

ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะ
การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะ
การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะ
การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558

ณัฐพล มณีโชติ. (2558). ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล. ปรินญาณพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล.

งานวิจัยนี้มุ่งหมายศึกษาผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและชั้นความหนาของข้าวเปลือกที่มีผลต่อความดันตกคร่อมในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล โดยทดสอบในห้องอบแห้งที่มีขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 100 cm x สูง 30 cm ที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm, 1.5 mm, 2.0 mm และตาข่ายสแตนเลส และที่ระดับความหนาของเบตข้าวเปลือก 1 – 5 cm โดยใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนตั้งแต่ 0.05 – 0.30 m³/s จากผลการทดลองพบว่าที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm มีค่าความดันตกคร่อมต่ำกว่าแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm, 1.1 mm และตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ และความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกและพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ความดันตกคร่อมจะมีค่าต่ำที่สุด

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งมัลติโฟล, ความดันตกคร่อม, ความหนาของชั้นข้าวเปลือก, แผ่นกระจายอากาศ

INFLUENCES OF HOLD SIZE OF AIR DISTRIBUTOR AND HIGHT OF PADDY BED TO
WORKING CHARACTERISTICS OF MUST FLOW DRYER



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master of
Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

Dec 2015

Nattapol Maneechot. (2015). *Influences of Hole Size of Air Distributor and Hight of Paddy Bed to Working Characteristics of Must Flow Dryer*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst.Prof.Dr.Pracha Bunyawanichakul.

This research aims to study the influence of the holes size of the air distributor plate and height of paddy bed that affect the pressure drop in a Must Flow dryer. The test dryer chamber was 20 cm Width x 100 cm Length x 30 cm Height with hole sizes of the air distributor plate at 1.1 mm, 1.5 mm, 2.0 mm and stainless steel mesh and paddy bed of different bed height from 1 to 5 cm. The air flow rate was varied from 0.05 to 0.30 m³/s. Experimental results showed that the air distributor plate hole size of 1.5 mm gave a lower pressure drop than the other holes size, and stainless steel mesh. The pressure drop increased with the air flow rate and the height of paddy bed, and found that the height of paddy bed at 1 cm gave the lowest pressure drop.

Keywords: Must Flow Dryer, Pressure drop, Height of paddy bed, Air distributor plate

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะ
การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล

ของ

ณัฐพล มณีโชติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

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

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาคผล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล)

..... กรรมการ
(ดร.จาริณี จงปลื้มปิติ)

ประกาศคุณประการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล ผู้ควบคุมการทำ
ปริญญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัย เรื่องผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและ
ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล พร้อมทั้งให้
ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์มณฑล ชูโซนาท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ปัญหา
ต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการทดสอบครั้ง
นี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณมูस्ताฟา ยะภา นักศึกษาระดับดุษฎีบัณฑิต ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด
และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในระหว่างการทำนิ
งานวิจัยเป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประจำปี 2556 ผ่านสัญญารับทุนเลขที่ 448/2556

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจตลอดจน
สนับสนุนการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความ
ช่วยเหลือ และความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

ณัฐพล มณีโชติ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีการสมดุลความร้อน.....	4
ความชื้น.....	4
การลดความชื้นเมล็ดพืช.....	5
การไล่ความชื้นในข้าวเปลือก.....	6
การทำให้เมล็ดเกิดความร้อน.....	7
การใช้อากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดแบบบังคับ.....	8
ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล.....	9
ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	9
ทฤษฎีการถ่ายเทมวล.....	10
โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	11
ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ทดลอง.....	11
แผ่นกระจายอากาศ.....	11
สมการสำหรับการออกแบบ.....	13
พื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ.....	13
ความต้านทานการไหลของอากาศ.....	13
ความดันลดสถิต (Static pressure drop).....	14
ความดันลดในชั้นข้าวเปลือก.....	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	21
หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัทส์โฟล.....	21
อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด.....	22
การติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์.....	26
วิธีดำเนินการทดลอง.....	27
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	32
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	33
การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีเบดข้าวเปลือกอยู่หนึ่ง และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นข้าวเปลือก.....	33
การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีเบดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นข้าวเปลือก.....	36
การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลง รูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ.....	42
การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลง ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก.....	44
การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลงรูป แบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยชั้นความหนาของข้าวเปลือกอยู่หนึ่งและ มีการเคลื่อนที่.....	45
การเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ.....	47
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
สรุป.....	49
ข้อเสนอแนะ.....	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่.....	55
ภาคผนวก ข ตารางแสดงงบประมาณ.....	57
ภาคผนวก ค อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	59
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	62



บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงค่าคงที่ในสมการความต้านทานการไหล.....	15
---	---	----



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ.....	6
2 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก.....	8
3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	11
4 แสดงรูปแบบการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศชนิดต่าง ๆ.....	12
5 แบบของแผ่นกระจายอากาศลักษณะต่าง ๆ.....	12
6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอากาศและความดันลดที่ผ่านเบดสำหรับเมล็ดชนิดต่าง ๆ.....	14
7 แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล.....	21
8 ชุดเครื่องวัดความเร็วลม.....	22
9 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก.....	23
10 U-tube มานอมิเตอร์.....	23
11 ตู้ควบคุม.....	24
12 โบลเวอร์.....	24
13 เครื่องชั่งดิจิตอล.....	25
14 แสดงแผ่นกระจายอากาศรูปแบบต่าง ๆ.....	25
15 แสดงการติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์(cm).....	26
16 แสดงการติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์กับห้องอบแห้งและห้องกระจายอากาศ.....	26
17 แสดงการบรรจุข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง.....	27
18 แสดงการเปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น 0.05 m ³ /s.....	28
19 แสดงการวัดค่าความดันตกคร่อมด้วย U-tube มานอมิเตอร์.....	28
20 แสดงการบรรจุข้าวเปลือกในถังบรรจุข้าวเปลือก.....	29
21 แสดงการสวิตช์มอเตอร์ควบคุมความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140 rpm.....	30
22 แสดงการเปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น 0.05 m ³ /s.....	30
23 แสดงการเปิดลิ้นป้อนข้าวเปลือกให้ได้ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 1 cm.....	31
24 แสดงการวัดค่าความดันตกคร่อมด้วยมานอมิเตอร์.....	31

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.1 mm.....	33
26 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.5 mm.....	34
27 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 2.0 mm.....	34
28 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส.....	35
29 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm.....	36
30 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm.....	36
31 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm.....	37

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
32 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้น ข้าวเปลือกที่ 140 rpm.....	37
33 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm.....	38
34 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm.....	38
35 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm.....	39
36 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้น ข้าวเปลือกที่ 150 rpm.....	39
37 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm.....	40

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
38 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm.....	40
39 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm.....	41
40 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้น ข้าวเปลือกที่ 160 rpm.....	41
41 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศ ต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ใน การยกชั้นข้าวเปลือก 140 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.....	42
42 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศ ต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ใน การยกชั้นข้าวเปลือก 150 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.....	43
43 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศ ต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ใน การยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.....	43
44 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศ ต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกตั้งแต่ 140, 150 และ 160 rpm. โดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm. และชั้นความหนาของข้าวเปลือก 1 cm.....	44

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
45 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ ในกรณีข้าวเปลือกอยู่นิ่ง และมีความหนา 1 cm.....	45
46 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ ในกรณีข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่ และมีความหนา 1 cm.....	46
47 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่แสดง 0.05, 0.10, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m ³ /s โดยใช้ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm และใช้แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm.....	47

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรหลัก ๆ คือข้าว ข้าวโพด และพืชอื่น ๆ โดยเฉพาะข้าวเปลือกที่สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีถ้าพื้นที่นั้นมีระบบชลประทานที่เพียงพอ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีการทำนาเพื่อผลิตข้าวเปลือก 2 ช่วง คือการทำนาปีและนาปรัง ซึ่งมีผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 36.576 ล้านตันต่อปี ผลผลิตที่ได้นี้นอกจากจะใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญสามารถทำรายได้เข้าประเทศแต่ละปีเป็นจำนวนมาก และเนื่องจากการบริโภคข้าวมีตลอดทั้งปี แต่การผลิตสามารถทำได้เฉพาะฤดูกาล ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการจัดเก็บที่ดีและเหมาะสม เพื่อรักษาคุณภาพให้คงเดิม ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกเป็นตัวแปรที่สำคัญและมีผลอย่างมากในการเก็บรักษา หากความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกสูงเกินไป จะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปอาจจะทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ และยังทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเสื่อมคุณค่าทางอาหาร รวมทั้งเกิดการแตกหักระหว่างขนถ่ายได้ ดังนั้นในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกจึงต้องควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

โดยปกติความชื้นของข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง 22 - 30 %wb โดยความชื้นของข้าวเปลือกในช่วงนี้ ทำให้คุณภาพของข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ดี ในอดีตเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวจากท้องนามาตากแดดเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเก็บรักษา ซึ่งมักจะประสบกับปัญหาต่าง ๆ เช่น สภาพดิน ฟ้า อากาศ และมีสัตว์มารบกวน พื้นที่ตากแห้งมีไม่เพียงพอ ทำให้ข้าวเปลือกเกิดการสูญเสียทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการตากแห้งข้าวเปลือกในลานตากนั้นต้องใช้เวลาในการลดความชื้น

ปัจจุบันเกษตรกรได้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้เพื่อพัฒนางานด้านการเกษตรมากขึ้น ทำให้งานทางด้านการเกษตรมีความสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการพัฒนากระบวนการผลิตและเก็บเกี่ยวที่ดี จนสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการเก็บรักษาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงด้วยเช่นกัน ทำให้ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือก เพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้ได้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพและ

สามารถทำงานได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ใช้พื้นที่ทำงานน้อยและอัตราลดความชื้นดีกว่าแบบตากลาน

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เป็นเครื่องอบแห้งชนิดที่ใช้ลมร้อนไหลผ่านวัตถุแบบบังคับ ซึ่งมีทั้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตามกัน เมล็ดพืชกับลมร้อนไหลสวนทางกัน และแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตัดขวางกัน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตัดขวางกัน ซึ่งทำงานโดยเมล็ดพืชจะเคลื่อนที่คล้ายของไหลผ่านกระแสมร้อนในแนวขวางตลอดเวลาจึงทำให้ลมร้อนสัมผัสกับเมล็ดข้าวเปลือกได้อย่างทั่วถึง ในขณะที่เกิดฟลูอิดไดเซชันในห้องอบแห้งข้าว ซึ่งจากการทดลองอบแห้ง พบว่าการใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นความหนาของเมล็ดพืชที่อยู่บนแผ่นกระจายอากาศ จะต้องใช้ความเร็วของลมร้อนสูง จึงเกิดฟองก๊าซขึ้นในชั้นความหนาของเมล็ดพืชทำให้มีการแยกตัวของอนุภาคของแข็งเป็นชั้น ๆ ทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นไม่ทั่วถึง จึงเป็นที่มาของแนวคิดในการสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล ที่มีลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบและลมร้อนไหลตัดขวางข้าวเปลือก โดยการทำงานของเครื่องอบแห้งจะมีพัดลมดูดอากาศร้อนอยู่ทางด้านบนของเครื่องและมีการขยับตัวขึ้นลงของห้องอบแห้งเป็นจังหวะทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ไปในแนวราบ ซึ่งทำให้ค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังการอบแห้งนั้นมีความสม่ำเสมอว่าเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้เน้นการศึกษาผลกระทบของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพลที่ได้คิดค้นขึ้นมาใหม่นี้ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนาชั้นข้าวเปลือกต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้ต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลที่มีพื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้งขนาด $20 \times 100 \text{ cm}^2$

2. ทำการทดลองวัดการกระจายความดันตลอดช่วงความยาว ของห้องอบแห้งที่มีขนาดของแผ่นกระจายอากาศที่มีรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1, 1.5, 2.0 mm. และตาข่ายสแตนเลส
3. ทำการทดลองวัดการกระจายความดันตลอดช่วงความยาว ของห้องอบแห้งที่มีความหนา ของชั้นข้าวเปลือก 1-5 cm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัทส์โฟล
2. สามารถประยุกต์องค์ความรู้เรื่องอิทธิพลของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือก ในการการปรับตั้งการทำงานของเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ทฤษฎีการสมดุลความร้อน

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นหรือไล่ความชื้นออกจากวัสดุ โดยการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยในกระบวนการอบแห้งส่วนมากน้ำจะเป็นของเหลวที่ต้องการระเหยและใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลไปพร้อมกัน เมื่ออนุภาคของวัสดุชิ้นใดได้รับความร้อน น้ำภายในจะระเหยกลายเป็นไอและถูกไล่ออกจากวัสดุไปยังตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งกระบวนการเริ่มจากความร้อนจะถ่ายเทโดยการพาความร้อนจากตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งไปยังพื้นผิวของอนุภาค และจากนั้นจะถ่ายเทด้วยการนำความร้อนเข้าไปภายในวัสดุที่ชิ้นส่วนความชื้นจะถูกถ่ายเทในทิศทางตรงกันข้ามในสภาวะที่เป็นของเหลวหรือไอจากภายในออกสู่พื้นผิว จากนั้นจึงเกิดการระเหยและส่งผ่านด้วยการพาความร้อนไปยังสารตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง

ความร้อนและการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นกลไกสำคัญในกระบวนการอบแห้ง ความร้อนเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นออกจากเมล็ดโดยการเคลื่อนที่จากภายในเมล็ดออกสู่พื้นผิวภายนอก โดยการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเมล็ดจะทำให้ความชื้นที่ผิวระเหยออกสู่อากาศแวดล้อม ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับความชื้น อุณหภูมิของเมล็ด ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่สัมผัสกับเมล็ดพืช

1.1.1 ความชื้น

เป็นตัวบอกระดับปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลวัสดุชิ้นหรือแห้ง ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงแล้วทำการลดปริมาณความชื้นเมล็ดด้วยความร้อนจนกระทั่งเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไป คือปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น

ความชื้นตามบทนิยามของสมาคมวิศวกรรมเกษตรอเมริกาได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็นสองรูปแบบ ได้แก่

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis: %db) คือ ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใด ๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

$$M_d = \frac{w - d}{d} \times 100\% \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis: %wb) คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใด ๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

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

เมื่อ M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w = มวลของข้าวเปลือกเปียก, kg

d = มวลของข้าวเปลือกแห้ง, kg

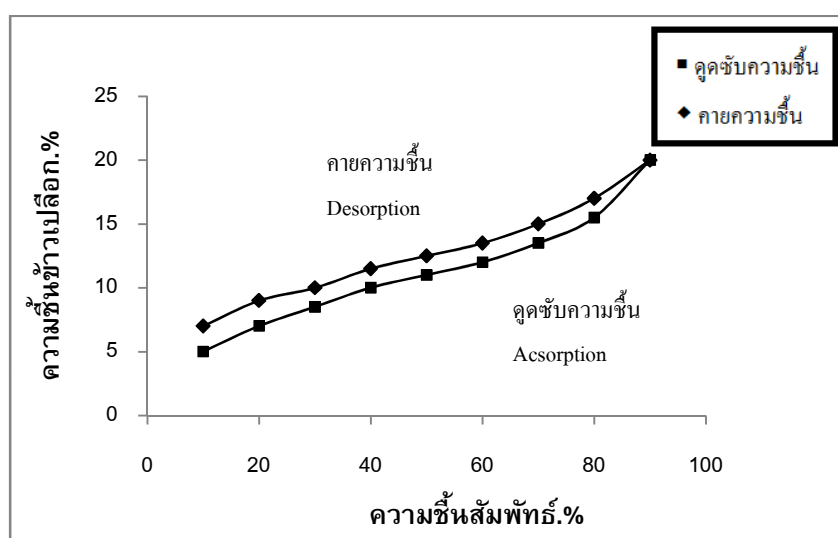
1.1.2 การลดความชื้นเมล็ดพืช

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช เป็นการทำให้ไอน้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยอาศัยคุณลักษณะของเมล็ดพืช ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซึมและคายความชื้นได้ดี เมล็ดพืชสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายกว่าการคายความชื้น เนื่องจากแรงเหนียวของโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีนที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อเอาเมล็ดแห้งมาผสมกับเมล็ดเปียก แล้วทิ้งไว้ให้เกิดความสมดุลภายในกอง เมล็ดเปียกสามารถคายความชื้นให้แก่เมล็ดแห้ง แต่เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดเปียกก็ยังคงสูงกว่าเมล็ดแห้งที่ได้ดูดความชื้นไปแล้ว การดึงเอาไอน้ำออกจากเมล็ดที่ง่ายที่สุด คือ การใช้พลังงานไปช่วยกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำให้หลุดจากการเกาะตัว

ในกรณีของข้าวเปลือก ข้าวเปลือกมีความเป็นฉนวนทางความร้อนได้ดี ทำให้ไอน้ำและความร้อนที่สะสมอยู่ในกองหรือในยุ้ง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และ

ปัญหาการเจริญเติบโตของเชื้อราในกองเมล็ด จะทำให้เมล็ดพืชเสื่อมคุณภาพลง (ข้าวเมล็ดเหลือง แอลฟลาทอกซิน) หรือ อาจจะเน่าเสียได้ในที่สุดเมื่อเทียบอัตราการผลิตกับเวลา

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ใช้สารเคมีประเภท ปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์ไบด์มาดูดซึมหรือทำปฏิกิริยากับน้ำในเมล็ด ใช้ระบบสุญญากาศ ใช้ อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ดพืช ใช้ตากแดดหรือคั่วให้เมล็ดร้อนเพื่อให้ไอน้ำภายในเมล็ดเคลื่อนย้าย ออกมาภายนอกเป็นต้น อย่างไรก็ตามก็ยังพบว่าวิธีการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้อากาศ ร้อนเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด



ภาพประกอบ 1 ลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม , 2544

1.2 การไล่ความชื้นในข้าวเปลือก

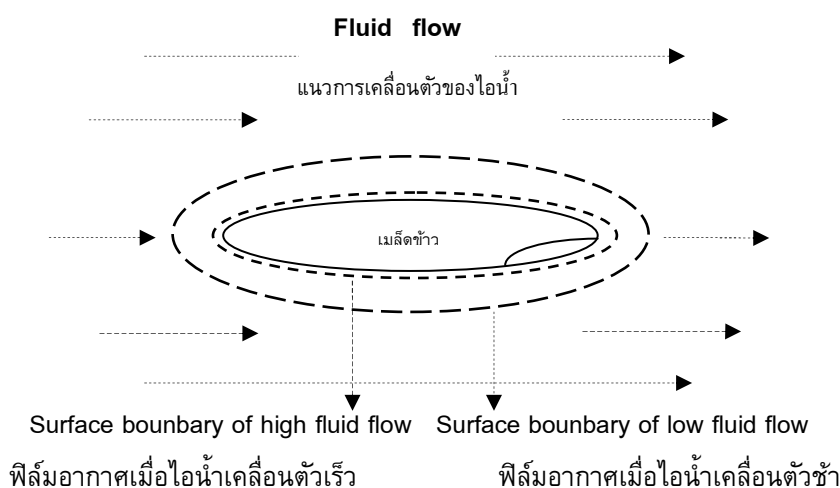
ข้าวเปลือกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อนำมาอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกมีค่าคงที่) น้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกจะระเหยออกไปจากเมล็ดด้วยอัตราคงที่ในระยะหนึ่ง ซึ่งเรียกช่วงการอบแห้งนี้ว่า ช่วงการอบแห้งคงที่ (Constant Drying Rate Period) เนื่องจากข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นสูง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของข้าวเปลือกเป็นส่วนมาก เมื่อน้ำที่ผิวข้าวเปลือกระเหยไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งผิวของข้าวเปลือกแห้งเนื่องจากน้ำที่ผิวถูกถ่ายเท

ให้กับอากาศร้อนจนหมดแล้ว ความร้อนจากอากาศก็จะถ่ายเทเข้าไปยังผิวของเมล็ดข้าว และทำให้น้ำที่มีอยู่ในเนื้อของเมล็ดข้าวพยายามเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของข้าวเปลือกแล้วระเหยออกมาสู่ภายนอกเช่นกัน ซึ่งช่วงการอบแห้งนี้เรียกว่า ช่วงการอบแห้งลดลง (Falling Drying Rate Period) โดยในช่วงการอบแห้งลดลงนี้ความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าค่อนข้างต่ำ

การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อน เป็นตัวกลางในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับข้าวเปลือก เพื่อให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นลดลง สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1.2.1 การทำให้เมล็ดเกิดความร้อน

การนำข้าวเปลือกมาตากแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด โดยขณะตากแดด ข้าวเปลือกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในข้าวเปลือกสูงขึ้น ดังภาพประกอบ 2 แสดงฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชและทำหน้าที่เป็นฉนวน (กองเกษตรวิศวกรรม, 2544) ซึ่งทำให้แรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกสูงมากกว่าแรงดันไอน้ำของบรรยากาศและไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอกผิวของข้าวเปลือกผ่านฟิล์มของอากาศซึ่งไม่เคลื่อนไหว (ไม่อาจมองเห็นได้) ดังรูป ฟิล์มที่ผิวของข้าวเปลือกนี้ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นการแลกเปลี่ยนไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศและทำให้เกิดความสมดุลของแรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกและฟิล์ม ฟิล์มนี้จะบางลงเมื่อมีลมเป่าผ่าน หรือจากการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดจากการลอยตัวของอากาศร้อนโดยมีอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ ดังเช่นอากาศเหนือลานตากที่มีความร้อนมากกว่าบรรยากาศซึ่งลอยตัวขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศบริเวณลานตาก ฟิล์มสมดุลที่ผิวของข้าวเปลือกจึงบางลงทำให้เกิดการถ่ายเทของไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศได้ดีและจะดีขึ้นหากมีลมพัดผ่าน อย่างไรก็ตามการตากข้าวเปลือกในลานตากไม่ควรใช้เวลานานมากเกินไป และความหนาของข้าวเปลือกในลานตากควรอยู่ประมาณ 3-5 cm อีกทั้งควรพลิกกลับอยู่เสมอ เพื่อให้ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกที่อยู่ด้านล่าง สามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ดีขึ้น



ภาพประกอบ 2 แสดงชั้นฟิล์มอากาศรอบบริเวณเมล็ดข้าวเปลือก

ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

เครื่องลดปริมาณความชื้นที่ใช้หลักการทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดความร้อนนี้ ได้มีการคิดค้นและพัฒนา หลายหน่วยงาน เช่น สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และโรงสีหลายแห่ง ส่วนใหญ่มีรูปแบบเป็นแบบท่อกลม มีใบพายอยู่ภายในท่อ สำหรับพลิกและพลิกให้ข้าวเปลือกเคลื่อนตัวขณะทำงาน ท่อกลมนี้จะหมุนอยู่เหนือเตาไฟ ภายในท่อข้าวเปลือกจะกลิ้งจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะสูงมากเมื่อไหลผ่านท่อกลมนี้ ในกรณีที่ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นสูงมาก (มากกว่า 24 %wb) จะทำให้บริเวณผิวภายนอกของเมล็ดข้าวเปลือกเกิดการ Partial Gelatinization ผลที่ได้คือ ข้าวเปลือกสามารถคายความชื้นได้รวดเร็ว มีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูงแต่ข้าวสารจะมีสีคล้ำและคุณภาพการหุงต้มเปลี่ยนไป เครื่องลดปริมาณความชื้นแบบนี้จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนักถึงแม้ว่าต้นทุนการสร้างจะต่ำกว่าแบบอื่น

1.2.2 การใช้อากาศร้อนไหลผ่านเมล็ดแบบบังคับ

เป็นวิธีการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งซึ่งสามารถทำได้ในทุกโอกาสและทุกสภาวะไม่มีข้อจำกัดเหมือนการตากแดดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแสงแดดทำให้เกิดปัญหามากในช่วงฤดูฝน การใช้เครื่องอบแห้งนอกจากจะช่วยลดปัญหาจากการตากแดดในฤดูฝนแล้วยังมีความสำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งถ้าอุณหภูมิของเมล็ดสูงเกินกว่า 43 °C มีผลทำให้

ต้นอ่อนของข้าวเปลือกสูญเสียเปอร์เซ็นต์การงอก (ถ้าเอาข้าวเปลือกตากแดดในลานตาก อุณหภูมิของข้าวเปลือกอาจสูงเกินกว่า 50 °C ในขณะที่มีแดดดี)

สรุปหลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

1. ใช้อากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้สูงขึ้นทำให้แรงดันไอน้ำของข้าวเปลือกสูงกว่าบรรยากาศรอบนอกของข้าวเปลือก

2. อากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกจะดูดซับความชื้นหรือไอน้ำที่ข้าวเปลือกคายออกมา

3. ความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านผิวของเมล็ดข้าวเปลือก จะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศร้อน

4. อุณหภูมิและความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน จะลดลงไปตามความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่อากาศร้อนพัดผ่าน

ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า อัตราการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างคือ

1. อุณหภูมิของอากาศร้อน
2. ความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของเมล็ดข้าวเปลือก
4. อัตราการเคลื่อนตัวของไอน้ำภายในเมล็ดข้าวเปลือกมาที่ผิว

1.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2535)

1.3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิถ้าของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมล็ดของแข็ง ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมล็ดของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของของแข็งเป็นแบบการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fourier คือ

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

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน, W

k = สภาพการนำความร้อนของของไหล, W/m – °C

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m^2

T = อุณหภูมิของของไหล, $^{\circ}C$

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกับกระแสของไหล มักเขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ดังต่อไปนี้

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

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2-^{\circ}C$

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m^2

T_s = อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง, $^{\circ}C$

T_{∞} = อุณหภูมิกระแสของไหล, $^{\circ}C$

1.3.2 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปริมาณการถ่ายเทมวลนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสสาร ที่ได้มีมวลมากกว่าก็จะกระจายไปหรือเดินทางไปยังที่ความเข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวล สามารถเขียนเป็นสมการได้ (Broker et al. 1992)

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

เมื่อ $\dot{m}_p$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก, kg/s

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น, kg/s

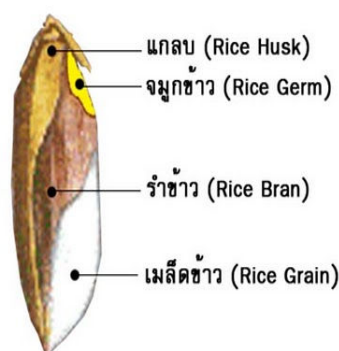
M = ปริมาณความชื้น

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

L = ความยาวห้องอบแห้ง, m

1.4 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวหุ้มด้วยชั้นเปลือกหลายชั้น ชั้นนอกสุดเป็นกลีบ (husk) ประมาณ 20 % เมื่อสีเอาชั้นกลีบออกจะได้ข้าวกล้อง ในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย จมูกข้าวหรือคัพพะ (germ หรือ embryo) ประมาณ 2.5 % รำข้าว (rice bran) ประมาณ 8 % และเมล็ดข้าว (rice grain) ประมาณ 69.5 %



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

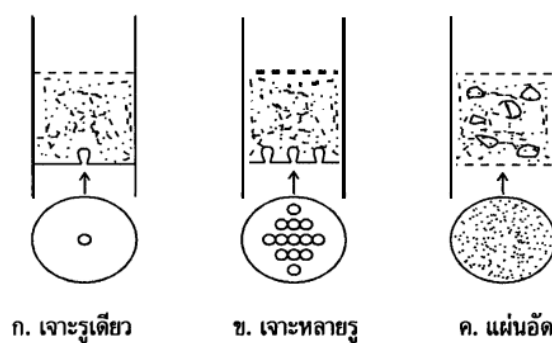
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม, 2544

1.4.1 ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ทดลอง

ข้าวพันธุ์ กข 47 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง อายุ 104-107 วัน (หว่านน้ำตม) และ 112 วัน (ปักดำ) มีลักษณะกอตั้ง ความสูง 90-100 เซนติเมตร ลำต้นแข็งแรงมาก ใบสีเขียว มุมใบตรงกว้าง ปานกลาง รวงยาว 30 เซนติเมตร ค่อนข้างแน่นคอรวงโผล่เล็กน้อย ข้าวเปลือกมีสีฟาง ยาว 10.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.54 มิลลิเมตร หยา 2.08 มิลลิเมตร ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 793 กิโลกรัมต่อไร่

1.5 แผ่นกระจายอากาศ

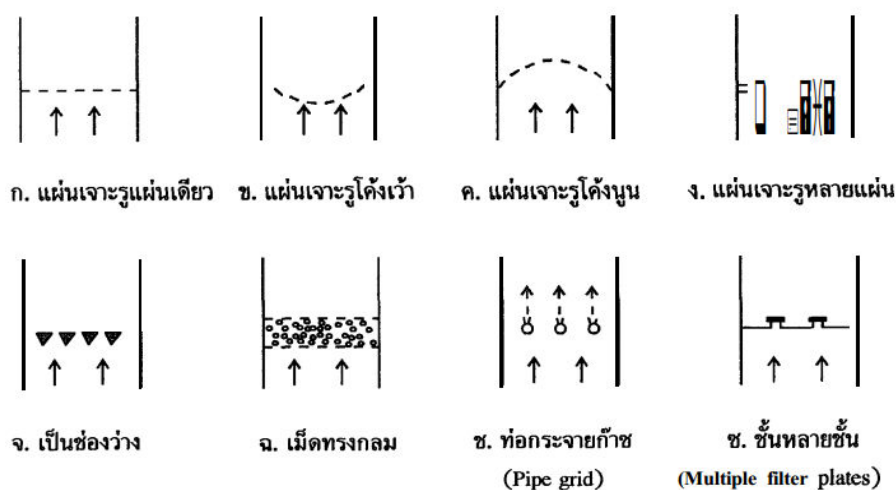
ในปรากฏการณ์การเกิดฟลูอิดเซชันนั้น ความเร็วของก๊าซที่ไหลในชั้นข้าวเปลือกจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแผ่นกระจายอากาศ (Distributor) ที่รองรับความหนาของชั้นข้าวเปลือกว่าเป็นชนิดใด เช่น แผ่นกระจายอากาศทำด้วยแผ่นโลหะเจาะรู ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นกระจายอากาศที่เป็นรูพรุน ซึ่งเกิดจากการใช้เมล็ดโลหะขนาดเล็กมาอัดด้วยความดันสูงๆ จนติดกันเป็นแผ่น จะทำให้การกระจายของอากาศสม่ำเสมอ โดยรูปแบบการเกิดจำนวนฟองก๊าซนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนรูบนแผ่นกระจาย ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงรูปแบบการเกิดฟลูอิดไอเซนซ์ที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศชนิดต่างๆ

ที่มา: มุस्ताฟา ยะภา , 2537

มุस्ताฟา (2537) ได้พัฒนาตัวกระจายอากาศแบบเจาะรูโดยเพิ่มเมล็ดทรงกลมขนาดโตกว่ารูที่เจาะเล็กน้อย วางอยู่ระหว่างแผ่นเจาะรูทั้งสองแผ่น ดังแสดงในภาพประกอบ 5 ฉ. เมล็ดทรงกลมนี้ทำด้วยโลหะหนัก พบว่าทำให้เกิดการกระจายของก๊าซสม่ำเสมอทั่วทั้งความหนาของชั้นข้าวเปลือก โดยมีความดันตกที่ตัวกระจายของอากาศจะน้อยกว่าการใช้แผ่นอัด (Sintered plate) ซึ่งพอจะสรุปรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศแบบต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แบบของแผ่นกระจายอากาศลักษณะต่างๆ

ที่มา: มุस्ताฟา ยะภา , 2537

1.6 สมการสำหรับการออกแบบ

1.6.1 พื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดาเซชัน จะยึดโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่ อรอนงค์ ศรีพวาทกุล ได้พัฒนา การหาเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง (Residence time) เพื่อทำการอบแห้ง ดังนั้น

$$\text{Hold up} = \text{Feed rate} \times \text{Drying time}$$

$$\text{Hold up} = AL\rho_p \quad (6)$$

เมื่อ $A = w \times l$

A = พื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ; m^2

L = ความหนาของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง; m

ρ_p = ความหนาแน่นของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง; kg/m^3

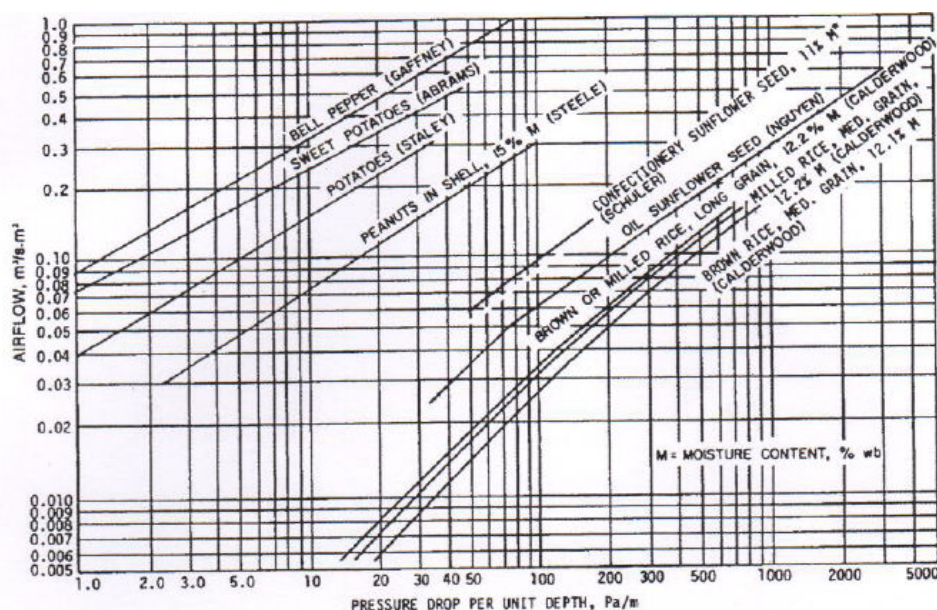
w = ความกว้างของแผ่นกระจายอากาศ; m

l = ความยาวของแผ่นกระจายอากาศ; m

1.6.2 ความต้านทานการไหลของอากาศ (Resistance to Air Flow)

พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศให้ไหลผ่านเบดของเมล็ดข้าวเปลือกจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของอากาศ ความสูงของเบด และคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ด เช่น พื้นผิว รูปทรง ขนาดของเมล็ดที่กระจาย ความชื้น ปริมาตร และลักษณะของการปนเปื้อน หิน ฟาง วัชพืช ฯลฯ

ความสัมพันธ์ระหว่างอากาศที่ไหลผ่านและความดันลดที่ผ่านเบดสำหรับเมล็ดชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 6 โดยข้อมูลทั่วไปได้จากเมล็ดที่สะอาดและแห้ง



ภาพประกอบ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอากาศและความดันลดยที่ผ่านเบตสำหรับเมล็ดชนิดต่างๆ

ที่มา: ASAE (2006)

1.6.3 ความดันลดยสถิต (Static pressure drop)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช จำเป็นต้องทราบค่าของความดันลดยเนื่องจากการไหลผ่านเบตเมล็ดพืชของอากาศที่แน่นอน เพื่อนำไปใช้เลือกขนาดพัดลมที่เหมาะสม มีนักวิจัยหลายคนพบว่าอัตราการไหลของอากาศ ลักษณะพื้นผิวและรูปทรงของเมล็ด ขนาดและรูปแบบของช่องว่าง ความชื้น ความไม่สม่ำเสมอของขนาดเมล็ด ความสูงของเบต รูปแบบของการบรรจุและจำนวนของวัสดุอื่นๆ มีผลกระทบต่อความดันลดยของการไหลผ่านเมล็ดพืชของอากาศ

Brooker et al. (1974) ได้รายงานว่าการต้านทานของความดันเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ของความละเอียดของเมล็ดเพิ่มขึ้น Haque et al. (1982) ศึกษาผลกระทบของความชื้นของเมล็ดพืชที่มีต่อการต้านทานการไหลของอากาศ พบว่าค่าความดันสถิตที่ผ่านเมล็ดได้รับอิทธิพลจากอัตราการไหลของอากาศและความชื้น Hukill and Shedd (1955) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายความดันลดยในช่วงของอัตราการไหลของอากาศ $0.01 - 0.20 \text{ m}^3/\text{s m}^2$ และหาค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องในสมการสำหรับเมล็ดพืชต่างๆ ไป

Heque et al. (1978) และ Chung et al. (1985) ได้เสนอสมการความดันลดเป็นโพลิโนเมียลอันดับสองของอัตราการไหลของอากาศ ความชื้นของเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ความละเอียดของเมล็ด (ขนาดเมล็ด) Siebenmorgen และ Lindal (1987) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายความดันลดเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบดของข้าวเปลือกและระบุความเร็วของอากาศเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความดันลด

ASAE พัฒนาสมการเพื่อหาค่าความดันลดสถิตของอากาศที่ไหลผ่านเบดของข้าวเปลือก ดังสมการที่ 7 ค่าคงที่ในสมการสำหรับข้าวเปลือกและข้าวโพดดังแสดงในตาราง 1

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\ln(1 + bQ)} \quad (7)$$

เมื่อ ΔP = ความดันลดสถิต (Pa)

L = ความสูงของเบด (m)

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

a, b = ค่าคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงค่าคงที่ในสมการความต้านทานการไหลของสมการที่ 7

Grain	Variety	Value of a ($Pa \cdot s^2 / m^3$)	Value of b ($m^2 \cdot s / m^3$)	Value of Q ($m^3 / m^2 \cdot s$)
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: Chong-Ho Lee and Do Sup Chung. (1995).

1.6.4 ความดันลดในชั้นข้าวเปลือก

ในขณะที่เมล็ดข้าวเปลือกเริ่มลอยตัวเป็นอิสระนั้น เมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่ในสภาวะสมดุลของแรง 2 แรง คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัวเมล็ดข้าวเปลือกกับแรงพยุงจากข้าวเปลือกหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล ซึ่งพอจะเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\Delta P = L(1 - \varepsilon)(\rho_p - \rho_a)g \quad (8)$$

เมื่อ ΔP = ความดันตกที่เกิดขึ้นที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก; Pa

L = ความหนาของข้าวเปลือกขณะเคลื่อนที่; m

ε = ความพรุนของข้าวเปลือกขณะเคลื่อนที่

ρ_p = ความหนาแน่นของข้าวเปลือก; kg/m^3

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ; kg/m^3

g = ความเร่งโน้มถ่วงของโลก; 9.81 m/s^2

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดปริมาณลดความชื้นของข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง ได้มีการศึกษาและทดสอบในรูปแบบการทดลองต่างๆ คือการศึกษาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ผลงานวิจัยและพัฒนาการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบการเคลื่อนที่ในแนวราบโดยใช้ลมร้อนในการอบแห้ง ที่ผ่านมามีนักวิจัยได้ทำการออกแบบทดลองและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆ ของวิธีการลดปริมาณความชื้นแบบข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบหรือเรียกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดาเบด ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรม พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบกับวิธีการลดความชื้นแบบอื่น เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งผลการวิจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

สมเกียรติ ปรัชญารากร (2534) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงและอุณหภูมิสูงโดยเทคนิคฟลูอิดาเบด โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงาน จากนั้นจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาสภาพที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 140 cm และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากการทดลองพบว่าเห็นได้ว่าในระยะที่ชั้นข้าวเปลือกอยู่นิ่งเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศมีผลทำให้ความดันลดในชั้นข้าวเปลือกสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศจนถึงค่า ๆ หนึ่ง พบว่าเมล็ดข้าวเปลือกเริ่มขยับตัวและแยกออกจากกัน ที่จุดนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดาเบด และยังพบอีกว่าหลังจากเกิดฟลูอิดาเบดแล้ว เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ความดันลดของชั้นข้าวเปลือกยังคงที่ เนื่องจากความพรุนในชั้นข้าวเปลือกมีมากขึ้นมีผลทำให้การไหลของอากาศที่ผ่านชั้นข้าวเปลือกไหลได้สะดวกจึงทำให้ความดันลดในชั้นข้าวเปลือกคงที่ และที่ความหนาของชั้น

ข้าวเปลือกเริ่มต้น 15 cm ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไดเซชันประมาณ 1.38 m/s ความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 860 Pa และความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้ข้าวเปลือกลอยออกจากห้องอบแห้ง ประมาณ 4.9 m/s

อรอนงค์ ศรีพาทกุล (2536) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นที่สูงของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันอย่างต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ควบคุมไปกับการทดลองซึ่งพิจารณาที่อัตราการผลิตสูง ความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 13 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.7 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 722 Pa และความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ 216.6 Pa และความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้ข้าวเปลือกลอยออกจากห้องอบแห้ง ประมาณ 5.54 m/s

มูस्ताฟา ยะกา (2537) ได้ศึกษาการออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 1 ton/hr โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด 30x170 cm และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.53 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 582.3 Pa และความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ 174.69 Pa และความเร็วของอากาศร้อนที่เหมาะสมในห้องอบแห้ง ประมาณ 1.9 m/s

มนตรี หวังจิ (2539) ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับอุตสาหกรรมที่มีกำลังผลิตเป็น 5-10 ton/hr โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 x 2.5 m และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.53 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 582.3 Pa และความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ 174.69 Pa และความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ยในห้องอบแห้ง ประมาณ 2.2 m/s

วาทัญญ รอดประพัฒน์ (2540) ได้ศึกษาออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดเคลื่อนย้ายได้ขนาดกำลังผลิต 2.5-5.0 ton/hr โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.6 x 2.1 m และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.53 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 587.38 Pa ความดันลดของแผ่น

กระจายอากาศ 176.21 Pa และความเร็วของกระแสอากาศร้อนเฉลี่ยในห้องอบแห้ง ประมาณ 2.3 m/s และยังพบอีกว่าสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการป้อนข้าวเปลือก 3.8 ton/hr จะได้ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้ง 2.8 m/s ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 13.5 cm

วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์ (2541) ได้ศึกษาพัฒนาการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน ขนาดกำลังผลิต 2.5-5 ton/hr โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.6 x 2.1 m และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.53 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 506.36 Pa และความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ 253.18 Pa และความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ยในห้องอบแห้ง ประมาณ 1.8 m/s

สุวัฒน์ ตรุทัศน์วินท์ (2542) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นสะเทือน สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันที่มีขนาดกำลังผลิต 5 ton/hr โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.6 x 2.1 m และแผ่นกระจายอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2 mm จากผลการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 cm ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน 1.53 m/s ค่าความดันลดในชั้นข้าวเปลือก 587.38 Pa ความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ 176.21 Pa ความเร็วของกระแสอากาศร้อนเฉลี่ยในห้องอบแห้ง ประมาณ 2.3 m/s และยังพบอีกว่าที่ความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 1.5 m/s ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 9.9 cm ความถี่การสั่นสะเทือน 5 rpm และความเข้มของการสั่นสะเทือน 2.5 มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันประมาณ 7%

มูस्ताฟา ยะภา และณัฐวุฒิ ดุษฎี (2551) ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบโดยอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เคลื่อนที่ในแนวราบและมีลมร้อยไหลตัดขวาง โดยมีกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องขนาด 1 ton/hr ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23.75 %wb โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80, 90, 100 °C ความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ย 5 m/s จะทำให้ข้าวเปลือกความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.5 %wb ซึ่งสามารถจัดการสภาพของการเคลื่อนที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงในห้องอบแห้งให้มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

ณัฐพล มณีโชติและคณะ (2556) ได้ศึกษาอิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อความดันและความเร็วของกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลโดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด 2 mm ใช้พัดลมดูดอากาศที่มีกำลังขับ 2 hp เพื่อดูดอากาศผ่าน

ชั้นข้าวเปลือกที่มีความหนาตั้งแต่ 1-10 เซนติเมตร จากการทดสอบพบว่าเมื่อความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นทำให้ผลต่างของความดันระหว่างภายในห้องอบแห้งและห้องผสมอากาศจะมีค่าสูงขึ้น โดยที่ความดันภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นข้าวเปลือก แต่ความดันภายในห้องผสมอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความเร็วภายในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นข้าวเปลือก แต่ความเร็วภายในห้องผสมอากาศจะมีค่าลดต่ำลง

พิรสิทธิ์ ทวยนาคและคณะ (2556) ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพล) โดยทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 21-23 %wb. โดยใช้อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.04, 0.05, 0.06 และ 0.07 m^3/s และระดับอุณหภูมิของอากาศตั้งแต่ 80, 90 และ 100 °C จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05 m^3/s สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงกว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.04, 0.06 และ 0.07 m^3/s และที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 100 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 90 และ 80 °C

พงศกร สุวโทและคณะ (2557) ได้ศึกษาอิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล โดยทดสอบในห้องอบที่มีขนาด กว้าง 20 cm x ยาว 95 cm x สูง 30 cm ความถี่ในการยกห้องอบแห้ง 140 rpm ระยะยกของห้องอบแห้งในช่วง 4 – 6 cm และความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 5 ระดับคือ 1 2 3 4 และ 5 cm โดยใช้อัตราการไหลของลมตั้งแต่ 0 – 0.3 m^3/s จากการทดลองพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่างๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นค่าความพรุนในห้องอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และความหนาแน่นปรากฏในห้องอบแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

พิรสิทธิ์ ทวยนาคและคณะ (2557) ได้ศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพลโดยใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 22 %wb ใช้อุณหภูมิของอากาศร้อน 150 °C ในการอบแห้ง โดยมีการจัดวางตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิทั้งหมด 15 ตำแหน่ง แบ่งการวัดออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นส่วนของห้องผสมอากาศ ตำแหน่งที่ 3 - 6 เป็นส่วนของห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ตำแหน่งที่ 7 - 10 เป็นส่วนของห้องอบแห้ง และตำแหน่งที่ 11 - 15 เป็นส่วนของห้องทางออกของอากาศร้อน จากผลการทดลองพบว่าการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพล ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งระหว่างกรณีไม่มีข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งและมีข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งเมื่อทั้ง 2 กรณีอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ อยู่ในสภาวะคงที่ที่จะสังเกตได้ว่าที่ตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิ 1 - 6 จะมี

ระดับอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ส่วนตำแหน่งที่ 7 - 15 ระดับอุณหภูมิจะมีค่าต่างกัน โดยหลังจากที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนให้กับเมล็ดข้าวเปลือกทำให้ตำแหน่งที่ 7 - 15 จะมีอุณหภูมิต่างกันอยู่ที่ประมาณ 70 - 80 °C จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในชั้นข้าวเปลือกและการลดลงของความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 22 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 16 %wb



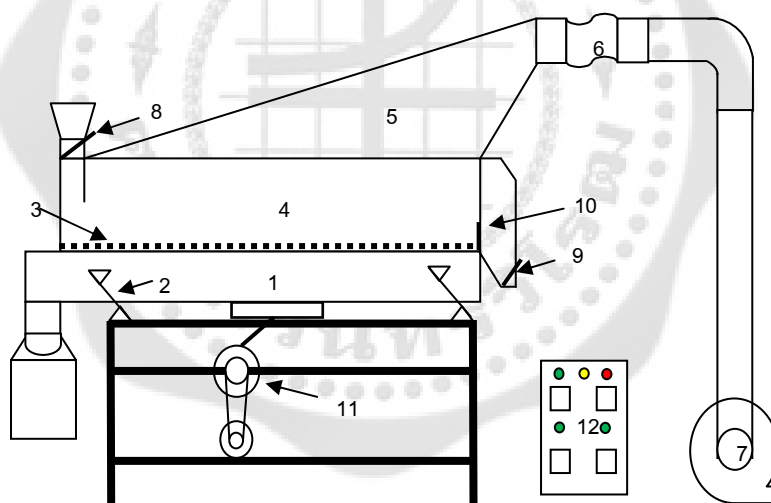
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสโฟลที่มีพื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้ง ขนาด $20 \times 100 \text{ cm}^2$ ทำการทดสอบเพื่อหาการกระจายความดันตลอดช่วงความยาวของห้องอบแห้งที่ไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศที่มีลักษณะต่าง ๆ และที่ชั้นความหนาของข้าวเปลือกในระดับต่าง ๆ กัน โดยมีเครื่องมือและวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและหลักทำงานของเครื่องอบแห้ง

1.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสโฟล



ภาพประกอบ 7 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสโฟล (MUST FLOW DRYER)

- | | | |
|------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 1. Hot Air Distributer | 2. Spring Support | 3. Distributer Plate |
| 4. Drying Chamber | 5. Cover Chamber | 6. Flexible Tube |
| 7. Blower Suction | 8. Paddy Feed Port | 9. Paddy Discharge Port |
| 10. Weir | 11. Crankshaft | 12. Electrical Control Switch |

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล เริ่มต้นจากการใช้พัดลมดูดลมร้อนจากห้องกำเนิดความร้อนที่อยู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งมีห้องผสมอากาศสำหรับใช้ผสมอากาศร้อนกับอากาศภายนอกเข้าด้วยกัน และลมร้อนจะถูกดูดให้ไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกที่ตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือก ในแนวดิ่งที่อยู่แผ่นกระจายอากาศซึ่งวางเป็นแนวระนาบภายในห้องอบแห้ง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารขึ้นภายในห้องอบแห้ง จากนั้นพัดลมก็จะดูดอากาศร้อนและความชื้นออกไปจากห้องอบแห้งทางด้านบน ในขณะที่ข้าวเปลือกตกลงมาจากถังเก็บข้าวเปลือกโดยอิสระด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีลมร้อนไหลผ่านในแนวดิ่งนั้น จะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในแนวราบไปตามแผ่นกระจายอากาศด้วย แรงลมที่พัดผ่านในแนวดิ่งรวมผนวกกับการโยกอย่างเป็นจังหวะของห้องอบแห้ง จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำกว่าเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูงกว่า จึงสามารถกระโดดข้ามแผ่นกันได้ในระยะเวลาที่รวดเร็วและตกลงไปในช่องทางออกที่อยู่อีกด้านของห้องอบแห้งในที่สุด

ในการทดลองหาค่าความดันตกคร่อม เป็นการวัดความดันจากห้องผสมอากาศกับห้องอบแห้ง หรือจากด้านบนแผ่นกระจายอากาศกับด้านล่างแผ่นกระจายอากาศ และใช้เครื่องมือวัดแบบ U-Tube มานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอ่านค่า โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ ความดันตกคร่อมขณะเบตข้าวเปลือกอยู่นิ่งและเบตข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่

1.2 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด

1.2.1 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น Model Test 400 ($\pm 0.01-0.04$) สามารถวัดความเร็วลม , ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิกระเปาะเปียก และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



ภาพประกอบ 8 ชุดเครื่องวัดความเร็วลม

1.2.2 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

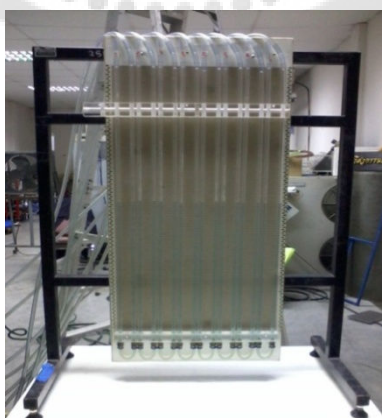
เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก ยี่ห้อ Grain Moisture Meter รุ่น GMK-303 สามารถวัดความชื้นได้ถึง 30 %wb สามารถวัดความชื้นข้าวได้หลายชนิด เช่น ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเปลือก ข้าวบาร์เลย์ ข้าวบาร์เลย์ชนิดเปลือกอ่อน และข้าวสาลี เป็นต้น



ภาพประกอบ 9 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

1.2.3 U-tube มานอมิเตอร์

วัดค่าความแตกต่างของความดันระหว่างห้องอบแห้งกับห้องกระจายอากาศเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความดันตกคร่อม



ภาพประกอบ 10 U-tube มานอมิเตอร์

1.2.4 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล

ในระหว่างการทดลอง ต้องมีการควบคุมความเร็วรอบของระยะยก และอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งให้เหมาะสมกับการทดลองในแต่ละสภาวะ ดังนั้นจึงต้องมีชุดควบคุมความเร็วรอบของระยะยกและอัตราการไหลของอากาศ และเพื่อให้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลทำงานได้อย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 11 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟล

1.2.5 โบลเวอร์

โบลเวอร์ขนาด 2300 CFM ใช้มอเตอร์ 2 HP ยี่ห้อ HASCON MODEL Y2 90S-2 เป็นอุปกรณ์ดูดอากาศออกจากห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 12 โบลเวอร์

1.2.6 เครื่องชั่งดิจิตอล

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล YAOHUA รุ่น T7E (ความละเอียด ± 0.01) ใช้สำหรับชั่งข้าวเปลือกที่จะทำการทดลอง



ภาพประกอบ 13 เครื่องชั่งดิจิตอล

1.2.7 แผ่นกระจายอากาศ

แผ่นกระจายอากาศที่ใช้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm (24 %), 1.5 mm (34 %) 2.0 mm (30 %) และตาข่ายสแตนเลส ทำหน้าที่รองรับข้าวเปลือกที่ปล่อยมาจากถังเก็บข้าวเปลือก และกระจายอากาศให้สม่ำเสมอทั้งห้องอบแห้ง



ภาพประกอบ 14 แสดงแผ่นกระจายอากาศรูปแบบต่าง ๆ

1.3 การติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์

U-Tube มานอมิเตอร์จะติดตั้งระหว่างห้องอบแห้งกับห้องกระจายอากาศทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยจะติดตั้งในห้องอบแห้ง 4 ตำแหน่ง และห้องกระจายอากาศ 4 ตำแหน่ง เพื่อวัดความดันตกคร่อม ดังแสดงในภาพประกอบ 15 และภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 15 แสดงการติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์ (cm)



ภาพประกอบ 16 แสดงการติดตั้ง U-Tube มานอมิเตอร์กับห้องอบแห้งและห้องกระจายอากาศ

1.4 วิธีดำเนินการทดลอง

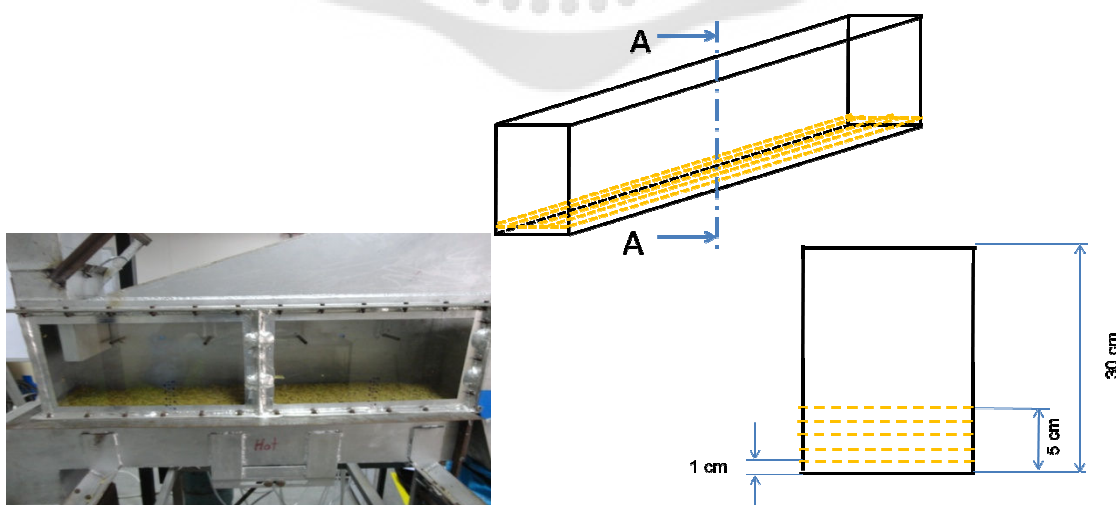
เตรียมเครื่องมือวัดและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง
2. เครื่องมือวัดความดัน ใช้ U-Tube มานอมิเตอร์
3. เครื่องมือวัดความเร็วลม
4. ไม้มัด และ นาฬิกาจับเวลา
5. ต่อ U-Tube มานอมิเตอร์ ที่ตำแหน่ง 1–8 ดังภาพประกอบ 16

การทดลองที่ 1 วิธีการทดสอบการกระจายความดันของอากาศที่ไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกที่มีความหนาในระดับต่าง ๆ (กรณีเบดข้าวเปลือกอยู่หนึ่ง)

ในการทดลองหาค่าความดันตกคร่อมในห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลท์โฟล ทดลองโดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm, 1.5mm, 2.0 mm และแผ่นตาข่าย สแตนเลส ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ และอัตราการไหลของอากาศ 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m³/s ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมความพร้อมของเครื่องมัลท์โฟล โดยการตรวจอุปกรณ์และระบบ โดยเริ่มต้นทดลองจากแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm
2. นำข้าวเปลือกบรรจุในห้องอบแห้ง ให้ได้ระดับ 1 cm



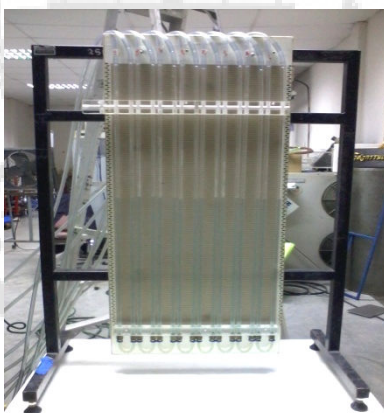
ภาพประกอบ 17 แสดงการบรรจุข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง

3. เปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$



ภาพประกอบ 18 แสดงการเปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$

4. อ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำจาก U-tube มานอมิเตอร์ แล้วบันทึกผล



ภาพประกอบ 19 แสดงการวัดค่าความดันตกคร่อมด้วย U-tube มานอมิเตอร์

5. เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศเป็น 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ แล้วบันทึกผล ตามลำดับ
6. เปลี่ยนความหนาของชั้นข้าวเปลือกเป็น 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 - 5

7. เปลี่ยนแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm, 2.0 mm และตาข่ายสแตนเลส ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 - 6

การทดลองที่ 2 วิธีการทดสอบการกระจายความดันของอากาศที่ไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกที่มีความหนาในระดับต่าง ๆ (กรณีเบดข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่)

ในการทดลองหาค่าความดันตกคร่อมในห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โพล กรณีเบดข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่ ทดลองที่ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm, 1.5 mm, 2.0 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ที่ความเร็วรอบของระยะยก 140, 150 และ 160 rpm ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ และอัตราการไหลของอากาศ 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m³/s ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมความพร้อมของเครื่องมัสท์โพล โดยการตรวจสอบอุปกรณ์และระบบ โดยเริ่มต้นทดลองจากแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm และระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm
2. นำข้าวเปลือกบรรจุในถังบรรจุข้าวเปลือกให้เต็ม



ภาพประกอบ 20 แสดงการบรรจุข้าวเปลือกในถังบรรจุข้าวเปลือก

3. เปิดสวิตช์มอเตอร์ ที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 140 rpm (ความถี่ 35 Hz)



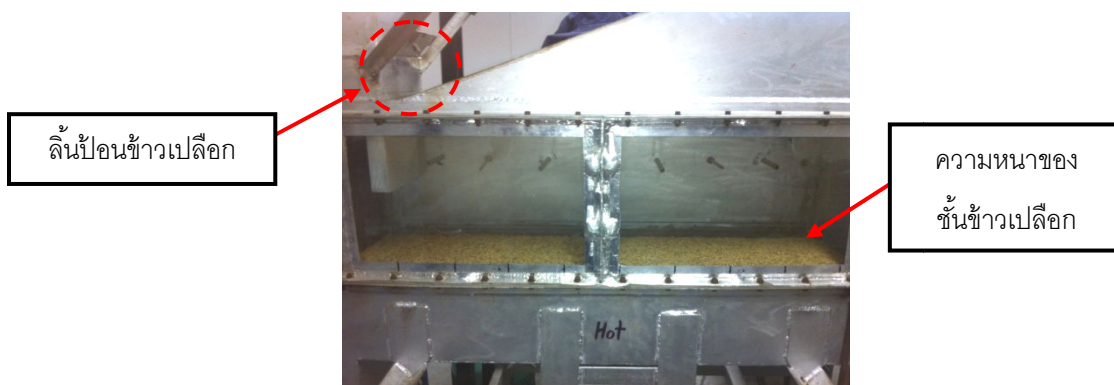
ภาพประกอบ 21 แสดงการเปิดสวิตช์มอเตอร์ควบคุมความเร็วในการยกชั้นข้าวเปลือก 140 rpm

4. เปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$



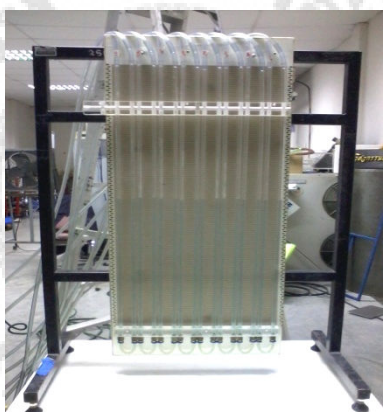
ภาพประกอบ 22 แสดงการเปิดสวิตช์โบลเวอร์และปรับอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$

5. เปิดลิ้นป้อนข้าวเปลือกที่ถังบรรจุข้าวเปลือก ให้ความหนาของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้งได้ 1 cm แล้วรอจนกว่าการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกมีสภาวะคงที่



ภาพประกอบ 23 แสดงการเปิดลิ้นป้อนข้าวเปลือกให้ได้ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm

6. อ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำจากமானอมิเตอร์ แล้วบันทึกผล



ภาพประกอบ 24 แสดงการวัดค่าความดันตกคร่อมด้วยமானอมิเตอร์

7. เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศเป็น 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m^3/s แล้วบันทึกผล ตามลำดับ

8. เปลี่ยนความหนาของชั้นข้าวเปลือกเป็น 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 - 7

9. เปลี่ยนแปลงความเร็วในการยกชั้นข้าวเปลือกเป็น 150 และ 160 rpm ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 - 8

10. เปลี่ยนแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm, 2.0 mm และตาข่ายสแตนเลส ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 - 9

1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม
2. บันทึกค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกก่อนการอบแห้ง
3. บันทึกค่าความดันจาก U – tube มานอมิเตอร์ ณ จุดต่างๆ
4. บันทึกค่าความเร็วของอากาศ

1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

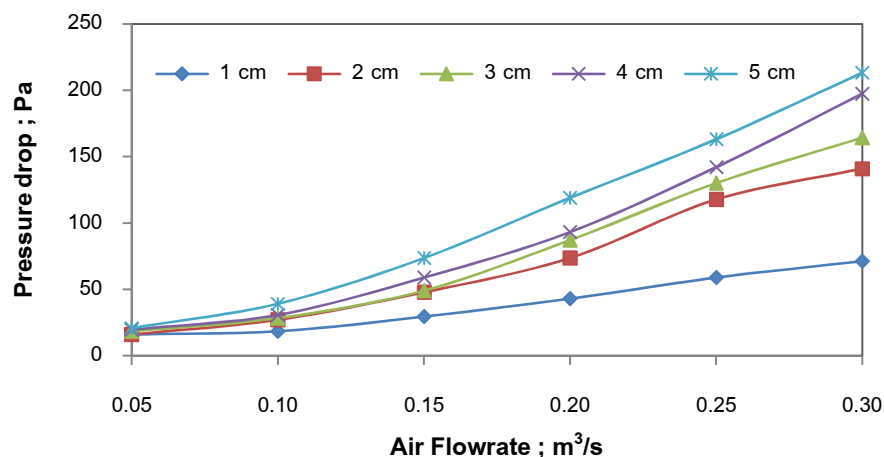
1. เปรียบเทียบรูปแบบการกระจายความดันของอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน สำหรับแผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดรูเปิดเดียวกัน เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม
2. เปรียบเทียบรูปแบบการกระจายความดันของอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน สำหรับความหนาของชั้นข้าวเปลือกเดียวกัน เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม

บทที่ 4

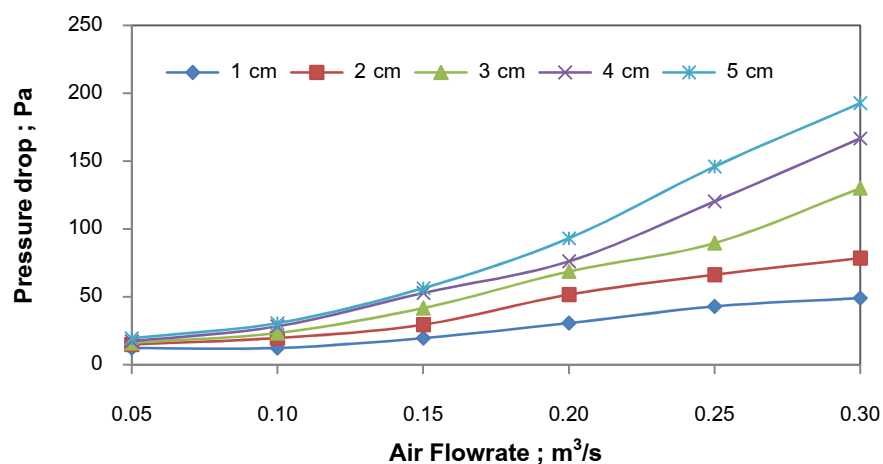
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความดันตกคร่อมด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยใช้ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด $20 \times 100 \text{ cm}^2$ ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่มีขนาดเมล็ดข้าวเปลือก ยาว 10.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.54 มิลลิเมตร หยา 2.08 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัน ความชื้นเริ่มต้น 22 %wb ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องที่ติดตั้งเครื่องอบแห้งมัสท์โฟลมีค่าประมาณ 52 % และอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 32°C ผลการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าความดันตกคร่อมห้องอบแห้งได้ดังกรณีต่าง ๆ ต่อไปนี้

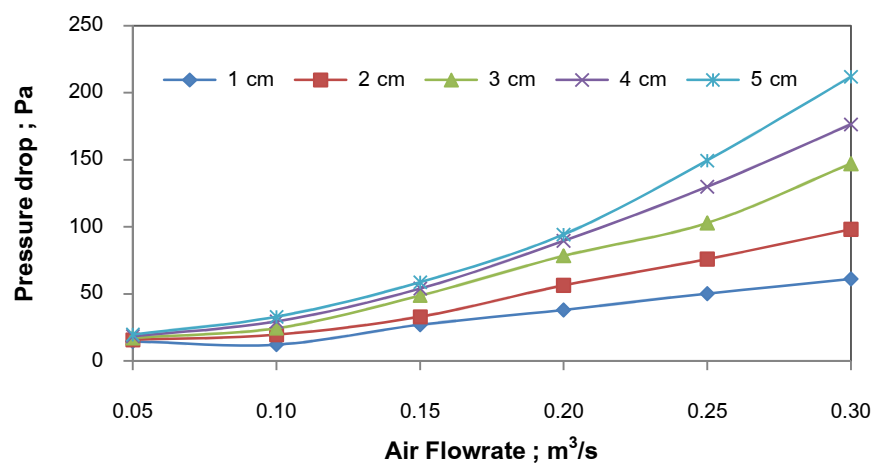
1. การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีเบดข้าวเปลือกอยู่หนึ่ง และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นข้าวเปลือก



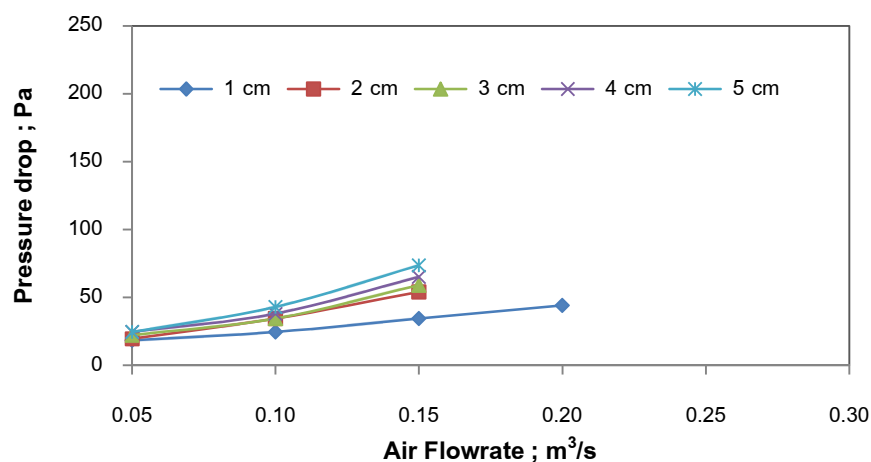
ภาพประกอบ 25 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm



ภาพประกอบ 26 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm



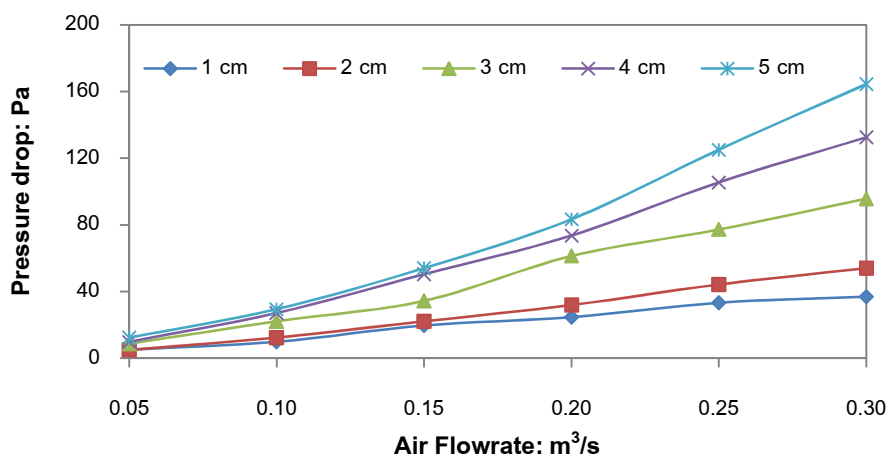
ภาพประกอบ 27 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm



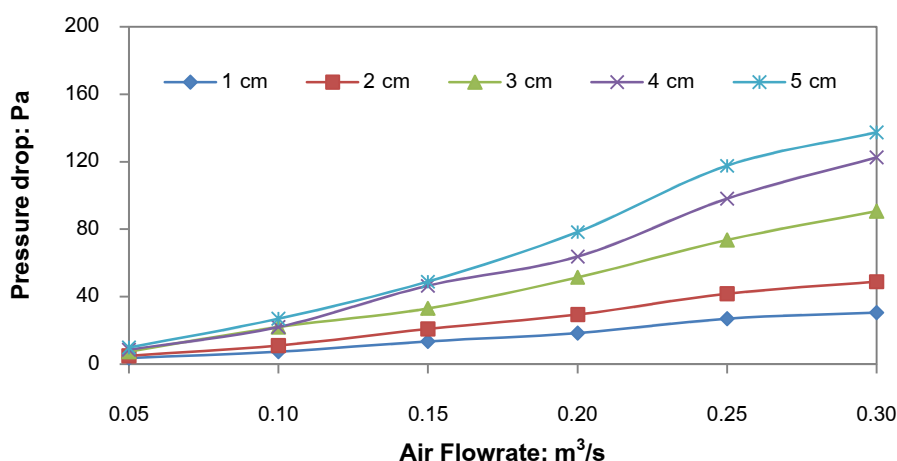
ภาพประกอบ 28 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส

จากภาพประกอบ 25 - 28 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลของอากาศ กรณีเบตข้าวเปลือกอยู่หนึ่ง ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูปเปิด 1.1, 1.5, 2.0 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ พบว่าความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น และที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ความดันตกคร่อมมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.05-0.15 m³/s ความดันตกคร่อมจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2-0.3 m³/s ความดันตกคร่อมที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ จะมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของชั้นข้าวเปลือก และยังพบว่าแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีรูเปิดแบบสี่เหลี่ยมจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในเบตข้าวเปลือกและมีการแยกตัวของอนุภาคของข้าวเปลือกเป็นชั้น ๆ ได้ง่ายกว่าแผ่นกระจายอากาศที่มีรูเปิดแบบวงกลม จึงทำให้พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ ข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจาย (เกิดฟลูอิดไดเซชัน) ในห้องอบแห้ง

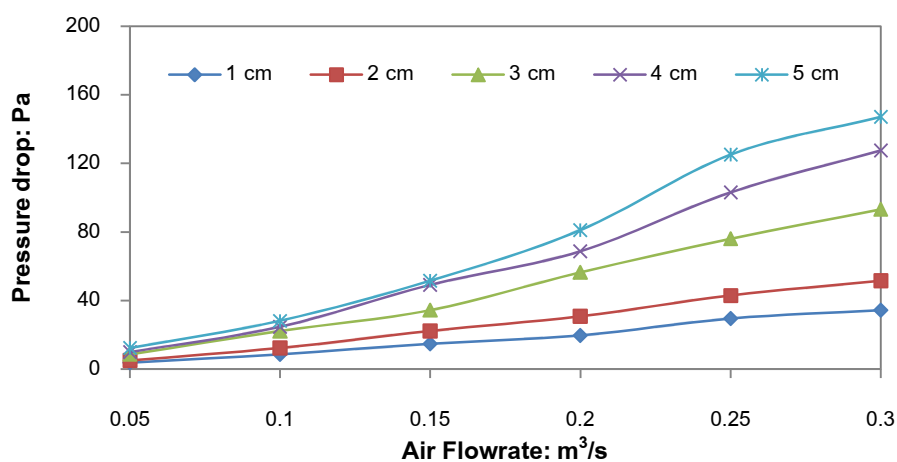
2. การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีเบตข้าวเปลือกเคลื่อนที่ และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นข้าวเปลือก



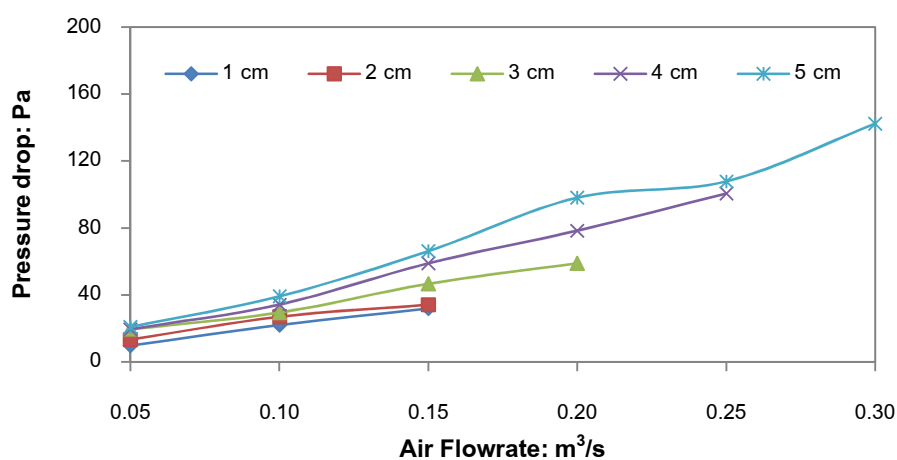
ภาพประกอบ 29 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm



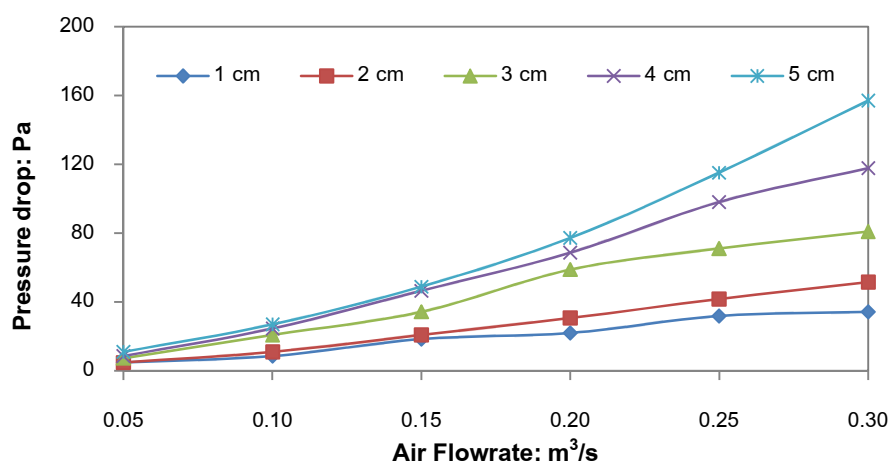
ภาพประกอบ 30 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm



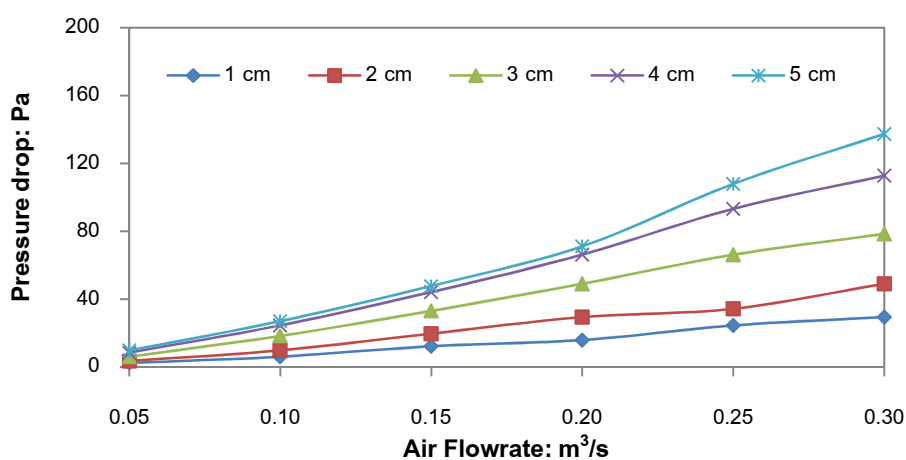
ภาพประกอบ 31 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm



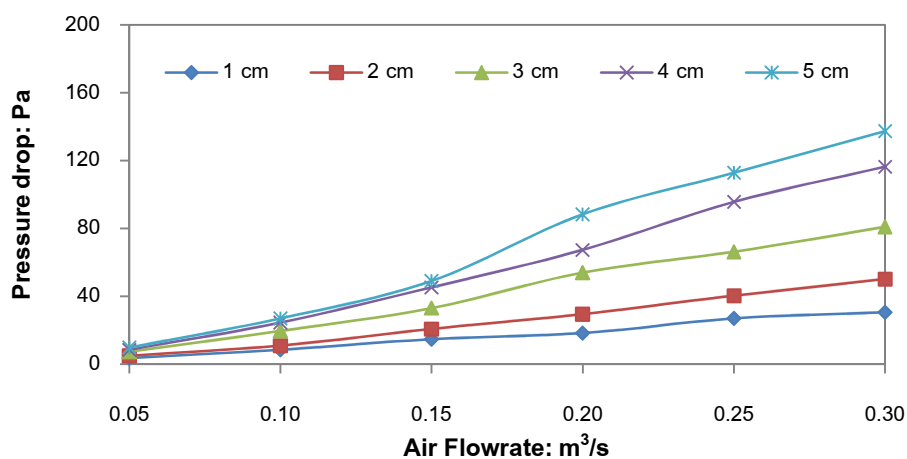
ภาพประกอบ 32 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 140 rpm



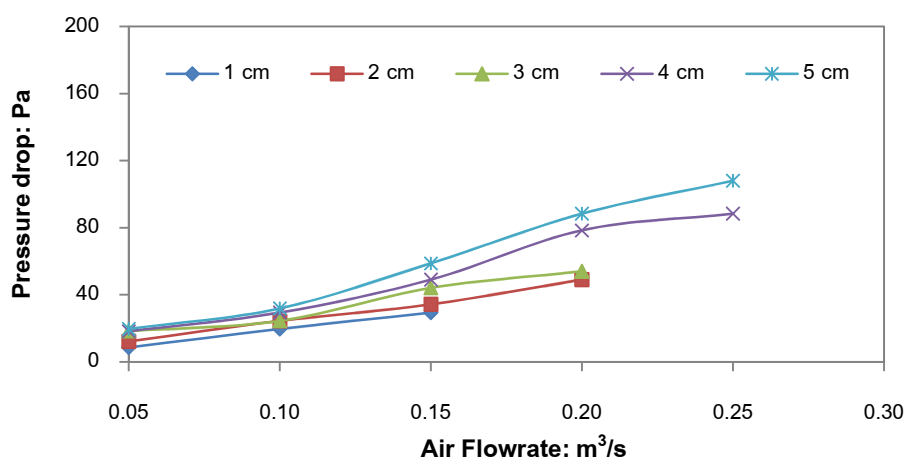
ภาพประกอบ 33 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm



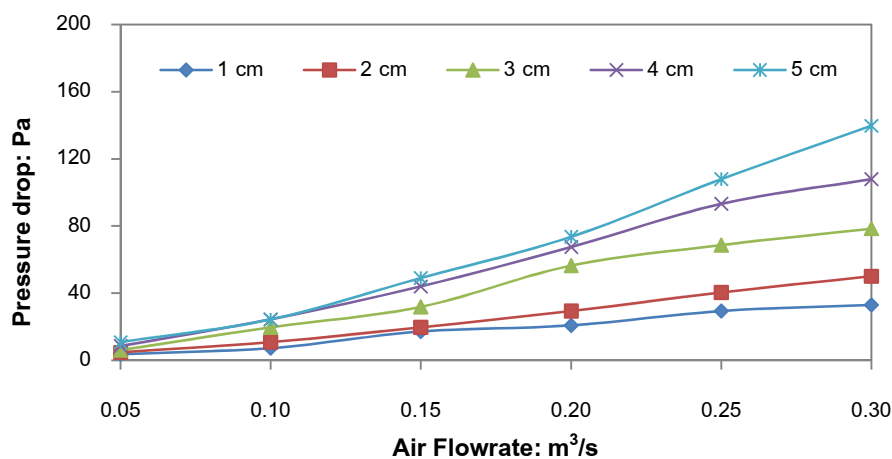
ภาพประกอบ 34 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm



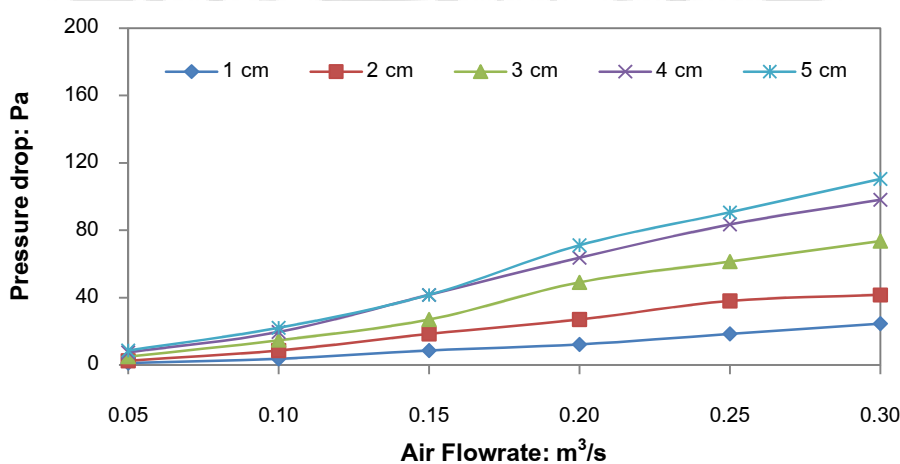
ภาพประกอบ 35 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm



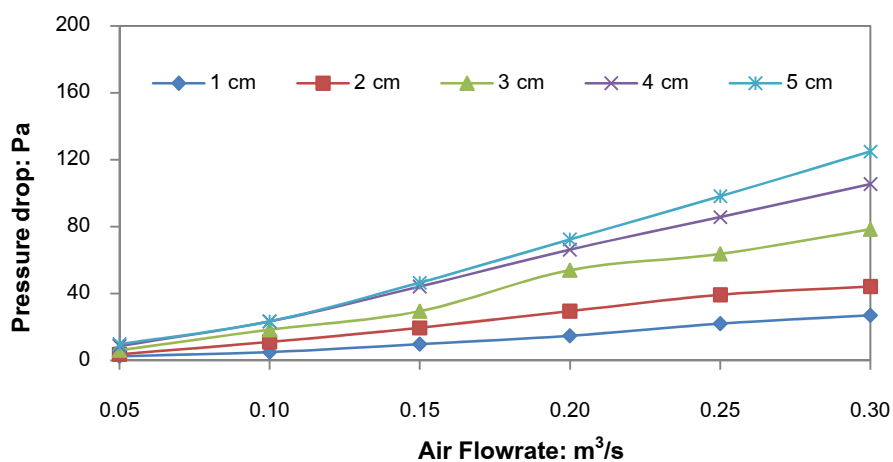
ภาพประกอบ 36 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 150 rpm



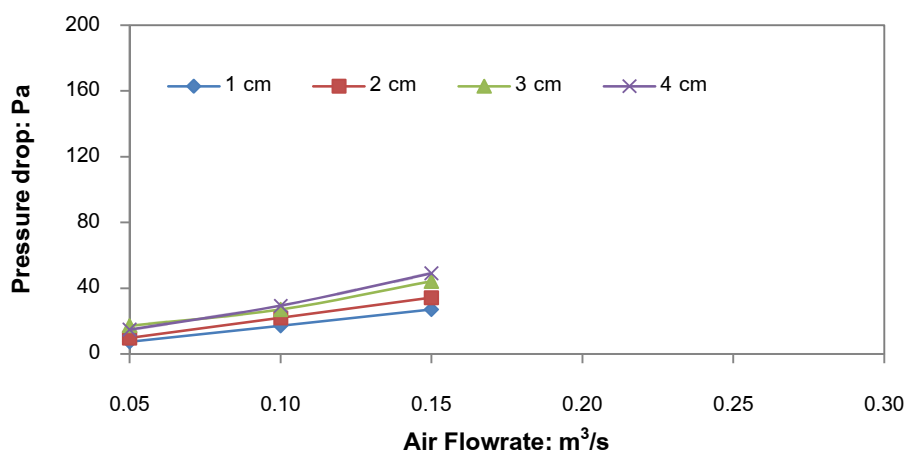
ภาพประกอบ 37 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm



ภาพประกอบ 38 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm



ภาพประกอบ 39 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นกระจายอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm

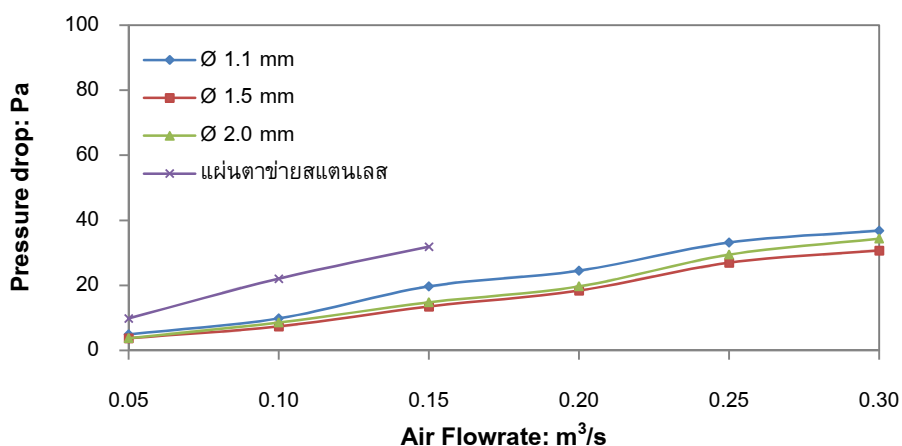


ภาพประกอบ 40 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ โดยใช้แผ่นตาข่ายสแตนเลส และมีความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกที่ 160 rpm

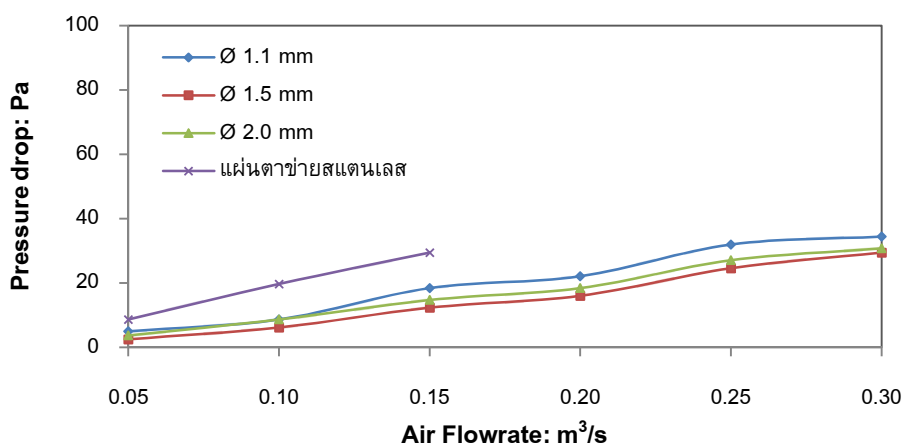
จากภาพประกอบ 28 - 40 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลของอากาศ กรณีเบดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1,

2, 3, 4 และ 5 cm ตามลำดับ แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1, 1.5, 2.0 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ และที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140, 150 และ 160 rpm ตามลำดับ พบว่าความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศและความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น และพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ $0.05-0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ ความดันตกคร่อมจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.2-0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ความดันตกคร่อมที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ จะมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของชั้นข้าวเปลือก นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ความดันตกคร่อมมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งค่าความดันตกคร่อมจะมีค่าอยู่ในช่วง $1.23 - 36.79 \text{ Pa}$ ($0.125 - 3.75 \text{ mm-water}$)

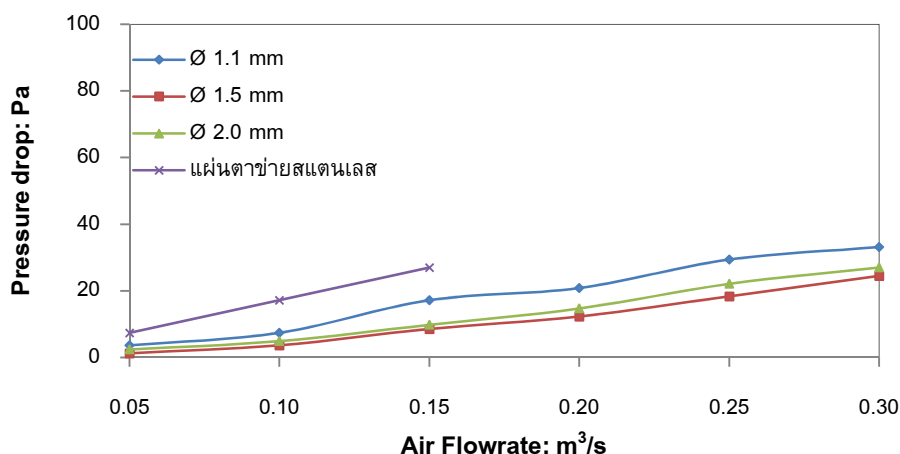
3. การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ



ภาพประกอบ 41 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.



ภาพประกอบ 42 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 150 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.

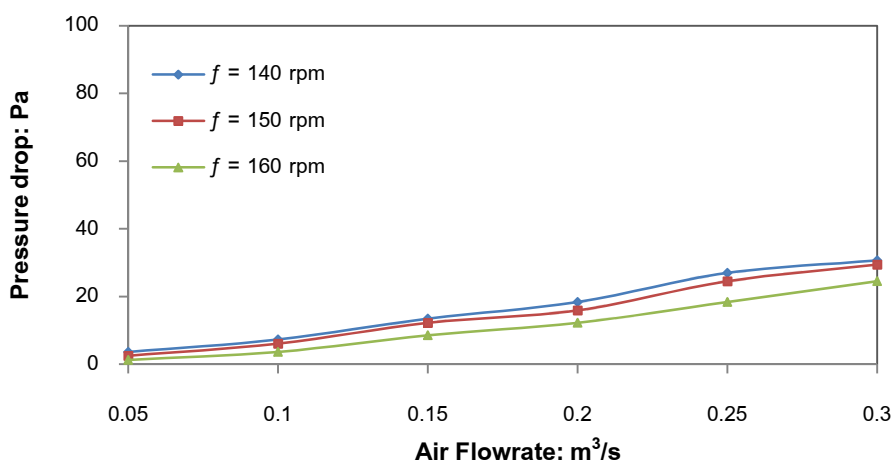


ภาพประกอบ 43 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยใช้ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm. และความหนาชั้นข้าวเปลือก 1 cm.

จากภาพประกอบ 41 - 43 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลของอากาศ ที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1, 1.5, 2.0 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140, 150 และ 160 rpm ที่ความ

หนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm พบว่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ และพบว่าสำหรับแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm ความดันตกคร่อมจะมีค่าต่ำกว่าแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0, 1.1 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ เนื่องจากมีพื้นที่รูเปิดให้อากาศสามารถไหลผ่านได้มากกว่าแผ่นกระจายอากาศอื่น ๆ และยังพบว่าแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีรูเปิดแบบสี่เหลี่ยมจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในเบดข้าวเปลือกและมีการแยกตัวของอนุภาคของข้าวเปลือกเป็นชั้น ๆ ได้ง่ายกว่าแผ่นกระจายอากาศที่มีรูเปิดแบบวงกลม จึงทำให้พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ ข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจายในห้องอบแห้ง ค่าความดันตกคร่อมต่ำสุด และจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.23 - 36.79 Pa (0.125 - 3.75 mm-water)

4. การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก

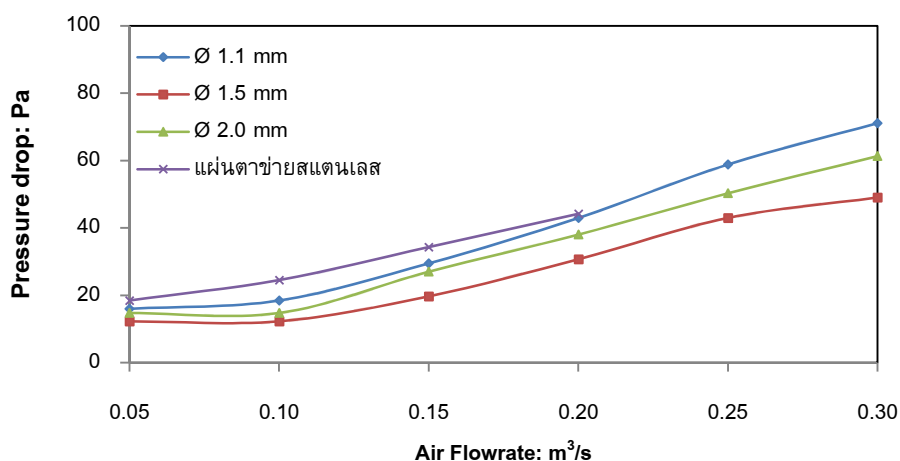


ภาพประกอบ 44 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกตั้งแต่ 140, 150 และ 160 rpm. โดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm. และชั้นความหนาของข้าวเปลือก 1 cm.

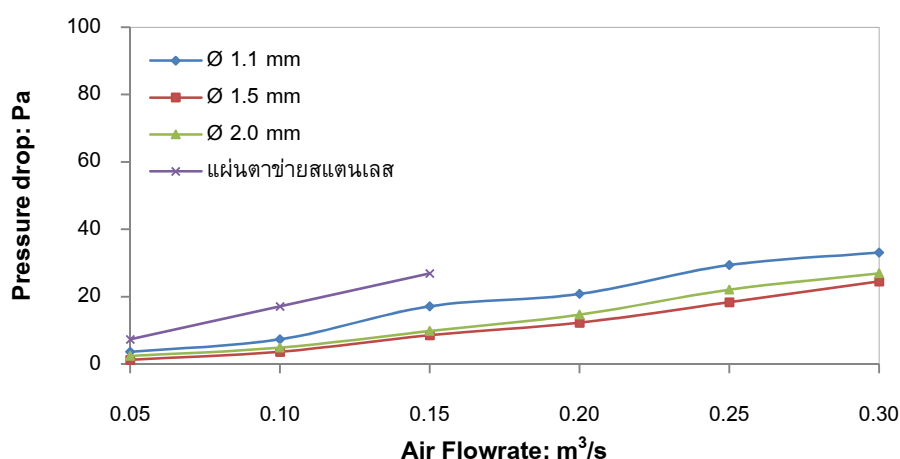
จากภาพประกอบ 44 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140, 150 และ 160 rpm ตามลำดับ แผ่น

กระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm พบว่าความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศที่ทุกความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก และพบว่าที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm ความดันตกคร่อมจะมีค่าต่ำกว่าที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 150 และ 140 rpm ตามลำดับ เนื่องจากที่ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกสูง จะทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกมีมาก จึงทำให้ความดันตกคร่อมมีค่าต่ำ โดยมีค่าความดันตกคร่อมอยู่ในช่วง 1.23 - 110.36 Pa (0.125 - 11.25 mm-water)

5. การเปลี่ยนแปลงค่าความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง กรณีมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ โดยชั้นความหนาของข้าวเปลือกอยู่หนึ่งและมีการเคลื่อนที่



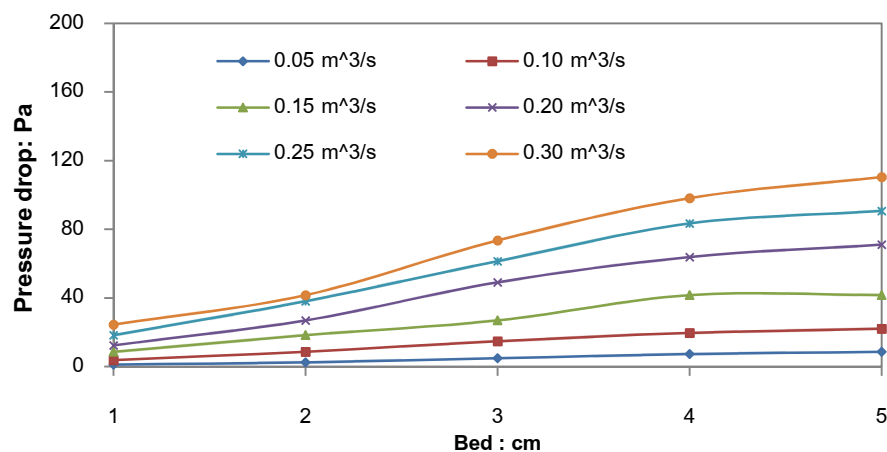
ภาพประกอบ 45 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ ในกรณีข้าวเปลือกอยู่หนึ่ง และมีความหนา 1 cm



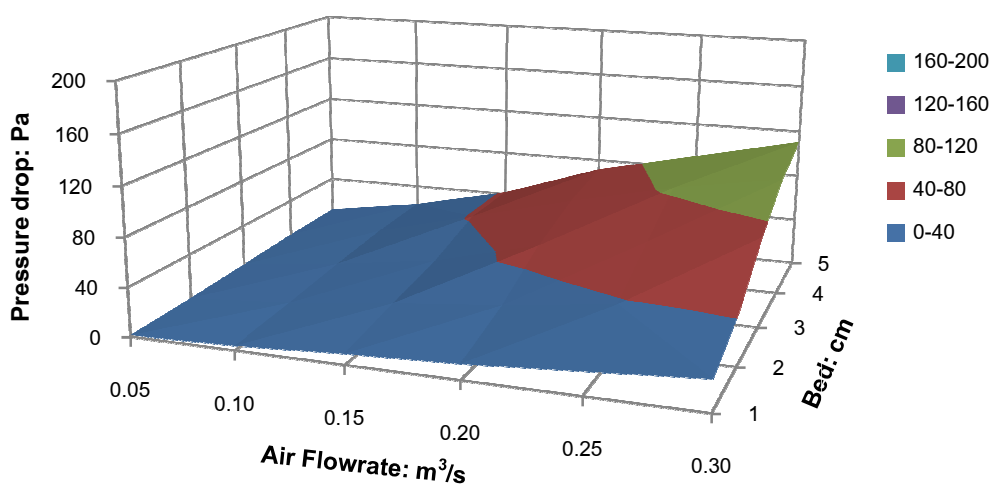
ภาพประกอบ 46 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผ่นกระจายอากาศ ในกรณีข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่และมีความหนา 1 cm

จากภาพประกอบ 45 - 46 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลของอากาศ ที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1, 1.5, 2.0 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 cm. ในกรณีข้าวเปลือกอยู่นิ่งและข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่ พบว่าเมื่อเบตข้าวเปลือกในห้องอบแห้งเกิดการเคลื่อนที่ความดันตกคร่อมจะมีค่าน้อยกว่าเบตข้าวเปลือกอยู่นิ่ง และความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ และที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm ความดันตกคร่อมจะมีค่าต่ำกว่าแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm, 1.1 mm และแผ่นตาข่ายสแตนเลส ตามลำดับ เนื่องจากมีพื้นที่รูเปิดให้อากาศสามารถไหลผ่านได้มากกว่าแผ่นกระจายอากาศอื่น ๆ และยังพบว่าแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีรูเปิดแบบสี่เหลี่ยมจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในเบตข้าวเปลือกและมีการแยกตัวของอนุภาคของข้าวเปลือกเป็นชั้น ๆ ได้ง่ายกว่าแผ่นกระจายอากาศที่มีรูเปิดแบบวงกลม จึงทำให้ที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ ข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจายในห้องอบแห้ง และยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความดันตกคร่อมขณะเบตเคลื่อนที่จะมีค่าต่ำกว่าค่าความดันตกคร่อมขณะเบตนิ่งในทุกกรณี

6 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ



(ก) รูปแบบ 2 มิติ



(ข) รูปแบบ 3 มิติ

ภาพประกอบ 47 กราฟการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้ง ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่แสดง 0.05, 0.10, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m³/s โดยใช้ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm และใช้แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm

จากภาพประกอบ 47 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับความหนาของชั้นข้าวเปลือก ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.05, 0.10, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m^3/s ตามลำดับ ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm และแผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.10-0.2 m^3/s เป็นอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม เนื่องจากความดันตกคร่อมมีค่าอยู่ในช่วง 3.678 - 12.26 Pa (0.375 - 1.25 mm-water) และจากการสังเกตในระหว่างการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.05 m^3/s ซึ่งมีแรงดูดน้อยเกินไป และที่อัตราการไหลของอากาศ 0.25-0.3 m^3/s ซึ่งมีแรงดูดที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าความดันตกคร่อมที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 1 และ 2 cm มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 3, 4 และ 5 cm ความดันตกคร่อมจะมีค่าสูงกว่าและแตกต่างกันมากในแต่ละอัตราการไหลของอากาศ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบความดันตกคร่อมในห้องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้ง มัสท์โฟลในครั้งนี้ ทำการทดลองที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.1, 1.5, 2.0 mm และตาข่ายสแตนเลส ระยะยกของห้องอบแห้ง 5.2 cm ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 140, 150 และ 160 rpm ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 1, 2, 3, 4 และ 5 cm และอัตราการไหลของอากาศ 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 m³/s ตามลำดับ อุณหภูมิแวดล้อม ประมาณ 32 °C และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 52 %

จากผลการทดลองพบว่าความดันตกคร่อมจะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงของชั้นข้าวเปลือก ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก ขนาดรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศ และอัตราการไหลของอากาศ โดยความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความสูงของชั้นข้าวเปลือกและอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น แต่ความดันตกคร่อมจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกและพื้นที่รูเปิดของห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งความดันตกคร่อมมีค่าอยู่ในช่วง 1.23 - 164.32 Pa (0.125-16.75 mm-water) และพบว่าความดันตกคร่อมจะมีค่าต่ำที่สุด ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 1 cm ความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือก 160 rpm แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm และช่วงอัตราการไหลของอากาศ 0.10 - 0.2 m³/s ความดันตกคร่อมมีค่าอยู่ในช่วง 3.68-12.26 Pa (0.375-1.25 mm-water) ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือกต่ำ ๆ และความถี่ในการยกชั้นข้าวเปลือกสูง จะทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกมีมาก อากาศจึงสามารถไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกได้ง่าย และยังพบว่าแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีรูเปิดแบบสี่เหลี่ยมจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในเบดข้าวเปลือกและมีการแยกตัวของอนุภาคของข้าวเปลือกเป็นชั้น ๆ ได้ง่ายกว่าแผ่นกระจายอากาศที่มีรูเปิดแบบวงกลม จึงทำให้ที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ ข้าวเปลือกจะเกิดการฟุ้งกระจายในห้องอบแห้ง และที่แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.5 mm มีพื้นที่รูเปิดมากที่สุด (34 %) ทำให้อากาศสามารถไหลผ่านได้ดีกว่าแผ่นกระจายอากาศอื่น ๆ และที่อัตราการไหลของอากาศ 0.10-0.2 m³/s เป็นอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล

ข้อเสนอแนะ

1. ข้าวเปลือกที่นำมาจากท้องนาควรมีความชื้นเริ่มต้นที่เท่ากัน หรือใกล้เคียงกันมากที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล เพื่อให้ได้ค่าความชื้นของเมล็ดพืชหลังการอบแห้ง ตามที่ต้องการ

2. ควรศึกษาความดันตกคร่อมที่ระยะยก 4.0 และ 4.6 cm

3. ควรศึกษาการอบแห้งธัญพืชชนิดอื่น ๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพลนอกเหนือจากข้าวเปลือก

4. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมห้องอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้งต่าง ๆ

5. ควรศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องมัสท์โพล เพื่อนำไปสู่การค้นคว้าหาวิธีการประหยัดพลังงาน





บรรณานุกรม

- กองเกษตรวิศวกรรม. (2544, เมษายน-มิถุนายน). หลักการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. *กรมวิชาการเกษตร*. 4(2).
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค. และคณะ. (2556). ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล). *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27. จังหวัดชลบุรี*.
- (2557). การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล. *การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 13. จังหวัดจันทบุรี*.
- พงศกร สุวโท. และคณะ. (2557). อิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล. *การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 13. จังหวัดจันทบุรี*.
- พรศักดิ์ ทองมา และคณะ. (2542). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบตขนาดอุตสาหกรรม. *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
- มุตตาฟา ยะภา. (2537). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไธซ์เบตแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม. *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
- (2555). ต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบ. *ประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดจันทบุรี*.
- มนตรี หวังจิ. (2539). การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไธซ์เบตระดับอุตสาหกรรม. *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
- วาทัญญู รอดประพัฒน์. (2540). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไธซ์เบตเคลื่อนย้ายได้. *วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
- (2542). การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบต. *สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ*.

- วุฒิกรณ์ จริยตันติเวชย์. (2541). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ ฟลูอิดไชน์ เบดสั่นสะเทือน. วศ.ม. (เทคโนโลยีการจัดพลังงาน). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมเกียรติ ปรัญญาวรากร. (2534) การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไชน์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2535). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 5. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุวัฒน์ ตรุทัศน์วินท์. (2542). แนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไชน์เบดแบบสั่นสะเทือน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรอนงค์ ศรีพวาทกุล. (2536). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไชน์เบดอย่างต่อเนื่อง. 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.
- Bunyawachikul 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 ก
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

ณัฐพล มณีโชติ และคณะ. (2556). อิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อความดันและความเร็วของกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบมัลติเฟล. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27. จังหวัดชลบุรี.





ตาราง 1 แสดงงบประมาณในการทำปริญญานิพนธ์

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวน	เป็นเงิน	รวมเป็นเงิน งบประมาณ (บาท)
ค่าวัสดุ อุปกรณ์ในการวิจัยประกอบด้วย			
1. ข้าวเปลือก	1,000 kg	13,000	13,000
2. แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เปิด 1.1 mm, 1.5 mm และ 2.0 mm	3 แผ่น	6,000	6,000
3. ตาข่ายสแตนเลส	1 แผ่น	4,000	4,000
4. มานอมิเตอร์	2 ชุด	3,000	3,000
ค่าสาธารณูปโภค ประกอบด้วย			
1. ค่าจ้างสำเนาเข้าปกเย็บเล่มรายงานโครงการ		3,000	3,000
2. ค่าอุปกรณ์จัดบันทึกผลกาทดลอง		1,000	1,000
รวม	30,000	30,000	



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ	m^2
a	ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดของท่อ	m
b	ความสูงของพื้นที่หน้าตัดของท่อ	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อที่กระแสน้ำไหลผ่าน	m
D_H	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
d	น้ำหนักแห้ง	kg
f	แฟคเตอร์ความเสียดทาน	-
g	ความเร่งเนื่องจากโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$kg/m^2 \cdot ^\circ C$
h_L	การสูญเสีย	m
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
L	ความยาวห้องอบแห้ง	m
L_2	ความสูงของเบตข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง	m
l	ความยาวของแผ่นกระจายอากาศ	m
M	ปริมาณความชื้น	%
M_d	ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง	%db
M_w	ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก	%wb
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น	$kg/s \cdot m^2$
$\dot{m}_p$	อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก	$kg/s \cdot m^2$
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
T	อุณหภูมิของของไหล	$^\circ C$
T_s	อุณหภูมิผิวของเมล็ดข้าวเปลือก	$^\circ C$
T_∞	อุณหภูมิกระแสของไหล	$^\circ C$
V	ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลในท่อ	m/s
w	น้ำหนักเปียก	kg
w	ความกว้างของแผ่นกระจายอากาศ	m
ε_2	ความพรุนของเบตข้าวเปลือก	-
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ρ_p	ความหนาแน่นของเบตข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง	kg/m^3
ρ_t	ความหนาแน่นของข้าวเปลือก	kg/m^3
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	%
ΔP_B	ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นที่เบตข้าวเปลือก	Pa
ΔP_D	ความดันตกคร่อมที่แผ่นกระจายอากาศ	Pa
ΔP_T	ความดันตกคร่อมทั้งหมด	Pa
ϕ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm





ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล
วันเดือนปีเกิด
สถานที่เกิด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน

นายณัฐพล มณีโชติ
31 ธันวาคม 2528
นครศรีธรรมราช
44/59 รีเจนท์โฮมบางนา อาคาร I
ถ.สรรพาวุธ ซ.สรรพาวุธ 2 เขตบางนา
กรุงเทพมหานคร 10260
โทรศัพท์ 097-182-5005
E-mail: maneechot_3128@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนทุ่งสง
พ.ศ. 2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคยานยนต์ จาก วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2554	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
พ.ศ. 2558	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ