height of drying chamber, 120 x 700 cm in width and length of hot air distributor plate. It also equip with 3,000 MJ/h hot air generator at the air inlet of drying chamber, 3 kW suction blower on the top of drying chamber and 200 tons capacity of storage silo at the paddy outlet of drying chamber.

Working principle of Must Flow Paddy dryer can be briefly described as follows; fresh harvested paddy with high moisture content is fed into the Feed Hopper (6). The feed rate can be control by feed valve. Then, the paddy was dried in the drying chamber of Must Flow Dryer (4) that operate with 0.6 m/s of hot air velocity and 150°C of hot air temperature which forced to move alternately up and down with frequency of 280 rpm. The paddy is then move along the drying chamber obtain the heat and transfer the mass with hot air until finally reach the Discharge Port (7) and Bucket Elevator (8). The paddy grain will then be conveyed to silos to cooling and tempering for 10 hours. Hot air obtained from rice husk burning is flow from the top of Furnace (1) through Baffle Valve & Safety Device (2). It then flow through Main Duct (3) and mixed with fresh air to get the desire temperature. Then, this hot air is sucked through the Must Flow Drying Chamber (4) and pass the layer of paddy and finally discharged through Blower (5) with a dehydrate moisture from paddy grain.

3. Experimental Set Up

In this paper, hot air temperature of 150°C is settled for rough rice drying inside the drying chamber of Must Flow Dryer. At the feeding point, initial moisture content of rough rice is around 28.1-38.3%wb. The drying chamber shakes at 280 rpm frequency by the operation of lifting arm. Hot air velocity above the air flow distribution plate of 0.6 m/s is then sucked through outlet blower. Rough rice inside drying chamber is then start to move forward periodically along the drying chamber length by means of lifting force generated by lifting arm combined with suction force generated by outlet blower. These forces make rough rice periodically suspends in the air and causes the heat and mass transfer by latent heat evaporation, these phenomena called "Must Flow Bed Drying". Moisture inside rough rice grain started to move to the grain surface and then transported into air stream and the final moisture content of 14.9-15.1%wb could finally be obtained. After that, dried rough rice is conveyed to store in silos tank for 10 hours. Rough rice samples of 500 g are collected every 1 minutes before and after pass through Must Flow Dryer to check the final moisture content that is weather in accordance to the commercial sale standard or not. The Laboratory testing of nutrients such as dietary fiber, niacin, calcium ferrous zinc and etc., is conducted by rough rice grinding. The testing results will given as a specification of each lot of rough rice in silo tank that waiting for de-husking into course rice when it has an order from customers. While the rough rice move freely inside drying chamber, it is forced to suspend periodically in the air stream and cause the force convection heat and mass transfer phenomena same as a thin layer drying. Rough rice is well mixed with hot air. Rough rice grain is travelling forward along the drying chamber length in the different distance depend on their own density. It is then dried rapidly due to the large relative velocity different during the gravitational free falling down of rough rice grain with air stream during a periodically moving forward. The cavity between rice grains is clearly observed and resulting in the very high bulk density rough rice bed and cause large amount rate of heat and mass transfer that may varied directly to the bulk density. Due to the high relative velocity and short exposure time of rough rice grain to the hot air stream inside drying

Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY

International Journal of Science and Research (IJSR)
ISSN (Online): 2319-7064
Impact Factor (2012): 3.358

chamber, it may cause the little amount of micro cracking and low level of dullness of grain.

4. Result and Discussion

This paper tested the drying 700 tons of "Hom Mali Dang" Rough Rice harvested from Nakhon Nayok province by Must Flow Dryer with temperature of 150°C to give final moisture content of 15 %wb for the production of Course Rice by the order number 14012577. As shown in Figure 2 and Figure 3 that was observed in the first 40 cm of drying chamber that called Preheat stage, rough rice grain start to move forward and expose to hot air, and in this stage it will have started to change and adjust their movement depend on their size and shape. And in the following 200 cm, it is the drying process during the constant drying rate period. Subsequently, in the next 600 cm, it is dried in the reduction drying rate period, the moisture of rough rice grain is reduced by exposure to hot air at a relatively high speed, with the suction of the fan. And finally in the last 100 cm length of drying chamber, it is the adjustment moving of rough rice grain, which is a stage of delicate moisture transpiration.

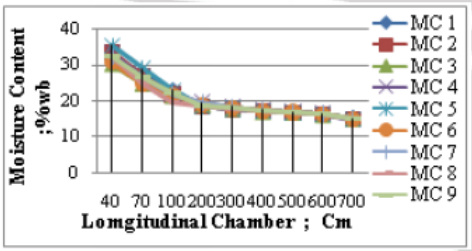


Figure 2: Moisture content reduction at the different position of drying chamber for rough rice with different initial moisture content.

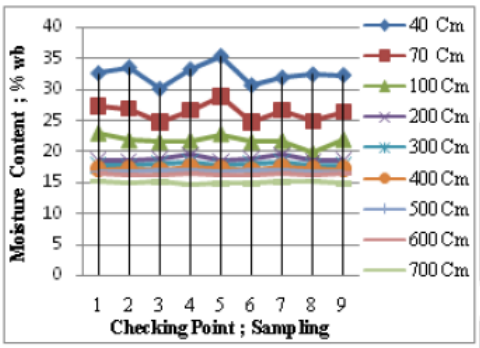


Figure 3: Distribution of rough rice moisture content at different positions of cross section for different traveling position along the drying chamber of must flow dryer.

Figure 2 show that drying of rough rice with different initial moisture content by Must Flow Dryer can reduce moisture into nearly the same final moisture content of 15%wb within one-pass operation. And the dried rough rice is then stored in 200 tons capacity Silos tank for 10 hours. The reason for this newly invented dryer "Must Flow Dryer" can be reduce the moisture content of rough rice to nearly the same level within short time period assumed that the results of behavior of the lifting of rough rice grain and free falling in the opposite direction of the up-coming hot air stream . It causes a very high relative velocity which may resulted in the high rate of moisture transfer at the surface of rough rice grain. This convection moisture transfer might higher than the rate of moisture diffusion from the inside of rough rice grain.

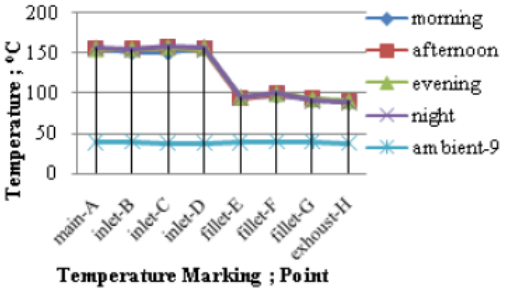


Figure 4: Distribution of air temperature along the drying chamber of must flow dryer for different testing time of working day.

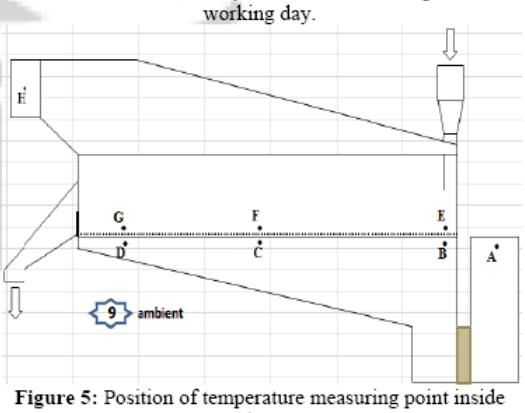


Figure 5: Position of temperature measuring point inside Must Flow Dryer

Table 1: Rough Rice Drying Condition (500 g sample collected for each items) at Capacity 20 t/h, $RH_{average}$ 71.1% Setting, Chamber temperature 150°C

Item	Volume (tons)	MCi (%wb)	MCo (%wb)	Husk Fuel (kg)	Grain Temp. (°C)	Brown Rice (%)	Husk (%)
1	178	32.6	15.2	1400	66.5	76.98	23.02
2	206	33.5	15.0	1590	66.3	77.49	22.51
3	140	30.1	15.1	1140	65.8	77.15	22.85
4	172	33.2	14.8	1400	65.9	77.31	22.69
5	146	35.3	14.9	1140	65.8	76.81	23.19
6	123	30.7	14.9	1110	66.0	76.88	23.12
7	105	31.9	15.1	1100	66.4	78.92	23.08
8	132	32.4	15.2	1110	66.1	77.91	22.09
9	180	32.3	14.9	1400	66.2	77.94	22.06

Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY

International Journal of Science and Research (IJSR)
ISSN (Online): 2319-7064
Impact Factor (2012): 3.358

Table 2: Comparison of Nutrients test result of Rough Rice collected from Must Flow Dryer (MFD-206, MFD -140, MFD-172, MFD-146) and Fluidized Bed Dryer (FBD-118)

Description	FBD-118	MFD-206	MFD-140	MFD-172	MFD-146
Protein	6.43 g	8.34 g	8.27 g	8.61 g	8.01 g
Fiber	4.23 g	5.22 g	5.31 g	5.24 g	5.28 g
Vitamin B1	0.35 mg	0.48 mg	0.42 mg	0.45 mg	0.44 mg
Vitamin B2	0.06 mg	0.09 mg	0.09 mg	0.08 mg	0.09 mg
Niacin	0.52 mg	0.69 mg	0.67 mg	0.67 mg	0.68 mg
Ferrous	1.42 mg	1.69 mg	1.76 mg	1.71 mg	1.74 mg
Calcium	30.15 mg	33.45 mg	33.26 mg	33.32mg	33.41 mg
Zinc	1.89 mg	2.71 mg	2.84 mg	2.79 mg	2.78 mg
Manganese	1.35 mg	2.05 mg	2.09 mg	2.03 mg	2.09 mg
Iodine	1.98 µg	2.83 µg	2.81 µg	2.79 µg	2.84 µg

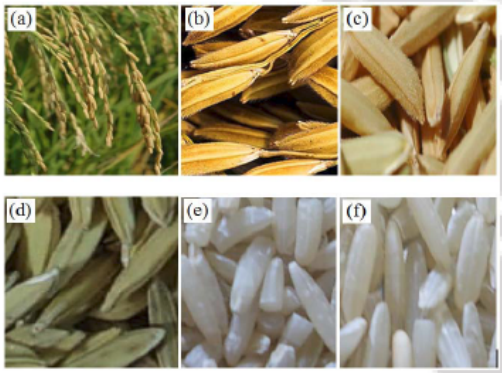


Figure 6: (a) Rough rice on Rice Field, (b) Rough rice from Sun Dried, (c) Rough rice from Must Flow Dryer, (d) Rough rice from Fluidized Bed Dryer, (e) Coarse rice from Fluidized Bed Dryer and (f) Coarse rice from Must Flow Dryer

5. Conclusion

Drying of rough rice by Must Flow Dryer using husk burning as heat source can quickly reduce the moisture content and save energy. Must Flow Dryer can be used to dry rough rice without any limit of initial moisture content as seen from the results of rough rice drying from initial moisture content of 28.1-38.3%wb to nearly the same level of final moisture content of 14.9-15.1%wb in this paper. These data collect from an industrial scale Must Flow Dryer that operated to dry rough rice of 1,328 tons for course rice production and export. Laboratory testing results of nutrients in tables 2 and table 3 show that these course rice suitable for diabetic patient to consume because carbohydrate in form of Monosaccharide is immersed into the fiber and slowly absorbed through intestinal wall that would be the great advantage to control the level of sugar in blood within the limit of human body need. Therefore, Must Flow Dryer is the most suitable machine for course rice production due to their delicate control of the final moisture content of rough rice.

6. Acknowledgment

The authors would like to acknowledge the suggestions of Dr.Khosak Achawakorn Director, Sripatum International College, Sripatum University. And wishes to express their thanks to Nathong Rice Mill Company limited for all rough rice plant dry.

References

[1] Badaway AS, Gerba CP, Kelly LM. "Survival of rotavirus SA-11 on vegetables.",Food Microbiology, (2) pp.199-205, 1985.
[2] Bagdasargan GA. "Survival of viruses of the enterovirus group (poliomyelitis, ECHO,Coxsackie) in soil and on vegetables." ,Journal of Hygiene, pidemiology,Microbiology and Immunology,(8), pp. 497-505, 1964.
[3] Brackett RI. "Antimicrobial effect of chlorine on Listeria monocytogenes",J Food Protection, (50), pp. 999-1003 1987.
[4] Shank, RC, Wogen GN and Gibson JB. "Dietary aflatoxin and human liver cancer l. Toxigenic molds in foods and foodstuffs of tropical South-East Asia.", Food and Cosmetic Toxicology, (10), pp. 51-60, 1972.
[5] Broker D B; Bakker-Arkema F W; Hall C W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds, AVI Book Publishing, New York, 1992.
[6] Bunyawanichakul P.; Walker G.H.; Sargison J.E.; Doe P.E., Modelling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer, PH-Postharvest Techonlogy, 2006.
[7] Han, W., B. Mai, and T. GU. "Residence time distribution and drying characteristics of a continuous vibro-fluidized bed". Drying Technology, 9(1), pp. 159–181, 1991.
[8] Mustafa Y. and Nathawood D."Rectangular plane dryer for paddy drying" The 11sd Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, Haadchaolao Chanthaburi, March 14-15, pp.87-93, 2012.
[9] Yapha M. and Soponronnarit S., "Design and testing of pilot continuous flpidized bed paddy dryer", Master of Engineering, Energy Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 1994.
[10] Tuynaak P.,Chuchonaak M., Yapha M. and Bunyawanichakul P., "Influences of Flow Rate and Temperature of Hot Air to Moisture Content Reduction of Paddy (Case Study of Must Flow Paddy Dryer)" ME-nett 2013no.27, Dusit Thani Patthaya, Chonburi, Oct 16-18, 2013.
[11] Manichot N., Yapha M., Chuchonaak M. and Bunyawanichakul P., "Influence of hold size of air distributor and height of paddy bed to working characteristics of Must Flow dryer" ME-nett 2013 no.27, Dusit Thani Patthaya,Chonburi, Oct 16-18, 2013.
[12] Naaksang S.,Chuchonaak M. and Yapha M., "Experimental study of paddy drying using pneumatic paddy dryer", The 12nd Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, p.94-99, Imperial golden triangle. Chiangsan Chiangrai, March 14-15, 2013.
[13] Chitsomboon T.,Khaengkarn S. and Pechnumkheaw K. , "Free fall paddy rice dryer (A fast and energy efficient dryer)", The 2nd Conference an national short course on energy,Suranaree university of technology,July 27-29, 2006.

Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY

International Journal of Science and Research (IJSR)
ISSN (Online): 2319-7064
Impact Factor (2012): 3.358

[14] Mustafa Y. and Bunyawanichakul P., "Must Flow Dyer For Coarse Rice", The 13th Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, Haadchaolao Chanthaburi province, March 13-14, pp.11-15, 2014.
[15] Tuynaak P., Chuchonaak M., Mustafa Y. and Bunyawanichakul P., "Study of Working Behavior of Must Flow Dryer", The 13th Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, Haadchaolao Chanthaburi province, March 13-14, pp.5-10, 2014.

Author Profile

Bachelor degrees in industrial art, Kamphaeng Phet Rajabhat University. **Master degree** in Engineering, Energy Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Experience, Rice Engineering company limited, Bangkok, Thailand, Musta Engineering company limited, Bangkok, Thailand, Kaskal company limited, Samutprakarn, Thailand, Eternal Resin company limited, Samutprakarn, Thailand, Rubia Industrial company limited, Samutprakarn, Thailand, and Padaeng Industry company limited, Tak, Thailand.

Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY

Must Flow Dryer for Rough Rice

Mustafa Yapha[1], Pracha Bunyawanichakul[1] and Nifahmee Hayinilah[2]
[1]Resaerch Center of Agricultural Engineering and Product Design, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak Distric Nakornnayok Province
[2]Chanae Hospital, Chanae District, Narathiwas Province 96220
Email: yapha77@gmail.com

ABSTRACT

Rice is one of important global food supply. It also play important role in Thai economic. However, the value of rice depends on many factors. Rough rice drying process is very important, time consume, and energy consume. Various researches try to improve the shelve life of rice and reduce the energy consumption. This research focuses on preserve the nutritious and property of rice as long as possible. Rice from this developed process is expected to be good for the consumer and able to keep for longer time. Hazardous germ and fungus is going to be limited. This requirement can be fulfilled under the controlled condition. Must Flow dryer show the capability in reducing the moisture content to the required level in short time. The developed process spent 150 second for long grain rough rice drying. The moisture content is reduced to 15.11%wb. The experiment has done using 400 tons of rough rice. The control temperature for normal process is 130 °C. The energy consumption is 3.89 MJ/$kg_{water\ evap.}$ The dried rough rice need 10 hours for strain relieve. This process increase the head rice, color index, and gum gelatinization compare to the conventional process. The developed Must Flow dryer give many advantage including energy consumption efficiency.

KEYWORDS

Dryer, Rough rice, Coarse rice, Must Flow

1 INTRODUCTION:

Rough rice drying process is the most important process of rice pollution. Many researcher invent many technologies extend salve life of rice, increase head rice yield and improve the quality of rough rice.[1] The rice merchandisers also have to concern the effect the consumer's health which is very important. Rice production process is directly effect the quality of rice especially the drying process. In the pass, rice industry most concern are head rice yield and color index. Rice colors tend to darker due to the drying process with high temperature.[2,3,4] The conventional drying process also high energy consumption modern drying process LSU dryer rough rice dry fall to let the rough rice flow acres hot air increase the surface area. The second popular process is fluidized bed feed the rice from side of the dryer then let rice flow by pressure of hot air.[5,6] Then distance rough rice flow from the extreme to the end of process improve the efficiently of heat exhausting compare to LSU process. However, the fluidized bed process require very high efficiently pressure constant higher. The third process is spouted bed drying. The rough rice is feed from the downside through pressure pipe. Hot air and rough rice are mixed together then flow like fluid. Drying flow in the pipe, heat exchanger process and flow is easy to control. However, the drying process must be control carefully.[7] Those three popular rice drying process still have major drawback which are model to be improve. They also need to be controlled by experienced operator. This research, focus on inventing new rough rice drying process. The objective to produce healthy rice. The let fever from the process is used for heat source of the heating process. The energy consumption of the proposed process is a lot more efficient compare to the fluidized bed process.

2 MUST FLOW ROUGH RICE DRYER:

The proposed process is called Must Flow dryer. The process is expected to dry rough rice in short period without damage.[8] The process must not have the side effect of the consumer, energy

saving, environment friendly and give high head rice yield. The quality of rice is also concerned.

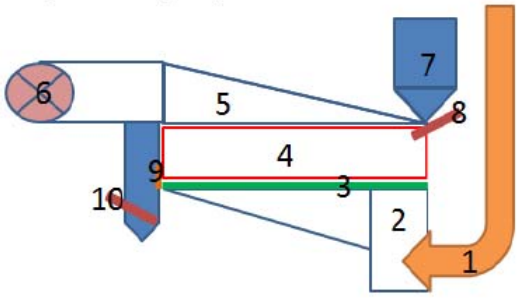


Figure 1. Schematic of Must Flow Dryer: 1.Hot air duct, 2.Hot air mixer launder, 3.Must Flow distributor, 4.Must flow drying chamber, 5.Moisture cover chamber, 6.Suction blower, 7.Wet rough rice hopper, 8.Screw feed valve, 9.Mechanical Fluidization weir, and 10.Screw discharge valve.

Figure.1 illustrates the function of Must Flow Dryer. The hot air flow from the downside (1) of the chamber through the rough rice moisture content will leave the chamber (4) from the top of the chamber (5). The high moisture rough rice will be feed into the drying chamber using screw feeder (8). The rough rice enters the drying chamber from the upside of the chamber (7) than more to the outlet to the chamber. Density of the rice is used as the criteria to select the rice (3). The dried rough rice is feed from the chamber by screw discharger (10) then stored in silo tank.

During the drying process the rice is sorted automatically into short grain, Medium Grain, Long Grain and damage rice. The beginning stage of drying process mainly involve in heat exchanging which is able to separate into 3 phrase. The overall process takes 150 second for long grain rice. The heat exchanging process is subjected to thin-layer theory. Vertical flow type, the hot air is force to flow through the layer of rough rice with hot air velocity 0.48 m/s. Rough rice is slowly feed forward and be sort by density and porosity of rice layer. Heat exchanging and moisture release are completed vertically. Relative velocity between hot air and rough rice of Must Flow dryer is very high so that the moisture content is removed at very high rate.

The fluidized bed drying process uses the hot air velocity between 2 to 5 m/s. But, the Must Flow dryer use the hot air velocity between 0.5 to 1 m/s only. The high relative velocity cause by the cross flow of hot air and rough rice. Hot air in the chamber continuously flows through the chamber's section. Rough rice is lifted and dropped (Plan velocity) because the moisture rice will drop to the grill below. The relative velocity during drop is very high so that the time is shortened. All grain is force to more forward the temperature of the rough rice in the chamber is control strictly. The equality of dried rough rice and the head rice yield is high. The hot spot phenomenon is rarely occurring. The moisture content is controlled well. Then the growth of microorganism, fungus and bacteria is limited.

3 EXPERIMENT SET UP:

The experiments consist of design and build the Must Flow drying. Temperatures used in experiment are 120 °C, 130 °C and 140 °C hot air velocities is 0.5 m/s. The hot air velocity is average by the plane section of flow. Moisture content of rough rice is 36.30 %wb after dried. Moisture is control at 15.11 %wb. The total rough rice weight 400 tons. The drier world continuously, the rough rice will be clean using drum cleaner. Screw feeder is used for rough rice feeder. The rough rice is continuous feed into the chamber. The whole batch of rough rice is feed to the chamber. The average time can be calculated. The sampling 500 g of rough rice and dried rice has been test for moisture content using the G-won/GMK-303. The dried rice from the Must Flow drying has been leave for 10 hours. Before the head yield, color index and gum gelatinized has been measured.[9] The moisture content must be measure continuously to adjust the proper temperature in the chamber for each batch of rice. Since each both of rough rice of different in physical properties and condition.

4 RESULTS AND ANALYSIS:

The experiment of rough rice drying process reduces the moisture content from 36.30 %wb to 15.11 %wb. Use temperature of hot air at

ISBN: 978-0-9891305-4-7 ©2014 SDIWC

130 °C, the long grain takes 150 second in Must Flow dryer. The dried rice must be leaving 10 hours. For strain release and gum gelatinized process. The high temperature with shorter time is good for gum gelatinized process and reduced the moisture very well as illustrated in figure 2.

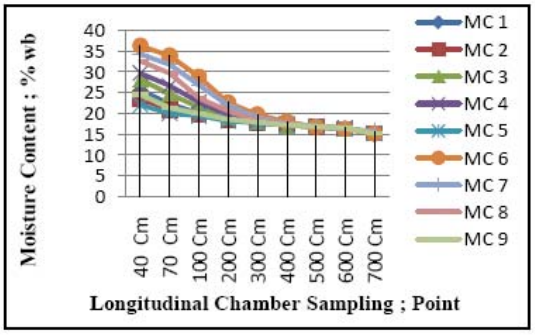


Figure 2. Moisture contents the rough rice at temperature 130 °C in Must Flow drying process.

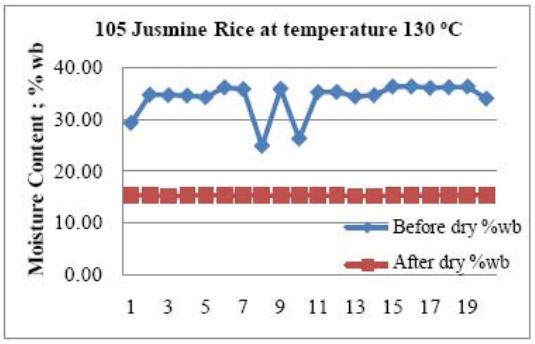


Figure 3. Moisture content from rough rice pass Must Flow dryer at 130°C

The most important phenomena shown in figure 2 and figure 3 are the drying efficiency of the Must Flow dryer. The moisture content of the rough rice is reducing continuously without slow down. The reason that this drying process can reduce the moisture without slowing down can be assumed that the high relative humidly cause this high efficiency output.[10] The heat exchanging and moisture transfer occurred at the surface of the rough rice at all the time which is mater the moisture release the grain. Considering the moisture gradient of the drying process, the moisture release rate is always high.

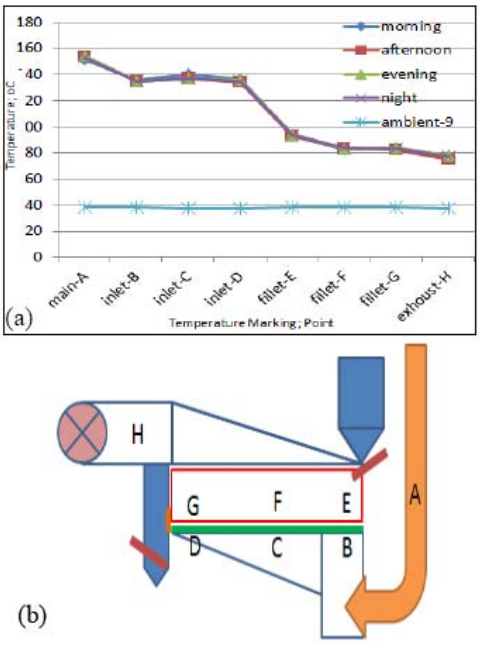


Figure 4. (a) Temperature with location in Must Flow drying. (b) Location temperature of rough rice in Must Flow drying four period times.

Figure 4 show the temperature at hot air enter the Must Flow dryer at point B, C and D which is located launder the grill number E,F and G. The located in Must Flow chamber, located a bit higher than the rice lager. The point H is the measuring moisture exhaust air that is needed to be release from the chamber. The hot air and the rough rice are feed to the chamber. The rough rice is feed vertically. Must Flow dryer a process is considered to be satisfied if the temperature of point E, F and G steady, as shown flat graphs compare to the conventional drying process that must be separated in to 3 stages. The preheat stage, the moisture release stage and the last stage which is the moisture release from the inside of grain. The third stage slowdown shown in figure 5.

The drying process using Must Flow dryer can reduce the moisture content of rough rice from 36.30 %wb to 15.11 %wb. The sampling has been

done every hour. The results show that the process is high efficiency, continuously high performance. The rate hot air flow can be calculate by

$$\dot{m}_a = \rho AV \quad (1)$$

Where V = Average velocity of the hot air flow through rough rice porosity layer. The velocity has been measure using CFM Thermo-Anemometer/DT-620 which is 0.48 m/s. The drying process with 130 °C temperature controls the rough rice flow through the dryer any time. The energy consumption can be calculate by

$$Q = \dot{m}_a[(1 - M_v)C_{pa} + C_v W_a](T_0 - T_1)\Delta t \quad (2)$$

The moisture release rate can be calculate

$$w_1 - w_2 = d(M_1 - M_2) \quad (3)$$

The porosity factor is gap between the grains. Energy consumption and exchange is bulk density factor. Percentage of porosity can be calculate by

$$\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100\% \quad (4)$$

Where ε = Percentage of porosity, ρ_t = True density and ρ_b = Bulk density

(A) Rough rice drying by Fluidized Bed dryer (B) Rough rice drying by Must Flow dryer (C) Course rice drying by Must Flow dryer

Figure 5. (A, B) Show Color of rough rice of Must Flow dryer and Fluidized Bed. (C) Show Color of course rice of Must Flow dryer.

High moisture content of rough rice drying process use hot air at 130 °C consume the energy of 3.89 MJ/kg $_{\text{water evap}}$. Comparing the Must Flow dryer and the fluidized bed dryer, using 120 °C hot air the energy consumption is equal to 6.14 MJ/kg $_{\text{water evap}}$. The experimental conditions are,

1. This experiment has been done in real process in rice mill enterprise at Chachoengsao province.
2. The rough rich is never pass any drying process
3. The experiment has been done using wet rough rice from merchandise.
4. The total rough rice using in experiment 400 tons.
5. The experiment is recorder by student and rice mill enterprise.

The dried rough rice from Must Flow dryer has been analyzed to measure head rice yield and color index. The result show that head rice yield and color index of the dried rough rice form Must Flow dryer is above standard.[11] It can be concluded that the dried rough rice using Must Flow dryer have less broken rice and contain lower that 2% dark color. The experiment has been completed by use the rough rice from rice mill merchandise. After drying process, rough rice has been kept in 400 tons, silo 10 hours for strain release before while store in silo the ventilator remove heat and moisture from the rice. After strain release, the rough rice has been simplified to measure gun gelatinized higher than the rough rice from fluidized bed dyer.

5 Moisture Content properties:

The moisture content of the rough rice is one of the most important quality indexes of rice as state in the following reason:

1. The moisture effected food spoilage due to microbial spoilage. This effect directly to the shelve life of food. Food with high moisture is easily spoilage from environment.
2. The moisture effect food safety due to growth of hazarded microbial (pathogen) such as alflatoxin, patulin.
3. The moisture effects the physical properties of food such as melting point, boiling point, thermal conductivity and specific heat.
4. Moisture effect the appearance of food scubas texture.
5. Moisture effect the chemical reaction in food scubas browning reaction lipid oxidation.
6. Moisture effect the price of agricultural goods.

ISBN: 978-0-9891305-4-7 ©2014 SDIWC

From Table 1 show rice contains carbohydrate which is Carbon, Hydrogen and Oxygen. Carbohydrate could be small or large molecule. It is serves of energy for human and animal are important part of cells. Carbohydrates give energy equal to protein. The smallest unit of carbohydrate is single molecule sugar:

1. Monosaccharide that are galactose fructose. and glucose
2. Disaccharide that are maltose lactose sucrose.
3. Polysaccharide that starch glycogen cellulose.

Details	Homdeang jasmine rice	105 jasmine rice
Fiber	4.63 g	3.73 g
Ferrous	0.91 mg	0.94 mg
Zinc	0.02 mg	1.48 mg
Vitamin E	83.10 µg	159.48 µg
Vitamin B1	0.29 mg	0.37 mg
Vitamin B2	0.01 mg	0.01 mg
Vitamin B6	0.26 mg	0.22 mg

Table 1. Compare nutrient of rough rice from Must Flow dryer.

6 CONCLUSIONS:

The experiment has been done by dry the rough rice using the Must Flow dryer. The result show that the propose method reduce cycle time, energy save and applicable to unlimited moisture content level. The process can dry rough rice to the expected level in one cycle without slowdown. The rough rice form propose process give better head rice yield than the conventional preprocess, color index is 2% higher than standard, gum gelatinized is 32% higher than standard, and consumption less than 50% heat compare to the conventional process. The gum gelatinized is useful for living organisms. It is very important energy source in form of monosaccharide, disaccharide and polysaccharide which is easy to absorb. It also improves the excretory system reducing illness in alimentary canal.

7 ACKNOWLEDGMENTS:

The authors would like to acknowledge the suggestions of Dr.Khosak Achawakorn Director, Sripatum International College, Sripatum University, Dr.Dusit Ngamrungroj social and applied science department College of Industrial Technology King mongkut's university of technology north bangkok. And wishes to express their thanks to Nathong Rice Rill Company limited for all rough rice plant dry

8 REFERENCES:

[1] Broker D B; Bakker-Arkema F W; Hall C W. "Drying and Storage of Grains and Oilseeds", AVI Book Publishing, New York, 1992.

[2] Chitsomboon T.,Khaengkarn S. and Pechnumkheaw K. "Free fall paddy rice dryer (A fast and energy efficient dryer)"The 2nd Conference an national short course on energy,Suranaree university of technology,July 27-29, 2006.

[3] Bunyawanichakul P.; Walker G.H.; Sargison J.E.; Doe P.E. "Modelling and Simulation of Paddy Grain(Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer", PH-Postharvest Techonlogy, 2006.

[4] Han, W., B. Mai, and T. Gu. "Residence time distribution and drying characteristics of a continuous vibro-fluidized bed. Drying Technology", Vol. 9(1),pp 159–181, 1991.

[5] Soponronnarit, S. and S. Prachayawarakorn. "Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. Drying Technology" Vol. 12(7),pp 1667–1686, 1994.

[6] Soponronnarit S., W. Rordprapat, and S.Wetchacama. "Mobile fluidized bed paddy dryer. Drying Technology" Vol 16(7),pp 1501–1513, 1999

[7] Mustafa Y. and Nathawood D. "Rectangular plane dryer for paddy drying" The 11sd Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, HaadchaolaoChanthaburi,pp.87-93, March 14-15, 2012.

[8] Tuynaak P., Chuchonaak M., Yapha M. and Bunyawanichakul P. "Influences of Flow Rate and Temperature of Hot Air to Moisture Content Reduction of Paddy (Case Study of Must Flow Paddy Dryer)" MEnett 27, Dhusit Thani Patthaya,Chonburi, Oct 16-18, 2013.

[9] Naaksang S., Chuchonaak M. and Yapha M, "Experimental "studdy of paddy drying using pnumaticpaddy dryer" The 12nd Conference on energy heat and mass transfer in thermal equipment and processes, Imperial golden triangle. Chiangsan Chiangrai, pp.94-99, March 14-15,2013.

[10] Yapha M. and Soponronnarit S. "Design and testing of pilot continuous flpidized bed paddy dryer" master of engineering", Energy technology, King Mongkut's university of technology thonburi,1994.

[11] Jariyatantivait W. and Soponronnarit S. "Design and testing of a vibro fluidized bed paddy dryer" master of engineering, Energy technology, King Mongkut's university of technology thonburi,1998.

ภาคผนวก ข

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
d	น้ำหนักแห้ง	kg
w	น้ำหนักเปียก	kg
M	ปริมาณความชื้น	%
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m^2 - {}^{\circ}C$
L	ความยาวห้องอบแห้ง	m
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	°C
T_∞	อุณหภูมิกระแสของไหล	°C
ε	อัตราส่วนร้อยละของช่องว่างอากาศ	-
ε_2	อัตราส่วนร้อยละของช่องว่างอากาศ (ขณะเครื่องอบแห้งทำงาน)	-
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ρ_2	ความหนาแน่นปรากฏ (ขณะเครื่องอบแห้งทำงาน)	kg/m^3
m	มวล	kg
V_l	ปริมาณช่องว่างของอากาศ	m^3
V_c	ปริมาณช่องว่างของอากาศ	m^3
MC	ความชื้นของวัสดุ	%wb
ρ_p	ความหนาแน่นจริงของชั้นข้าวเปลือก	kg/m^3

ภาคผนวก ค

ตารางปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก

ตารางที่ ค.1 ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 49 จังหวัดนครนายก ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้ง 130 °C

item	RH (%)	Initial Moisture Content		Final Moisture Content (%dry basis)	Dry Matter (kg/h)	Water Evap. (kg/h)
		(% wet basis)	(% dry basis)			
1	66	35.70	55.51	20.99	14738.39	5087.69
2	69	36.00	56.31	21.52	14705.88	5116.18
3	62	27.70	38.31	21.32	15661.71	2660.92
4	62	28.70	40.19	20.99	15540.02	2983.68
5	64	23.70	31.02	21.32	16168.15	1568.31
6	64	26.70	36.50	21.52	15785.32	2364.64
7	65	24.40	32.36	20.99	16077.17	1827.97
8	67	27.00	36.95	21.32	15748.32	2461.42
9	61	36.00	56.31	21.52	14705.88	5116.18
10	61	35.70	55.51	21.32	14738.39	5039.06
11	61	23.70	31.02	21.32	16168.15	1568.31
12	57	27.70	38.31	21.32	15661.71	2660.92
13	58	36.00	56.31	21.52	14705.88	5116.18
14	59	28.70	40.19	20.99	15540.02	2983.68
15	62	35.70	55.51	21.52	14738.39	5009.58
16	61	23.70	31.02	21.32	16168.15	1568.31
17	64	27.70	38.31	21.32	15661.71	2660.92
18	62	36.00	56.31	21.52	14705.88	5116.18
19	62	28.70	40.19	21.32	15540.02	2901.32
Average	**65.50**	**29.86**	**42.72**	**20.50**	**15557.86**	**3261.82**

Remark : $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

$\text{Rate of Water Evap.} = (\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MCi - MCo)_{\text{dry matter}}$

ตารางที่ ค.2 ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 49 จังหวัดนครนายก ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้ง 140 °C

Item	RH (%)	Initial Moisture Content		Final Moisture Content (% dry basis)	Dry Matter (kg/h)	Water Evap. (kg/h)
		(% wet basis)	(% dry basis)			
1	66	27.7	38.31	20.16	15661.71	2842.60
2	69	26.7	36.50	19.55	15785.32	2675.61
3	62	24.4	32.36	19.75	16077.17	2027.33
4	62	35.7	55.51	19.55	14738.39	5299.93
5	64	23.7	31.02	19.78	16168.15	1817.30
6	64	35.7	55.51	19.75	14738.39	5270.45
7	65	23.7	31.02	19.55	16168.15	1854.49
8	67	27.7	38.31	19.75	15661.71	2906.81
9	61	36	56.31	19.55	14705.88	5405.88
10	61	23.7	31.02	20.16	16168.15	1755.86
11	61	35.7	55.51	19.55	14738.39	5299.93
12	57	36	56.31	19.75	14705.88	5376.47
13	58	35.7	55.51	19.78	14738.39	5266.03
14	59	23.7	31.02	19.75	16168.15	1822.15
15	62	27.7	38.31	19.55	15661.71	2938.14
16	61	27.7	38.31	19.55	15661.71	2938.14
17	64	23.7	31.02	19.78	16168.15	1817.30
18	62	23.7	31.02	19.78	16168.15	1817.30
19	62	23.7	31.02	20.16	16168.15	1755.86
20	63	35.7	55.51	19.55	14738.39	5299.93
21	66	23.7	31.02	20.16	16168.15	1755.86
22	65	27.7	38.31	19.55	15661.71	2938.14
Average	**65.50**	**29.86**	**42.72**	**20.50**	**15557.86**	**3261.82**

Remark : $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

$\text{Rate of Water Evap.} = (\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MCi - MCo)_{\text{dry matter}}$

ตารางที่ ค.3 ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 49 จังหวัดนครนายก ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้ง 140 °C

Item	RH (%)	Initial Moisture Content		Final Moisture Content (dry basis)	Dry Matter (kg/h)	Water Evap. (kg/h)
		(% wet basis)	(% dry basis)			
1	58	35.8	55.75	17.90	14727.54	5574.37
2	59	30.0	43.04	18.12	15384.62	3833.85
3	62	27.5	37.93	17.78	15686.27	3160.78
4	62	37.4	59.71	18.12	14556.04	6053.86
5	64	35.8	55.75	17.90	14727.54	5574.37
6	64	30.0	43.04	17.78	15384.62	3886.15
7	65	36.1	56.43	17.82	14695.08	5673.77
8	67	27.5	37.93	17.78	15686.27	3160.78
9	61	30.0	43.04	18.12	15384.62	3833.85
10	61	36.1	37.93	18.12	15686.27	3107.45
11	61	30.0	55.75	17.78	14727.54	5592.05
12	57	36.1	43.04	17.90	15384.62	3867.69
13	56	27.5	56.43	17.82	14695.08	5673.77
14	55	35.8	43.04	18.12	15384.62	3880.00
15	57	30.0	56.43	17.78	14695.08	5629.68
16	61	35.8	37.93	18.12	15686.62	3160.78
17	64	27.5	55.75	17.78	14727.54	5574.37
18	62	35.8	43.04	17.90	15384.62	3886.15
19	62	30.0	56.43	17.82	14695.08	5629.68
20	54	36.1	56.43	17.90	14695.08	5679.65
21	55	30.0	43.04	17.78	15384.62	3867.69
22	56	35.8	55.75	17.90	14727.54	5586.16
23	67	37.4	59.71	17.82	14556.04	6085.88
Average	**60.57**	**32.74**	**49.14**	**17.90**	**15077.94**	**4678.39**

Remark : $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

Rate of Water Evap. $= (\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MCi - MCo)_{\text{dry matter}}$

ตารางที่ ค.4 ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 49 จังหวัดนครนายก ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้ง 140 °C

Item	RH	Initial Moisture Content		Final Moisture Content	Dry Matter	Water Evap.
	(%)	(% wet basis)	(% dry basis)	(dry basis)	(kg/h)	(kg/h)
1	62	27.50	37.93	17.56	14727.54	3000.00
2	62	35.80	55.75	17.82	15686.27	5949.80
3	63	27.50	37.93	17.74	14727.54	2973.49
4	66	35.80	55.75	17.63	15384.62	5864.62
5	64	30.00	42.85	17.56	16168.15	4088.92
6	64	23.70	31.02	17.63	16168.15	2164.92
7	65	23.70	31.02	17.56	14738.39	1983.79
8	67	35.70	55.51	17.74	16168.15	6106.71
9	61	23.70	31.02	17.56	16168.15	2176.23
10	61	23.70	31.02	17.63	14738.39	1973.47
11	61	35.70	55.51	17.74	14705.88	5554.41
12	57	36.00	56.31	17.56	14738.39	5711.13
13	58	35.70	55.51	17.74	16168.15	6106.71
14	59	23.70	31.02	17.56	16168.15	2176.23
15	70	23.70	31.02	17.63	14738.39	1973.47
16	68	35.70	55.51	17.74	16168.15	6106.71
17	64	23.70	31.02	17.74	16168.15	2147.13
18	62	23.70	31.02	17.82	14738.39	1945.47
19	62	35.70	55.51	17.56	14705.88	5580.88
20	61	36.00	56.31	17.63	14738.39	5700.81
21	61	35.70	55.51	17.56	16168.15	6135.81
22	65	23.70	31.02	17.56	16168.15	2176.23
Average	**62.86**	**62.92**	**43.38**	**17.64**	**15427.03**	**3981.81**

Remark : $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

$\text{Rate of Water Evap.} = (\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MCi - MCo)_{\text{dry matter}}$

ตารางที่ ค.5 ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกสด พันธุ์ กข 49 จังหวัดนครนายก ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้ง 140 °C

Item	RH	Initial Moisture Content		Final Moisture Content	Dry Matter	Water Evap.
	(%)	(% wet basis)	(% dry basis)	(dry basis)	(kg/h)	(kg/h)
1	61	63.1	56.43	15.32	14695.07	6041.14
2	55	27.5	37.93	15.36	15686.27	3540.39
3	54	35.8	55.75	15.47	14727.54	5932.25
4	62	30.0	43.04	15.34	15384.61	4261.53
5	55	36.1	56.43	15.53	13695.07	5601.28
6	54	36.1	56.43	15.47	13695.07	5601.28
7	56	24.4	32.36	15.36	16077.17	2715.43
8	52	27.0	36.95	15.34	15748.03	3399.99
9	61	36.0	56.31	15.53	14705.88	3090.64
10	61	35.7	55.51	15.53	14738.39	5892.40
11	61	23.7	31.02	15.36	16168.14	2504.44
12	57	36.1	56.43	15.53	13695.07	5601.28
13	53	36.1	56.43	15.47	13695.07	5601.28
14	52	24.4	32.36	15.36	16077.17	2715.43
15	54	23.7	31.02	15.53	16168.14	2531.93
16	55	27.0	36.95	15.53	15748.03	3373.22
17	53	36.0	56.31	15.34	14705.88	5997.05
18	62	36.1	56.43	15.36	13695.07	5601.28
19	62	27.5	37.93	15.36	15686.27	3540.39
20	63	35.8	55.75	15.47	14727.54	5948.45
21	66	30.0	43.04	15.53	15384.61	4241.53
22	65	36.1	56.43	15.36	13695.07	5601.28
Average	**60.07**	**32.93**	**49.03**	**16.01**	**14946.80**	**4559.02**

Remark : $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

$\text{Rate of Water Evap.} = (\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MCi - MCo)_{\text{dry matter}}$

ภาคผนวก ง

ตารางคุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้น

ตารางที่ ง.1 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบที่ปริมาณของพันธุ์ข้าวละหนึ่ง ชั่วโมง) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 130 °C

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.3	49.2	64.8	16.3	18.9	43.6
กข 49	97.2	48.1	59.4	22.6	16.7	44.7
เฉลี่ย	**97.25**	**48.65**	**62.10**	**19.45**	**17.80**	**44.15**

ตารางที่ ง.2 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบที่ปริมาณของพันธุ์ข้าวละหนึ่ง ชั่วโมง) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 140 °C

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	44.9
กข 47	97.2	47.9	65.7	16.9	17.4	45.8
กข 49	96.8	49.5	65.1	18	16.9	44.2
เฉลี่ย	**97.20**	**48.83**	**65.13**	**17.13**	**17.73**	**44.96**

ตารางที่ ง.3 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบที่ปริมาณของพันธุ์ข้าวละหนึ่ง ชั่วโมง) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.3	49.2	64.8	16.3	18.9	45.4
กข 27	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	45.2
กข 27	97.9	49.7	65.4	17.1	17.5	45.7
กข 45	96.6	51.1	66.8	16.3	16.9	43.1
กข 45	96.3	51.6	67.1	16.6	16.3	43.3
กข 45	96.1	51.9	65.8	16.3	17.9	43.9
กข 45	96.7	53.2	65.4	16.8	17.8	43.4
กข 47	97.2	47.9	65.7	16.9	17.4	42.7
กข 47	97.8	47.5	61.8	20	18.2	44.1
กข 47	97.5	47.3	64.9	17	18.1	44.8
กข 47	97.4	50.7	58.9	22.6	18.5	43.9
กข 49	97.2	48.1	59.4	22.6	16.7	41.9
กข 49	97.1	48.5	71.1	12.5	16.4	41.6
กข 49	97.8	49.5	65.1	18	16.9	43.4
กข 49	97.6	49.4	67.3	16	16.7	45.2
เฉลี่ย	**97.07**	**49.66**	**64.94**	**17.43**	**17.54**	**43.84**

ตารางที่ ง.4 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบที่ปริมาณของพันธุ์ข้าวละหนึ่ง ชั่วโมง) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 160 °C

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวตัน (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 45	96.1	51.9	65.8	16.3	17.9	41.6
กข 47	97.8	47.5	61.8	20.0	18.2	41.4
กข 49	96.8	49.5	65.1	18.0	16.9	41.9
กข 49	96.6	49.4	67.3	16.0	16.7	41.2
เฉลี่ย	**96.82**	**49.57**	**65.00**	**17.57**	**17.42**	**41.57**

ตารางที่ ง.5 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบที่ปริมาณของพันธุ์ข้าวละหนึ่ง ชั่วโมง) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 170 °C

พันธ์ข้าว	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวตัน (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
กข 27	97.9	43.7	55.4	17.1	17.5	43.6
กข 45	96.6	41.3	56.8	16.3	16.9	44.2
กข 49	96.6	44.4	57.3	16.0	16.7	42.9
เฉลี่ย	**96.03**	**50.13**	**66.5**	**16.46**	**17.03**	**43.56**

ตารางที่ ง.6 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบพันธุ์ข้าว กข 47)
กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	98.2	44.7	65.7	16.9	17.4	52.3
2	97.8	47.5	61.6	25.4	18.2	55.9
3	97.5	47.3	64.9	17.0	18.1	58.3
4	98.4	50.7	58.6	22.6	18.5	58.3
5	98.9	47.8	64.8	25.7	20.9	51.1
6	98.5	45.3	64.6	25.9	20.9	51.5
7	95.1	46.6	65.4	32.2	20.5	52.2
8	95.2	43.8	61.7	48.4	20,9	52.3
9	94.7	47.9	61.9	25.6	20.1	56.3
10	94.3	48.4	61.1	22.8	20.6	55.2
11	96.1	49.7	63.7	31.7	20.7	55.9
12	98.3	48.7	62.8	32.4	20.6	57.8
13	98.7	47.8	62.9	20.0	20.9	58.8
14	94.5	49.1	62.2	31.1	20.3	58.3
15	94.3	46.6	61.1	28.9	20.3	55.2
16	96.1	47.9	63.7	33.7	20.9	55.9
17	98.3	45.7	62.8	24.8	20.1	57.8
18	95.7	45.8	62.9	23.9	20.6	58.8
19	97.5	45.9	62.2	28.3	20.7	57.8
เฉลี่ย	**96.74**	**47.22**	**62.90**	**26.27**	**20.06**	**55.77**

ตารางที่ ง.7 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบโดยไม่ทราบชนิดและพันธุ์ข้าว)
กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	97.3	49.2	54.8	16.3	18.9	45.2
2	97.4	50.7	58.9	22.6	18.5	45.9
3	97.2	48.1	59.4	22.6	16.7	37.8
4	96.3	51.6	67.1	16.6	16.3	38.8
5	96.1	51.9	65.8	16.3	17.9	38.3
6	97.5	47.3	64.9	17.0	18.1	45.2
7	96.8	49.5	65.1	18.0	16.9	41.1
8	96.6	49.4	67.3	16.0	16.7	42.3
9	96.6	51.3	66.8	16.3	16.9	46.3
10	96.7	53.2	65.4	16.8	17.8	45.9
11	97.2	47.9	65.7	16.9	17.4	37.8
12	97.8	47.5	61.8	20.0	18.2	38.8
13	97.1	48.5	71.1	12.5	16.4	37.8
14	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	46.3
15	97.9	49.7	65.4	17.1	17.5	45.2
16	96.3	51.6	67.1	16.6	16.3	41.1
17	96.1	51.9	65.8	16.3	17.9	41.5
18	97.5	47.3	64.9	17.0	18.1	45.9
19	96.8	49.5	65.1	18.0	16.9	37.8
20	96.6	49.4	67.3	16.0	16.7	41.5
21	97.1	48.5	711.1	12.5	16.4	42.2
22	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	45.2
23	96.3	51.6	67.1	16.6	16.3	45.9
เฉลี่ย	**97.03**	**49.50**	**64.85**	**17.56**	**17.47**	**42.00**

ตารางที่ ง.8 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h White Rice Products (ทดสอบไม่ทราบพันธุ์ข้าว งานอบแห้งปกติ) กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	86.7	43.9	33.8	29.7	28.6	45.2
2	82.8	44.7	39.6	29.9	29.9	45.9
3	84.1	40.3	37.4	28.5	29.3	42.2
4	81.9	41.8	33.7	31.7	29.9	42.3
5	85.1	49.1	32.8	33.4	33.9	41.1
6	84.3	42.4	41.1	30.1	34.9	32.5
7	81.6	43.9	32.9	31.2	32.7	45.9
8	85.6	44.7	36.7	38.6	33.8	37.8
9	82.3	49.7	41.9	37.2	33.9	28.8
10	83.1	43.6	32.2	22.9	31.5	38.3
11	85.9	47.8	34.1	31.2	35.2	37.8
12	96.9	43.6	33.7	39.1	36.1	38.8
13	95.5	40.5	32.8	29.4	33.7	37.8
14	81.7	40.6	32.9	27.3	29.6	46.3
15	82.9	47.8	32.2	30.7	29.5	45.2
เฉลี่ย	**85.33**	**44.29**	**35.52**	**39.39**	**32.16**	**40.39**

ตารางที่ ง.9 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบพันธุ์ข้าว กข 27)
กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	97.3	49.2	64.8	16.3	18.9	43.3
2	97.6	49.1	64.6	16.5	18.9	45.6
3	97.9	49.7	65.4	17.1	17.5	45.6
4	98.2	49.3	65.7	16.1	19.9	45.2
5	98.4	49.6	65.3	16.7	19.5	42.3
6	98.3	48.8	65.7	16.5	19.5	43.4
7	98.6	48.9	65.2	17.4	17.5	44.1
8	97.9	48.7	65.8	17.9	17.9	44.2
9	97.5	49.5	64.6	17.7	17.4	44.5
10	98.7	49.1	64.5	16.9	18.7	45.3
11	97.2	48.7	64.9	16.3	18.6	43.2
12	97.6	48.9	64.7	17.3	18.3	42.8
13	97.9	49.4	65.2	17.6	18.5	42.6
14	97.8	49.7	65.8	17.9	19.9	43.8
15	97.7	48.7	64.6	16.8	18.2	43.9
16	97.5	49.4	65.5	16.5	18.9	44.2
17	97.6	49.8	64.8	16.3	17.5	44.1
เฉลี่ย	97.92	49.14	65.06	16.92	18.50	44.00

ตารางที่ ง.10 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบพันธุ์ข้าว กข 45)
กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	98.4	43.9	67.4	28.3	17.7	57.8
2	94.3	45.6	68.9	28.9	17.3	55.2
3	94.7	45.7	68.9	16.9	17.4	52.3
4	97.8	47.5	68.9	25.4	17.2	55.9
5	96.1	51.9	67.8	17	17.1	58.3
6	98.2	49.7	68.2	16.3	17.9	58.8
7	98.9	47.8	68.1	25.7	17.9	51.1
8	98.5	45.3	68.7	25.9	17.9	51.5
9	97.5	46.6	68.8	32.2	17.5	52.2
10	95.2	46.8	67.7	28.4	17.9	52.3
11	98.3	47.9	67.9	25.6	17.1	56.3
12	96.1	48.4	67.1	22.8	17.6	55.2
13	95.1	49.7	68.7	31.7	17.7	55.9
14	95.1	48.7	68.8	32.4	17.6	57.8
15	96.3	47.8	67.1	20.0	17.9	58.8
16	94.5	49.1	68.2	33.1	17.3	58.3
17	97.5	47.3	67.8	23.9	17.5	58.3
18	98.7	47.9	69.7	33.7	17.9	55.9
19	98.3	45.7	69.8	24.8	17.1	57.8
20	95.7	45.8	69.9	23.9	17.6	58.8
21	96.7	51.2	67.4	16.8	17.8	57.9
22	96.6	51.3	67.8	16.3	16.9	56.8
เฉลี่ย	**96.68**	**45.70**	**68.31**	**24.60**	**17.48**	**56.08**

ตารางที่ ง.11 คุณภาพข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h Course Rice Products (ทดสอบพันธุ์ข้าว กข 49)
กำหนดอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสด 150 °C

ตัวอย่างที่	มวลข้าวกล้อง (g)	มวลข้าวเต็มเมล็ด (g)	ข้าวต้น (%)	ข้าวหัก (%)	ปลายข้าว (%)	ความขาว
1	96.9	45.7	64.8	25.4	25.9	41.1
2	95.5	45.3	64.6	25.9	24.9	41.5
3	95.1	45.8	65.4	25.7	25.5	42.2
4	95.2	43.8	61.7	24.8	22.9	42.3
5	94.7	49.1	61.9	23.9	22.1	46.3
6	94.3	48.4	61.1	23.8	22.6	45.2
7	96.1	49.7	63.7	32.4	22.7	45.9
8	95.3	46.6	62.8	33.1	23.6	37.8
9	95.7	45.9	62.9	33.7	23.9	38.8
10	95.4	44.7	62.2	32.2	23.3	38.3
11	94.3	47.8	61.1	31.7	22.3	45.2
12	96.1	46.6	63.7	28.4	22.9	45.9
13	95.3	47.9	62.8	28.9	22.1	37.8
14	95.7	48.7	62.9	28.3	22.6	38.8
15	94.5	47.8	62.2	25.6	22.7	37.8
เฉลี่ย	**95.28**	**46.92**	**62.92**	**28.18**	**23.33**	**41.66**

ภาคผนวก จ

ตารางอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้น

ตารางที่ จ.1 อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h ควบคุมให้ผ่านตู้ปรับสภาพข้าวเปลือก และส่งเข้าไปเก็บในถังไซโล กำหนดอุณหภูมิสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก 130 °C

Sample	Must Flow (°C)	Rice Cond. (°C)	10h Silo (°C)	Hull-MF (g)	Hull-RC (g)	Hull-SL (g)	RH (%)
1	72	48	42	32.1	41.6	56.3	57
2	74	48	43	32.1	41.6	56.3	57
3	74	47	43	35.7	41.6	56.3	57
4	74	47	44	35.7	41.6	57.2	57
5	73	47	44	31.3	40.2	57.2	57
6	73	48	44	35.7	40.2	57.2	57
7	73	50	43	35.7	40.2	57.2	57
8	74	50	43	35.7	40.2	57.2	57
9	72	49	42	32.1	40.2	59.5	57
10	72	49	42	32.1	40.2	59.5	57
11	72	49	42	32.1	44.9	59.5	57
12	72	49	43	32.1	44.9	56.3	59
13	72	47	43	31.6	44.9	56.3	57
14	72	47	44	31.6	44.9	56.3	57
15	72	49	44	31.6	41.6	59.8	57
16	72	49	44	31.6	41.6	57.2	57
17	74	50	43	31.6	41.6	57.2	57
18	74	50	42	31.6	42.7	57.2	57
19	74	50	42	31.6	44.9	59.5	57
20	74	49	42	35.7	44.9	59.5	57
21	73	49	43	35.7	44.9	59.5	57
22	73	48	43	35.7	44.9	59.5	57
23	73	47	43	35.7	44.9	59.5	57
Mean	**72.88**	**48.51**	**42.96**	**33.1**	**42.67**	**57.60**	**57.07**

ตารางที่ จ.2 อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h ควบคุมให้ผ่านตู้ปรับสภาพข้าวเปลือก และส่งเข้าไปเก็บในถังไซโล กำหนดอุณหภูมิสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก 140 °C

Sample	Must Flow (°C)	Rice Cond. (°C)	10h Silo (°C)	Hull-MF (g)	Hull-RC (g)	Hull-SL (g)	RH (%)
1	76	56	41	32.4	54.6	66.9	57
2	78	58	41	32.4	54.6	66.9	57
3	78	58	41	32.4	54.6	66.9	57
4	78	57	40	32.4	54.6	66.9	57
5	77	57	40	32.4	53.9	67.7	57
6	77	56	40	32.4	53.9	67.7	57
7	76	56	40	32.4	53.9	67.7	57
8	77	58	40	30.8	53.9	67.7	57
9	77	58	41	30.8	49.5	66.9	59
10	78	58	41	30.8	49.5	66.9	59
11	78	58	41	30.8	49.5	66.9	59
12	78	57	41	30.8	49.5	72.4	59
13	76	57	40	31.1	49.5	72.4	59
14	76	57	40	31.1	53.9	72.4	59
15	76	57	40	31.1	53.9	72.4	59
16	78	58	41	31.1	54.6	72.4	59
17	78	58	41	31.1	54.6	72.4	59
18	78	58	41	31.1	54.6	72.4	59
19	78	58	40	32.4	54.6	67.7	59
20	77	56	40	32.4	49.5	67.7	59
21	76	56	40	32.4	49.5	67.7	59
22	76	56	40	31.1	49.5	67.7	57
23	77	57	40	31.1	3.9	67.7	57
Mean	77.07	57.22	40.48	31.49	52.26	68.59	57.96

ตารางที่ จ.3 อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h ควบคุมให้ผ่านตู้ปรับสภาพข้าวเปลือก และส่งเข้าไปเก็บในถังไซโล กำหนดอุณหภูมิสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก 150 °C

Sample	Must Flow (°C)	Rice Cond. (°C)	10h Silo (°C)	Hull-MF (g)	Hull-RC (g)	Hull-SL (g)	RH (%)
1	80	55	40	32.2	54.1	77.8	57
2	80	54	40	32.2	54.1	77.8	57
3	79	55	40	33.5	54.1	77.8	57
4	81	55	40	33.5	54.1	75.4	57
5	81	55	41	33.5	53.4	75.4	57
6	81	52	41	32.2	53.4	78.3	56
7	81	54	41	32.2	52.8	77.8	56
8	81	54	41	32.2	52.8	77.8	56
9	81	54	41	32.2	52.8	75.1	56
10	79	54	41	37.9	52.8	75.1	56
11	79	54	41	37.9	53.4	75.1	56
12	80	52	41	37.9	53.4	75.1	56
13	80	52	41	33.1	54.1	75.4	56
14	79	52	40	32.2	54.1	75.4	56
15	79	52	40	32.2	54.1	75.4	56
16	79	52	40	33.5	54.1	75.4	56
17	79	55	40	33.5	53.4	75.4	56
18	81	55	40	33.5	53.4	77.8	56
19	81	55	40	32.2	53.4	77.8	56
20	81	55	40	32.2	53.4	77.8	56
21	81	54	40	37.9	52.8	75.4	56
22	79	54	40	37.9	52.8	75.4	56
23	79	54	40	37.9	52.8	75.4	56
Mean	79.88	53.70	40.40	34.12	53.45	76.12	56.33

ตารางที่ จ.4 อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h ควบคุมให้ผ่านตู้ปรับสภาพข้าวเปลือก และส่งเข้าไปเก็บในถังไซโล กำหนดอุณหภูมิสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก 160 °C

Sample	Must Flow (°C)	Rice Cond. (°C)	10h Silo (°C)	Hull-MF (g)	Hull-RC (g)	Hull-SL (g)	RH (%)
1	87	57	40	32.4	54.3	77.3	57
2	87	57	42	32.4	54.3	77.3	57
3	88	57	42	32.4	54.3	77.3	57
4	88	57	40	29.7	54.3	74.8	57
5	85	58	40	29.7	54.7	74.8	57
6	85	58	40	29.7	54.7	81.2	57
7	85	59	42	29.7	51.1	81.2	57
8	87	59	42	29.5	51.1	81.2	62
9	87	59	42	28.7	51.1	74.8	62
10	87	57	41	28.7	51.1	74.8	62
11	87	57	41	28.7	55.9	74.8	62
12	87	57	41	28.7	55.9	74.8	61
13	87	57	41	28.7	55.9	81.6	61
14	87	58	41	28.7	55.9	81.6	61
15	87	58	41	29.7	55.9	81.6	61
16	85	58	40	29.7	54.7	81.6	61
17	85	58	40	32.4	54.7	81.2	61
18	85	58	40	32.4	54.7	81.2	57
19	85	58	40	32.4	54.7	81.2	57
20	85	58	40	28.7	55.1	81.2	62
21	85	58	42	28.7	55.1	81.6	62
22	88	59	42	28.7	55.1	81.6	62
23	88	59	42	28.7	55.1	81.6	62
Mean	**86.62**	**57.88**	**41.00**	**29.88**	**54.95**	**79.47**	**60.00**

ตารางที่ จ.5 อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h ควบคุมให้ผ่านตู้ปรับสภาพข้าวเปลือก และส่งเข้าไปเก็บในถังไซโล กำหนดอุณหภูมิสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก 170 °C

Sample	Must Flow (°C)	Rice Cond. (°C)	10h Silo (°C)	Hull-MF (g)	Hull-RC (g)	Hull-SL (g)	RH (%)
1	98	65	42	28.8	45.6	64.7	61
2	98	65	42	28.8	45.6	64.7	61
3	98	64	42	28.8	45.6	64.7	61
4	96	64	41	28.6	47.3	65.9	61
5	96	64	41	28.6	47.3	65.9	61
6	96	65	41	28.6	47.3	65.9	59
7	98	65	41	28.6	47.3	71.9	59
8	98	65	41	27.3	49.1	71.9	59
9	97	63	41	27.3	49.1	64.7	59
10	97	63	42	27.3	49.1	64.7	59
11	97	63	42	27.3	49.1	64.7	60
12	96	63	42	27.3	45.6	64.7	60
13	96	63	42	27.3	45.6	64.7	60
14	96	63	41	27.9	45.6	64.7	60
15	96	64	41	27.9	45.6	65.9	60
16	96	64	41	27.9	45.6	65.9	59
17	96	64	41	27.9	45.6	65.9	59
18	96	63	41	28.6	47.3	65.9	61
19	97	63	41	28.6	47.3	65.9	61
20	97	63	41	28.6	47.3	65.9	61
21	97	65	41	28.6	47.3	71.9	60
22	97	65	41	28.6	47.3	71.9	60
23	97	65	41	28.8	47.3	71.9	60
Mean	**96.20**	**64.11**	**41.25**	**28.12**	**47.20**	**66.70**	**59.96**

ภาคผนวก ฉ

ตารางอุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆของเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล

ตารางที่ ฉ.1 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (หลังผ่านห้องผสมอากาศ) 130 °C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	160.5	130.6	130.6	130.6	87.6	87.6	87.6	86.9	37	56
9.00	163.3	130.7	130.9	129.9	89.3	89.3	89.3	87.3	37	56
10.00	162.1	131.3	139.9	131.3	89.3	89.3	88.4	87.4	37	56
11.00	164.2	132.4	132.4	132.4	88.4	88.4	87.4	87.1	37	56
12.00	161.2	139.9	130.9	131.3	89.3	89.3	89.3	87.9	37	56
13.00	162.6	132.1	132.1	132.1	89.3	89.3	89.1	87.3	38	56
14.00	160.9	130.7	130.9	130.7	87.9	87.9	87.9	87.5	38	56
15.00	160.5	131.3	130.6	130.6	87.6	87.6	87.6	86.9	38	56
16.00	163.3	132.4	130.9	139.9	88.4	89.3	89.3	87.3	37	56
17.00	162.1	129.9	129.9	131.3	87.4	89.3	88.4	87.4	37	56
18.00	164.2	132.4	132.4	132.4	87.4	88.4	87.4	87.1	37	56
19.00	161.2	130.9	130.9	131.3	89.1	89.3	89.3	87.9	37	55
20.00	162.6	132.1	132.1	132.1	89.1	89.3	89.1	87.3	37	55
21.00	160.9	130.9	130.9	130.7	87.9	87.9	87.9	87.5	37	55
22.00	160.5	130.6	130.6	130.6	87.6	87.6	87.6	86.9	36	55
23.00	163.3	130.9	130.9	139.9	89.3	89.3	89.3	87.3	36	55
24.00	162.1	131.3	139.9	131.3	89.3	89.3	88.4	87.4	36	55
เฉลี่ย	162.08	132.23	132.16	132.30	88.72	88.07	88.42	87.31	37	55.64

ตารางที่ ฉ.2 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (หลังผ่านห้องผสมอากาศ) 140 $^{\circ}$C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	173.3	140.7	139.9	140.7	98.4	97.6	97.9	96.9	38	56
9.00	172.1	140.6	142.4	140.6	99.3	98.4	97.6	97.3	38	56
10.00	172.1	140.7	140.9	139.9	99.3	97.4	99.3	97.4	38	56
11.00	174.2	141.3	142.1	142.1	97.9	97.4	98.4	97.1	38	56
12.00	172.1	139.9	140.9	140.9	99.3	98.4	97.6	97.9	37	56
13.00	172.6	142.1	142.1	142.1	99.3	97.4	99.3	99.3	37	58
14.00	170.9	140.7	140.9	140.7	97.9	97.9	97.6	97.6	39	58
15.00	170.5	140.6	140.6	140.6	99.3	97.6	99.3	99.3	39	58
16.00	173.3	140.7	140.9	139.9	99.3	98.4	98.4	97.3	39	58
17.00	172.1	141.3	140.6	141.3	97.4	97.4	98.4	97.4	39	58
18.00	174.2	142.4	140.9	142.4	97.6	97.4	97.4	97.9	39	58
19.00	172.1	139.9	139.9	141.3	99.3	99.1	99.3	97.3	39	58
20.00	172.6	142.1	142.4	142.1	99.3	99.1	99.1	97.5	38	57
21.00	170.9	140.6	140.9	140.6	97.6	99.1	97.4	96.9	38	57
22.00	170.5	140.7	140.6	139.9	99.3	99.1	99.3	97.3	38	57
23.00	170.5	141.3	140.9	141.3	99.3	97.9	99.1	97.4	38	57
24.00	173.3	142.4	139.9	141.3	98.4	97.6	97.9	97.1	38	57
เฉลี่ย	**172.08**	**141.05**	**140.98**	**141.08**	**98.72**	**98.07**	**98.42**	**37.31**	**38.23**	**57.11**

ตารางที่ ฉ.3 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับการดำเนินงานลดข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 150 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	180.5	150.6	150.6	150.6	104.6	105.6	106.9	96.9	38	63
9.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.2	105.6	106.6	97.3	38	63
10.00	182.1	151.3	149.9	151.3	102.1	104.5	106.4	97.4	38	63
11.00	184.2	152.4	152.4	152.4	102.5	105.3	105.6	97.1	38	63
12.00	181.2	149.9	150.9	151.3	103.7	106.2	105.8	97.9	38	63
13.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.8	106.8	105.9	97.3	38	63
14.00	180.9	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	38	63
15.00	180.5	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	38	63
16.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	38	66
17.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	39	66
18.00	184.2	52.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	39	66
19.00	181.2	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	39	66
20.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	39	66
21.00	180.9	150.7	150.1	150.7	104.1	105.8	106.9	97.5	39	66
22.00	180.5	150.6	150.6	150.6	104.2	105.9	106.6	96.9	39	66
23.00	183.3	141.3	150.9	149.9	103.5	105.8	106.4	97.3	39	66
24.00	182.1	151.3	159.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.4	39	66
เฉลี่ย	182.08	151.64	151.57	141.08	103.30	106.08	106.35	97.31	38.47	64.58

ตารางที่ ฉ.4 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ)160 $^{\circ}$C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	190.5	160.6	162.1	160.7	117.6	119.3	117.9	117.6	37	56
9.00	193.3	160.7	160.7	160.7	119.3	119.3	117.6	119.3	37	56
10.00	192.1	161.3	160.6	161.3	119.3	118.4	119.3	119.3	39	56
11.00	194.2	162.4	160.7	162.1	118.4	119.3	119.3	118.4	39	56
12.00	191.2	169.9	161.3	160.7	119.3	119.3	118.4	119.3	39	56
13.00	192.6	162.1	162.1	160.6	119.3	117.9	119.3	119.3	39	55
14.00	190.9	160.7	160.7	160.7	117.9	117.6	119.3	117.9	39	55
15.00	190.5	160.6	160.6	161.3	117.6	119.3	117.9	117.6	39	55
16.00	193.3	160.7	160.7	162.4	119.3	119.3	117.6	119.3	39	55
17.00	192.1	161.3	161.3	169.9	119.3	117.6	119.3	119.3	39	55
18.00	194.2	162.4	162.4	160.7	118.4	119.3	117.9	118.4	39	55
19.00	191.2	169.9	169.9	161.3	119.3	119.3	117.6	119.3	39	55
20.00	192.6	162.1	160.7	162.4	119.3	118.4	119.3	119.3	39	55
21.00	190.9	160.7	161.3	169.9	117.9	119.3	119.3	117.9	39	55
22.00	190.5	160.6	162.4	162.1	117.6	119.3	117.6	119.3	39	55
23.00	190.7	160.7	169.9	160.7	119.3	117.9	119.3	119.3	39	55
24.00	192.1	161.3	162.1	160.6	119.3	117.6	119.3	118.4	39	55
เฉลี่ย	**191.93**	**162.3**	**162.32**	**162.24**	**118.72**	**118.72**	**118.6**	**118.77**	**38.78**	**55.29**

ตารางที่ ฉ.5 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 170 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	195.5	170.6	172.4	179.9	127.6	129.3	129.3	129.3	39	69
9.00	195.3	170.7	179.9	172.1	129.3	127.9	127.9	129.3	39	69
10.00	195.1	171.3	172.1	170.7	129.3	127.6	127.6	128.4	39	69
11.00	195.2	172.4	170.7	170.6	128.4	129.3	129.3	129.3	39	69
12.00	195.2	179.9	170.6	170.7	129.3	129.3	129.3	129.3	39	69
13.00	195.6	172.1	170.7	171.3	129.3	128.4	128.4	129.3	39	65
14.00	195.9	170.7	171.3	171.9	127.9	129.3	129.3	129.3	40	65
15.00	195.5	170.6	172.4	172.1	127.6	129.3	129.3	129.3	40	65
16.00	195.3	170.7	179.9	170.7	129.3	127.9	129.3	127.9	40	65
17.00	195.1	171.3	172.1	170.6	129.3	127.6	128.4	127.6	40	65
18.00	195.2	172.4	170.7	170.7	128.4	129.3	129.3	129.3	40	65
19.00	195.2	179.9	170.6	171.3	129.3	129.3	129.3	129.3	40	65
20.00	195.6	172.1	170.7	179.9	129.3	128.4	129.3	128.4	40	66
21.00	195.9	170.7	171.3	172.1	127.9	129.3	127.9	129.3	39	66
22.00	195.5	170.6	172.4	170.7	127.6	129.3	127.6	129.3	39	66
23.00	195.3	170.7	179.9	170.6	129.3	129.3	129.3	127.9	39	66
24.00	195.1	171.3	172.1	170.7	129.3	128.4	129.3	127.6	39	66
เฉลี่ย	**195.38**	**172.23**	**172.92**	**172.62**	**128.72**	**128.77**	**128.82**	**128.82**	**39.41**	**66.47**

ตารางที่ ฉ.6 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 45 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 150 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.6	152.4	149.9	150.9	102.5	106.7	106.6	97.3	40	81
9.00	180.9	150.9	152.4	150.6	103.7	106.9	106.2	97.4	40	81
10.00	184.2	152.1	152.4	152.1	102.1	104.5	106.4	96.9	40	81
11.00	181.2	152.4	149.9	150.6	102.5	105.3	105.6	97.3	40	81
12.00	180.5	150.9	151.3	151.3	103.7	106.2	105.8	97.4	40	81
13.00	183.3	152.1	149.9	152.1	102.8	106.8	105.9	96.9	40	81
14.00	184.2	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.3	40	81
15.00	181.2	150.6	150.6	150.6	102.6	105.7	106.9	97.1	40	81
16.00	182.6	150.7	150.9	149.9	104.3	105.8	106.9	97.9	40	81
17.00	180.9	151.3	149.9	151.3	102.8	106.9	106.8	97.1	40	81
18.00	180.9	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.9	40	81
19.00	180.5	152.4	150.6	150.7	103.7	106.4	106.7	97.3	40	81
20.00	184.2	149.9	150.9	151.3	106.7	103.7	106.4	97.5	40	81
21.00	181.2	152.1	152.1	152.1	106.9	102.6	105.6	96.9	40	81
22.00	182.6	150.7	150.9	150.7	104.2	105.9	106.6	97.3	40	81
23.00	180.9	150.6	150.9	150.6	103.5	105.8	106.4	97.4	40	81
24.00	183.3	151.3	149.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.1	40	81
1.00	182.1	150.7	151.3	150.7	102.3	106.3	105.8	97.9	40	81
2.00	184.2	150.6	152.4	150.6	103.7	106.7	106.6	97.3	40	81
3.00	181.2	150.7	151.3	150.6	103.1	106.9	106.2	97.5	40	81
4.00	184.2	151.3	152.1	150.9	106.8	103.6	106.9	96.9	40	81
5.00	181.2	152.4	150.9	159.9	106.3	103.2	106.6	97.3	40	81
6.00	182.6	159.9	150.9	151.3	105.6	106.9	106.4	97.4	40	81
7.00	180.9	150.7	152.1	149.9	105.6	106.6	103.2	97.5	40	81
เฉลี่ย	**182.15**	**152.02**	**151.11**	**151.37**	**103.91**	**105.78**	**106.1**	**97.32**	**40**	**81**

ตารางที่ ฉ.7 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 150 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.6	152.4	149.9	150.6	105.6	106.9	104.6	97.1	39	82
9.00	180.9	150.9	151.3	151.3	105.6	106.6	103.2	97.9	39	82
10.00	184.2	152.1	152.4	152.1	102.1	104.5	106.4	97.3	39	82
11.00	181.2	152.4	150.6	150.7	102.5	105.3	105.6	97.1	39	82
12.00	180.5	149.9	150.9	151.3	103.7	106.2	105.8	97.9	39	82
13.00	183.3	152.1	149.9	152.1	102.8	106.8	105.9	97.3	39	82
14.00	184.2	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	39	82
15.00	181.2	150.6	150.6	150.6	102.5	106.7	106.6	96.9	39	82
16.00	182.6	150.7	150.9	149.9	103.7	106.9	106.2	97.3	39	82
17.00	180.9	151.3	149.9	151.3	102.8	106.9	106.8	97.4	39	82
18.00	180.9	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	39	82
19.00	180.5	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	39	82
20.00	184.2	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	39	82
21.00	181.2	150.7	150.9	150.7	104.1	105.8	106.9	97.5	39	82
22.00	182.6	150.6	150.9	150.6	104.2	105.9	106.6	96.9	39	82
23.00	180.9	150.7	152.1	149.9	103.5	105.8	106.4	97.3	39	82
24.00	183.3	151.3	149.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.4	39	82
1.00	182.1	150.7	151.3	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	39	82
2.00	184.2	150.6	152.4	150.6	103.7	106.7	106.6	97.3	39	82
3.00	181.2	150.7	151.3	150.6	103.1	106.9	106.2	97.4	39	82
4.00	184.2	151.3	152.1	150.9	106.8	103.6	106.9	96.9	39	82
5.00	181.2	152.4	150.9	159.9	106.3	103.2	106.6	97.3	39	82
6.00	182.6	159.9	149.9	150.9	106.7	103.7	106.4	97.4	39	82
7.00	180.9	152.1	152.4	150.6	106.9	102.6	105.6	96.9	39	82
เฉลี่ย	**182.15**	**152.02**	**151.11**	**151.37**	**103.91**	**105.78**	**106.1**	**97.32**	**39**	**82**

ตารางที่ ฉ.8 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 150 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.1	150.6	150.6	150.6	104.6	105.6	106.9	97.3	39	69
9.00	180.9	150.7	150.9	150.6	103.1	105.6	103.1	97.5	39	69
10.00	182.1	151.3	150.6	150.7	103.6	103.1	103.6	97.4	39	69
11.00	184.2	152.4	150.7	151.3	103.2	103.6	103.2	97.1	39	69
12.00	181.2	159.9	151.3	152.4	103.7	103.2	103.7	97.9	39	69
13.00	182.6	152.1	152.4	159.9	102.6	103.7	102.6	97.3	39	69
14.00	180.9	150.7	159.9	152.1	102.3	102.6	103.1	97.5	39	69
15.00	180.5	150.6	152.1	150.6	103.1	106.7	103.6	96.9	38	69
16.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.6	106.9	103.2	97.3	38	69
17.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.2	106.9	103.7	97.4	39	69
18.00	184.2	152.4	152.4	152.4	103.7	106.6	102.6	97.1	39	69
19.00	181.2	159.9	150.9	151.3	102.6	103.1	106.7	97.9	39	69
20.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.6	103.6	106.9	97.3	39	69
21.00	181.2	150.7	150.9	150.7	104.1	103.2	106.9	97.5	39	69
22.00	182.6	150.6	150.6	150.6	104.2	103.7	106.6	96.9	39	69
23.00	180.9	150.7	150.9	149.9	103.5	102.6	106.4	97.3	39	69
24.00	180.5	151.3	159.9	151.3	103.2	106.6	103.1	97.3	39	69
1.00	183.3	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	103.6	97.5	39	69
2.00	180.5	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	103.2	96.9	39	69
3.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.1	103.1	103.7	97.3	39	69
4.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.6	103.6	102.6	97.4	39	69
5.00	184.2	152.4	152.4	150.6	103.2	103.2	106.3	97.1	39	69
6.00	180.5	159.9	150.6	150.7	103.7	103.7	106.7	97.3	39	69
7.00	183.3	152.1	150.7	151.3	102.6	102.6	106.9	97.5	39	69
เฉลี่ย	**182.09**	**152.32**	**151.79**	**151.36**	**103.29**	**104.43**	**104.53**	**97.32**	**38.91**	**69**

ตารางที่ ฉ.9 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่าง ๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 47 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 150 °C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.1	150.6	150.6	150.6	104.6	105.6	103.5	97.9	38	71
9.00	184.2	150.7	10.7	149.9	103.5	105.6	103.2	97.3	38	71
10.00	181.2	151.3	151.3	151.3	103.2	104.5	102.3	97.5	38	71
11.00	182.6	152.4	152.4	152.4	102.3	105.3	103.7	96.9	38	71
12.00	181.2	149.9	149.9	151.3	103.7	106.2	103.1	97.3	38	71
13.00	182.6	152.1	152.1	152.1	103.1	106.8	103.6	97.4	38	71
14.00	180.9	150.7	150.7	150.7	103.6	106.3	103.2	96.9	38	71
15.00	180.5	150.6	150.6	150.6	103.2	103.5	103.7	97.3	38	71
16.00	183.3	150.7	150.7	149.9	103.7	103.2	102.6	97.4	38	71
17.00	182.1	151.3	151.3	151.3	102.6	102.3	103.2	97.1	38	71
18.00	184.2	152.4	152.4	152.4	103.2	103.7	106.3	97.1	39	71
19.00	181.2	159.9	150.9	151.3	103.7	103.1	106.7	97.9	39	71
20.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.6	103.6	106.9	97.3	39	71
21.00	180.9	150.7	150.9	150.7	104.1	103.2	106.9	97.5	39	71
22.00	180.5	150.6	150.6	150.6	104.2	103.7	106.6	96.9	39	71
23.00	183.3	150.7	150.9	150.6	103.5	102.6	106.4	97.3	39	71
24.00	182.1	151.3	159.9	150.7	103.7	106.6	105.6	97.4	39	73
1.00	180.9	152.4	150.9	151.3	103.1	106.3	105.8	97.5	37	73
2.00	180.5	149.9	150.6	152.4	103.7	106.7	106.6	97.9	37	73
3.00	183.3	152.1	150.9	150.6	103.1	106.9	103.5	97.3	37	73
4.00	180.5	150.7	149.9	150.7	103.6	106.9	103.2	96.9	37	73
5.00	183.3	150.6	152.4	151.3	103.2	106.6	102.3	97.3	37	73
6.00	182.1	159.9	150.9	152.4	103.7	103.5	103.7	97.4	37	73
7.00	184.2	152.1	152.1	149.9	102.6	103.2	103.1	97.1	37	73
เฉลี่ย	182.0	151.6	151.4	151.0	103.3	104.8	106.3	97.3	38.04	71.66

ตารางที่ ฉ.10 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 45 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 170 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	184.2	150.6	150.6	150.6	105.6	106.9	104.6	97.1	38	54
9.00	181.2	150.7	150.9	149.9	105.6	106.6	103.2	97.9	38	54
10.00	182.6	151.3	149.9	151.3	102.1	104.5	106.4	97.3	38	54
11.00	180.9	152.4	152.4	152.4	102.5	105.3	105.6	97.1	38	54
12.00	180.5	149.9	150.9	151.3	103.7	106.2	105.8	97.9	38	54
13.00	183.3	152.1	152.1	152.1	102.8	106.8	105.9	97.3	38	54
14.00	182.1	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	38	54
15.00	184.2	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	38	54
16.00	181.2	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	38	54
17.00	182.6	151.3	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	39	54
18.00	180.9	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	39	54
19.00	180.5	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	39	54
20.00	183.3	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	39	54
21.00	182.1	150.7	150.9	150.7	104.1	105.8	106.9	97.5	39	54
22.00	180.9	150.6	150.6	150.6	104.2	105.9	106.6	96.9	39	55
23.00	180.5	150.7	150.9	149.9	103.5	105.8	106.4	97.3	39	55
24.00	183.3	151.3	150.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.4	39	55
1.00	182.1	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	39	55
2.00	184.2	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	97.3	39	55
3.00	181.2	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.4	39	55
4.00	180.5	151.3	149.9	151.3	106.8	103.6	106.9	96.9	39	55
5.00	183.3	152.4	152.4	152.4	106.3	103.2	106.6	97.3	39	55
6.00	182.1	159.9	150.9	151.3	106.7	103.7	106.4	97.4	39	55
7.00	182.6	152.1	152.1	152.1	106.9	102.6	105.6	96.9	39	55
เฉลี่ย	**182.09**	**152.9**	**151.43**	**151.11**	**103.97**	**105.78**	**106.1**	**97.32**	**38.62**	**54.41**

ตารางที่ ฉ.11 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 47 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 170 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.1	150.6	150.6	150.6	104.6	106.4	106.3	97.9	38	53
9.00	184.2	150.7	150.9	149.9	103.2	105.6	106.7	97.3	38	53
10.00	181.2	150.6	149.9	151.3	102.1	105.8	106.9	96.9	38	53
11.00	182.6	150.7	152.4	152.4	102.5	15.9	105.6	97.3	38	53
12.00	180.5	151.3	150.9	151.3	103.7	105.8	105.8	97.4	38	53
13.00	183.3	152.4	152.1	152.1	102.8	106.6	105.9	97.1	38	53
14.00	180.9	149.9	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.9	38	53
15.00	180.5	152.1	150.6	150.6	103.1	106.7	106.6	97.3	38	53
16.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.6	106.9	106.2	97.5	38	53
17.00	182.1	151.3	149.9	150.7	103.2	106.9	106.8	96.9	39	53
18.00	184.2	152.4	152.4	150.6	103.7	106.6	106.3	97.3	39	53
19.00	181.2	159.9	150.9	149.9	102.6	105.4	106.7	97.4	39	51
20.00	182.6	152.1	152.1	151.3	103.7	105.6	106.9	97.1	39	51
21.00	180.9	150.7	150.9	152.4	103.1	105.6	106.9	97.9	39	51
22.00	184.2	150.6	150.6	151.3	103.6	104.5	106.6	97.3	39	51
23.00	181.2	150.7	149.9	152.1	103.2	105.3	106.4	97.5	40	51
24.00	182.6	152.4	152.4	151.3	103.7	106.2	105.6	96.9	40	51
1.00	180.5	159.9	150.9	152.4	102.6	106.8	105.8	97.3	40	51
2.00	183.3	152.1	152.1	151.3	104.1	106.7	106.6	97.4	40	51
3.00	182.1	151.3	150.9	152.1	104.2	106.9	106.2	97.5	40	51
4.00	180.9	150.7	159.9	150.7	103.5	106.9	106.8	96.9	40	51
5.00	180.5	150.6	150.9	150.6	103.2	106.6	106.9	97.3	40	51
6.00	183.3	150.7	150.6	149.9	102.3	106.4	106.6	97.4	40	51
7.00	182.1	151.3	150.9	151.3	103.7	105.6	106.4	97.1	40	51
เฉลี่ย	**182.09**	**151.90**	**151.43**	**151.11**	**103.26**	**106.20**	**106.38**	**97.32**	**39**	**51.91**

ตารางที่ ฉ.12 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 170 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	182.1	150.6	150.6	150.6	103.1	106.9	106.2	97.3	38	72
9.00	180.9	150.7	150.6	149.9	103.6	106.9	106.8	97.4	38	72
10.00	180.5	151.3	150.7	151.3	102.1	104.5	106.4	97.4	38	72
11.00	183.3	152.4	151.3	152.4	102.5	105.3	105.6	97.1	38	72
12.00	182.1	149.9	150.9	151.3	103.7	106.2	105.8	97.9	38	72
13.00	184.2	152.1	152.1	152.1	102.8	106.8	105.9	97.3	38	72
14.00	181.2	150.6	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	38	72
15.00	182.6	150.7	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	38	72
16.00	183.3	151.3	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	38	72
17.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	39	72
18.00	184.2	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	39	72
19.00	182.4	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	39	72
20.00	181.2	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	39	72
21.00	182.6	150.7	150.9	150.7	104.1	105.8	106.9	97.5	39	72
22.00	180.9	150.6	150.6	150.6	104.2	105.9	106.6	96.9	39	72
23.00	184.2	150.7	150.9	149.9	103.5	105.8	106.4	97.3	39	70
24.00	183.3	151.3	159.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.4	39	70
1.00	182.1	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	37	70
2.00	184.2	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	37	70
3.00	181.2	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	37	70
4.00	182.6	150.6	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	37	70
5.00	180.9	150.9	152.4	150.6	103.2	106.6	106.3	97.1	37	70
6.00	180.5	149.9	150.6	150.9	104.6	105.6	106.9	96.9	37	70
7.00	183.3	152.4	150.9	149.9	103.2	105.6	106.6	97.3	37	70
เฉลี่ย	**182.4**	**151.43**	**151.35**	**150.92**	**103.27**	**106.27**	**106.36**	**97.3**	**39**	**71.25**

ตารางที่ ฉ.13 อุณหภูมิลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสำหรับการดำเนินงานลดความชื้นข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 กำหนดอุณหภูมิกระแสลมร้อนสำหรับใช้เพื่อการอบแห้ง (ความชื้นหลังผ่านห้องผสมอากาศ) 170 ^{o}C

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Ambient	RH
8.00	180.5	150.6	150.6	150.6	104.6	105.6	106.9	96.9	38	63
9.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.2	105.6	106.6	97.3	38	63
10.00	182.1	151.3	149.9	151.3	102.1	104.5	106.4	97.4	38	63
11.00	184.2	152.4	152.4	152.4	102.5	105.3	105.6	97.1	38	63
12.00	181.2	149.9	150.9	151.3	103.7	106.2	105.8	97.9	38	63
13.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.8	106.8	105.9	97.3	38	63
14.00	180.9	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	38	63
15.00	180.5	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	38	63
16.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	38	66
17.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	39	66
18.00	184.2	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	39	66
19.00	181.2	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	39	66
20.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	39	66
21.00	180.9	150.7	150.9	150.7	104.1	105.8	106.9	97.5	39	66
22.00	180.5	150.6	150.6	150.6	104.2	105.9	106.6	96.9	39	66
23.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.5	105.8	106.4	97.3	39	66
24.00	182.1	151.3	159.9	151.3	103.2	106.6	105.6	97.4	39	66
1.00	180.9	150.7	150.9	150.7	102.3	106.3	105.8	97.5	37	63
2.00	180.5	150.6	150.6	150.6	103.7	106.7	106.6	96.9	37	63
3.00	183.3	150.7	150.9	149.9	103.1	106.9	106.2	97.3	37	66
4.00	182.1	151.3	149.9	151.3	103.6	106.9	106.8	97.4	37	66
5.00	184.2	152.4	152.4	152.4	103.2	106.6	106.3	97.1	37	66
6.00	181.2	159.9	150.9	151.3	103.7	106.4	106.7	97.9	37	66
7.00	182.6	152.1	152.1	152.1	102.6	105.6	106.9	97.3	37	66
เฉลี่ย	**182.09**	**151.9**	**151.43**	**151.11**	**103.26**	**106.38**	**106.38**	**97.32**	**38.04**	**64.75**

ภาคผนวก ช

ตารางการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ตารางที่ ช.1 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	243	19.1	23.7	66
200.4	140.1	30	42.85	300.4	241	19.7	24.64	66
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	241.8	19.6	24.4	66
200.5	147.4	26.5	36.05	300.2	241.6	19.5	24.25	67
200.3	130.6	34.7	53.36	300.4	242.1	19.4	24.08	66
200.3	135.6	32.3	47.71	300.7	242.1	19.5	24.2	68
200.4	131.6	34.3	42.85	300.4	241.4	19.6	24.44	69
200.4	142.1	29	40.84	300.4	241.9	19.4	24.18	64
200.2	142.1	29	40.84	300.6	242.2	19.4	24.11	64
200.2	140.7	29.7	42.28	300.6	242.2	19.4	24.11	64
200.2	141.5	29.4	41.69	300.7	242.1	19.4	24.2	65
200.5	141.3	29.5	41.89	300.7	242.6	19.3	23.94	65
200.4	142.2	29.1	40.92	300.7	242.6	19.3	23.94	66
200.3	141.5	29.3	41.55	300.8	241.8	19.6	24.4	64
200.3	140.6	29.8	42.46	300.2	241.9	19.4	24.1	63
200.4	140.6	29.8	42.46	300.4	242.1	19.4	24.08	63
200.3	140.7	29.7	42.35	300.6	242.2	19.4	24.11	62
200.5	139.9	30.2	43.31	300.6	242.2	19.4	24.11	61
200.7	137.8	31.3	45.64	300.6	242.2	19.4	24.11	62
200.8	136.9	31.8	46.67	300.4	242.1	19.4	24.08	61
200.3	136.6	31.7	46.63	300.4	242.2	19.3	24.02	61
200.6	130.6	34.8	46.85	300.8	242.7	19.3	23.93	63
200.5	130.6	34.8	53.52	300.2	242.2	19.3	23.94	62
200.3	131.2	34.5	52.67	300.4	242.4	19.3	23.92	62
เฉลี่ย		31.02	44.54	เฉลี่ย		19.4	24.12	64.12

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.2 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 140 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น(%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.2	141.5	29.4	41.69	300.6	245.3	18.4	22.54	54
200.5	139.9	30.2	43.31	300.6	244.6	18.6	22.89	55
200.4	140.1	30.0	42.85	300.4	245.4	18.3	22.41	55
200.5	141.3	29.5	41.89	300.7	244.7	18.6	22.88	56
200.4	142.2	29.1	40.92	300.4	246.0	18.1	22.11	56
200.3	141.5	29.3	41.55	300.4	245.4	18.3	22.41	55
200.5	139.9	30.2	43.31	300.6	244.9	18.5	22.74	55
200.3	140.6	29.8	42.46	300.6	244.9	18.5	22.74	54
200.4	140.1	30.0	42.85	300.6	245.6	18.3	22.39	54
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	245.9	18.2	22.28	54
200.5	139.9	30.2	43.31	300.7	244.7	18.6	22.88	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	244.7	18.6	22.84	57
200.4	140.6	29.8	42.46	300.2	246.1	18.0	24.61	56
200.3	140.7	29.7	42.35	300.4	246.0	18.1	22.11	56
200.4	140.6	29.8	42.46	300.7	244.7	18.6	22.88	52
200.5	139.9	30.2	43.31	300.7	245.1	18.5	22.68	52
200.7	137.8	31.3	45.64	300.4	245.1	18.4	22.56	62
200.3	136.6	31.7	46.63	300.6	244.9	18.5	22.74	62
200.3	141.5	29.3	41.55	300.7	245.1	18.5	22.68	61
200.3	140.6	29.8	42.46	300.7	245.1	18.5	22.68	62
200.4	140.6	29.8	42.46	300.2	246.1	18.0	24.61	53
200.6	130.6	34.8	46.85	300.4	244.8	18.5	22.71	51
200.5	130.6	34.8	53.52	300.6	244.6	18.6	22.89	62
200.7	137.8	31.3	45.64	300.7	244.7	18.6	22.88	62
เฉลี่ย		**30.17**	**43.06**	**เฉลี่ย**		**18.41**	**22.80**	**56.37**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.3 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.2	142.1	29.0	40.84	300.7	249.2	17.1	20.66	61
200.2	140.7	29.7	42.28	300.7	249.5	17.0	20.52	61
200.3	136.6	31.7	46.63	300.7	248.5	17.3	21.00	62
200.5	141.3	29.5	41.89	300.7	248.1	17.5	21.20	62
200.1	145.1	27.5	37.93	300.2	248.8	17.1	20.65	62
200.5	139.9	30.2	43.31	300.4	248.7	17.2	20.78	68
200.3	140.6	29.8	42.46	300.4	248.1	17.4	21.08	69
200.2	141.5	29.4	41.69	300.7	248.1	17.5	21.20	63
200.3	140.7	29.7	42.35	300.7	249.1	17.1	20.71	63
200.5	139.9	30.2	43.31	300.6	248.6	17.3	20.91	64
200.5	141.3	29.5	41.89	300.6	247.6	17.6	21.40	65
200.4	142.2	29.1	40.92	300.7	248.6	17.3	20.95	65
200.3	136.6	31.7	46.63	300.7	248.1	17.5	21.20	61
200.3	136.6	31.7	46.63	300.7	248.1	17.5	21.20	61
200.3	141.5	29.3	41.55	300.7	248.6	17.3	21.00	62
200.3	140.6	29.8	42.46	300.4	248.4	17.3	20.93	63
200.4	140.1	30	42.85	300.2	248.3	17.3	20.90	62
200.1	145.1	27..5	37.93	300.4	248.4	17.3	20.93	66
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	248.4	17.4	21.05	65
200.7	137.8	31.3	45.64	300.7	248.4	17.4	21.05	62
200.8	136.9	31.8	46.67	300.7	248.6	17.3	21.00	61
200.4	142.2	29.1	40.92	300.4	248.4	17.3	20.93	61
200.3	141.5	29.3	41.55	300.4	248.4	17.3	20.93	59
200.4	140.6	29.8	42.46	300.4	248.4	17.3	20.93	58
เฉลี่ย		**29.7**	**42.36**	**เฉลี่ย**		**17.31**	**20.96**	**62.75**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.4 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 160 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.5	139.9	30.2	43.31	300.2	247.1	17.7	21.48	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.4	246.1	18.1	22.06	57
200.3	128.6	35.8	55.75	300.4	246.1	18.1	22.06	57
200.4	140.1	30	42.85	300.7	247.1	17.8	21.69	55
200.4	140.6	29.8	42.46	300.7	247.1	17.8	21.69	58
200.5	139.9	30.2	43.31	300.7	247.1	17.8	21.69	68
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	247.1	17.8	21.69	69
200.4	140.1	30	42.85	300.4	246.1	18.1	22.06	64
200.3	140.5	29.3	41.55	300.2	247.1	17.7	21.48	56
200.3	140.6	29.8	42.46	300.4	246.1	18.1	22.06	55
200.4	140.6	29.8	42.46	300.7	247.1	17.8	21.69	55
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	247.1	17.8	21.69	56
200.4	140.1	30	42.85	300.7	246.1	18.1	22.06	57
200.7	137.8	3103	45.64	300.7	246.1	18.1	22.06	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	246.1	18.1	22.06	57
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	246.8	17.9	21.79	54
200.3	140.6	29.8	42.46	300.6	246.8	17.9	21.79	54
200.4	140.6	29.8	42.46	300.7	247.1	17.8	21.69	54
200.7	137.8	31.4	45.64	300.7	247.1	17.8	21.69	61
200.3	136.6	31.7	46.63	300.2	246.8	17.8	21.63	62
200.6	130.6	34.8	46.85	300.4	245.2	17.4	22.51	55
200.5	130.6	34.8	53.52	300.2	247.1	17.7	21.48	56
200.4	140.6	29.8	42.46	300.4	246.2	18	22.01	54
200.3	140.7	29.7	42.35	300.2	247.1	17.7	21.48	54
เฉลี่ย		**31.2**	**45.3**	**เฉลี่ย**		**17.87**	**21.81**	**57.54**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.5 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 49 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 170 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.5	147.4	26.5	36.05	300.2	251.1	16.3	19.55	66
200.1	145.1	27.5	37.93	300.4	252.1	16.1	19.15	69
200.5	147.4	26.5	36.05	300.4	251.6	16.2	19.19	70
200.3	130.6	34.7	53.36	300.2	251.6	16.2	19.31	72
200.5	139.9	30.2	43.31	300.4	251.9	16.1	19.35	72
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	251.7	16.2	19.37	73
200.3	130.6	34.7	53.36	300.7	252.3	16.1	19.18	73
200.3	141.5	29.3	41.55	300.7	251.9	16.2	19.32	71
200.3	128.6	35.8	55.75	300.2	251.6	16.2	19.31	71
200.3	140.6	29.8	42.46	300.6	252.1	16.1	19.23	65
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	252.1	16.1	19.23	65
200.4	140.1	30.0	42.85	300.4	251.9	16.1	19.25	73
200.4	140.1	30.0	42.85	300.4	252.1	16.1	19.25	72
200.3	128.6	35.8	55.75	300.2	251.6	16.2	19.31	73
200.4	140.1	30.0	42.85	300.7	251.9	16.2	19.37	74
200.4	140.3	29.8	42.46	300.7	252.3	16.1	19.18	62
200.4	140.6	29.8	42.46	300.4	251.9	16.1	19.25	62
200.5	147.4	26.5	36.05	300.4	252.1	16.1	19.15	62
200.3	130.6	34.7	53.38	300.2	253.6	16.2	19.31	74
200.7	137.8	31.9	45.64	300.7	251.9	16.2	19.37	74
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	252.3	16.1	19.18	74
200.5	147.4	26.5	36.05	300.4	251.9	16.1	19.28	76
200.3	140.6	29.8	42.46	300.7	251.9	16.2	19.37	76
200.4	140.6	29.8	42.46	300.4	252.1	16.1	19.15	76
เฉลี่ย		**30.21**	**44.69**	**เฉลี่ย**		**16.15**	**19.27**	**70.66**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.6 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.8	35.7	551.51	300.8	248.6	17.3	20.99	66
200.4	128.2	36.0	56.31	300.9	247.6	17.7	21.52	69
200.7	145.1	27.7	38.31	300.4	247.6	17.6	21.32	62
200.9	143.3	28.7	40.19	300.3	248.6	17.3	20.99	62
200.6	153.1	23.7	31.02	300.4	247.6	17.6	21.32	64
200.8	147.1	26.7	36.50	300.9	247.6	17.7	21.52	64
200.4	151.4	24.4	32.36	300.8	248.6	17.3	20.99	65
200.5	146.5	27.0	36.95	300.4	247.6	17.6	21.32	67
200.4	128.2	36.0	56.31	300.9	247.6	17.7	21.52	61
200.3	128.8	35.7	55.51	300.4	247.6	17.6	21.32	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.4	247.6	17.6	21.32	61
200.7	145.1	27.7	38.31	300.4	247.6	17.6	21.32	57
200.4	128.2	36.0	56.31	300.9	247.6	17.7	21.52	58
200.9	143.3	28.7	40.19	300.8	248.6	17.3	20.99	59
200.3	128.8	35.7	55.51	300.9	247.6	17.7	22.52	62
200.6	153.1	23.7	31.02	300.4	247.6	17.6	21.32	61
200.7	145.1	27.7	38.31	300.4	247.6	17.6	21.32	61
200.4	128.2	36.0	56.31	300.9	247.6	17.7	21.52	62
200.9	143.3	28.7	40.19	300.9	247.6	17.7	21.52	62
200.7	145.1	27.7	38.31	300.4	247.6	17.6	21.32	63
200.8	147.1	26.7	36.50	300.4	247.6	17.6	21.32	66
200.4	151.4	24.4	32.36	300.4	247.6	17.6	21.32	63
200.3	128.8	35.7	55.51	300.4	247.6	17.6	21.32	67
200.6	153.1	23.7	31.02	300.9	247.6	17.7	21.52	63
200.7	145.1	27.7	38.31	300.4	247.6	17.6	21.32	61
200.9	143.3	28.7	40.19	300.9	247.6	17.7	21.52	61
200.3	128.8	35.7	55.51	300.4	247.6	17.6	21.32	70
200.4	128.2	36.0	56.31	300.8	248.6	17.3	20.99	68
เฉลี่ย	**140.70**	**29.85**	**43.22**	**300.63**	**247.77**	**17.57**	**21.32**	**63.25**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.7 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 140 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.7	145.1	27.7	38.31	300.3	249.9	16.8	20.16	66
200.8	147.1	26.7	36.5	300.2	251.1	16.4	19.55	69
200.4	151.4	24.4	32.36	300.7	251.1	16.5	19.75	62
200.3	128.8	35.7	55.51	300.2	251.1	16.4	19.55	62
200.6	153.1	23.7	31.02	300.9	251.2	16.5	19.78	64
200.3	128.8	35.7	55.51	300.7	251.1	16.5	19.75	64
200.7	153.1	23.7	31.02	300.7	251.1	16.4	19.55	65
200.4	145.1	27.7	38.31	300.7	251.1	16.5	19.75	67
200.6	128.2	36.0	56.31	300.2	251.1	16.4	19.55	61
200.3	153.1	23.7	31.02	300.3	249.9	16.8	20.16	61
200.4	128.8	35.7	55.51	300.2	251.1	16.4	19.55	61
200.3	128.2	36.0	56.31	300.7	251.1	16.5	19.75	57
200.6	128.8	35.7	55.51	300.9	251.2	16.5	19.78	58
200.7	153.1	23.7	31.02	300.7	251.1	16.5	19.75	59
200.7	145.1	27.7	38.31	300.2	251.1	16.4	19.55	62
200.7	145.1	27.7	38.31	300.2	251.1	16.4	19.55	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.9	251.2	16.5	19.78	64
200.6	153.1	23.7	31.02	300.9	251.2	16.5	19.78	62
200.6	153.1	23.7	31.02	300.3	249.9	16.8	20.16	62
200.3	128.8	35.7	55.51	300.2	251.1	16.4	19.55	63
200.6	153.1	23.7	31.02	300.3	249.9	16.8	20.16	66
200.7	145.1	27.7	38.31	300.2	251.1	16.4	19.55	65
200.4	128.2	36.0	56.31	300.7	251.1	16.5	19.75	67
200.3	128.8	35.7	55.51	300.2	251.1	16.4	19.55	63
200.6	153.1	23.7	31.02	300.9	251.2	16.5	19.78	61
200.7	145.1	27.7	38.31	300.2	251.1	16.4	19.55	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.3	249.9	16.8	20.16	70
เฉลี่ย	148.36	29.86	42.72	312.01	260.54	17.75	20.50	65.50

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.8 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	255.2	15.2	17.90	58
200.4	140.1	30.0	43.04	300.4	254.3	15.3	18.12	59
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	255.3	15.1	17.78	62
200.6	125.6	37.4	59.71	300.4	254.3	15.3	18.12	62
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	255.2	15.2	17.90	64
200.4	140.1	30.0	43.04	300.7	255.3	15.1	17.78	64
200.7	128.3	36.1	56.43	300.8	255.2	15.1	17.82	65
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	255.3	15.1	17.28	67
200.4	140.1	30.0	43.04	300.4	254.3	15.3	18.12	61
200.1	145.1	27.5	37.93	300.4	254.3	15.3	18.12	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	255.3	15.1	17.78	61
200.4	14.1	30.0	43.04	300.9	255.2	15.2	17.90	57
200.7	128.3	36.1	56.43	300.8	255.2	15.1	17.82	56
200.4	140.1	30.0	43.04	300.8	255.2	15.1	17.82	55
200.7	128.3	36.1	56.43	300.4	254.3	15.3	18.12	57
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	255.3	15.1	17.78	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	255.2	15.2	17.90	64
200.4	140.1	30.0	43.04	300.7	255.3	15.1	17.78	62
200.7	128.3	36.1	56.43	300.4	254.3	15.3	18.12	62
200.7	128.3	36.1	56.43	300.7	255.3	15.1	12.78	54
200.4	140.1	30.0	43.04	300.9	255.2	15.2	17.90	55
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	255.2	15.1	17.82	56
200.6	125.6	37.4	59.71	300.9	255.2	15.2	17.90	67
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	255.3	15.1	17.78	58
200.9	134.9	33.1	49.59	300.9	255.2	15.2	17.90	64
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	255.2	15.1	17.82	57
200.7	128.3	36.1	56.43	300.7	255.3	15.1	17.78	59
200.4	140.1	30.0	43.04	300.4	254.3	15.3	18.12	68
เฉลี่ย	**134.77**	**32.74**	**49.14**	**300.69**	**255.00**	**15.17**	**17.90**	**60.57**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.9 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 160 °C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.1	145.1	27.5	37.93	300.5	255.6	14.9	17.56	62
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	255.2	15.1	17.82	62
200.1	145.1	27.5	37.93	300.6	255.3	15.0	17.74	63
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	255.7	15.0	17.63	66
200.4	140.1	30.0	42.85	300.5	255.6	14.9	17.56	64
200.6	153.1	23.7	31.02	300.8	255.7	15.0	17.63	64
200.6	153.1	23.7	31.02	300.5	255.6	14.9	17.56	65
200.3	128.8	35.7	55.51	300.6	255.3	15.0	17.74	67
200.6	153.1	23.7	31.02	300.5	255.6	14.9	17.56	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.8	255.7	15.0	17.63	61
200.3	128.8	35.7	55.51	300.6	255.3	15.0	17.74	61
200.4	128.2	36.0	56.31	300.5	255.6	14.9	17.56	57
200.3	128.8	35.7	55.31	300.6	255.3	15.0	17.74	58
200.6	153.1	23.7	31.02	300.5	255.6	14.9	17.56	59
200.6	153.1	23.7	31.02	300.8	255.7	15.0	17.63	70
200.3	128.8	35.7	55.51	300.6	255.3	15.0	17.74	68
200.6	153.1	23.7	31.02	300.6	255.3	15.0	17.74	64
200.6	153.1	23.7	31.02	300.7	255.2	15.1	17.82	62
200.3	128.8	35.7	55.51	300.5	255.6	14.9	17.56	62
200.4	128.2	36.0	56.31	300.8	255.7	15.0	17.63	61
200.3	128..8	35.7	55.51	300.5	255.6	14.9	17.56	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.5	255.6	14.9	17.56	65
200.6	153.1	23.7	31.02	300.8	255.7	15.0	17.63	67
200.3	128.8	35.7	55.51	300.5	255.6	14.9	17.56	63
200.6	153.1	23.7	31.02	300.8	255.7	15.0	17.63	62
200.3	128.8	35.7	55.51	300.5	255.6	14.9	17.56	61
เฉลี่ย	**140.7**	**29.80**	**43.38**	**300.61**	**255.52**	**14.56**	**17.64**	**62.92**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D]x100

ตารางที่ ช.10 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 29 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 170 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื่น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.7	128.3	36.1	56.43	300.2	260.3	13.3	15.32	61
200.1	145.1	27.5	37.93	300.4	260.4	13.3	15.36	55
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	260.5	13.4	15.47	54
200.4	140.2	30.0	43.04	300.6	260.6	13.3	15.34	62
200.7	128.3	36.1	56.43	300.5	260.5	13.4	15.53	55
200.7	128.3	36.1	56.43	300.5	260.5	13.4	15.53	54
200.4	151.4	24.4	32.36	300.8	260.5	13.4	15.47	56
200.5	146.5	27.0	36.95	300.4	260.4	13.3	15.36	52
200.4	128.2	36.0	56.31	300.6	260.6	13.3	15.34	61
200.3	128.8	35.7	55.51	300.5	260.5	13.4	15.53	61
200.6	153.1	23.7	31.02	300.5	260.5	13.4	15.53	61
200.7	128.3	36.1	56.43	300.4	260.4	13.3	15.36	57
200.7	128.3	36.1	56.43	300.5	260.5	13.4	15.53	53
200.4	151.4	24.4	32.36	300.8	260.5	13.4	15.47	52
200.6	153.1	23.7	31.02	300.4	260.4	13.3	15.36	54
200.5	146.5	27.0	36.95	300.5	260.5	13.4	15.53	55
200.4	128.2	36.0	56.31	300.5	260.5	13.4	15.53	53
200.7	128.3	36.1	56.43	300.6	260.6	13.3	15.34	62
200.1	145.1	27.5	37.93	300.4	260.4	13.3	15.36	62
200.3	128.6	35.8	55.75	300.4	260.4	13.3	15.36	63
200.4	140.1	30.0	43.04	300.8	260.5	13.4	15.47	66
200.7	128.3	36.1	56.43	300.5	260.5	13.4	15.53	65
200.7	128.3	36.1	56.43	300.4	260.4	13.3	15.36	67
200.4	151.4	24.4	32.36	300.6	260.6	13.3	15.34	56
200.5	146.5	27.0	36.95	300.8	260.5	13.4	15.47	57
200.4	128.2	36.0	56.31	300.6	260.6	13.3	15.34	53
200.3	128.8	35.7	55.51	300.4	260.4	13.3	15.36	55
เฉลี่ย	**142.15**	**32.93**	**49.03**	**312.09**	**270.5**	**13.86**	**16.01**	**60.07**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D]x100

ตารางที่ ช.11 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก(g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก(g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	249.2	17.2	20.74	52
200.4	140.1	30.0	42.85	300.7	247.6	17.6	21.44	52
200.3	128.6	35.8	55.75	300.5	248.2	17.4	21.07	52
200.5	147.4	26.5	36.05	300.3	248.3	17.3	20.94	52
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	248.7	17.3	20.94	52
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	248.6	17.3	20.91	52
200.1	145.1	27.5	37.93	300.2	248.6	17.2	20.75	53
200.5	147.4	26.5	36.05	300.4	248.7	17.2	20.78	53
200.3	130.6	34.7	53.36	300.9	249.2	17.2	20.74	53
200.3	135.6	32.3	47.71	300.8	248.7	17.3	20.94	53
200.4	131.6	34.3	42.85	300.7	247.6	17.6	21.44	54
200.4	142.1	29.0	40.84	300.3	248.3	17.3	20.94	54
200.2	142.1	29.0	40.84	300.8	248.7	17.3	20.94	54
200.2	140.7	29.7	42.28	300.7	247.6	17.6	21.44	54
200.2	141.5	29.4	41.69	300.8	248.7	17.3	20.94	54
200.5	141.3	29.5	41.89	300.9	249.2	17.2	20.74	54
200.4	142.2	29.1	40.92	300.7	247.6	17.6	21.44	54
200.3	135.6	32.3	47.71	300.3	248.3	17.3	20.94	54
200.5	147.4	26.5	36.05	300.5	248.2	17.4	21.07	54
200.3	130.6	34.7	53.36	300.4	248.7	17.2	20.78	54
200.2	140.7	29.7	42.28	300.9	249.2	17.2	20.74	54
200.2	141.5	29.4	41.69	300.5	248.2	17.4	21.07	54
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	247.6	17.6	21.44	53
เฉลี่ย	**137.76**	**31.22**	**45.34**	**300.62**	**248.42**	**17.35**	**21.01**	**53.26**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D]x100

ตารางที่ ช.12 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 140 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าข้าวเปลือก(g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	135.6	32.3	47.71	300.6	259.4	13.7	15.88	57
200.4	140.1	30.0	42.85	300.2	259.0	13.7	15.90	57
200.2	141.5	29.4	41.69	300.4	259.4	13.7	15.93	57
200.5	141.3	29.5	41.89	300.7	259.4	13.7	15.92	57
200.4	142.2	29.1	40.92	300.5	259.3	13.7	15.88	57
200.3	135.6	32.3	47.71	300.3	258.6	13.9	16.12	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.8	259.2	13.8	16.04	57
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	259.4	13.7	15.88	57
200.2	140.7	29.7	42.28	300.2	259.0	13.7	15.90	57
200.2	141.5	29.4	41.69	300.4	259.4	13.7	15.93	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	259.4	13.7	15.92	57
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	259.2	13.8	16.04	56
200.3	135.6	32.3	47.71	300.9	259.4	13.8	15.99	56
200.4	131.6	34.3	42.85	300.7	259.4	13.7	15.92	56
200.4	142.1	29	40.84	300.5	259.3	13.7	15.88	56
200.2	142.1	29	40.84	300.7	259.4	13.7	15.92	56
200.2	140.7	29.7	42.28	300.5	259.3	13.7	15.88	56
200.4	142.2	29.1	40.92	300.3	258.6	13.9	16.12	56
200.3	135.6	32.3	47.71	300.8	259.2	13.8	16.04	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	259.4	13.7	15.92	56
200.2	141.5	29.4	41.69	300.8	259.2	13.8	16.04	56
200.5	141.3	29.5	41.89	300.9	259.4	13.8	15.99	56
200.4	142.2	29.1	40.92	300.7	259.4	13.7	15.92	56
200.3	135.6	32.3	47.71	300.5	259.3	13.7	15.88	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.3	258.6	13.9	16.12	56
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	259.4	13.7	15.88	56
200.2	140.7	29.7	42.28	300.2	259.0	13.7	15.90	56
200.2	141.5	29.4	41.69	300.4	259.4	13.7	15.93	56
เฉลี่ย	**139.74**	**30.25**	**43.23**	**300.56**	**259.23**	**13.74**	**15.95**	**56.39**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.13 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH (%)
มวลข้าข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	261.0	13.2	15.21	54
200.4	140.1	30.0	42.85	300.5	261.1	13.1	15.09	54
200.3	130.6	34.7	53.36	300.3	260.6	13.2	15.23	54
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	260.4	13.4	15.51	54
200.1	145.1	27.5	37.93	300.6	261.4	13.0	14.99	54
200.5	147.4	26.5	36.05	300.8	260.4	13.4	15.51	54
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	261.4	13.0	14.99	54
200.3	135.6	32.3	47.71	300.8	160.4	13.4	15.51	52
200.4	131.6	34.3	42.85	300.6	261.4	13.0	14.99	52
200.4	142.1	29.0	40.84	300.7	261.0	13.2	15.21	52
200.2	142.1	29.0	40.84	300.6	261.4	13.0	14.99	52
200.2	140.7	29.7	42.28	300.3	260.6	13.2	15.23	52
200.3	135.6	32.3	47.71	300.8	260.4	13.4	15.51	52
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	261.4	13.0	14.99	52
200.1	145.1	27.5	37.93	300.3	260.6	13.2	15.23	54
200.5	147.4	26.5	36.05	300.3	260.6	13.2	15.23	54
200.3	130.6	34.7	53.36	300.5	261.1	13.1	15.09	54
200.3	135.6	32.3	47.71	300.6	261.4	13.0	14.99	54
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	260.4	13.4	15.51	54
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	261.4	13.0	14.99	54
200.1	145.1	27.5	37.93	300.3	260.6	13.2	15.23	53
200.5	147.4	26.5	36.05	300.8	260.4	13.4	15.51	53
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	261.4	13.0	14.99	53
200.3	135.6	32.3	47.71	300.7	261.0	13.2	15.21	53
200.4	131.6	34.3	42.85	300.5	261.1	13.1	15.09	53
200.4	142.1	29.0	40.84	300.3	260.6	13.2	15.23	53
200.2	142.1	29.0	40.84	300.8	260.4	13.4	15.51	53
200.2	140.7	29.7	42.28	300.6	261.4	13.0	14.99	53
เฉลี่ย	**137.90**	**31.12**	**44.89**	**300.59**	**257.33**	**13.18**	**15.21**	**53.21**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.14 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 160 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.3	128.6	35.8	55.75	300.9	263.3	12.8	14.28	61
200.4	140.1	30	42.85	300.7	263.1	12.5	14.28	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.3	262.8	12.6	14.4	61
200.5	147.4	26.5	36.05	300.8	262.9	12.6	14.41	61
200.3	130.6	34.7	53.36	300.7	263.1	12.5	14.28	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	262.9	12.6	14.41	61
200.1	145.1	27.5	37.93	300.9	263.3	12.8	14.28	61
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	262.4	12.7	14.88	61
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	262.9	12.6	14.41	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	263.1	125	14.28	59
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	262.9	12.6	14.41	59
200.4	140.1	30	42.85	300.6	262.4	12.7	14.88	59
200.3	130.6	34.7	53.36	300.7	263.1	125	14.28	59
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	262.4	12.7	14.88	59
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	263.1	12.5	14.28	59
200.4	140.1	30	42.85	300.8	262.9	12.6	14.41	59
200.3	130.6	34.7	53.36	300.9	263.3	12.8	14.28	59
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	262.4	12.7	14.88	59
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	262.9	12.6	14.41	59
200.4	140.1	30	42.85	300.6	262.4	12.7	14.88	59
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	262.9	12.6	14.41	59
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	262.4	12.7	14.88	59
200.3	130.6	34.7	53.36	300.7	263.1	12.5	14.29	62
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	262.4	12.7	14.88	62
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	262.9	12.6	14.41	62
200.3	130.6	34.7	53.36	300.6	262.4	12.7	14.88	62
200.3	**128.6**	**35.8**	**55.75**	**300.7**	**263.1**	**12.5**	**14.29**	**62**

ตารางที่ ช.15 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 160 ^{o}C (ต่อ)

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	262.4	12.7	14.88	61
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	262.9	12.6	14.41	61
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	263.1	12.5	14.29	61
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	262.9	12.6	14.41	61
เฉลี่ย	**135.55**	**32.3**	**48.22**	**300.71**	**261.85**	**12.58**	**14.4**	**60.59**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ตารางที่ ช.16 การอบแห้งของข้าวเปลือกสด พันธ์ กข 27 ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 170 ^{o}C

ข้าวเปลือกสด				ข้าวเปลือกแห้ง				RH(%)
มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		มวลข้าวเปลือก (g)		ความชื้น (%)		ขณะเก็บ
ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ก่อนอบ	หลังอบ	wet basis	dry basis	ตัวอย่าง
200.1	145.1	27.5	37.93	300.6	264.9	11.9	13.47	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	265.4	11.7	13.30	57
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	264.9	11.9	13.47	57
200.4	140.1	30	42.85	300.7	265.4	11.7	13.30	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.8	265.4	11.6	13.12	57
200.3	130.6	34.7	53.36	300.9	265.1	11.9	13.50	57
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	264.9	11.9	13.47	57
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	265.4	11.6	13.12	57
200.5	147.4	26.5	36.05	300.7	265.4	11.7	13.30	57
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	265.4	11.6	13.12	57
200.3	135.6	32.3	47.71	300.6	264.9	11.9	13.47	57
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	265.4	11.7	13.30	58
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	264.9	11.9	13.47	58
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	265.4	11.7	13.30	58
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	265.4	11.6	13.12	58
200.5	147.4	26.5	36.05	300.9	265.1	11.9	13.50	58
200.3	128.6	35.8	55.75	300.6	264.9	11.9	13.47	58
200.1	145.1	27.5	37.93	300.7	265.4	11.7	13.30	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	264.9	11.9	13.47	56
200.3	128.6	35.8	55.75	300.7	265.4	11.7	13.30	56
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	265.4	11.6	13.12	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	264.9	11.9	13.47	56
200.3	130.6	34.7	53.36	300.7	265.4	11.7	13.30	56
200.3	128.6	35.8	55.75	300.8	265.4	11.6	13.12	56
200.1	145.1	27.5	37.93	300.8	265.4	11.6	13.12	56
200.5	147.4	26.5	36.05	300.6	264.9	11.9	13.47	56
200.3	130.6	34.7	53.36	300.8	265.4	11.6	13.12	56
200.3	135.6	32.3	47.71	300.7	265.4	11.7	13.30	56
เฉลี่ย	**138.62**	**30.78**	**44.99**	**300.71**	**26.53**	**11.75**	**13.31**	**56.82**

Remark : M_w = [(W - D) / W] x100

M_d = [(W - D) / D] x100

ภาคผนวก ฌ

ตารางปริมาณการใช้พลังงาน

ตารางที่ ฌ.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแกลบเพื่อสร้างลมร้อนด้วยเตาเผาทรงกระบอกตั้ง

Item	Order No.	Description	Paddy (ton)	Operate (h)	Husk Fuel (kg)
1	140010257	Dried Paddy	140	7.00	854.00
2	178010257	White Rice	178	8.90	1059.20
3	206010257	Coarse Rice	206	10.30	1225.40
4	142010257	Dried Paddy	142	7.10	827.80
5	172010257	White Rice	172	8.60	1019.80
6	146010257	Coarse Rice	146	7.30	867.40
7	123010257	Coarse Rice	123	6.15	730.70
8	105010257	Coarse Rice	105	5.25	624.70
9	132010257	White Rice	132	6.60	774.80
10	180010257	Coarse Rice	180	9.00	1060.00
11	453010257	White Rice	453	22.65	2670.70
12	346010257	Coarse Rice	346	17.30	2045.40
13	723010257	Coarse Rice	723	36.15	4260.20
14	986010257	Coarse Rice	986	49.30	5812.40
15	794010257	Coarse Rice	794	39.70	4674.60
16	643010357	Coarse Rice	643	32.15	3798.40
17	398010357	Coarse Rice	398	19.90	2353.20
18	892010357	Coarse Rice	892	44.60	5267.80
19	843010457	Coarse Rice	843	42.15	4978.70
20	985010457	Coarse Rice	986	49.30	5827.40
21	765010457	Coarse Rice	765	38.25	4521.50
22	578020557	Coarse Rice	578	28.90	3423.20
23	914020557	Coarse Rice	914	45.70	5376.60
Summation			**10,845**	**542.25**	**64,053.90**

Remark : High Heating Values of Hush 14,925 kJ/kg

Average Husk Fuel Feeding 118 kg/h = (Husk Fuel / Operate Hour)

ตารางที่ ฌ.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิของการลดความชื้นในข้าวเปลือกสดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

Operate	Feeding (kg/h)	Power (kW)	Electricity Energy (MJ/h)	Thermal Energy (MJ/h)	Total Energy (MJ/h)
1	117.34	42.76	492.59	1751.29	2243.89
2	117.93	42.57	490.40	1760.10	2250.51
3	116.76	42.12	485.22	1742.64	2227.86
4	118.07	41.37	476.58	1762.19	2238.77
5	118.02	41.98	483.60	1761.44	2245.05
6	117.22	41.94	483.14	1749.50	2232.65
7	117.31	41.69	480.26	1750.85	2231.12
8	118.07	43.45	500.54	1762.19	2262.73
9	117.05	43.62	502.50	1746.97	2249.47
10	117.09	40.44	455.86	1747.56	2213.43
11	118.09	40.21	463.21	1762.49	2225.71
12	118.08	40.15	462.52	1761.59	2224.12
13	117.97	40.11	462.06	1760.70	2222.76
14	117.69	40.83	470.36	1756.52	2226.88
15	117.49	40.68	468.63	1753.53	2222.17
16	117.23	41.32	476.00	1749.65	2225.66
17	118.11	41.26	475.31	1762.79	2238.10
18	118.15	41.31	475.89	1763.38	2239.28
Average	**117.66**	**41.54**	**478.55**	**1756.14**	**2234.69**

Remark : Cos θ for Power Factor 0.8

Conversion for Electricity Factor to Primary Energy 3.2

Electricity Energy = Power x Factor to Primary Energy x 60 x 60

Thermal Energy = Husk Fuel x High Heating Value

Total Energy = Electricity Energy + Thermal Energy

ตารางที่ ฌ.3 ปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของการลดความชื้นในข้าวเปลือกสด โดยใช้เครื่องอบแห้งมัสท์โฟล กำลังการผลิต 20 t/h

Operate	Total Primary Energy (MJ/h)	Water Evap. (kg/h)	Specific Energy Consumption (MJ/kg-water evap.)
1	2243.89	5574.37	402.52
2	2250.51	3833.85	587.01
3	2227.86	3160.78	704.84
4	2238.77	6053.86	369.80
5	2245.05	5574.37	402.74
6	2232.65	3886.15	574.51
7	2231.12	5673.77	393.23
8	2262.73	3160.78	715.87
9	2249.47	3833.85	586.74
10	2213.43	3107.45	712.30
11	2225.71	5592.05	398.01
12	2224.12	3867.69	575.05
13	2222.76	5673.77	391.76
14	2226.88	3880.00	573.93
15	2222.17	5629.68	394.72
16	2225.60	3160.78	704.15
17	2238.10	5574.37	401.49
18	2239.28	3886.15	576.22
19	2239.03	5639.68	397.71
Average	**2234.69**	**4565.96**	**519.08**

Remark : Total Primary Energy = Electric Energy + Thermal Energy

Rate of Water Evap. = $(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} \times (MC_i - MC_o)_{\text{dry matter}}$

$(\text{Feed Rate})_{\text{dry matter}} = (\text{Feed Rate})_{\text{wet matter}} \times [100 / \{100 + (\%wb)\}]$

Specific Energy Consumption = total Primary Energy / Rate of Water Evap.

ตารางที่ ฌ.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของระบบการอบแห้งลดความชื้นในข้าวเปลือกสดโดยการใช้เครื่องอบแบบแห้งมัสท์โฟล กำลังการผิต 20 t/h

item	Description	Name Plate (kW)	Ampere (A)	Electrical Power (kW)	Primary energy (MJ/h)
1	Elevator 1	3	5.2	2.73	31.54
2	Cleaner	3	4.9	2.58	29.72
3	Elevator 2	3	4.4	2.31	26.68
4	Poro drying	5	9.2	4.84	55.80
5	Blower Drying	7	12.6	6.63	76.42
6	Elevator 3	3	5.4	2.84	32.75
7	Blower Cond.	5	9.2	4.84	55.80
8	Shuttle Vale	3	5.3	2.79	32.14
9	Elevator 4	3	5.4	2.84	32.75
10	Belt Conveyor	3	5.5	2.89	33.35
11	Screw Feeder	1	1.6	0.84	9.69
12	Husk Feeding	1	1.6	0.84	9.69
13	Blower Feeding	2	3.5	1.84	21.21
14	Blade Reducer	2	3.5	1.84	21.21
15	Ash Conveying	1	1.3	0.68	7.87
Summation		**45**	**78.6**	**41.37**	**476.68**

Remark : Cos θ for Power Factor 0.8

Conversion for Electricity Factor to Primary Energy 3.2

Electricity Energy = Power x Factor to Primary Energy x 60 x 60

Electric Power = $\sqrt{3}$ I V Cos θ

ตารางที่ ฌ.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของระบบการอบแห้งลดความชื้นในข้าวเปลือกสดโดยการใช้เครื่องอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด กำลังการผิต 20 t/h

item	Description	Name Plate (kW)	Ampere (A)	Electrical Power (kW)	Primary energy (MJ/h)
1	Elevator 1	3	4.9	2.58	29.72
2	Cleaner	3	5.1	2.68	30.93
3	Elevator 2	3	4.7	2.47	28.50
4	Blower Drying 1	30	53.6	28.22	325.11
5	Blower Drying 2	30	53.1	28.11	323.90
6	Elevator 3	3	5.4	2.84	32.75
7	Blower Cond.	2	9.1	4.79	55.19
8	Shuttle Vale	3	5.5	2.89	33.35
9	Elevator 4	3	5.3	2.79	32.14
10	Belt Conveyor	3	5.5	2.89	33.35
11	Screw Feeder	1	1.6	0.84	8.69
12	Husk Feeding	1	1.5	0.78	9.08
13	Blower Feeding	2	3.5	1.84	21.21
14	Blade Reducer	2	3.6	1.89	21.83
15	Ash Conveying	1	1.4	0.73	8.49
Summation		**93**	**163.80**	**86.39**	**995.29**

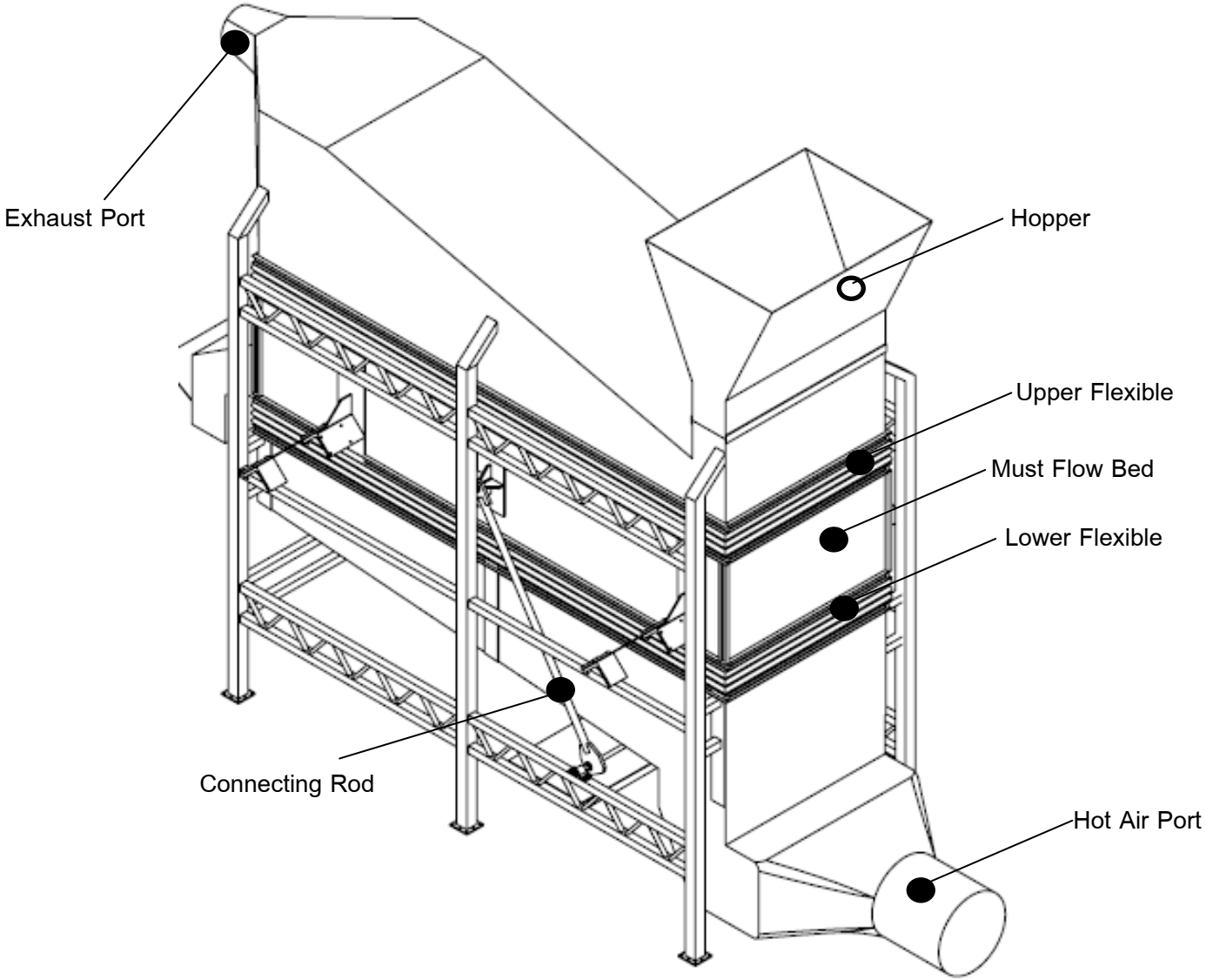
Remark : Cos θ for Power Factor 0.8

Conversion for Electricity Factor to Primary Energy 3.2

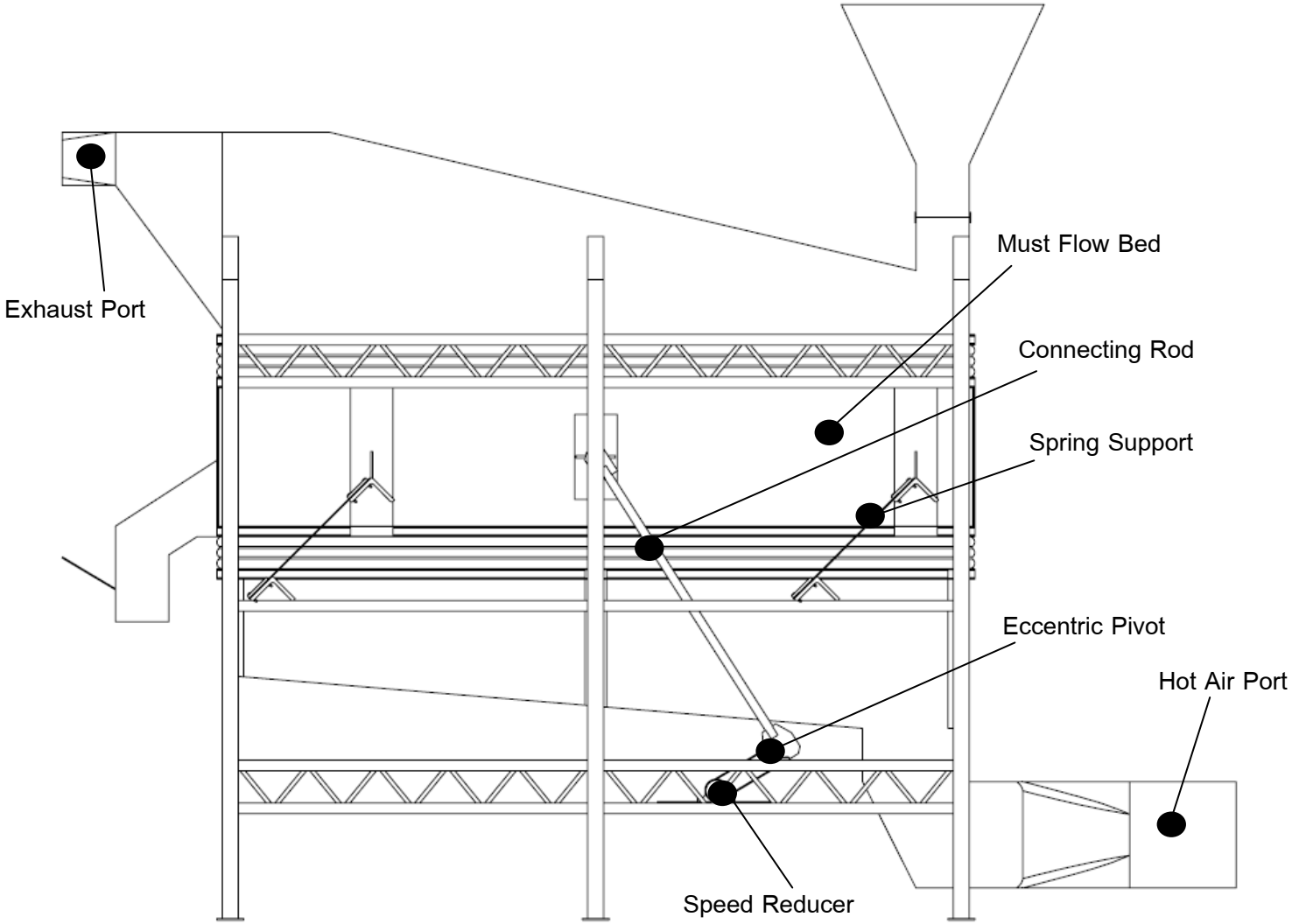
Electricity Energy = Power x Factor to Primary Energy x 60 x 60

Electric Power = $\sqrt{3}$ I V Cos θ

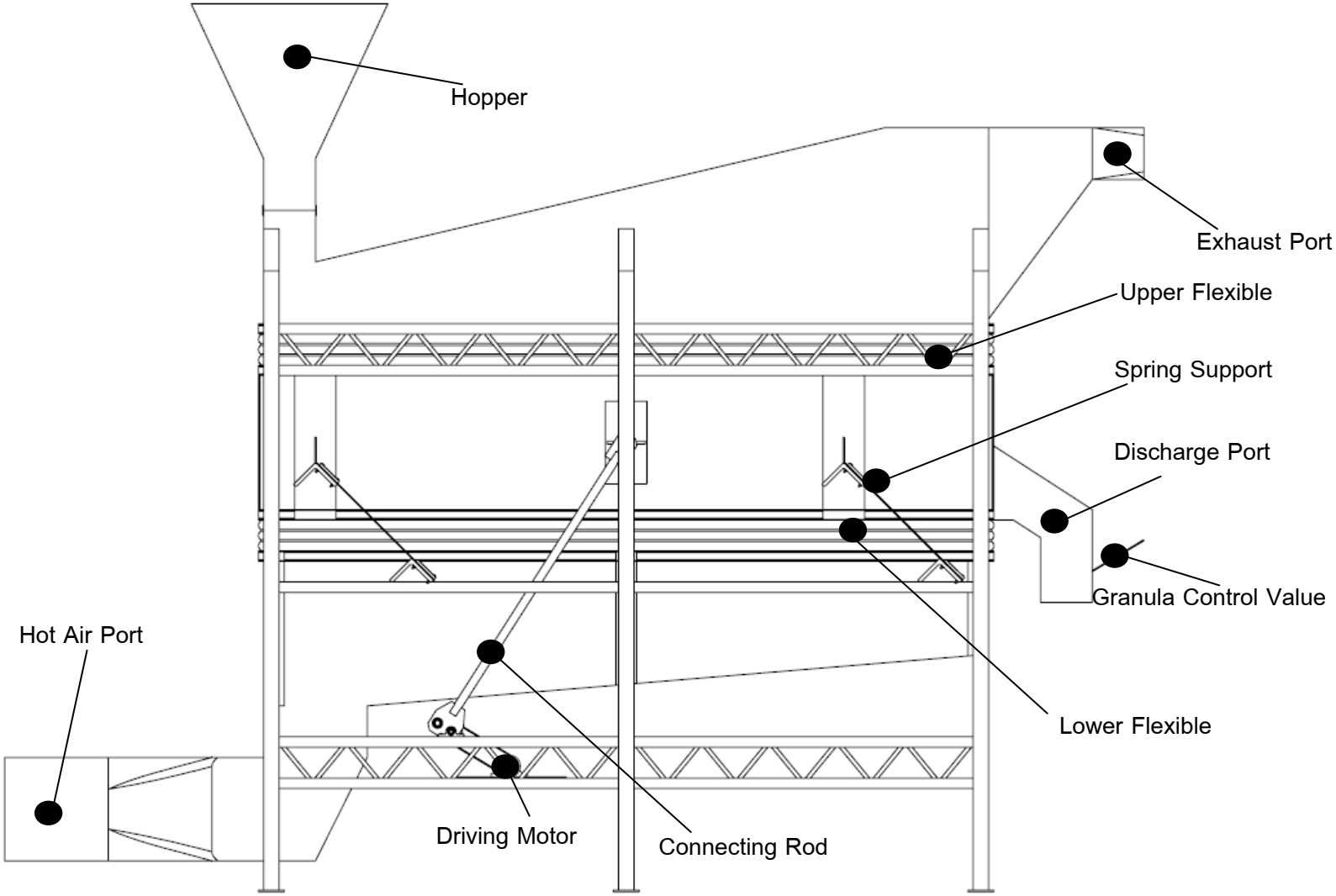
ภาคผนวก ญ
รูปด้านของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล



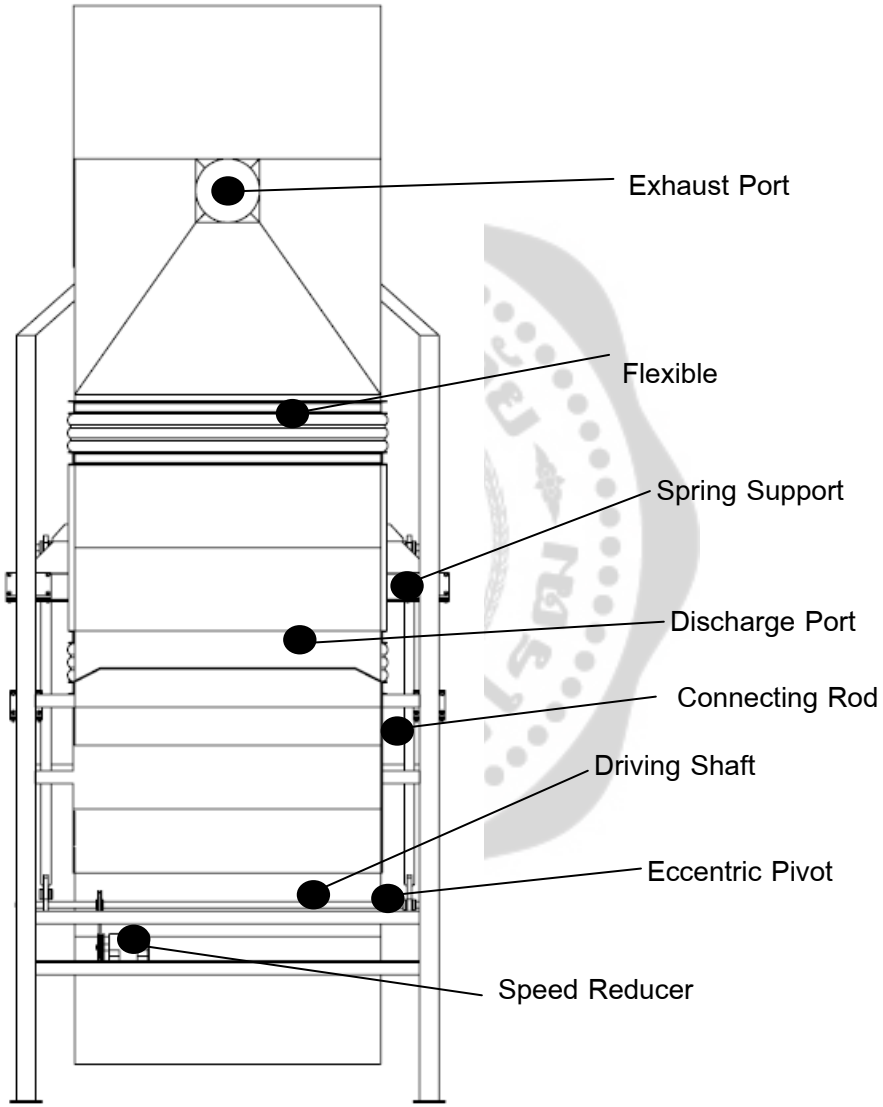
Isometric View



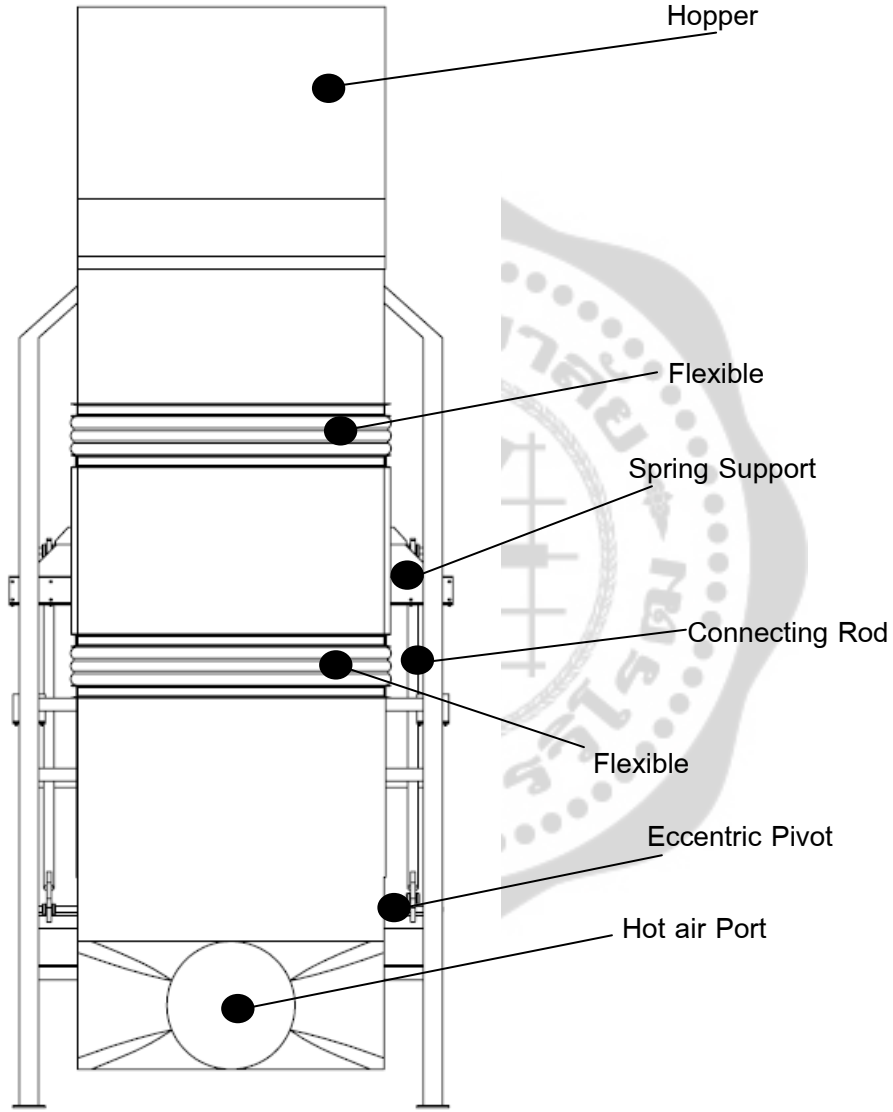
Left Side View



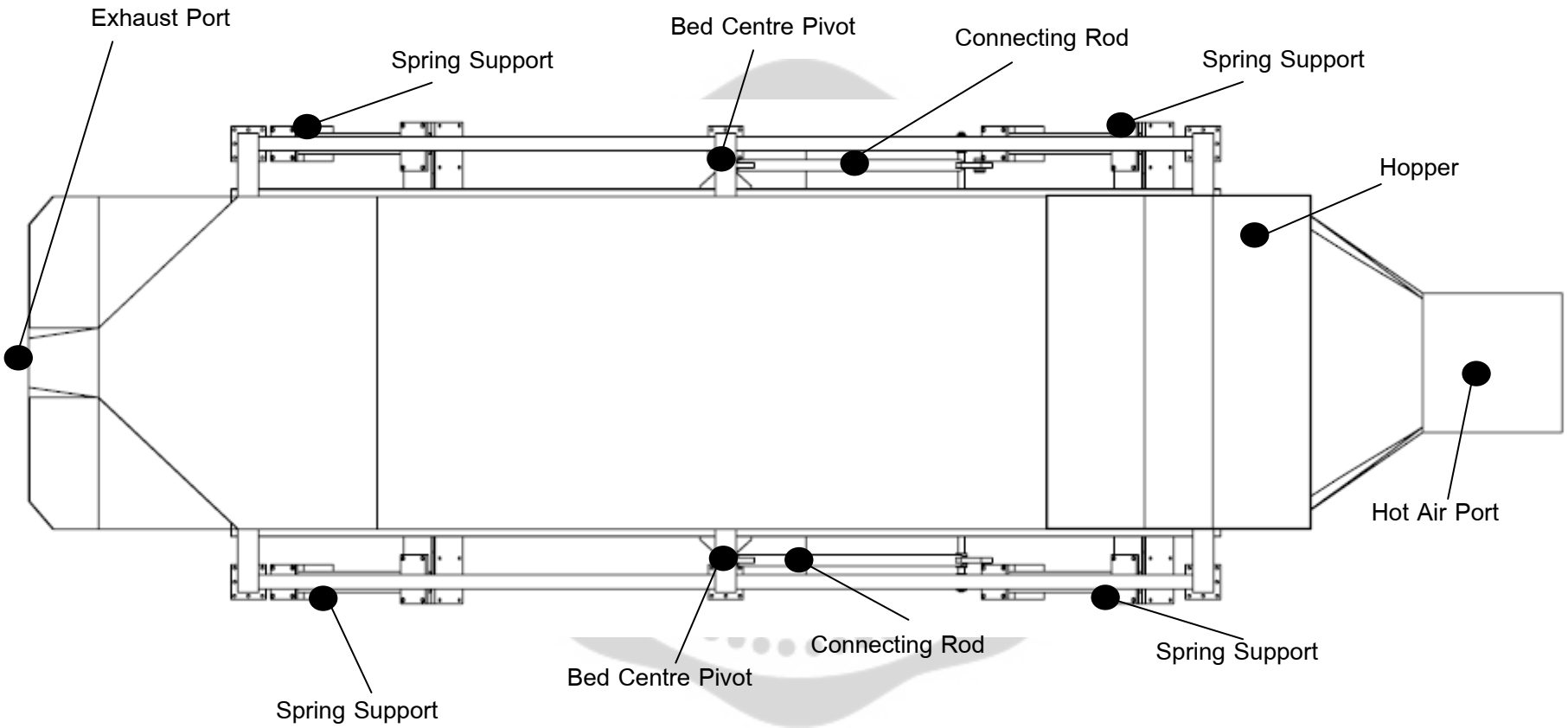
Right Side View



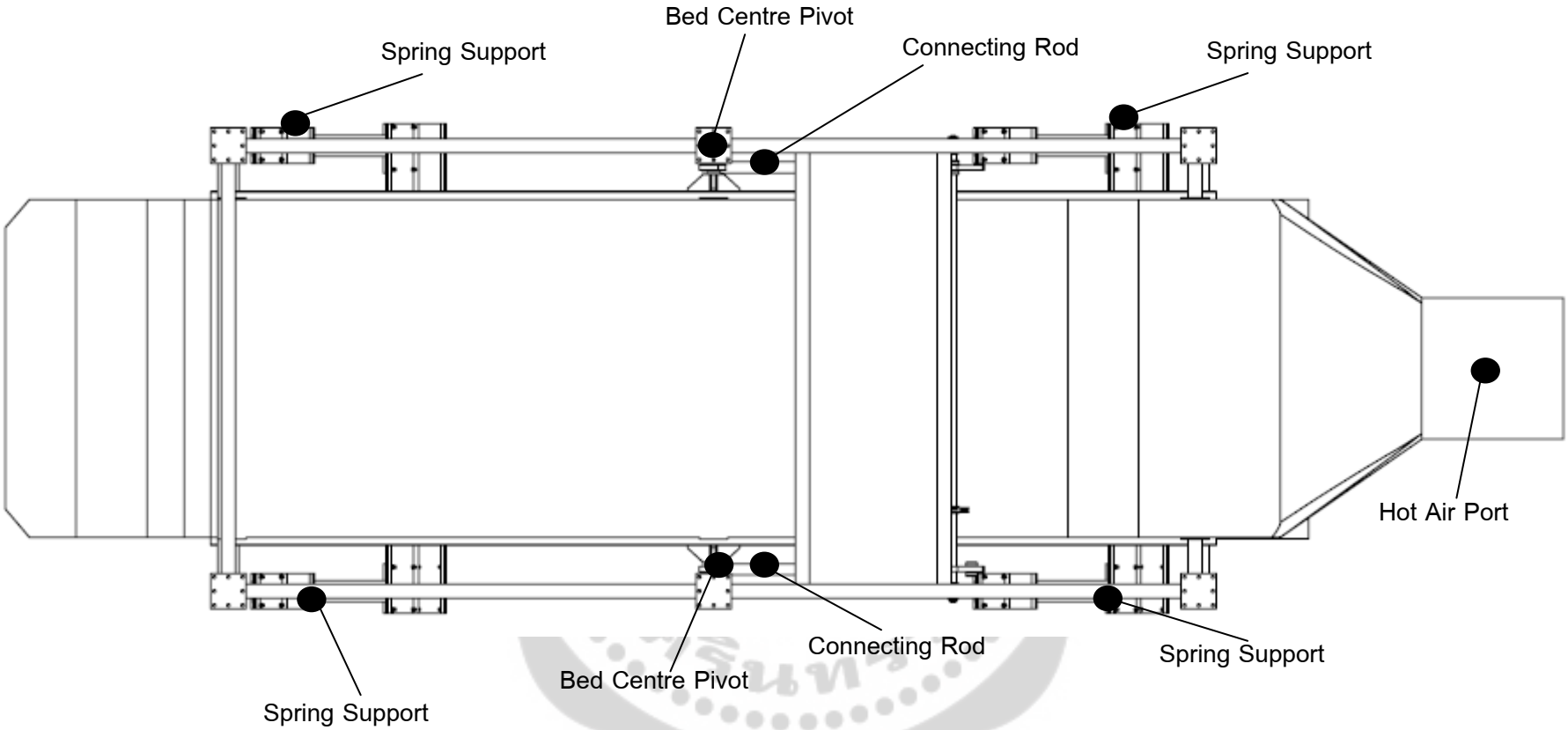
Outlet Exhaust View



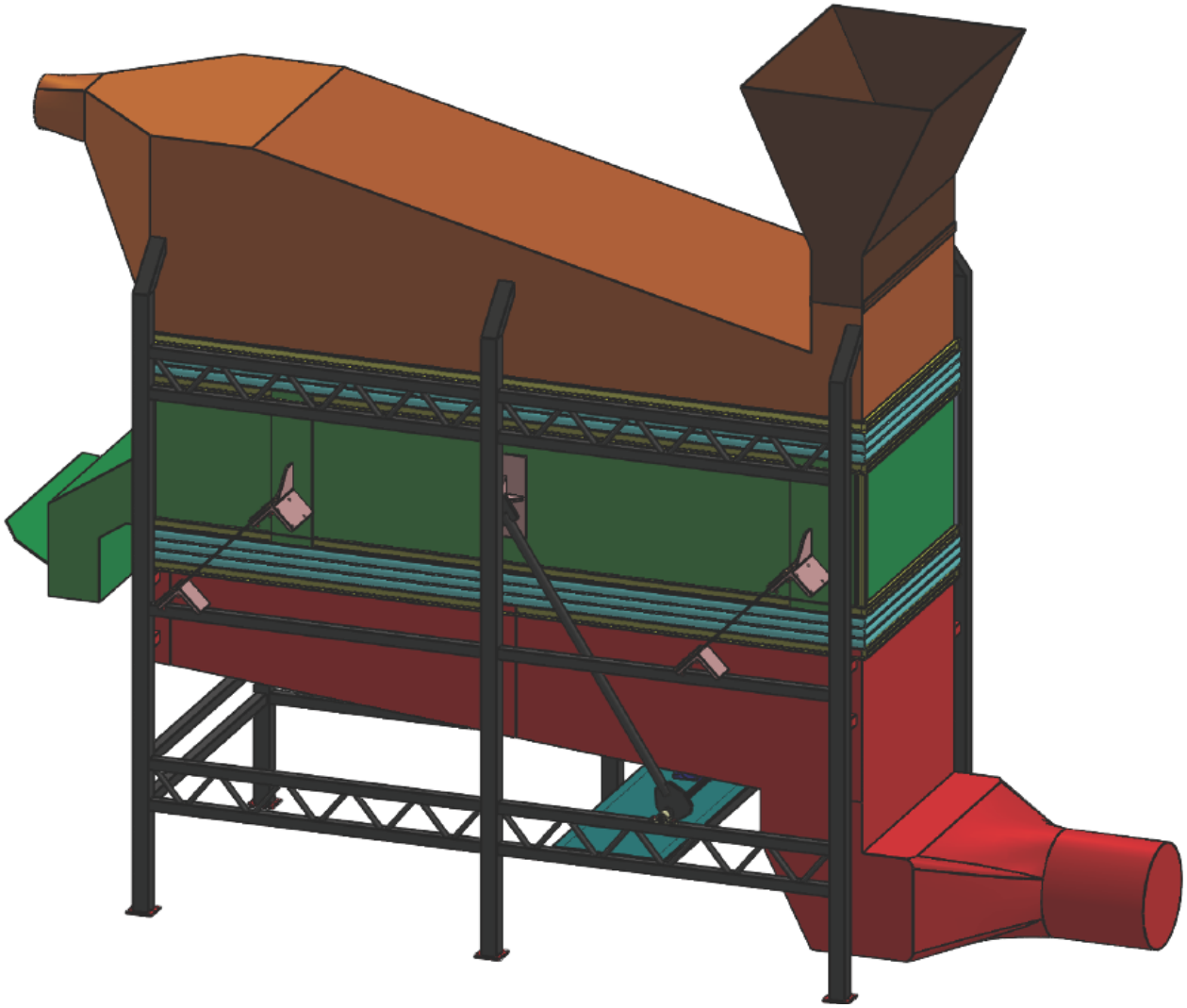
Inlet Hot Air View


Exhaust Port
Spring Support
Bed Centre Pivot
Connecting Rod
Spring Support
Hopper
Hot Air Port
Spring Support
Bed Centre Pivot
Connecting Rod
Spring Support

Top View


Bed Centre Pivot
Spring Support
Connecting Rod
Spring Support
Hot Air Port
Connecting Rod
Spring Support
Bed Centre Pivot
Spring Support

Bottom View



แบบไอโซเมตริกเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่ได้รับอนุมัติ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายมุสตาฟา ยะภา
วันเดือนปีเกิด	31 ธันวาคม 2504
สถานที่เกิด	จังหวัดนราธิวาส
สถานที่อยู่ตามสำเนาทะเบียนบ้าน	233 / 6 หมู่บ้านผาแดง หมู่ที่ 7 ต.หนองบัวใต้ อ.เมืองตาก จ.ตาก รหัสไปรษณีย์ 63000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	99 / 100 หมู่บ้านร่วมสูขวิลล่า แขวงสายใหม เขตสายใหม กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10120
โทรศัพท์	081-9365705
Email	yapha77@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2518	ประถมศึกษาปีที่ 7 การประชาบาล จาก โรงเรียนบ้านยี่งอ นราธิวาส
พ.ศ.2522	มัธยมศึกษาปีที่ 3 การศึกษาพื้นฐาน จาก โรงเรียนร่มเกล้า นราธิวาส
พ.ศ.2525	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ แผนกวิชาเครื่องกล จาก โรงเรียนการช่าง ปัตตานี
พ.ศ.2527	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาเครื่องกล จาก วิทยาลัยเทคนิค ยะลา
พ.ศ.2532	อุตสาหกรรมศิลป์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม จาก สถาบันสหพุทธชินราช กำแพงเพชร
พ.ศ.2535	ประกาศนียบัตรบัณฑิต เทคโนโลยีพลังงาน (เครื่องกล) จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ.2537	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีพลังงาน (เครื่องกล) จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ.2559	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ