ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ปริญญานิพนธ์

ของ

พงศกร สุวโท

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ปริญญานิพนธ์
ของ
พงศกร สุวโท

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

บทคัดย่อ

ของ

พงศกร สุวโท

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

พงศกร สุวโท. (2558). *ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.ประชา บุณยวานิชกุล.

งานวิจัยนี้มุ่งหมายศึกษาผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล โดยทดสอบในห้องอบที่มีขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 100 cm x สูง 30 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm,150 rpm และ 160 rpm ระยะยกของห้องอบแห้งที่ 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm ความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 5 ระดับคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 cm โดยใช้อัตราการไหลของลมตั้งแต่ 0 – 0.3 m^3/s พบว่าค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น และยังพบว่าที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm และความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมีค่ามากกว่าที่สภาวะอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบระยะยกห้องอบแห้ง และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งกับอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือก ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อัตราการไหลของลม 0.2 m^3/s อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 150 $^{\circ}C$ พบว่าที่ระยะยกห้องอบแห้ง 4 cm และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ,มีอัตราการลดความชื้นได้มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ จึงเหมาะสมกับการอบแห้งข้าวเปลือกมากที่สุด

คำสำคัญ: ระยะยกของห้องอบแห้ง,ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง,เครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล, ความพรุน

INFLUENCES OF LIFTING FREQUENCY AND HEIGHT ON MOISTURE CONTENT REDUCTION OF PADDY IN MUST FLOW DRYER

AN ABSTRACT

BY

PONGSAKORN SUWATO

Presented in Fulfillment of the Requirements for the Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering at SrinakharinwirotUnivercity

December 2015

Pongsakorn suwato (2015). *Influences of lifting frequency and height on moisture content reduction of paddy in must flow dryer. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, SrinakharinwirotUniversity.Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Pracha* Bunyawanichakul.

This research aims to study the Influences of lifting frequency and height on moisture content reduction of paddy in must flow dryer.The dryer was 20 cm wide x 100 cm long x 30 cm high. The frequencies of moving up/down of the dryer chamber were 140 rpm, 150 rpm, and 160 rpm. The lifts of the dryer chamber were 4 cm, 4.6 cm, and 5.2 cm. The heights of the paddy bed were 1, 2, 3, 4, and 5 cm. The air flow rates were 0 – 0.3 m^3/s. It was found that the porosity of the paddy in the dry chamber was increased if the air flow rate was increased. It was also found that if the lift of the dryer was 4 cm, the frequency was140 rpm, and the height of the paddy bed was 3 cm; then the porosity would have the highest value. By comparing the lifts, frequencies, and moisture reduction rates with the height of the paddy bed of 3 cm, the air flow rate of 0.2 m^3/s, and the drying temperature of 150°C; it was found that the lift of 4 cm and frequency of 140 rpm resulted in a higher moisture reduction than other conditions. In other words, this was the most appropriate condition for drying the paddy.

Keywords: lift, frequency of moving up/down, Must Flow dryer, and porosity

.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
ผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก
ในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล
ของ
พงศกร สุวโท

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....รักษาราชการการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษฎี โยเหลา)
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

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

..... กรรมการ
(ดร.พลเทพ เวงสูงเนิน)

ประกาศคุณูประการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล อาจารย์ผู้ควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยเรื่องผลกระทบของความถี่และระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์มณฑล ชูโชนาค ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทดสอบครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณมุสตา ฟายะภา นักศึกษาระดับดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในระหว่างการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุนการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

พงศกร สุวโท

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

ทฤษฎีการสมดุลความชื้น..... 3

ความชื้น..... 3

เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช..... 4

การลดความชื้นเมล็ดข้าว..... 4

ความชื้นสมดุลย์..... 6

กระบวนการอบแห้ง..... 7

การอบแห้งแบบชั้นบางของข้าว..... 9

ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว..... 10

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล..... 10

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....10

ทฤษฎีการถ่ายเทมวล.....11

ความหนาแน่นปรากฏ.....11

ค่าความพรุน.....12

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....12

3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....16

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล..... 16

อุปกรณ์การทดลอง.....17

ขั้นตอนการทดลอง..... 20

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 23

ลักษณะการเกิดมัทส์โฟล..... 23

ผลการทดลอง..... 24

การเปรียบเทียบความสูงของชั้นข้าวเปลือก..... 24

การเปรียบเทียบความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง..... 29

การเปรียบเทียบระยะยกของห้องอบแห้ง.....31

การเปรียบเทียบความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm.....32

ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในการอบแห้ง.....33

ผลกระทบของความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.....38

ผลกระทบของระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล.....40

ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง.....41

5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....43

สรุปผลงานวิจัย..... 43

ข้อเสนอแนะ..... 44

บรรณานุกรม..... 45

ภาคผนวก..... 48

ภาคผนวก ก.ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่..... 49

ภาคผนวก ข.ตารางแสดงงบประมาณ.....51

ภาคผนวก ค.อักษรย่อและสัญลักษณ์..... 53

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 55

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก.....	5
2	กราฟแสดงลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ.....	7
3	แสดงเส้นกราฟของการอบแห้ง.....	8
4	โครงสร้าง และส่วนประกอบของเมล็ดข้าวเปลือก.....	10
5	แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอบข้าวแบบ MUST FLOW.....	16
6	ชุดเครื่องวัดความเร็วลม.....	17
7	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด.....	18
8	เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก.....	18
9	เครื่องชั่งดิจิตอล.....	19
10	เครื่องวัดความเร็วรอบ.....	19
11	Electrical Control Switch.....	20
12	โบเวอร์.....	20
13	นาฬิกาจับเวลา.....	21
14	เครื่องอบแห้งแบบมัทส์โฟล.....	23
15	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm.....	24
16	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm.....	25
17	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm.....	25
18	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm.....	26
19	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm.....	26

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

20 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm..... 27

21 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm..... 27

22 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm..... 28

23 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm..... 28

24 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง140rpm, 150 rpm และ 160 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยก 4 cm..... 29

25 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยก 4.6 cm..... 30

26 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยก 5.2 cm..... 30

27 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศที่ระยะยก 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm แผ่นตะแกรงขนาดรูเปิด 2 mm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm..... 31

28 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ระยะยก 4 cmความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm แผ่นตะแกรงขนาดรูเปิด 2 mm อุณหภูมิแวดล้อม 30°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 52 %..... 32

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

29 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายกับความพรุนที่ระยะยก 4 cmความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cmแผ่นตะแกรงขนาดรูเปิด 2 mm อุณหภูมิแวดล้อม 30˚C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 52 %..... 32

30 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm..... 33

31 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm..... 34

32 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm..... 34

33 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm..... 35

34 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm..... 35

35 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm..... 36

36 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm..... 36

37 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm..... 37

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

38 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง160 rpm…….. 37

39 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล……. 38

40 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล…… 39

41 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล……..…. 40

42 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล……..…. 40

43 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความชื้นกับระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง……..…. 41

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรหลัก ๆ คือข้าว ข้าวโพด และพืชอื่น ๆ โดยเฉพาะข้าวเปลือกที่สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีถ้าพื้นที่นั้นมีระบบชลประทานที่เพียงพอ ซึ่งในปัจจุบันจะมีการทำนาเพื่อผลิตข้าวเปลือกกัน 2 ช่วง คือข้าวนาปีและข้าวนาปรัง โดยสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณ 36.576 ล้านตันต่อปี ซึ่งผลผลิตที่ได้เหล่านี้นอกจากจะนำมาบริโภคภายในประเทศแล้ว ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญที่ทำรายได้เข้าประเทศแต่ละปีเป็นจำนวนมาก และเนื่องจากการบริโภคข้าวมีตลอดทั้งปี แต่การผลิตสามารถทำได้เฉพาะฤดูกาล ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการจัดเก็บที่ดี เพื่อที่จะรักษาคุณภาพและปริมาณให้ดีเหมือนเดิม ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกมีผลอย่างมากในการเก็บรักษา หากความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกสูงเกินไป จะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปอาจจะทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ และยังทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเสื่อมคุณค่าทางอาหาร และเกิดการแตกหักระหว่างขนถ่ายได้ ดังนั้นการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกจึงต้องมีความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ในปัจจุบันเกษตรกรได้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้เพื่อพัฒนางานด้านการเกษตรมากขึ้น เพื่อให้งานทางด้านการเกษตรมีความสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการผลิตที่ดีจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนกระบวนการเก็บรักษาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงด้วยเช่นกัน ทำให้นักวิจัยได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือก เพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้ได้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำงานได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ใช้พื้นที่ทำงานน้อยและอัตราลดความชื้นดีกว่าแบบตากลาน

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น จะเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ลมร้อนไหลผ่านวัสดุแบบบังคับ ซึ่งรูปแบบมีทั้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตามกัน เมล็ดพืชกับลมร้อนไหลสวนทางกัน และแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตัดขวางกัน สำหรับผู้วิจัยได้สนใจที่จะศึกษาเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตัดขวางกัน ซึ่งในขณะทำงานเมล็ดพืชจะมีการเคลื่อนที่คล้ายของไหลตลอดเวลาจึงทำให้ลมร้อนสัมผัสกับเมล็ดข้าวเปลือกได้อย่างทั่วถึงในขณะเกิดฟลูอิดไดเซชันในเครื่องอบแห้งข้าวแบบฟลูอิดไดซ์เบดและสเปาเต็ดเบด แต่จากการอบแห้งจริงพบว่าการใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นความหนาของเมล็ดพืชที่อยู่บนแผ่นกระจายอากาศนั้น จะต้องใช้ความเร็วของลมร้อนสูง และจะเกิดฟองก๊าซขึ้นในชั้นความหนาของเมล็ดพืชทำให้มีการแยกตัวของอนุภาคของแข็งเป็นชั้น ๆ ทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นไม่ทั่วถึง จึงเป็นที่มาของแนวคิดในการสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ที่มีลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบและลมร้อนไหลตัดขวางข้าวเปลือกโดยการทำงานของเครื่องอบแห้งจะมีพัดลมดูดอากาศร้อนอยู่ทางด้านบนของเครื่องและมีการขยับตัวขึ้นลงของห้องอบแห้งเป็นจังหวะทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ไปในแนวราบซึ่ง

ทำให้ค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังการอบแห้งนั้นมีความสม่ำเสมอกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด และสเปาเต็ดเบด (Spouted bed)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของความถี่ในการยกห้องอบแห้งและระยะยกของห้องอบแห้งเนื่องจากสองตัวแปรมีผลต่อการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในห้องอบแห้งและส่งผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยในปริญญานิพนธ์นี้มุ่งเน้นศึกษาในเรื่องผลกระทบของความถี่และระยะยกในเครื่องอบแห้งลักษณะดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของระยะยกห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลที่มีขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 100 cm x สูง 30 cm ในการทดลอง
2. ทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายของข้าวเปลือกที่ระยะยกของห้องอบแห้งที่ 4-6 cm และความถี่ในการยกห้องอบแห้ง 140-160 rpm
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 150 $^{\circ}$C
4. ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ในการทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และระยะยกห้องอบแห้งเหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล
2. สามารถนำเทคนิคของการอบแห้งแบบมัสท์โฟลมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกให้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 ทฤษฎีการลดความชื้น

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช เป็นการทำให้ไอน้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยอาศัยคุณลักษณะของเมล็ดพืช ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซึมและคายความชื้นได้ดี เมล็ดพืชสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายกว่าการคายความชื้น เนื่องจากแรงเหนี่ยวนำของโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีนที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อเอาเมล็ดแห้งมาผสมกับเมล็ดเปียก แล้วทิ้งไว้ให้เกิดความสมดุลของบรรยากาศในกองเมล็ด เมล็ดเปียกสามารถคายความชื้นให้แก่เมล็ดแห้ง แต่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดเปียกก็ยังคงสูงกว่าเมล็ดแห้งที่ได้ดูดความชื้นไป แล้วการดึงเอาไอน้ำออกจากเมล็ดที่ง่ายที่สุดคือการใช้พลังงานไปช่วยกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำให้หลุดจากการเกาะตัว

ในกรณีของข้าวเปลือก ข้าวเปลือกมีความเป็นฉนวนทางความร้อนได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ไอน้ำและความร้อนที่สะสมอยู่ในกองหรือในยุ้ง ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ การเจริญเติบโตของเชื้อราในกองเมล็ดจะทำให้เมล็ดพืชเกิดการเสื่อมคุณภาพ (ข้าวเมล็ดเหลือง แอลฟลาท็อกซิน) และทำให้เน่าเสียได้ในที่สุด

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้สารเคมีประเภทปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์ไบต์มาดูดซับหรือทำปฏิกิริยากับน้ำในเมล็ด ใช้ระบบสุญญากาศใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ดพืช ตากแดดหรือคั่วให้เมล็ดร้อน เพื่อให้ไอน้ำภายในเมล็ดเคลื่อนย้ายออกมาภายนอก เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีจากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดพบว่าวิธีการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้อากาศร้อนเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด

1.1 ความชื้น

ความชื้นตามบทนิยามของสมาคมวิศวกรรมเกษตรอเมริกาได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็นสองรูปแบบคือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) และความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)

ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

1.2 เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช

ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงและทำการให้ความร้อนจนกระทั่งเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไปก็คือค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น วิธีการลดปริมาณความชื้นด้วยความร้อนในเมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีวิธีการและมาตรฐานที่ต่างกัน จากนั้นนำค่าน้ำหนักก่อน และหลังให้ความร้อนมาคำนวนหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นซึ่งเปอร์เซ็นต์ความชื้นมี 2 แบบคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db) สามารถคำนวนได้ดังสมการ

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

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

w = น้ำหนักเปียก d = น้ำหนักแห้ง M = ปริมาณความชื้น

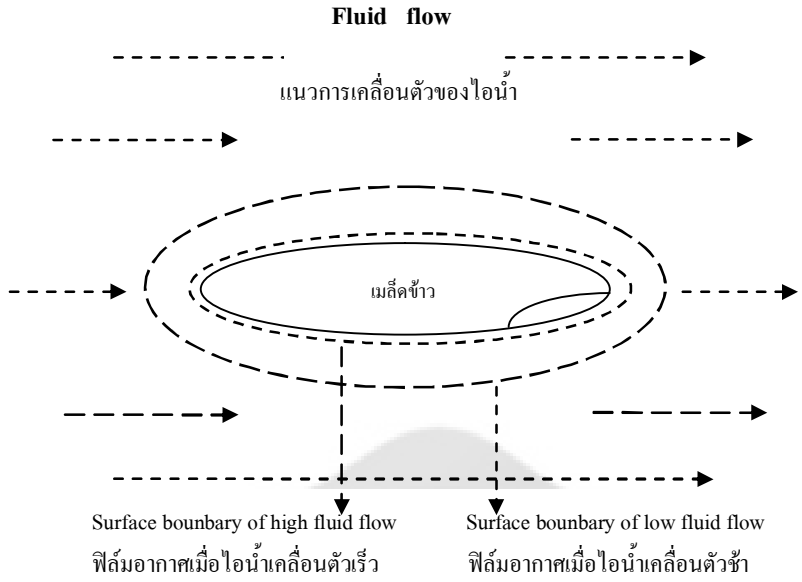
1.3 การลดความชื้นเมล็ดข้าว

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเก็บรักษา เช่น เกิดเชื้อรา ดังนั้นการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถรักษาคุณภาพ ลดการสูญเสียและยืดเวลาการเก็บรักษาของผลผลิตได้ การอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการเอาน้ำออกจากข้าวเปลือก โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีการระเหยน้ำออกจากข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหย ทำให้การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งนั้นแบ่งได้สองชนิดคือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศร้อนซึ่งได้จาก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ หรือสิ่งเหลือใช้จากการเกษตรและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม

เนื่องจากข้าวเปลือกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อนำมาอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศคงที่(อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกมีค่าคงที่) น้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกจะถูกระเหยออกไปจากเมล็ด

การอบแห้งข้าวเปลือกโดยให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับข้าวเปลือกเพื่อให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นลดลง การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1.3.1 การทำให้เมล็ดเกิดความร้อนตามธรรมชาติ



ภาพประกอบ 1 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

การนำข้าวเปลือกมาตากแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ขณะตากแดดข้าวเปลือกจะได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้ภายในอุณหภูมิในข้าวเปลือกสูงขึ้น ภาพประกอบ 1 ฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชจะทำหน้าที่เป็นฉนวน (กองเกษตรวิศวกรรม, 2544) ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกสูงมากกว่าแรงดันไอน้ำของบรรยากาศและไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอก ผิวของข้าวเปลือกจะมีฟิล์มของอากาศซึ่งไม่เคลื่อนไหวซึ่งไม่อาจมองเห็นได้ดังรูปฟิล์มปรากฏบริเวณผิวของข้าวเปลือกนี้จึงเป็นอุปสรรคกั้นการแลกเปลี่ยนไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศทำให้เกิดความสมดุลของแรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกและฟิล์ม อย่างไรก็ดีฟิล์มนี้จะบางลงเมื่อมีลมเป่าผ่านตามปรากฏการณ์การพาแบบบังคับ หรือบางลงตามธรรมชาติ เนื่องจากปรากฏการณ์การพาตามธรรมชาติที่ว่าอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ซึ่งทั้งสองกรณีจะเกิดขึ้นเสมอกับอากาศเหนือลานตากที่มีความร้อนมากกว่า บรรยากาศทำให้เกิดการลอยตัวขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณลานตาก ทำให้สมดุลในฟิล์มที่ผิวของข้าวเปลือกบางลง และเกิดการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศง่ายขึ้นและจะง่ายมากขึ้นอีกเมื่อมีลมพัดผ่าน อย่างไรก็ดีการตากข้าวเปลือกในลานตากไม่ควรจะให้นานมากเกินไป และควรจำกัดความหนาของข้าวเปลือกในลานตากให้อยู่ประมาณ 3 – 5 cm และควรพลิกกลับอยู่อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกชั้นล่างๆสามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ง่ายขึ้น

1.3.2 การใช้อากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดแบบบังคับ

เป็นวิธีการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งสามารถทำได้ในทุกโอกาสและทุกสภาวะไม่เหมือนการตากแดดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแสงแดดซึ่งทำให้เกิดปัญหามากในช่วงฤดูฝน การใช้เครื่องอบแห้งนอกจากจะช่วยลดปัญหาจากการตากแดดในฤดูฝนแล้วยังมีความสำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากถ้าเมล็ดข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิของเมล็ดสูงเกินกว่า 43°C จะมีผลทำให้ต้นอ่อนของข้าวเปลือกสูญเสียความงอก (ถ้าเอาข้าวเปลือกตากแดดในลานตาก อุณหภูมิของข้าวเปลือกอาจสูงเกินกว่า 50°C ในขณะที่มีแดดดี) การใช้เครื่องลดปริมาณความชื้นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้งได้อย่างใกล้ชิดจึงเหมาะสมกับการใช้งานเพื่อการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกสำหรับเก็บรักษาเป็นเมล็ดพันธุ์

โดยสรุปหลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนมีขั้นตอนดังนี้

1. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะไปเพิ่มอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้สูงขึ้นเป็นผลให้แรงดันไอของข้าวเปลือกสูงกว่าบรรยากาศรอบๆ นอกของเข้าเปลือก
2. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกทำหน้าที่ดูดซับความชื้นหรือไอน้ำที่ข้าวเปลือกที่คายออกมา
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือกจะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศร้อน
4. อุณหภูมิและความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน จะลดลงไปตามความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่อากาศร้อนพัดผ่าน

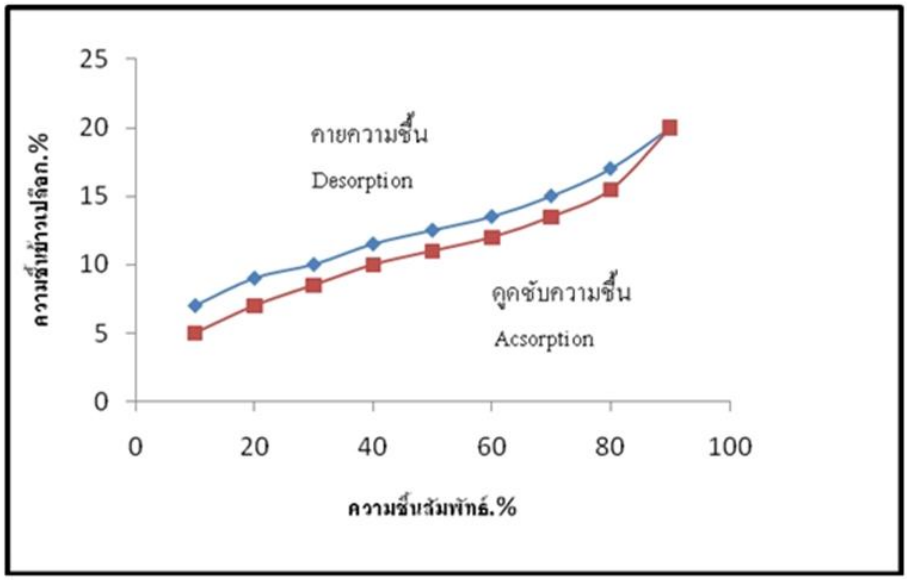
ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า อัตราการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างคือ

- อุณหภูมิของอากาศร้อน
- ความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน
- ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือก
- อัตราการเคลื่อนตัวของไอน้ำภายในข้าวเปลือกมาที่ผิวซึ่งคุณสมบัติของข้าวเปลือกแตกต่างกันออกไป (Drying Characteristics)

1.4 ความชื้นสมดุลย์

ในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นจะอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศที่ห้อมล้อมรอบเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อนำเมล็ดข้าวเปลือกไปวางไว้สถานที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ เมล็ดข้าวเปลือกอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ หรือดูดซับความชื้นจากอากาศ และเมื่อวางไว้เป็นเวลานานเมล็ดข้าวเปลือกจะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกที่เกิดนี้จะเรียกว่า ความชื้นสมดุลย์เนื่องด้วยที่สภาวะดังกล่าวอัตราการสูญเสียความชื้นจากเมล็ดข้าวเปลือกไปยังอากาศรอบๆ มีค่าเท่ากับอัตรา

การได้รับความชื้นจากอากาศรอบๆ ความดันไอที่ผิวเมล็ดข้าวเปลือกจะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศรอบๆ จากภาพประกอบ 2 แสดงให้เห็นว่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ในกรณีที่เมล็ดข้าวเปลือกไม่ได้รับการป้องกันความชื้นในอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อาจถึง 95% - 100% ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นสูงและนำไปสู่การเสื่อมคุณภาพในที่สุด



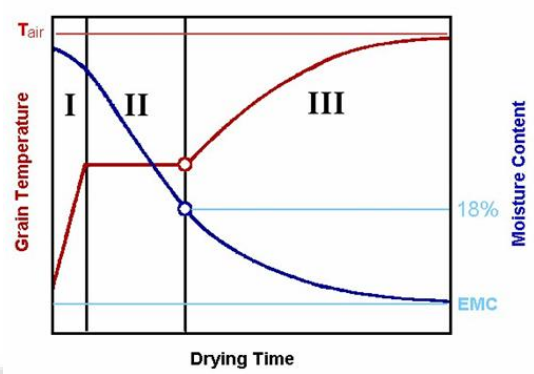
ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

1.5 กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งนอกจากจะมีการถ่ายเทความร้อนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังเกิดการถ่ายเทมวลขึ้นพร้อมๆ กัน สำหรับในกรณีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางที่ใช้ส่วนใหญ่ จะถูกใช้ไปในการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งการถ่ายเทจะมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำที่อยู่ในบริเวณผิววัสดุกับความชื้นในตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งซึ่งเป็นช่วงที่บริเวณผิวของวัสดุอิ่มตัวไปด้วยไอน้ำ การถ่ายเทความร้อน และความชื้นในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นด้วยอัตราการถ่ายเทที่มีค่าคงที่จึงเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และเมื่อน้ำระเหยไประดับหนึ่งจนวัสดุที่อบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะระเหยด้วยอัตราที่ลดลงโดยเป็นฟังก์ชั่นกับเวลาซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง

ดังนั้นจากกราฟ ในภาพประกอบ 3 การอบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ (Initial Period) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period)



ภาพประกอบ 3 แสดงเส้นกราฟของการอบแห้ง

ที่มา:International Rice Research Institute (IRRI)

ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่เมล็ดข้าวเปลือก (Preheating Period) ในช่วงนี้ เมล็ดข้าวเปลือกที่อบแห้งยังคงมีปริมาณความชื้นอยู่มาก ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่ในลักษณะเปียกชื้นมาก อุณหภูมิของผิวของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน ดังนั้นช่วงเวลานี้ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจึงทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่สองของการอบแห้งในช่วงนี้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกเริ่มมีค่าคงที่ และมีค่าประมาณอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน พลังงานความร้อนที่เมล็ดข้าวเปลือกได้รับจึงถูกใช้ในการระเหยความชื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกเท่านั้น ทำให้อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาในการอบแห้งดังนั้นจึงเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงนี้อัตราการระเหยน้ำจะคงที่ (Constant Drying Rate)

จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งคงที่ที่อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลดลง ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ณ เวลานี้ ถูกเรียกว่าค่าความชื้นวิกฤติ

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-Rate Period) ในช่วงนี้ความชื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกจะเริ่มค่อย ๆ หมดไป เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นจากด้านในของเมล็ดข้าวเปลือกเกิดขึ้นในอัตราที่ไม่สมดุลกับการระเหยของความชื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก ดังนั้น ที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกจึงค่อย ๆ แห้งและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะค่อย ๆ ลดลง และการอบแห้งจะสิ้นสุดเมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงค่าความชื้นสมดุล ซึ่งความชื้นของวัสดุจะไม่สามารถลดลงอีก ถึงแม้จะใช้เวลาในการอบแห้งนานอีกเท่าใดก็ตาม

1.6 การอบแห้งแบบชั้นบางของข้าว

การอบแห้งแบบชั้นบางหมายถึงกระบวนการอบแห้งของเมล็ดที่ทุกเมล็ดถูกทำให้สัมผัสกับอากาศที่ใช้ในการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งคงที่ใดๆ นั่นคือที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้นทำให้เห็นว่ากระบวนการของการอบแห้งนั้นเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของการสมดุลและความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งข้าวเปลือก ความชื้นสมดุลเกิดขึ้นเนื่องจากการปล่อยให้เมล็ดข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานที่ความดันไอใดๆ เมล็ดข้าวมีโอกาสสูญเสียหรือได้รับความชื้นเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากเมล็ดหรือเนื่องจากเมล็ดได้รับความชื้นจากอากาศจนกระทั่งความดันไอของความชื้นในเมล็ดมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศ ซึ่งอัตราของการอบแห้งจะสามารถแบ่งออกเป็นช่วงของอัตราอบแห้งแบบต่างๆ ได้แก่ อัตราการอบแห้งแบบคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งแบบลดลง

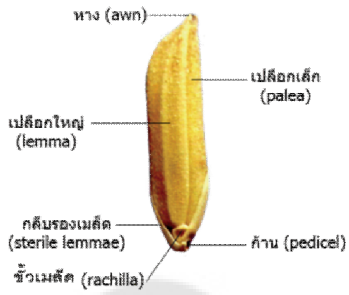
เมล็ดธัญพืชบางชนิดที่มีความชื้นสูงนั้นในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ จากนั้นเมื่อความชื้นลดลงจึงจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งแบบลดลงซึ่งในช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ อัตราการระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศซึ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยไม่ขึ้นกับสภาพของเมล็ดและการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวเท่านั้น ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ มีดังนี้

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของพื้นผิวเมล็ดพืชที่ความเร็วและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่
2. ความแตกต่างระหว่างกระแสอากาศและพื้นผิวชั้นของเมล็ดพืชที่ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศคงที่
3. ความเร็วของอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่

ช่วงอัตราการอบแห้งแบบลดลงเป็นช่วงที่มีการเพิ่มอุณหภูมิทั้งที่พื้นผิวและภายในเมล็ด ยิ่งไปกว่านั้น การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศจะมีอิทธิผลต่อการระเหยน้ำน้อยกว่าในช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ ช่วงอัตราการอบแห้งแบบลดลงจึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยน้ำถูกควบคุมโดยคุณสมบัติของเมล็ดพืชเป็นส่วนใหญ่ และขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเมล็ดพืชจากแกนกลางสู่พื้นผิวโดยการแพร่กระจายของของเหลวและจากนั้นความชื้นจึงถูกไล่ออกจากพื้นผิวในที่สุด

1.7 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้าง และส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพประกอบ 4 โครงสร้าง และส่วนประกอบของเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2544)

เมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ สองส่วนคือส่วนห่อหุ้มเรียกว่าแกลบ (Hull หรือ husk) และส่วนที่รับประทานได้เรียกว่าข้าวกล้อง (Caryosis หรือ Brown Rice)

2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535)

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนสัมพันธ์กับอุณหภูมิถ้าของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมล็ดของแข็ง ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมล็ดของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของของแข็งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fourier คือ

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

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน

k = สภาพการนำความร้อนของของไหล

T = อุณหภูมิของของไหล

สำหรับการถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกับกระแสของไหล มักเขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ดังสมการ

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

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_s = อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง

T_{∞} = อุณหภูมิกระแสของไหล

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปริมาณการถ่ายเทมวลขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสารโดยบริเวณใดที่มีมวลสารความเข้มข้นมากกว่าก็จะกระจายไปหรือเดินทางไปยังที่ความเข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวลสารสามารถเขียนเป็นสมการได้ (Broker et al. 1992)

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

เมื่อ $\dot{m}_p$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น

M = ปริมาณความชื้น

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

L = ความยาวห้องอบแห้ง

2.3 ความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของวัตถุซึ่งรวมปริมาณช่องว่างของอากาศด้วย

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น

m = มวล

V = ปริมาตร

2.4 ค่าความพรุน

ความพรุน คือ สัดส่วนช่องว่างของอากาศที่แทรกตัวอยู่ในกองข้าว

$$\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \quad (7)$$

เมื่อ ε = ค่าความพรุน

ρ_t = ความหนาแน่นจริง

ρ_b = ความหนาแน่นกอง

3. ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดปริมาณความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง ได้มีการศึกษาและทดสอบในรูปแบบการทดลองต่างๆ คือ การศึกษาเครื่องอบแห้ง ผลงานวิจัยและพัฒนาการออกแบบเครื่องอบแห้ง ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยได้ทำการออกแบบทดลองและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆ ของวิธีการลดปริมาณความชื้นผลผลิตทางการเกษตร ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรม พร้อมทั้งมีการเปรียบกับวิธีการลดความชื้นแบบอื่น เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งผลการวิจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

สมเกียรติ ปรัชญาวรากร (2534) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงและอุณหภูมิสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่น โดยใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก 2 ถัง ซึ่งทำด้วยสแตนเลสและ acrylic ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm. สูง 140 cm.เครื่องมือให้ความร้อนขนาด 12 kW โดยใช้ Temperatuer controller เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง และใช้พัดลมแบบเหวี่ยง ใบพัดโค้งหลังขนาดมอเตอร์ 1.5 kW จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งข้าวเปลือกไม่ควรใช้อุณหภูมิอบแห้งเกิน 115 °C และความชื้นสุดท้ายหลังการอบไม่ควรต่ำกว่า 24-25 %db เนื่องจากลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งสูงสุดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งต่ำ สำหรับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าในการอบแห้งโดยฟลูอิไดซ์เบด ควรมีอัตราเวียนอากาศกลับ 90% ใช้ความเร็วในการทดลอง 4.4 m/s ความหนาของเบด 9.5 cm และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 0.1 kg/s-kg dry matter ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้อัตราส่วนระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งต่ออัตราการผลิตต่ำสุด

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล (2536) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชั่นอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีระบบหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่และตัวปฏิกรณ์ขนาด 0.15x0.8x0.5 m^3 มีแผ่นกั้นตลอดแนวความยาวของตัวปฏิกรณ์ ตัวปฏิกรณ์สามารถปรับระดับความสูงของชั้นข้าวได้โดยปรับความสูงของ weirและปรับความเอียงของตัวปฏิกรณ์ได้ในช่วง 0-5 องศา ใช้ rotary feeder เป็น

เครื่องป้อนข้าวเปลือก ปรับอัตราการหมุนเวียนกลับของอากาศโดยใช้ วาล์วปีกผีเสื้อมีเครื่องมือให้ความร้อนขนาด 16 kW โดยใช้ Temperatuer controller เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ใช้พัดลมแบบเหวี่ยง ใบพัดโค้งหลัง มีมอเตอร์ขนาด 3.7 kW เป็นตัวขับเคลื่อน จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 115 °C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 30 %db เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 70% ความสูงของเบด 10 cm อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 0.043 kg/s-kg dry matter อัตราการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80% มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ระเหยต่ำต่ออัตราการผลิตต่ำสุดโดยจะสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.9 MJ/ kg dry matter มีค่าไว้จ่ายในการอบแห้ง 2.05 Baht/kg – water

มุสตาฟา ยะภา (2537) ได้ศึกษาการออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง โดยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 1 ton/hr โดยห้องอบแห้งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 30 cm. ความยาว 170 cm. และสูง 120 cm. จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้ พบว่าสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 3 min อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 100-120 °C ความสูงของข้าวเปลือก 11 cm อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m^3/s ความเร็วของอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือก 1.9 m/s อัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 66.7% ใช้กำลังไฟฟ้า 6,559W ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเฉลี่ย 5.73 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 270 MJ/kg dry matter ที่ความสามารถในการระเหยน้ำได้ 140 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.9 MJ/kg-water

มนตรี หวังจิ (2539) ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตเป็น 5-10 ton/hr ขณะทำการทดสอบกำลังผลิตเท่ากับ 9.5 ton/hr มีอัตราการไหลอากาศร้อน 5.57 m^3/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 2.23 m/s ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วงประมาณ 115-130 °C โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกให้อยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1.4 min ความสูงของเบดประมาณ 15 cm สามารถลดความชื้นเริ่มต้นโดยประมาณ 29 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้ายโดยประมาณ 23 %db โดยมีอัตราการหมุนเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 69% (3.50 kg/s) ใช้กำลังไฟฟ้า 32,325 W ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาเฉลี่ย 31.54 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 1,478.23 MJ/hr มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ประมาณ 420.29 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและไฟฟ้า 3.96 MJ/ kg–water

วทัญญู รอดประพัฒน์ (2540) ได้ศึกษาออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดเคลื่อนย้ายได้ขนาดกำลังผลิต 2.5–5.0 ton/hr โดยสภาวะที่เหมาะสมคืออัตราป้อน 3.8 ton/hr อัตราการไหลอากาศร้อน 3.5 m^3/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบ 2.8 m/s อุณหภูมิเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง 144 °C ความสูงของเบด 13.5 cm อัตราการเวียนกลับ

ของอากาศ 80% ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1.3 min ผลการทดสอบพบว่า สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 32.6 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 25.8% สิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 4.2 MJ/ kg-water ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกทั้งหมด 1.67 Baht/kg-water

วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์ (2541) ได้ศึกษาพัฒนาการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน ขนาดกำลังผลิต 2.5-5 ton/hr ขณะทำการทดสอบใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 1.72 m^3/s ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 1.37 m/s ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 130-150 °C โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1 min ความสูงของเบดประมาณ 12 และ13 cm สามารถลดความชื้นเริ่มต้นจากประมาณ 26 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 23 %db อัตราการเวียนของอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 85% โดยมีค่าความเข้มของการสั่นสะเทือนประมาณ 1 (ความถี่ 7.28Hz) ใช้กำลังไฟฟ้า 9,646 W ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 17.50L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 723.05 MJ/hr มีความสามารถในการระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 117.05 kg-water/hr

สุวัฒน์ ตรูทัศนวินท์ (2542) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่นที่มีขนาดกำลังผลิต 5 ton/hr ความชื้นเริ่มต้น 0 %db และความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้ง 2.3 m/s อุณหภูมิอบแห้ง 149 °C อัตราการเวียนกลับของอากาศ 93% และความสูงของเบด 11.9 cm มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ 5.74 MJ/kg-water และความชื้นสุดท้าย 24.9 %db และสำหรับการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดสั่นสะเทือนที่กำลังผลิตและความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน แต่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.5 m/s โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 143 °C อัตราการเวียนกลับของอากาศ 83% ความสูงของชิ้นข้าวเปลือก 9.9 cm ความถี่การสั่นสะเทือน 5 rpm และความเข้มของการสั่นสะเทือน 2.5 มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชั่นประมาณ 7%

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

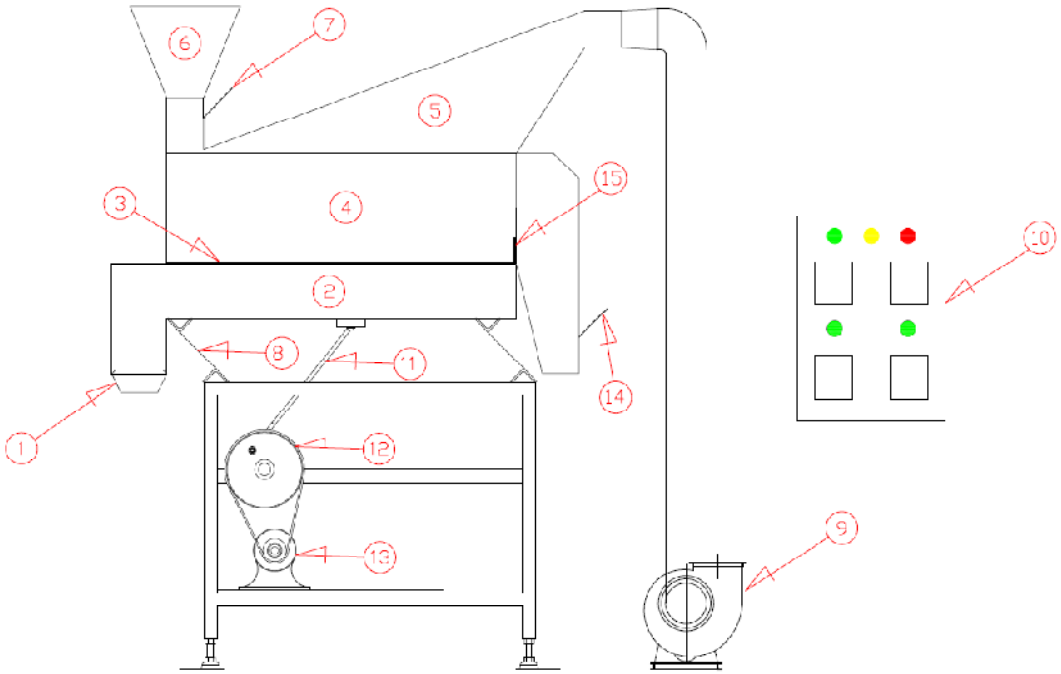
พรศักดิ์ ทองมาและคณะ (2542) ได้ออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสเปาเต็ดเบดมีการนำเอาอากาศอบแห้งเวียนกลับมาใช้ใหม่ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่มี

ความชื้นอยู่ระหว่าง 26-38 %db ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ในช่วง 130-190 °C จากการทดลองป้อนข้าวเปลือกที่ 664 kg/hr อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.73 m^3/s สัดส่วนของอากาศอบแห้งเวียนกลับมาใช้ใหม่ 0.62 ระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งเฉลี่ย 17 min พบว่าสามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น ลงเหลือ 21.3 %db คุณภาพของข้าวหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.5 MJ/ kg-water

มุสตาฟา ยะภา และณัฐวุฒิ ดุษฎี (2555) ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบโดยอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เคลื่อนที่ในแนวราบและมีลมร้อนไหลตัดขวางโดยมีกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องขนาด 1 ton/hr ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23.75 %wb โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80, 90, 100 °C ความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ย 5 m/s จะทำให้ข้าวเปลือกความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.5 %wb ซึ่งสามารถจัดการสภาพของการเคลื่อนที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงในห้องอบแห้งให้มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล



ภาพประกอบ 5 แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอบข้าวแบบ MUST FLOW

1. Heat Soured	2. Hot Air Distributer	3. Distributer Plate
4. Drying Chamber	5. Cover Chamber	6. Paddy Hopper
7. Paddy Feed Port	8.Spring Support	9.Blower Suction
10. Electrical Control Switch	11. Puch Rod	12.Stroke Bed Paddy
13. Motor	14. Paddy Discharge Post	15.Weir

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล เริ่มต้นจากการใช้พัดลมดูดอากาศร้อน(9) จากห้องกำเนิดความร้อน(1) ซึ่งอยู่ทางด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งมีห้องผสมอากาศ (2) สำหรับใช้เพื่อผสมอากาศร้อนกับอากาศภายนอกเข้าด้วยกัน และลมร้อนจะถูกดูดให้ไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่ตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือก(6) ในแนวดิ่งที่อยู่บนตะแกรง(3) ซึ่งวางเป็นแนวระนาบภายในห้องอบแห้ง(4) จากนั้นพัดลมก็จะทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนและความชื้นออกไปจากห้องอบแห้งทางด้านบน ในขณะที่ข้าวเปลือกซึ่งตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือกโดยอิสระด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีลมร้อนไหลผ่านในแนวดิ่งนั้นจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในแนวราบด้วยแรงลมที่พุ่งผ่านในแนวดิ่ง ผนวกกับการโยกโยนของห้องอบแห้งอย่างเป็นจังหวะ ทำให้เมล็ด

ข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำกว่าเคลือนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูงกว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงกว่าจึงสามารถกระโดดข้ามแผ่นกั้น(15) ในระยะเวลาที่รวดเร็วกว่า และตกลงไปในช่องทางออกที่อยู่อีกด้านของห้องอบแห้งในที่สุด

สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้จะใช้วิธีการอบแห้งด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นในห้องอบแห้งบนแผ่นตะแกรงแนวระนาบระหว่างลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกโดยวิธีการพาแบบบังคับ และการนำความร้อนโดยเมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในห้องอบแห้งแล้วอากาศร้อนจะค่อยๆ ไหลผ่านช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นไปด้านบนเมล็ดข้าวเปลือกจะเดินหน้าอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวที่สม่ำเสมอทำให้มีความพรุนสูงเกิดการสัมผัสและการแลกเปลี่ยนความร้อนรวมทั้งความชื้นขึ้นรอบๆ เมล็ดข้าวเปลือกเนื่องจากค่าความเร็วผิวสัมผัสระหว่างอากาศร้อนกับเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าสูงจึงทำให้อัตราการลดความชื้นมีค่าสูงตามไปด้วย

2. อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด

2.1 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น Model Test 400 Range 0 ถึง 20 m/s / -20 ถึง 70 ºC Accuracy ±(0.03 m/s + 5 % of mv) / ±0.5 °C (0 to +60 °C) ±0.7 °C (Remaining Range) สามารถวัดความเร็วลม,ความชื้นสัมพัทธ์,อุณหภูมิกระเปาะเปียก และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

ภาพประกอบ 6 ชุดเครื่องวัดความเร็วลม

2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น Testo 845 (±0.75 °C) สามารถปรับการวัดให้เป็นการวัดสำหรับระยะใกล้ (Close Focus) และสำหรับระยะไกล (Far Focus)

ภาพประกอบ 7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

2.3 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก ยี่ห้อ Grain Moisture Meter รุ่น GMK – 303 (± 0.5% (Below 20%)) สามารถวัดความชื้นได้ถึง 30 % สามารถวัดความชื้นข้าวได้หลายชนิด เช่น ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเปลือก ข้าวบาร์เลย์ ข้าวบาร์เลย์ชนิดเปลือกล่อน และข้าวสาลี เป็นต้น

ภาพประกอบ 8 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

เครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น HX - Z1 ใช้สำหรับชั่งข้าวเปลือกที่จะทำการทดลอง (± 10g)

ภาพประกอบ 9 เครื่องชั่งดิจิตอล

2.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เครื่องวัดความเร็วรอบรุ่น DIGICON DT 250TP (±0.05% + 1 หลัก) ใช้วัดความเร็วรอบของชุดยกห้องอบแห้ง

ภาพประกอบ 10 เครื่องวัดความเร็วรอบ

2.6 Electrical Control Switch

Electrical Control Switch ในการทดลองจะต้องมีการควบคุมความเร็วรอบของระยะยกและอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งให้เหมาะสมกับการทดลอง ดังนั้นจึงจะต้องมีชุดควบคุมการทำงานของความเร็วรอบของระยะยก อัตราการไหลของอากาศ และการทำงานของกระแสไฟฟ้าเพื่อการทำงานที่สมบูรณ์ของระบบของเครื่องมัสท์โฟล

ภาพประกอบ 11 Electrical Control Switch

2.7 โบลเวอร์

ที่มีขนาด 2300 CFM ทำหน้าที่เพิ่มอัตราการไหลของอากาศให้ระบบ

ภาพประกอบ 12 โบลเวอร์

2.8 นาฬิกาจับเวลา

นาฬิกาจับเวลา รุ่น hanhart # stopstar 2 ใช้สำหรับจับเวลาเพื่อหากำลังการผลิต

ภาพประกอบ 13 นาฬิกาจับเวลา

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 วิธีการทดสอบ

ในการทดลองหาผลกระทบของความถี่และระยะยกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ทำการทดลองกับข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น ประมาณ 18 - 24 %wb ใช้ข้าวเปลือกที่มีน้ำหนัก 100 kg ในการทดลองจะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยมีขั้นตอนการทดลองและการเก็บข้อมูลดังนี้

3.1.1 เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยการตรวจอุปกรณ์และระบบพร้อมทั้งทำความสะอาดด้วย

3.1.2 ตั้งระยะยกของห้องอบแห้งตามระยะที่จะทดลอง (4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm)

3.1.3 เปิดพัดลมดูดอากาศในห้องอบแห้ง

3.1.4 เปิดมอเตอร์ของระบบยกห้องอบแห้งให้ทำงานตามความเร็วรอบที่จะทดลอง

3.1.5 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาดมาบรรจุในฮอปเปอร์ (Hopper)

3.1.6 ทำการปรับอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่ฮอปเปอร์ (Hopper) ให้ได้ระดับความสูงเบดที่ต้องการ

3.1.7 รอจนกว่าการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกมีสภาวะคงที่ แล้วทำการวัดหากำลังการผลิตโดยการปิดลิ้นทางออกของข้าวเปลือกพร้อมทั้งทำการจับเวลา หลังจากนั้นทำการเปิดลิ้นทางออกของข้าวเปลือกพร้อมทั้งหยุดเวลา แล้วนำข้าวเปลือกที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผล

3.1.8 แล้วหลังจากนั้นทำการหยุดเครื่องมัสท์โฟลพร้อมทั้งปิดลิ้นป้อนข้าวเปลือก หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผล

3.1.9 ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศเป็น 0.05 m^3/s, 0.1 m^3/s, 0.15 m^3/s, 0.2 m^3/s, 0.25 m^3/s และ 0.3 m^3/s ในแต่ละอัตราการไหลของอากาศให้ทำการทดลองซ้ำแบบเดิมตั้งแต่ข้อ 3.1.7 – 3.1.9

3.1.10 ทำการเปลี่ยนแปลงความสูงเบด 1-5 cm โดยเปลี่ยนความสูงเบดครั้งละ 1 cm ในแต่ละความสูงเบดให้ทำการทดลองซ้ำกับแบบเดิมตั้งแต่ข้อ 3.1.2 – 3.1.10

3.1.11 เมื่อทดลองความสูงของเบดครบตามกำหนดแล้วให้ทำการเปลี่ยนความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งตามค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งในแต่ละความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งนั้นให้ทำการทดลองซ้ำกับแบบเดิมตั้งแต่ข้อ 3.1.6–3.1.11

3.1.12 ทำการเลือกการทดลองที่คิดว่าดีที่สุดมาทำการทดลองการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}C$

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆ ที่เกิดขึ้น

3.2.1 เปรียบเทียบระยะยกที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และที่ความสูงเบดต่างๆ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล

3.2.2 เปรียบเทียบค่าความพรุนของข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่างๆ และที่ความสูงเบดต่างๆ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล

3.2.3 วิเคราะห์ความเสถียรภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

1 ลักษณะการเกิดมัทส์โฟล

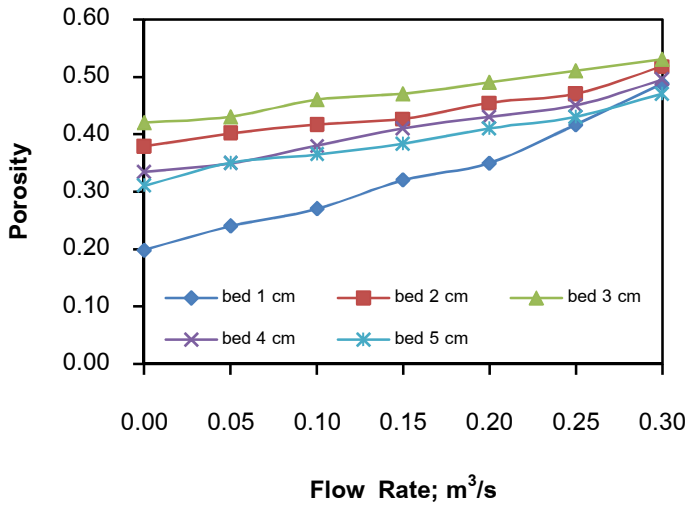
ปรากฏการณ์การอบแห้งแบบมัทส์โฟลจะเกิดขึ้นได้นั้นต้องมีปัจจัยหลายอย่างที่เหมาะสมประกอบกัน เช่น ระยะยกของห้องอบแห้ง,ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวเปลือกจากถังพักข้าวถูกป้อนเข้าทางด้านบนของห้องอบแห้งในขณะที่มีการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งเมื่อพัดลมดูดอากาศร้อนจากทางด้านล่างของห้องอบแห้งผ่านชั้นข้าวเปลือกในแนวดิ่งด้วยอัตราการไหลต่างๆ การขยับตัวของห้องอบแห้งจะทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ของห้องอบแห้งทำให้อากาศร้อนค่อยๆ แทรกตัวตามช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกได้ง่ายขึ้น จากหลักการนี้ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีการสัมผัสกับอากาศร้อนอย่างทั่วถึงทั่วทั้งเมล็ดข้าวจึงทำให้เกิดการคายความชื้นจากภายในเมล็ดข้าวเปลือกสู่ผิวภายนอกของเมล็ดข้าวเปลือกโดยการคายความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, ระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, ความถี่ในการขยับตัวขึ้นลงของห้องอบแห้ง, ระยะยกของห้องอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 14 เป็นลักษณะการอบแห้งแบบมัทส์โฟล

ภาพประกอบ 14 เครื่องอบแห้งแบบมัทส์โฟล

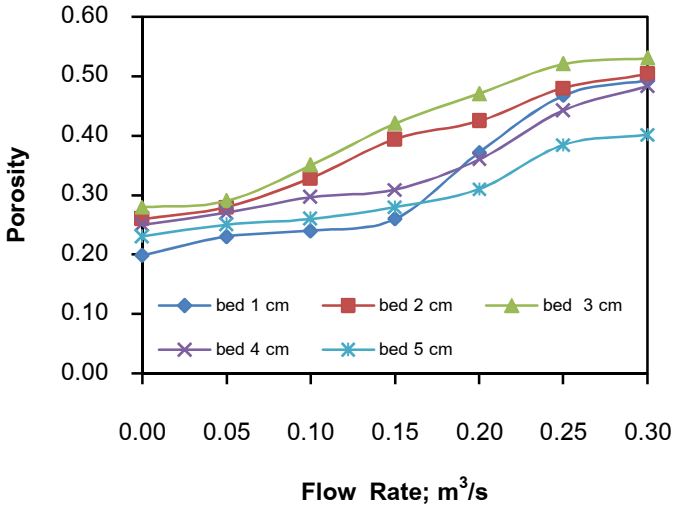
2 ผลการทดลอง

เนื่องจากระยะยกของห้องอบแห้ง,ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อค่าความพรุนของข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง ดังนั้นจึงทำการทดลองหาระยะยกของห้องอบแห้ง,ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศที่มีค่าความพรุนมากสุดเพื่อนำไปทดลองอบแห้ง โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่มีขนาดเมล็ดข้าวเปลือก ยาว 10.4 mm, กว้าง 2.5 mm, หนา 2 mm โดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือกจำนวนทั้งหมด 100 kg มีความชื้นประมาณ 18-24 %wb ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องที่ติดตั้งเครื่องอบแห้งมัสท์โฟล ประมาณ 52 % และอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 30˚C ผลที่ได้จากการทดลองที่สภาวะ ต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

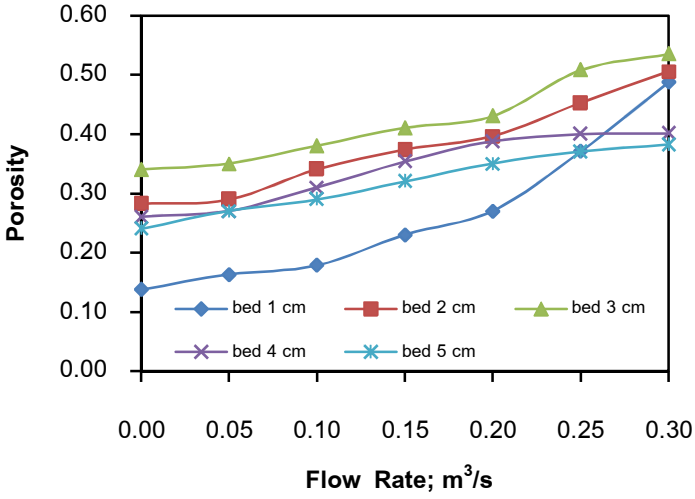
2.1 การเปรียบเทียบความสูงของชั้นข้าวเปลือก



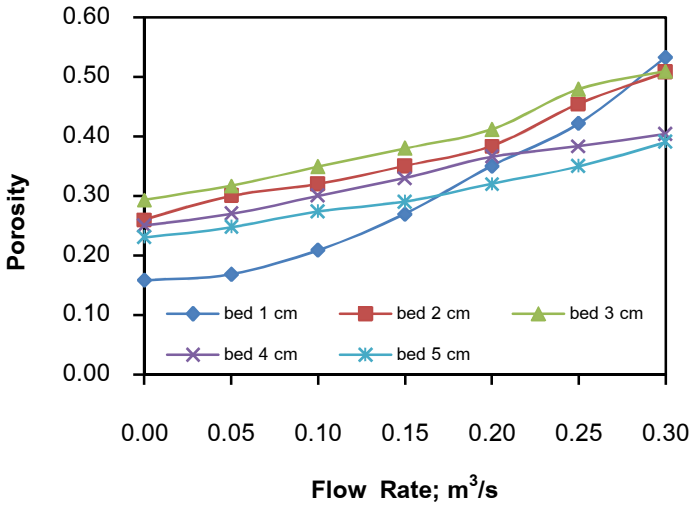
ภาพประกอบ 15 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



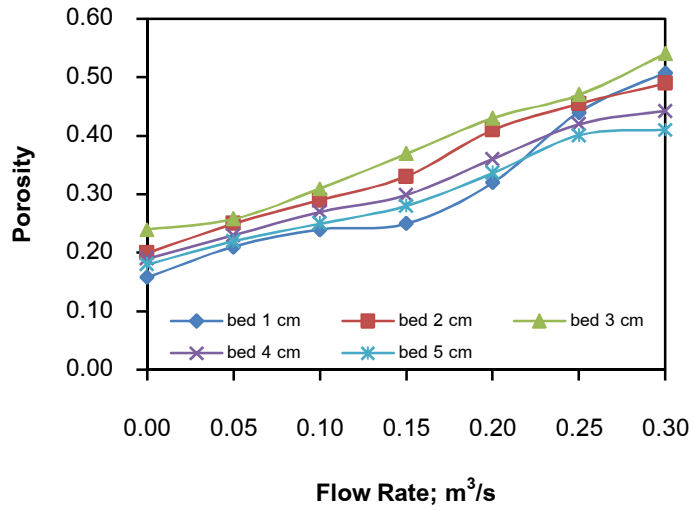
ภาพประกอบ 16 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



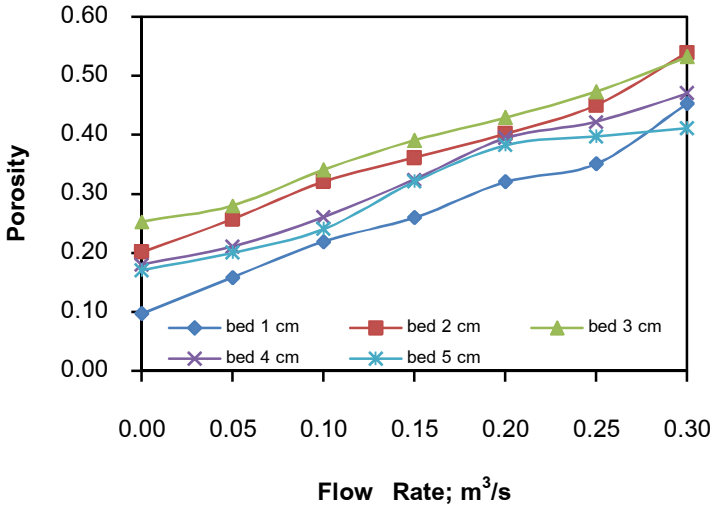
ภาพประกอบ 17 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



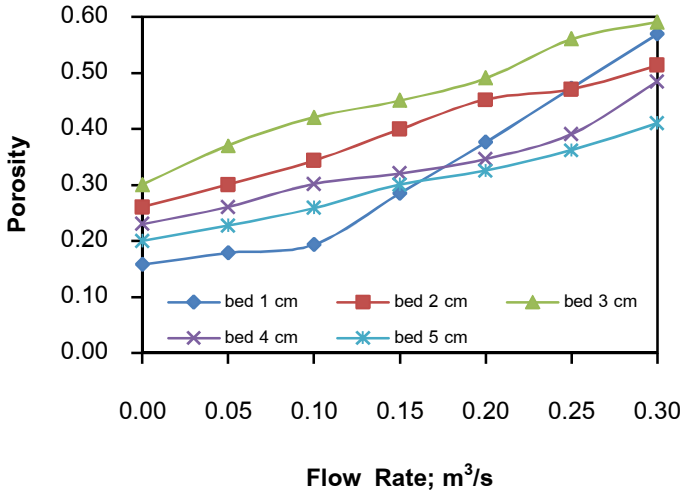
ภาพประกอบ 18 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



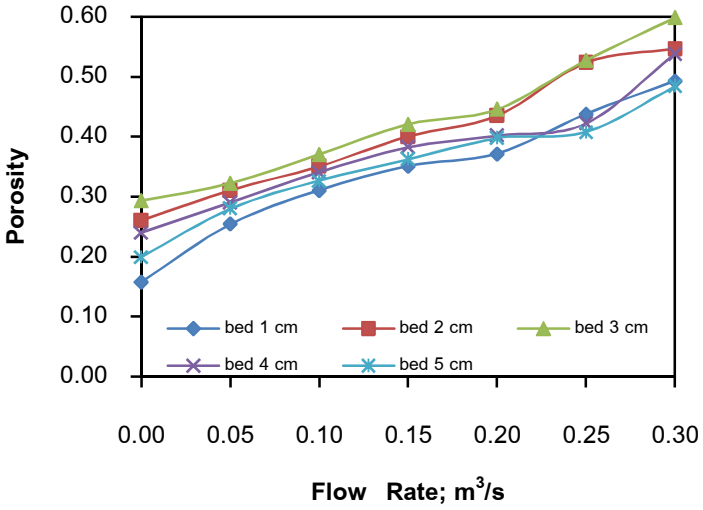
ภาพประกอบ 19 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



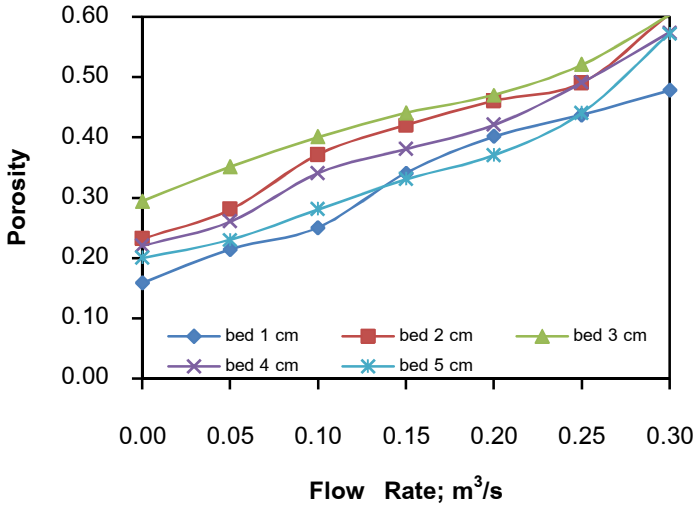
ภาพประกอบ 20 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



ภาพประกอบ 21 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm



ภาพประกอบ 22 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm

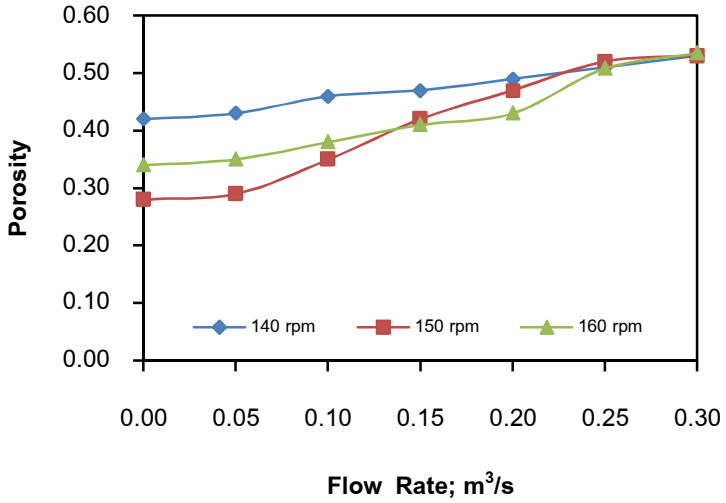


ภาพประกอบ 23 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm

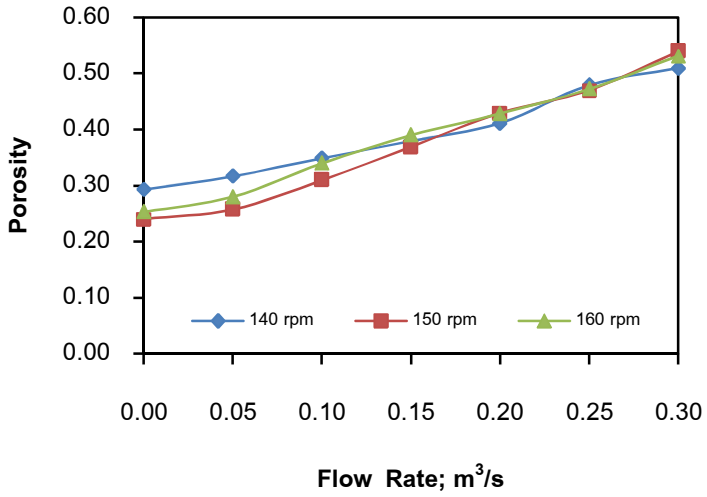
จากภาพประกอบ 15 – 23 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ โดยใช้อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m^3/s ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4, 4.6, 5.2 cm ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm จากผลการทดลองที่ความสูงของ

ชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ของแต่ละความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่างๆ พบว่าค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่าที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมีค่ามากกว่าความสูงของชั้นข้าวเปลือกอื่นๆ เนื่องจากที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm มีปริมาณข้าวเปลือกที่เหมาะสมทำให้ลมกระจายทั่วทั้งห้องอบแห้งเมื่อข้าวเปลือกถูกยกให้ลอยด้วยกลไกจะเกิดช่องว่างที่เหมาะสมสม่ำเสมอทั้งห้องอบแห้งจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกที่เหมาะสมพอดีทำให้อากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างเมล็ด เกิดแรงพยุงให้ข้าวเปลือกตกลงมาช้าๆ จึงทำให้ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm มีค่าความพรุนมากที่สุด ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm และ 2 cm มีปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งน้อยเมื่อมีการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งทำให้ลมไหลออกมากตรงที่ๆ ใกล้ทางดูดลมจึงทำให้ข้าวเปลือกไม่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าข้าวเปลือกจึงอัดแน่นในห้องอบแห้งเป็นผลให้ค่าความพรุนมีค่าน้อย และที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 4 cm และ 5 cm มีปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบแห้งมากเมื่อมีการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งทำให้ข้าวเปลือกเกิดการอัดตัวแน่นจึงทำให้มีค่าความพรุนน้อย

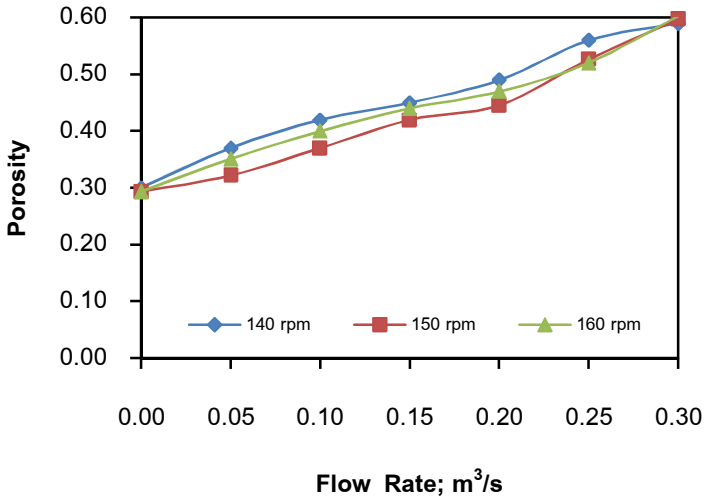
2.2 การเปรียบเทียบความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 24แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



ภาพประกอบ 25 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ160 rpm ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm

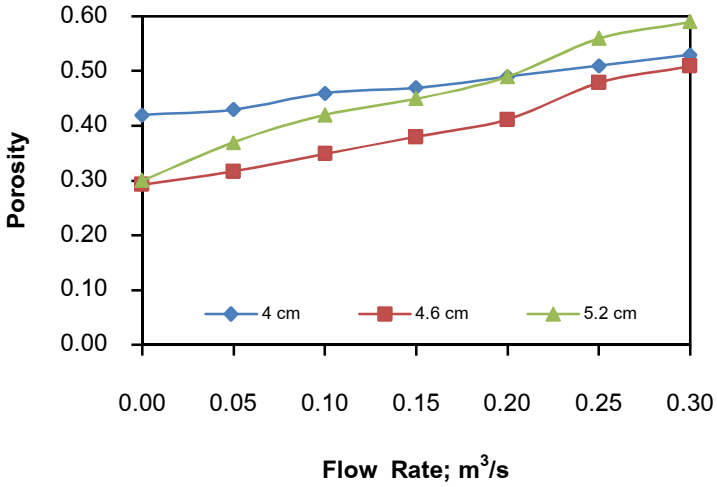


ภาพประกอบ 26 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ160 rpm ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm

จากภาพประกอบ 24 – 26 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm พบว่าที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่าง ๆ ค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะ

เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ของแต่ละระยะยกมีค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งมากกว่าที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งอื่นๆ เพราะที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm มีความถี่ในการยกน้อยกว่าที่ความเร็วรอบระยะยกอื่นๆ ทำให้ข้าวเปลือกถูกยกให้ลอยขึ้นด้วยกลไก และจะตกลงมาช้ากว่าแผ่นตะแกรงจึงทำให้มีค่าความพรุนมากที่สุดแต่ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งสูงๆมีความถี่ในการยกมากทำให้แผ่นตะแกรงขึ้นรองรับและเคลื่อนที่ขึ้นลงไปพร้อมกันทำให้ข้าวเปลือกมีเวลาอยู่ในอากาศน้อยจึงมีค่าความพรุนน้อย

2.3 การเปรียบเทียบระยะยกของห้องอบแห้ง

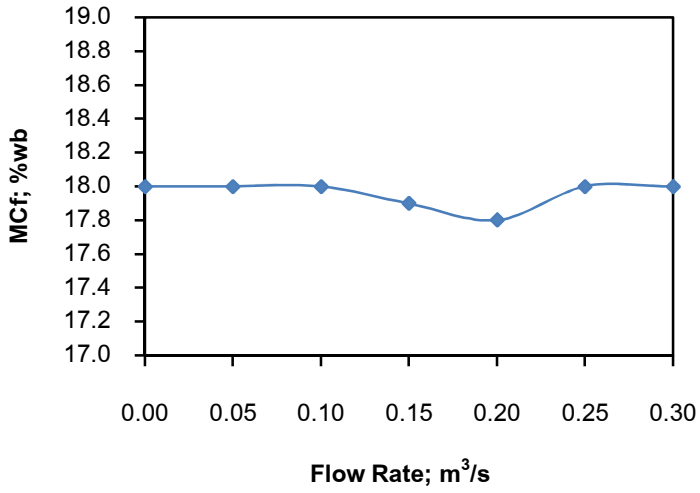


ภาพประกอบ 27 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm

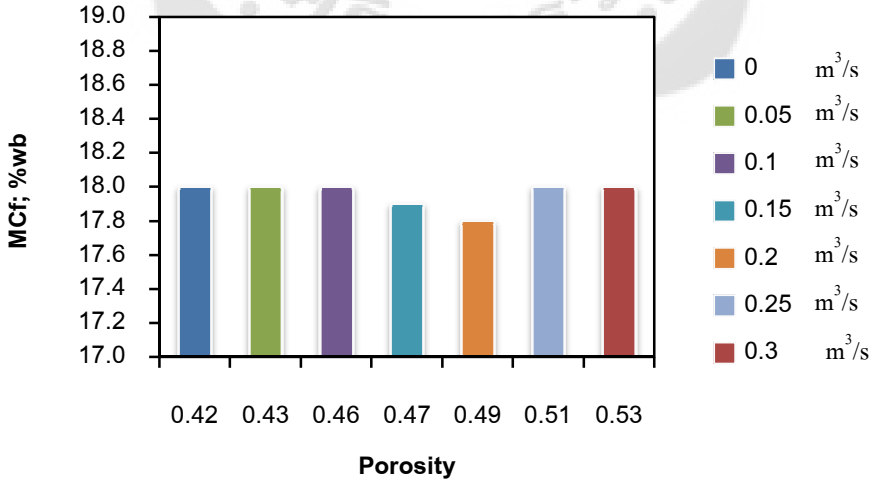
จากภาพประกอบ 27 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับอัตราการไหลของอากาศ ที่แผ่นตะแกรงขนาดรูเปิด 2 mm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm และระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm พบว่าค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมากกว่าที่ระยะยกอื่นๆ เพราะที่ระยะยกสูงๆ และความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่ำข้าวเปลือกจะถูกยกตัวด้วยกลไกให้ลอยสูงขึ้น และตกลงมาพร้อมแผ่นตะแกรง จึงมีผลทำให้ความพรุนต่ำ และเมื่อดูที่เส้นกราฟระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm และ 5.2 cm ตัดกันที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2 m^3/s เนื่องจาก ระยะยก 5.2 cm ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2-0.3 m^3/s จะเกิดการฟุ้ง

กระจายของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งเป็นผลให้อากาศไหลผ่านเฉพาะบริเวณที่ข้าวเปลือกฟุ้งกระจายเท่านั้น

2.4 การเปรียบเทียบความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm



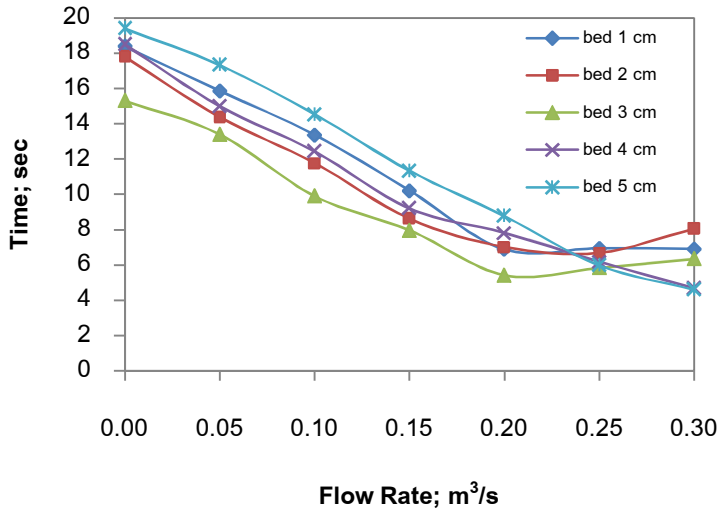
ภาพประกอบ 28 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อุณหภูมิแวดล้อม 30˚C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 52 %



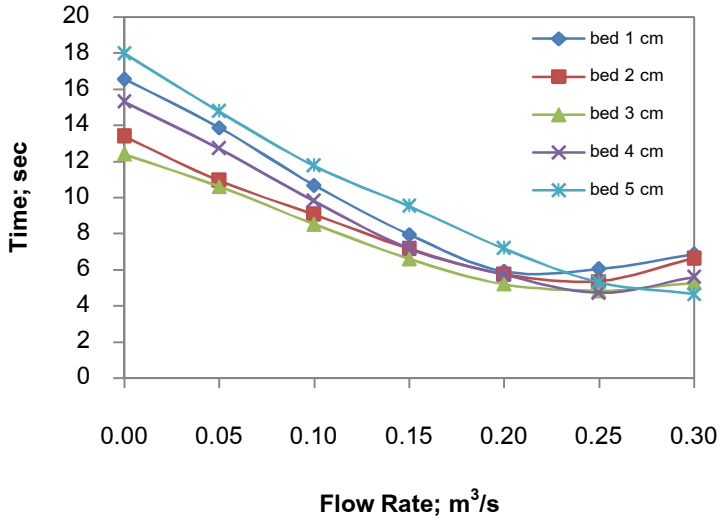
ภาพประกอบ 29 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายกับความพรุนที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อุณหภูมิแวดล้อม 30˚C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 52 %

จากภาพประกอบ 29 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายกับอัตราการไหลของอากาศ และความพรุน ที่ระยะยก 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm แผ่นตะแกรงขนาดรูเปิด 2 mm อุณหภูมิแวดล้อม 30°C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 52 % พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2 m^3/s และในช่วงค่าความพรุน 0.45-0.50 ข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งสามารถคายความชื้นได้มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ เนื่องจากที่อัตราการไหลของอากาศ 0.25 m^3/s และ 0.3 m^3/s เกิดการฟุ้งกระจายของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจึงทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเฉพาะบริเวณช่องว่างที่อากาศไหลผ่าน

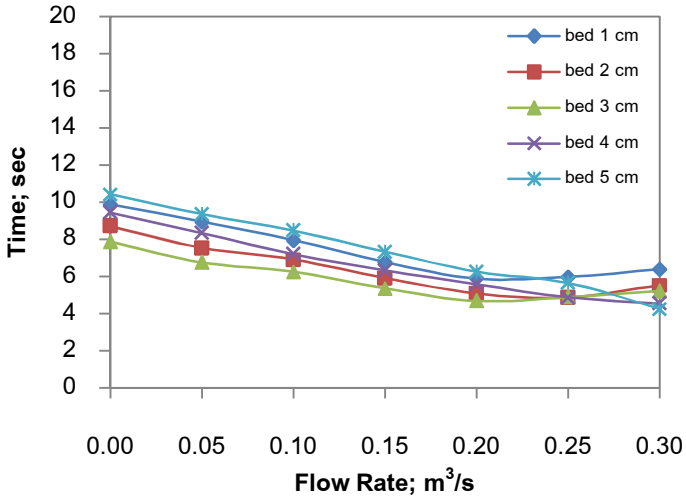
2.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในการอบแห้ง



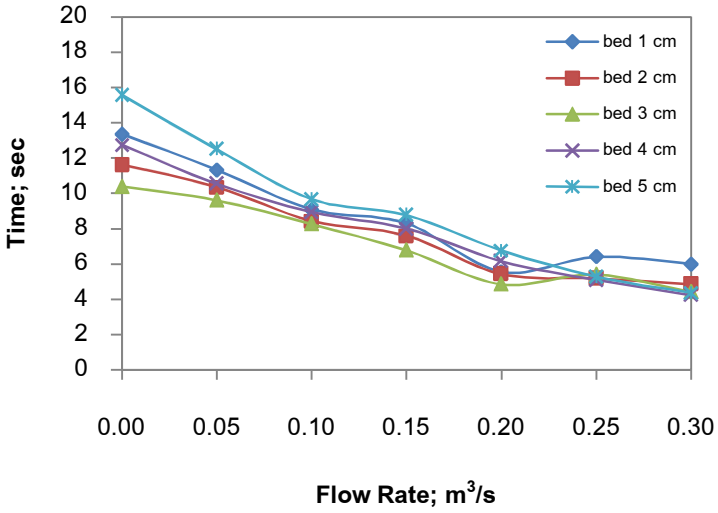
ภาพประกอบ 30 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



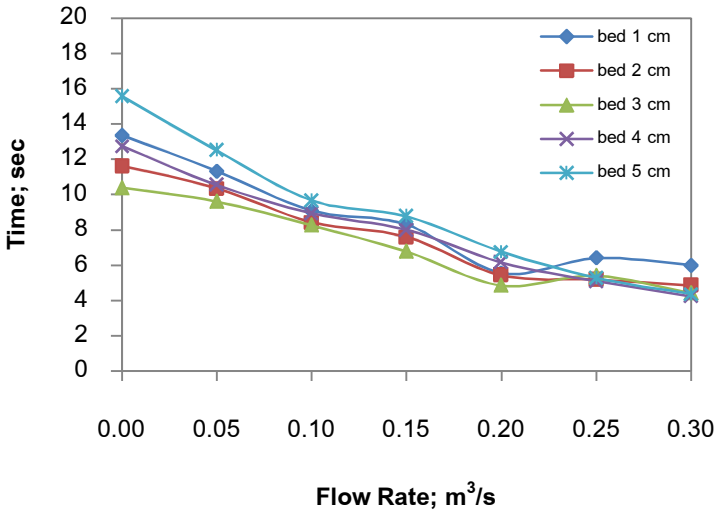
ภาพประกอบ 31 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



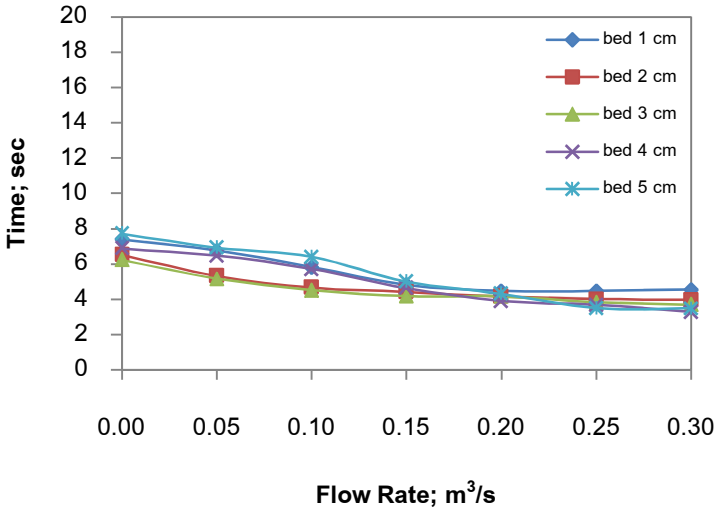
ภาพประกอบ 32 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm



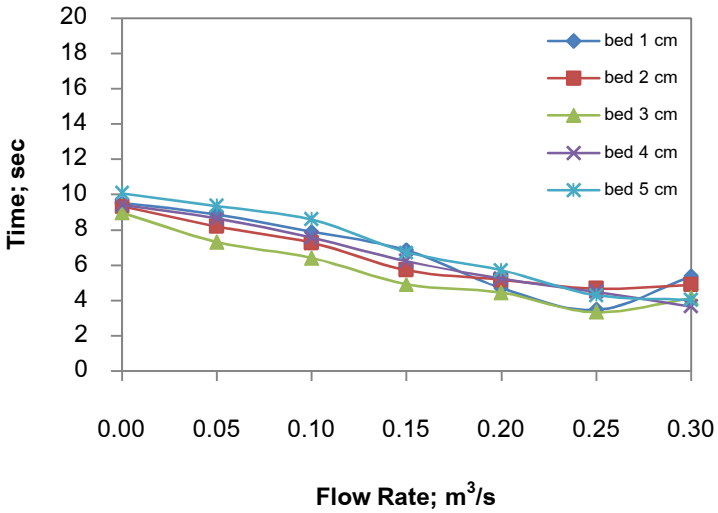
ภาพประกอบ 33 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



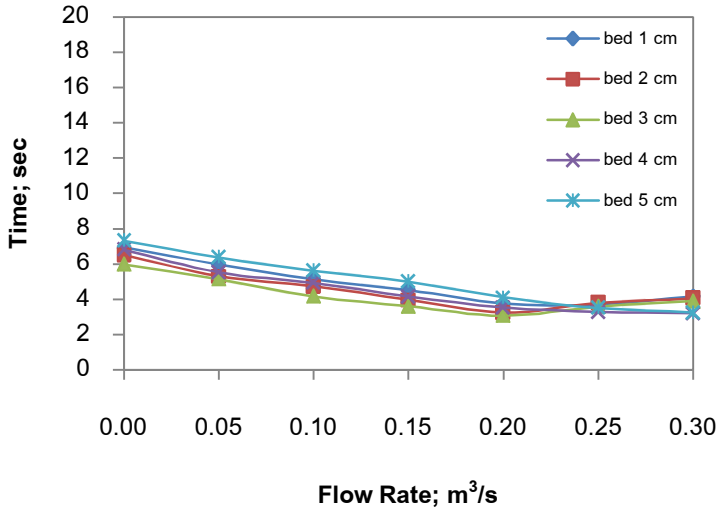
ภาพประกอบ 34 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



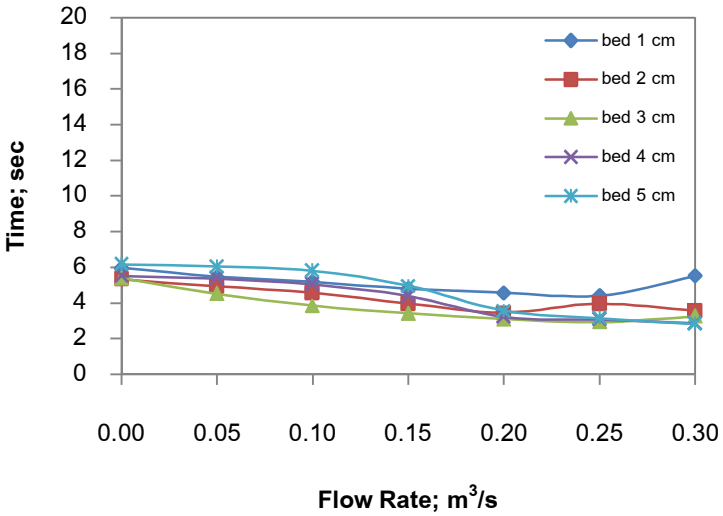
ภาพประกอบ 35 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm



ภาพประกอบ 36 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm



ภาพประกอบ 37 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm

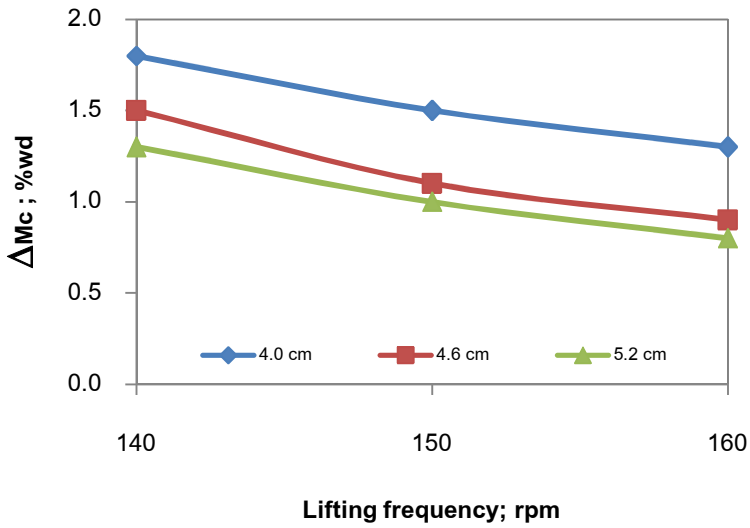


ภาพประกอบ 38 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 160 rpm ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm

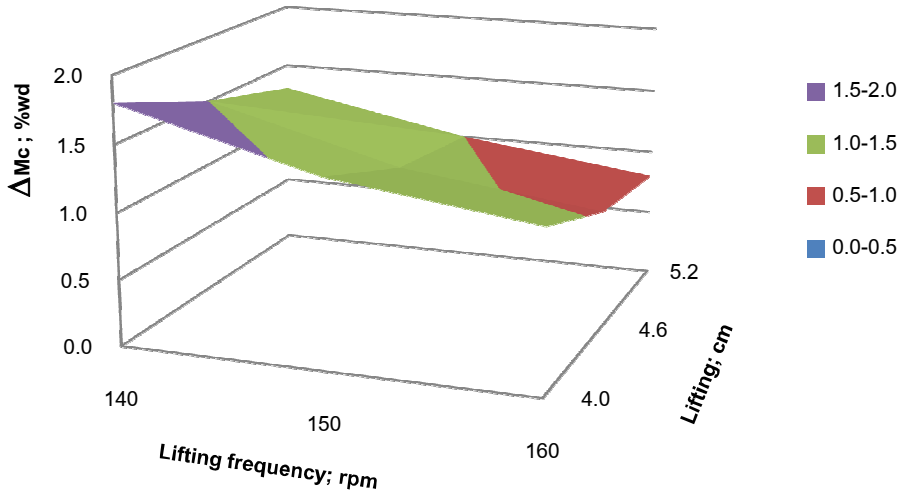
จากภาพประกอบ 30 –38 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งกับอัตราการไหลของอากาศ ณ ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ โดยใช้อัตราการ

ไหลของอากาศ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m^3/s ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4, 4.6, 5.2 cm ที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm,150 rpm และ 160 rpm จากผลการทดลองที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ของแต่ละความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่างๆ พบว่าเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นนอกนี้จากยังพบว่าความหนาของข้าวเปลือก 1 cm ที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.2 m^3/s ขึ้นไปการขยับตัวของเมล็ดข้าวเปลือกจะไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้งและเกิดฟองอากาศขึ้นทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งไม่เป็นไปตามลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลโดยที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 2 และ 3 cm จะเกิดฟองอากาศขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.25 m^3/s ขึ้นไป ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 4 cm จะเกิดฟองอากาศขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.3 m^3/s ขึ้นไปทั้งนี้ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 5 cm จะไม่เกิดฟองอากาศขึ้นในระหว่างการทำงานที่ทุกๆ อัตราการไหลของอากาศในการทดลอง

2.6 ผลกระทบของความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล



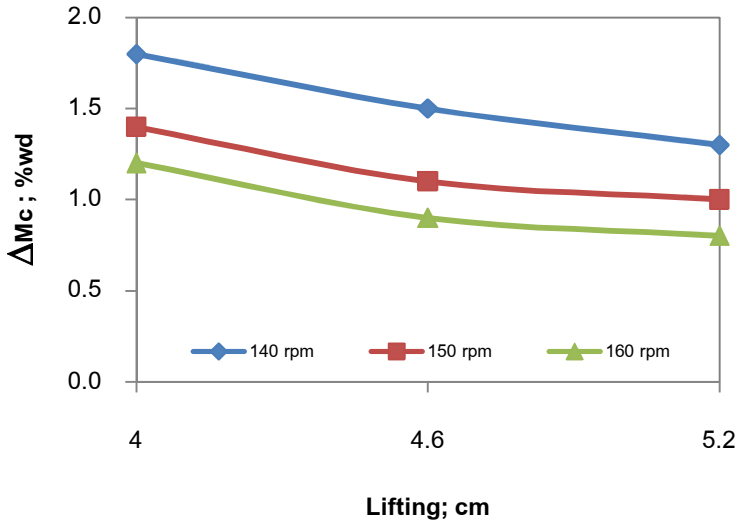
ภาพประกอบ 39 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ณ ระยะยกของห้องอบแห้งต่างๆ



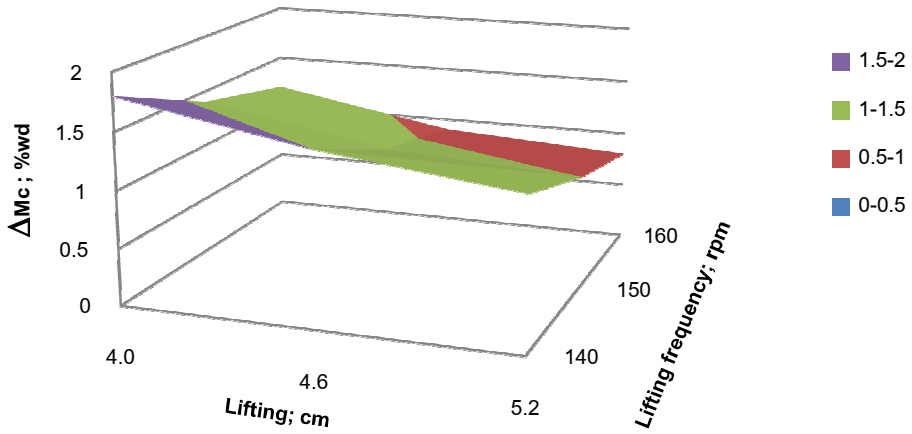
ภาพประกอบ 40 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ณ ระยะยกของห้องอบแห้งต่างๆ

จากภาพประกอบ 39-40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m^3/s ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 150 °C พบว่าที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ของทุกๆ ระยะยกห้องอบแห้งข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งสามารถคายความชื้นได้มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ เนื่องจากที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm มีความถี่ในการยกน้อยกว่าที่สภาวะอื่นๆ จึงทำให้ข้าวเปลือกมีเวลาอยู่ในห้องอบนานกว่าที่ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 150 และ 160 rpm

2.7 ผลกระทบของระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล



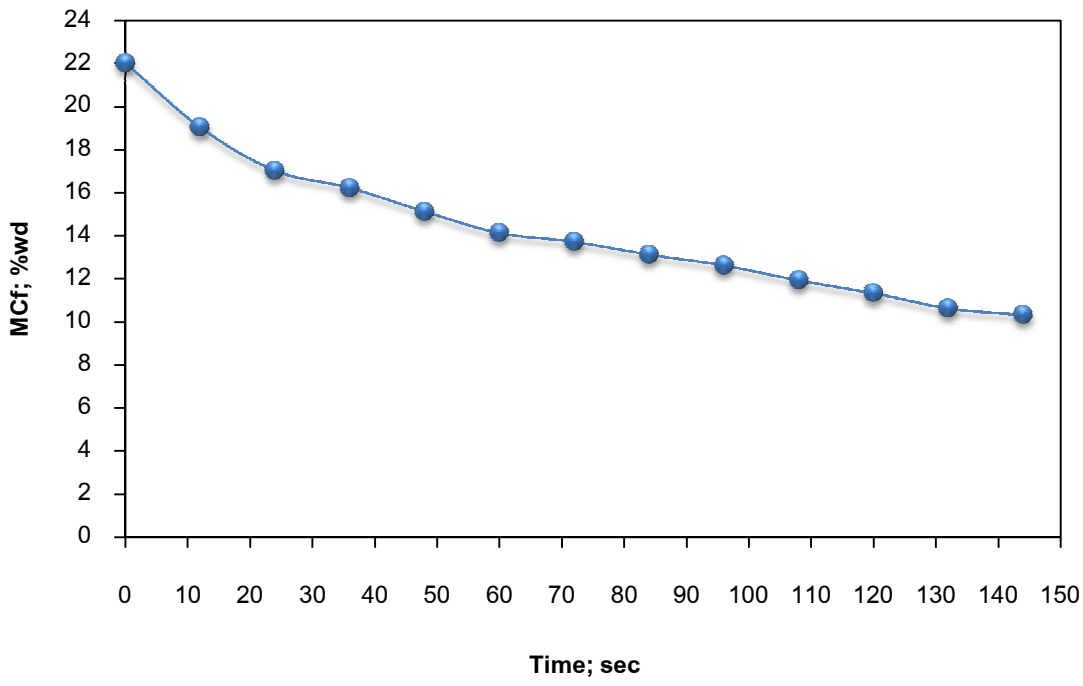
ภาพประกอบ 41 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ณ ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่าง ๆ



ภาพประกอบ 42 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ณ ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งต่าง ๆ

จากภาพประกอบ 41-42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.20 m^3/s ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 150 °C พบว่าที่ระยะยกห้องอบแห้ง 4 cm ของทุกๆ ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งสามารถคายความชื้นได้มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ เนื่องจากที่ระยะยกห้องอบแห้ง 4 cm มีระยะการขยับขึ้นลงน้อยกว่าที่สภาวะอื่นๆ จึงทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่จากทางเข้าจนไปถึงทางออกอย่างช้าๆ ดังนั้นข้าวเปลือกจึงมีเวลาอยู่ในห้องอบนานกว่าที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 และ 5.2 cm

2.8 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



ภาพประกอบ 43 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความชื้นกับระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง

ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความชื้นกับระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง ที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 150 °C พบว่าที่ช่วงเวลาประมาณ 0–24 วินาทีจะเป็นช่วงของการอบแห้งแบบคงที่ซึ่งจะสังเกตได้จากอัตราการลดความชื้นในช่วงนี้มีค่ามากเนื่องจากความร้อนที่เมล็ดข้าวเปลือกได้รับจึงถูกใช้ในการระเหยความชื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกเท่านั้น และในช่วงเวลา 24–140 วินาทีจะเห็นได้ว่าอัตราการลด

ความชื้นจะเริ่มค่อยๆ ลดลง ดังนั้นในช่วงนี้เป็นช่วงการอบแห้งแบบลดลง การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของเม็ดข้าวเปลือกถึงค่าความชื้นสมดุล ซึ่งความชื้นของวัสดุจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้จะใช้เวลาในการอบแห้งนานเท่าไดก็ตาม โดยที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือก 14 %wb จะเป็นค่าความชื้นสุดท้ายในการทดลองนี้ และใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 60 วินาที

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และระยะยกของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล ทำการทดลองที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm, 4.6 cm และ 5.2 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm, 150 rpm และ 160 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0-0.3 m^3/s โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m^3/s ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm และ 5 cm ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20 - 24 %wb โดยทดสอบในห้องอบที่มีขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 95 cm x สูง 30 cm

ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้งและระยะยกมีผลต่อความพรุนในห้องอบแห้ง ณ ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ซึ่งในช่วงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลตามสภาวะต่างๆ เมล็ดข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของห้องอบแห้ง การที่เมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ทำให้เกิดความพรุนขึ้นค่าความพรุน (ε_2) ที่ได้จากการทำงานของเครื่องจะมีค่ามากกว่าค่าความพรุนในกองข้าว (ε_1) ในขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นปรากฏ (ρ_2) ที่ได้จากการทำงานของเครื่องจะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นปรากฏ (ρ_1) ด้วย และเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นค่าความพรุนที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.2 m^3/s ขึ้นไปการขยับตัวของเมล็ดข้าวเปลือกจะไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้ง และเกิดฟองอากาศขึ้นทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งไม่เป็นไปตามลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลในขณะที่ทำงานความหนาของชั้นข้าวเปลือก 2 และ 3 cm จะเกิดการฟุ้งกระจายของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.25 m^3/s ขึ้นไป ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 4 cm จะเกิดการฟุ้งกระจายของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.3 m^3/s ขึ้นไป และสำหลับที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 5 cm จะไม่เกิดการฟุ้งกระจายของเมล็ดข้าวเปลือก นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm ค่าความพรุนของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมีค่ามากกว่า ระยะยกของห้องอบแห้ง 4.6 cm และ 5.2 cm ที่ความเร็วรอบของระยะยก 150 rpm และ 160 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0 m^3/s, 0.05 m^3/s, 0.1 m^3/s, 0.15 m^3/s, 0.2 m^3/s และ 0.25 m^3/s เนื่องจากที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm มีปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้งที่เหมาะสมทำอากาศสามารถกระจายได้ทั่วทั้งห้องอบแห้งจึงทำให้ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm มีค่าความพรุนมากกว่าที่สภาวะอื่นๆ และที่ความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm มีค่าความพรุนต่ำเนื่องจากอากาศไม่สามารถกระจายตัวได้ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้งอากาศจะ

ไหลผ่านข้าวเปลือกเป็นบ้างจุดอากาศจะไปขวางการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ช้าจึงทำให้มีค่าความพรุนน้อยและเมื่อเปรียบเทียบความชื้นสุดท้ายกับอัตราการไหลของอากาศและความพรุน ที่ช่วงระยะยก 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และ พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2 m^3/s และในช่วงความพรุน 0.45-0.50 ข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งสามารถคายความชื้นได้มากกว่าที่สภาวะอื่นๆ จึงเหมาะสมกับการอบแห้งข้าวเปลือกมากที่สุด เนื่องจากที่สภาวะในช่วงนี้ทำให้เกิดความพรุนที่เหมาะสมอากาศสามารถกระจายได้ทั่วทั้งห้องอบแห้ง และถ้าเลยสภาวะช่วงนี้ไปเมล็ดข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจาย ทำให้อากาศไหลผ่านข้าวเปลือกในช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจายเท่านั้นและอากาศยังไปขวางการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือก ทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ช้าและมีค่าความพรุนน้อยจึงทำให้อากาศไม่สามารถกระจายได้ทั่วทั้งห้องอบแห้งดังนั้นระยะยกห้องอบแห้ง,ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งจากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกช่วงระยะยก 4 cm ความถี่ในการขยับขึ้นลงของห้องอบแห้ง 140 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 3 cm และ พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2 m^3/s จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมากขึ้นความชื้นของข้าวเปลือกจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนความชื้นเข้าสู่ความชื้นสมดุล

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบของความถี่ในการขยับขึ้นลง และระยะยกของห้องอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล โดยในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งโดยใช้ต้นแบบของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีการพัฒนามาจากเครื่องอบแห้งที่แตกต่างจากที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในอนาคตควรมีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้ละเอียดและควรมีการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเข้ามาคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลเพื่อที่จะให้เป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปออกแบบสร้างเครื่องขนาดใหญ่ที่สามารถรองรับผลผลิตของโรงสีข้าวได้โดยการทดลองในอนาคตควรคำนึงถึงความชื้นของข้าวเปลือกที่จะนำมาใช้ทดลองควรให้มีค่าความชื้นในระดับใกล้เคียงกันซึ่งความเป็นจริงในทางปฏิบัติข้าวเปลือกที่นำมาจากท้องนาจะมีค่าความชื้นที่แตกต่างกันรวมทั้งมีรูปทรงของเมล็ดข้าวเปลือกขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักของเมล็ดข้าวเปลือก และค่าความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือกแต่ละเมล็ดไม่เท่ากันดังนั้นถ้าต้องการผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรงควรคัดแยกขนาดเมล็ดข้าวเปลือกใกล้เคียงกัน และทำการปรับค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกให้ใกล้เคียงกันอีกทั้งควรทำความสะอาดข้าวเปลือก รวมทั้งมีการจับยึดเครื่องอบแห้งมัสท์โฟลให้สั่นสะเทือนน้อยที่สุด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กองเกษตรวิศวกรรม. (2544, เมษายน-มิถุนายน). หลังการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. *กรมวิชาการเกษตร.* 4(2).

มุสตาฟา ยะภา. (2537). *การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

----------. (2555). ต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบ. *ประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 11.* มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดจันทบุรี.

มนตรี หวังจิ. (2539). *การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดระดับอุตสาหกรรม.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วทัญญู รอดประพัฒน์. (2540). *การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดเคลื่อนย้ายได้.* วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

----------. (2542). การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบด. *สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.*

วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์. (2541). *การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ ฟลูอิไดซ์เบดสั่นสะเทือน.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมเกียรติ ปรัชญาวรากร. (2534) *การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชั่น.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

สุวัฒน์ ตรูทัศนวินท์. (2542). *แนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหารอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล. (2536). *การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิไดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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.(2006). *Modelling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer*. PH-Postharvest Techonlogy.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

พงศกรสุวโท และคณะ. (2557).*อิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล*.การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 13.จังหวัดจันทบุรี

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงงบประมาณ

ตาราง 1 แสดงงบประมาณในการทำปริญญานิพนธ์

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวน	เป็นเงิน	รวมเป็นเงินงบประมาณ (บาท)
ค่าวัสดุ อุปกรณ์ในการวิจัยประกอบด้วย			
1. ข้าวเปลือก	1,000 kg	13,000	13,000
2. อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์	2 set	10,000	20,000
ค่าสาธารณูปโภค ประกอบด้วย			
1. ค่าจ้างสำเนาเข้าปกเย็บเล่มรายงานโครงงาน		3,000	3,000
2. ค่าอุปกรณ์จดบันทึกผลกาทดลอง		1,000	1,000
รวม			**37,000**

ภาคผนวก ค
อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
d	น้ำหนักแห้ง	kg
w	น้ำหนักเปียก	kg
M	ปริมาณความชื้น	%
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m^2 - {}^oC$
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_s	อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก	°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

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อชื่อสกุล	นายพงศกร สุวโท
วันเดือนปีเกิด	9 กันยายน 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	32 ซอย วชิรธรรมสาธิต 33 ถนน สุขุมวิท 101/1
	แขวง บางจาก เขต พระโขนง กรุงเทพมหานคร10260
	โทรศัพท์ 089-605-8840
	E-mail: pongsakorn_me05@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาตอนต้น
	จาก โรงเรียนวชิรธรรมสาธิต
พ.ศ. 2547	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างยนต์
	จาก วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
พ.ศ. 2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคยานยนต์
	จาก วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
พ.ศ. 2554	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
	จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
พ.ศ. 2558	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
	จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ