

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด



นายกฤษรักษ์ กิ่งแสง

นายปิตันธน เจตน์เจริญรักษ์

นายยุทธนา เอี่ยมสมบัติ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36751
วัน, เดือน, ปี 28 ส.ค. 2543

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อการค้นคว้า ทั้งต้น ยากทั้งหนามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLUIDIZED-BED DRYER



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

โดย นายกฤษรักษ์ กิ่งแสง

นายปิตันธน เจตน์เจริญรักษ์

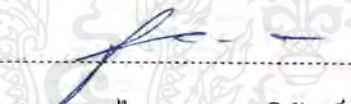
นายยุทธนา เอี่ยมสมบัติ


ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์


อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)


..... กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริวานิชย์)


..... กรรมการ
(อาจารย์นภกร รัมพิพิช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

โดย นายกฤษรัักษ์ กิ่งแสง

นายปัทมรัตน์ เจตน์เจริญรัักษ์

นายยุทธนา เอี่ยมสมบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์สำหรับศึกษากระบวนการการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด อุปกรณ์นี้สามารถใช้ศึกษาปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชันที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ที่มีความสูง 2 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ 10 เซนติเมตร วัสดุที่ถูกใช้ทดสอบ คือ เมล็ดธัญพืช ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ ทั้งนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งธัญพืชแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดธัญพืช

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งนี้สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) เหลือประมาณ 8 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในการทดลองแต่ละครั้งพบว่าสามารถบรรจุเมล็ดธัญพืชได้ประมาณ 425 ถึง 530 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Fluidized-bed Dryer

By Mr. Krisarak Kingsaeng
 Mr. Pilan Jetjarearnrag
 Mr. Yuttana Eamsombut

Advisor Asst. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project was to design an apparatus for studying the process of fluidized-bed drying. This apparatus could be used to study the fluidization phenomenon occurred in column of 2-meter height and 10-centimeter inner diameter. The materials which were tested were corn, green gram, red-brown bean, and black bean. The efficiency of the fluidized-bed dryer in decreasing the moisture percentages (dry basis) of crop was studied.

It is found from the experimental results that this dryer could decrease the moisture percentage (dry basis) of crop to the range of 8 to 12 percentage approximately. Furthermore, in each experiment, it is found that this dryer could be loaded about 425 to 530 grams of testing materials.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคลากรหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดังรายนามต่อไปนี้

ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาการทำโครงการ

อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ และอาจารย์นภกร ชัมพิพิช ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คุณพิสันต์ พลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์และช่วยอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำโครงการ

คุณนุสรา ไยยะผลสุข และเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้านในการทำโครงการนี้มาตลอด

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุพการีและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

5 พฤษภาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	4
2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	4
2.3 ฟลูอิดไดเซชันและฟลูอิดไดซ์เบด	6
2.4 ทฤษฎีปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน	7
2.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบด	8
2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของฟลูอิดไดซ์เบด	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ช
2.6.1 ฟลูอิดไดเซชันความเร็วของไหลต่ำสุด	12
2.6.2 ฟลูอิดไดเซชันแบบเรียบและแบบขรุขระ	12
2.6.3 การเกิดฟองก๊าซและชั้นสลับของของไหลกับเม็ดของแข็ง	13
2.7 สถานะของฟลูอิดไดเซชัน	13
บทที่ 3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดชนิดไม่ต่อเนื่อง	15
3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบดชนิดไม่ต่อเนื่อง	15
3.1.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง	15
3.1.2 ผลของความดันลดในฟลูอิด ไดซ์เบด	15
3.1.3 ความเร็วของก๊าซที่ทางเข้าฟลูอิด ไดซ์เบด	17
3.2 การหาความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิด ไดซ์เบด	18
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบด	19
4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบด	19
4.2 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบด	22
4.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบด	23
บทที่ 5 การทดลอง	25
5.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
5.2 ขั้นตอนการทดลอง	26
5.2.1 การทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบใน เครื่องอบแห้ง	26
5.2.2 การทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งสุกของเมล็ดวัสดุอบ	26
5.2.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบ ที่ได้หลังการอบกับความเร็วมที่ใช้ในการอบแห้ง	27
บทที่ 6 ผลการทดลอง	28
6.1 ผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบใน เครื่องอบแห้ง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งสุทธิของเมล็ดวัสดุอบ	29
6.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบ ที่ได้หลังการอบกับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง	31
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	36
7.1 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับความสามารถในการนำไปใช้งานของเครื่องอบแห้ง	36
7.2 ข้อเสนอแนะ	39
7.2.1 ข้อจำกัดและเหตุผลในการที่จะต้องทำการทดลอง	39
7.2.2 ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบคพร้อมทั้งแนวทางการแก้ไข	40
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค	44
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	48
ข.1 ผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบ ในเครื่องอบแห้ง	48
ข.2 ผลการทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งสุทธิของเมล็ดวัสดุอบ	53
ข.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลัง การอบกับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง	55
ภาคผนวก ค การคำนวณ	76
ภาคผนวก ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม กับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง	78
ภาคผนวก จ ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	79
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลอง	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบแบบไม่ต่อเนื่อง	28
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของข้าวโพด	29
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วเขียว	29
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วแดง	30
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วดำ	30
ตารางที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวโพดกับความเร็วลมที่ใช้	31
ตารางที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวกับความเร็วลมที่ใช้	32
ตารางที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วแดงกับความเร็วลมที่ใช้	33
ตารางที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วดำกับความเร็วลมที่ใช้	34
ตารางที่ ข.1 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด	49
ตารางที่ ข.2 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วเขียว	50
ตารางที่ ข.3 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วแดง	51
ตารางที่ ข.4 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วดำ	52
ตารางที่ ข.5 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด	53
ตารางที่ ข.6 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วเขียว	53
ตารางที่ ข.7 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วแดง	54
ตารางที่ ข.8 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วดำ	54
ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด	56
ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด	57
ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12	ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ข้าวโพด	59
ตารางที่ ข.13	ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วเขียว	60
ตารางที่ ข.14	ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วเขียว	61
ตารางที่ ข.15	ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วเขียว	62
ตารางที่ ข.16	ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วเขียว	63
ตารางที่ ข.17	ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วแดง	64
ตารางที่ ข.18	ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วแดง	65
ตารางที่ ข.19	ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วแดง	66
ตารางที่ ข.20	ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วแดง	67
ตารางที่ ข.21	ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วดำ	68
ตารางที่ ข.22	ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วดำ	69
ตารางที่ ข.23	ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วดำ	70
ตารางที่ ข.24	ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วดำ	71
ตารางที่ ข.25	ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ข้าวโพด	72
ตารางที่ ข.26	ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วเขียว	73
ตารางที่ ข.27	ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วแดง	74
ตารางที่ ข.28	ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดเมล็ดวัสถุอบ ถั่วดำ	75
ตารางที่ ง.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมกับ ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง	78

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การอบแห้งกับเวลา	5
รูปที่ 2.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับฟลูอิด ไคซ์เบด	8
รูปที่ 2.3 ผลการทดลองที่ใช้เมล็ดข้าว โปดและเมล็ดถั่วเขียว	9
รูปที่ 2.4 การเกิดช่องว่างในขณะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันในคอลลัมน์	10
รูปที่ 2.5 ลักษณะต่างๆของฟลูอิด ไคซ์เบดที่เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น	11
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลต่างของความดันกับความเร็วลมในเบด	14
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความดันลดกับความเร็วของก๊าซในฟลูอิด ไคซ์เบด	16
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของฟลูอิด ไคซ์เบดของคอลลัมน์	21
รูปที่ 4.2 เครื่องเป่าอากาศและอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์	22
รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	23
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว โปดกับความเร็วลม	31
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวกับความเร็วลม	32
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วแดงกับความเร็วลม	33
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วดำกับความเร็วลม	34
รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	79
รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบของฟลูอิด ไคซ์เบดคอลลัมน์	80
รูปที่ ฉ.1 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันภายในคอลลัมน์ของข้าว โปด	81
รูปที่ ฉ.2 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันภายในคอลลัมน์ของถั่วเขียว	82
รูปที่ ฉ.3 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันภายในคอลลัมน์ของถั่วแดง	83
รูปที่ ฉ.4 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชัน ภายในคอลลัมน์ของถั่วดำ	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

ตัวอักษร

A	=	พื้นที่หน้าตัดของฟลูอิด ไคซ์เบค (ตารางเมตร)
d_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม (เมตร)
g	=	ค่าอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง (9.8 เมตร/วินาที ²)
H	=	ความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิด ไคซ์เบค (เมตร)
H_0	=	ความสูงของเบคเริ่มต้น (เมตร)
ΔP	=	ค่าความดันตกในคอลัมน์ของฟลูอิด ไคซ์เบค (มิลลิเมตรปรอท)
u_{mf}	=	ความเร็วต่ำสุดของการเริ่มเกิดฟลูอิด ไคซ์ชัน (เมตร/วินาที)
u_t	=	ความเร็วลมหลุดลอย (เมตร/วินาที)
W	=	น้ำหนักของชั้นวัสดุ (กิโลกรัม)
X	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ของวัสดุอบ

ตัวอักษรกรีก

ε_0	=	อัตราส่วนช่องว่างในตอนเริ่มต้น
ε_{mf}	=	อัตราส่วนช่องว่างที่ความเร็วต่ำสุดของการเริ่มเกิดฟลูอิด ไคซ์ชัน
μ_f	=	ความหนืดของลมร้อน (กิโลกรัม · เมตร/วินาที)
ρ_s	=	ค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุอบ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ρ_f	=	ค่าความหนาแน่นของลมร้อน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ρ_b	=	ความหนาแน่นปรากฏของชั้นวัสดุ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมอาหารนั้น มีผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ในกรณีที่ต้องการอบแห้งวัสดุในปริมาณมาก ๆ การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีการอบแห้งหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เช่น สามารถทำงานแบบต่อเนื่องและสามารถควบคุมการทำงานโดยระบบอัตโนมัติ เพื่อที่จะลดปริมาณความชื้นออกจากวัสดุ และป้องกันการจับตัวกันของผลิตภัณฑ์ระหว่างการปฏิบัติการในขั้นตอนต่าง ๆ นอกจากนี้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดยังสามารถใช้เป็นเครื่องแยกวัสดุด้วย ซึ่งการอบแห้งวัสดุและการแยกวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน นอกจากนี้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก เช่น มีอัตราการอบแห้งสูง มีขนาดเครื่องอบแห้งไม่ใหญ่มาก สามารถเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนให้สูง ๆ ได้ และบำรุงรักษาได้ง่าย เป็นต้น

จากข้อดีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีการอบแห้งวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและน่าศึกษา ดังนั้นการศึกษารากฐานและการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ในโครงการนี้เป็นการศึกษารากฐานและการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อนแก่ลม โดยอาศัยหลักการขึ้นพื้นฐานในการอบแห้ง ทฤษฎีการเกิดฟลูอิดไดเซชัน ตลอดจนการถ่ายเทความร้อนระหว่างเมล็ดวัสดุอบกับกระแสลมร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาหลักการของปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน
- 1.2.2 ประยุกต์การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันในกระบวนการอบแห้ง
- 1.2.3 ศึกษาวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.3.2 ทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.3.3 ทดลองใช้คอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นเครื่องอบแห้ง ร่วมกับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้งเมล็ดธัญพืช
- 1.3.4 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังจากการอบกับความเร็วมที่ใช้ในการอบแห้ง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษา ค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง และการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน
- 1.4.2 ออกแบบคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.4.3 จัดหาอุปกรณ์สำหรับสร้างคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.4.4 สร้าง ประกอบอุปกรณ์ และทดลองการทำงานของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.4.5 ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเครื่องอบแห้ง และทำการทดลอง
- 1.4.6 สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องอบแห้ง
- 1.5.2 เรียนรู้พื้นฐานในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์
- 1.5.3 มีความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขึ้นเอง ตลอดจนรู้จักการทำงานวิจัยอย่างถูกวิธี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง

“การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไ้ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย สิ่งสำคัญในการอบแห้ง คือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง มักจะถูกนิยามในรูปของ อัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด นั่นคือ ใช้มวลของวัสดุชื้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น แต่ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชื้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานการคำนวณความชื้นแทน” [3]

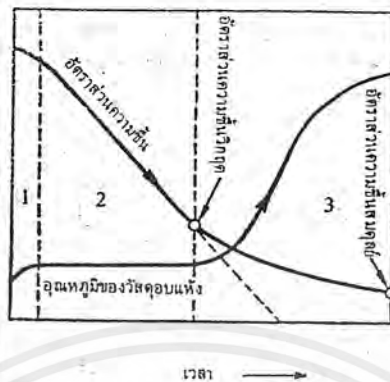
โดยกำหนดให้ X เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุอบแห้ง

$$X = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad (2.1)$$

2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

เมื่อมีการอบแห้งวัสดุที่เปียกชื้นภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ เช่น กรณีที่วางวัสดุเปียกชื้นภายในกระแสมปริมาณมากที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ ถ้าวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งนี้กับเวลา จะได้เส้นกราฟคล้ายคลึงกับรูปที่ 2.1 ซึ่งเรียกว่า เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การอบแห้งกับเวลา

การอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

- 1 : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ
- 2 : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่
- 3 : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

โดยทั่วไป ความชื้นที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้นจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้านำวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้คือ ช่วงที่ 1 ในรูปที่ 2.1 ส่วนช่วงที่ 2 อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณอุณหภูมิกระเปาะเปียก ทรายใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วงที่ 2 นี้ ดังนั้นความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ ในช่วงที่ 3 ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุ เกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น

สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลง เพราะนอกจากปริมาณความร้อนที่วัสดุ

ได้รับจะลดลงแล้ว ยังต้องใช้ความร้อนนี้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 เรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤต ผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยใด ๆ และอัตราส่วนความชื้นวิกฤตเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ ซึ่งได้แก่ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุที่มีช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ยาวนานมาก จะไม่คำนึงถึงผลของช่วงที่ 1 ก็ได้ ส่วนในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้นหรือในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะบางชนิด อาจไม่มีช่วงที่ 2 เลยก็ได้

เงื่อนไขของการอบแห้งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้งและเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีกำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายใน ได้แก่ องค์ประกอบ รูปทรง อัตราส่วนความชื้น และอัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุอบแห้ง เป็นต้น

2.3 ฟลูอิดไดเซชันและฟลูอิดไดซ์เบด

ฟลูอิดไดเซชันเป็นปรากฏการณ์แบบหนึ่งทำให้อนุภาคของแข็งที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์และวางอยู่บนตะแกรง เปลี่ยนสถานะจากอนุภาคของแข็งที่อยู่หนึ่งเป็นอนุภาคของแข็งที่มีสถานะคล้ายของไหล เมื่อมีของไหลไหลสัมผัสผ่านอนุภาคของแข็งในคอลัมน์ บริเวณที่อนุภาคของแข็งที่อยู่ภายในคอลัมน์ตั้งแต่แผ่นกระจายของไหล นิยมเรียกว่า เบด ถ้าอนุภาคของแข็งอยู่หนึ่ง จะเรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed) ถ้าอนุภาคของแข็งทั้งหมดมีพฤติกรรมคล้ายของไหลเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบด กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของอนุภาคของแข็งภายในเบดหรือคอลัมน์ตลอด ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้โดยการอัดของไหลให้ไหลผ่านตะแกรงในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง และไหลผ่านอนุภาคของแข็งในเบดนั้น ของไหลนี้อาจเป็นของเหลว ก๊าซ หรือของเหลวผสมกับก๊าซก็ได้ เมื่อเพิ่มความเร็วให้กับของไหลมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดอนุภาคของแข็งขยับตัวและลอยขึ้นเป็นอิสระต่อกัน เกิดเป็นปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันขึ้น การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันนั้นต้องอาศัยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น คอลัมน์ แผ่นกระจายของไหล และอนุภาคของแข็งที่ใช้เป็นเบด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน

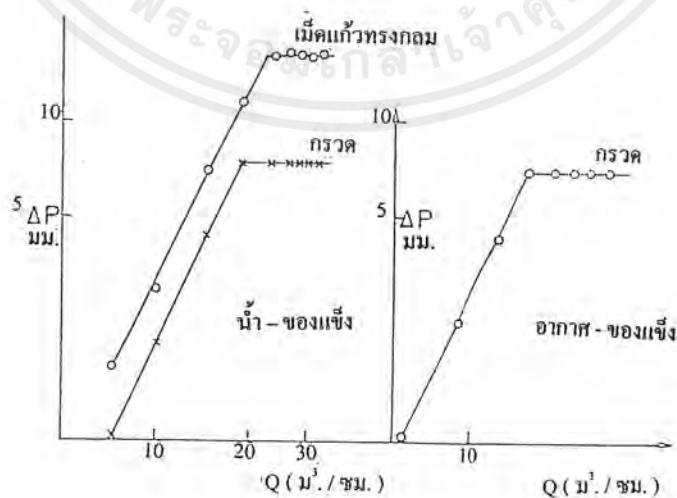
ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด และลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เป็นต้น เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ความดันลดในเบดเปลี่ยนแปลงด้วย ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้คือ [3]

1. เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำ ๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง
2. เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้น อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดขยายตัว (expanded bed)
3. เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และแรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไป อนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบดจะลอยตัวเป็นอิสระ แรงกระทำเนื่องจากความดันลดในพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ของเบดจะเท่ากับน้ำหนักของของไหลและอนุภาคของแข็งระหว่างหน้าตัดนั้น ๆ เบดในสภาพเช่นนี้เป็นเบดที่เริ่มฟลูอิดไดซ์ เรียกเบดในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไดซ์เบด (incipiently fluidized bed) หรือเบดที่มีสภาพฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด (minimum fluidization)
4. เมื่อของไหลมีความเร็วมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล และเริ่มเกิดฟองก๊าซเกิดขึ้น อนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งรุนแรงยิ่งขึ้น เบดในลักษณะนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบด (bubbling fluidized bed) ส่วนของเบดที่ไม่รวมฟองเรียกว่า อิมัลชันเฟส (emulsion phase)

5. ฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถบ่งบอกระดับเบดได้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (dense-phase fluidized bed) และเมื่อความเร็วของของไหลมากกว่าความเร็วขณะหลุดลอย อนุภาคของแข็งจะหลุดลอยไปกับกระแสการไหลของของไหลสถานะเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบเจือจาง (lean-phase fluidized bed) หรือการขนถ่ายด้วยของไหล

2.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบด

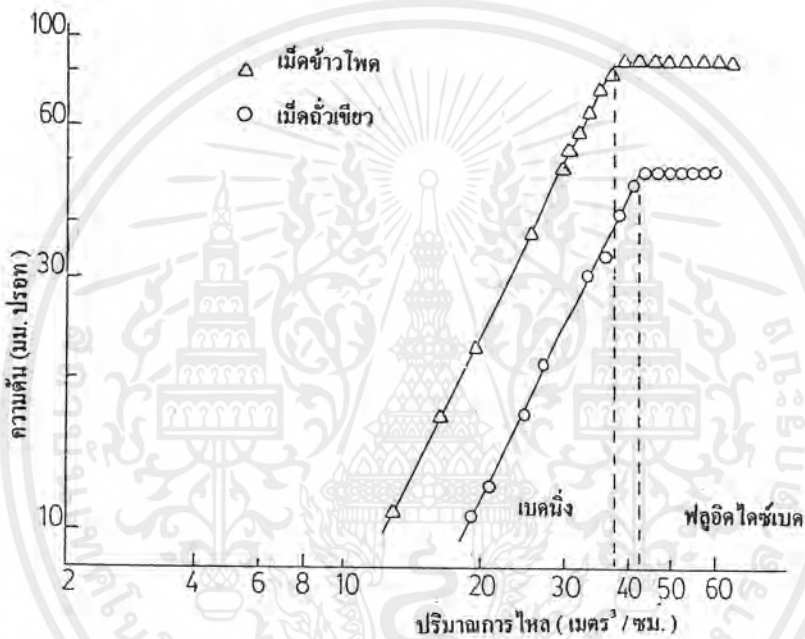
การเกิดฟลูอิดไดซ์เบดอาศัยแฟคเตอร์หลายอย่างมาผสมผสานกันให้เกิดความพอเหมาะขึ้นในเบด เบดนั้นจึงจะเกิดคุณสมบัติคล้ายของไหลได้ แฟคเตอร์หรือตัวแปรที่สำคัญในลำดับแรก คือ ความเร็วของของไหล ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่า ความเร็วของของไหลที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยนั้น ในระยะแรกเบดยังคงอยู่นิ่ง ความดันลดจะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นไปพร้อมกับความเร็วของของไหล จนถึงระดับหนึ่งเมื่อเม็ดของแข็งเริ่มขยับและแยกตัวเป็นอิสระ ความดันลดของเบดก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ไม่ว่าจะเราเพิ่มความเร็วให้กับของไหลเท่าไรก็ตาม เบดในช่วงนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบด ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยใช้กรวดหินและลูกแก้วทรงกลมกลมขนาดต่าง ๆ กันเป็นเบด มีน้ำและอากาศเป็นของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด



รูปที่ 2.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับฟลูอิดไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

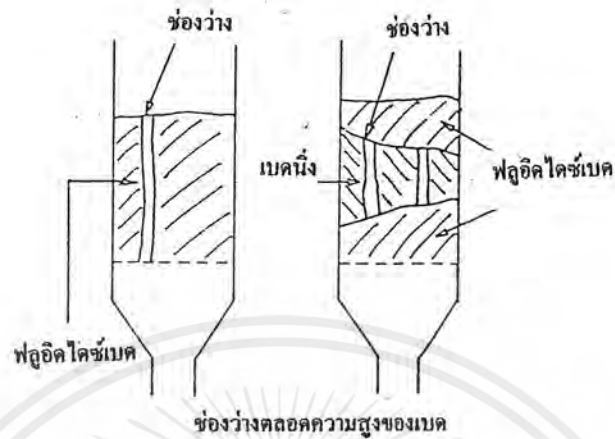
แม้ว่าวัสดุที่ใช้เป็นเบคจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ลักษณะของเบคหรือความสัมพันธ์ของความดันลดของเบคกับความเร็วก็มีผลเหมือนเดิมคือ ในช่วงที่เป็นฟลูอิดไดซ์เบค จะมีค่าของความดันลดคงที่ เพราะค่าความดันลดในขณะนั้น จะมีตัวเลขใกล้เคียงกับอัตราส่วนของน้ำหนักของเม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ต่อพื้นที่ภาคตัดขวางของหอตลอดง ผลการทดลองที่ใช้ถั่วเขียวและข้าวโพด แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลการทดลองที่ใช้เมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเขียว

ขณะที่เบคเริ่มเกิดเป็นฟลูอิดไดซ์เบค เม็ดของแข็งก็เริ่มขยับตัวจัดระเบียบของตัวเองให้อยู่ในแนวเดียวกัน หรือจัดเรียงเม็ดต่อเม็ดอย่างสวยงาม จากนั้นแต่ละเม็ดก็ค่อย ๆ แยกห่างกันออกไปเป็นอิสระตามความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของของไหลที่ทำให้เบคเริ่มขยับตัวหรือเริ่มจัดตัวเองนี้ (ในขณะเดียวกันความดันลดเริ่มคงที่) เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดซ์เบค ดังตัวอย่างของการทดลองกับเม็ดถั่วเขียวที่มีความชื้นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเร็วต่ำสุดของอากาศมีค่าประมาณ 41.7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในทำนองเดียวกันถ้าจะทำให้ข้าวโพดที่มีความชื้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ อากาศจะเริ่มเป็นฟลูอิดไดซ์เบคเมื่อความเร็วของอากาศเป็น 36.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



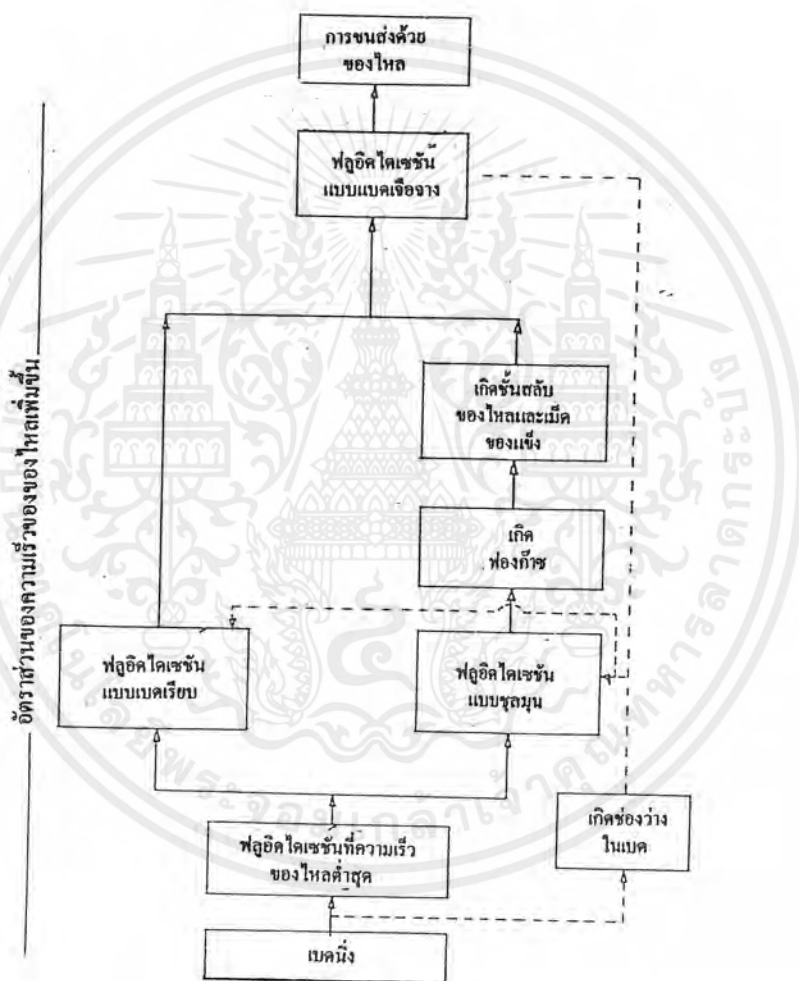
รูปที่ 2.4 การเกิดช่องว่างในขณะที่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันในคอลัมน์

ในคอลัมน์เบคใดก็ตาม การออกแบบตัวกระจายหรือชิ้นส่วนกระจายของไหลไม่เหมาะสมกับเบคที่ใช้แล้ว โอกาสที่จะเกิดช่องหรือแนวช่องที่มีแต่ของไหลเพียงอย่างเดียวไหลผ่าน ที่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้เพราะความเร็วที่ไหลสู่เบคมีส่วนหนึ่งเร็วกว่าส่วนอื่น ๆ บริเวณนี้ของของไหลจะทำให้เม็ดของแข็งกระจายหรือแยกตัวออกไปสู่ด้านข้าง เกิดเป็นช่องว่างตลอดทั้งความสูงของเบคหรือส่วนหนึ่งของเบค ปรากฏการณ์เช่นนี้มักเกิดในก๊าซฟลูอิด ไคซ์เบค โดยเฉพาะเบคที่มีความเร็วของก๊าซสูงๆ ส่วนโอกาสที่จะเกิดกับฟลูอิด ไคเซชันของเหลวมีน้อยมากเนื่องจากของเหลวมีแรงพุงมาก รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นการเกิดช่องว่างสองแบบที่พบเสมอ ๆ ในการทดลอง เกี่ยวกับฟลูอิด ไคซ์เบค

ตัวแปรอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อไฮโดรไดนามิกของเบคมีเช่น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์และเม็ดของแข็ง ความถ่วงจำเพาะ ของไหลและเม็ดของแข็ง ความหนืด ความสูงของเบค และอื่น ๆ

2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของฟลูอิดไอซ์เบค

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่า ความเร็วของของไหลเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดฟลูอิดไอซ์เบค ในที่นี้จะขออธิบายถึงลักษณะของเบคที่พบเห็นบ่อยๆ ในการทำงาน โดยจะเขียนแยกเป็นชนิดๆ ไป แสดงดังในรูปที่ 2.5 [4]



รูปที่ 2.5 ลักษณะต่างๆ ของฟลูอิด ไอซ์เบคที่เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ฟลูอิดไดเซชันความเร็วของไหลต่ำสุด

หมายถึงฟลูอิดไดเซชันในช่วงความเร็วของไหลแคบมาก ๆ คือ ช่วงระหว่างความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน และความเร็วที่สูงกว่าเล็กน้อย ลักษณะของเบดที่เกิดมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งเบด ผิวหน้าของเบดราบเรียบไม่ว่าของไหลนั้นจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ เม็ดของแข็งเริ่มลอยอยู่ในกระแสของไหลระยะห่างระหว่างเม็ดน้อยมาก เม็ดต่อเม็ดเกือบติดกัน การเคลื่อนไหวยิ่งน้อยมากเพราะอยู่ในวงจำกัด ในทางปฏิบัติมักใช้ความเร็วของไหลสูงกว่าความเร็วต่ำสุดอย่างน้อย 1.5 เท่า

2.6.2 ฟลูอิดไดเซชันแบบเรียบและแบบขุลมุน

WILHELM และ KWAWK [4] ได้อธิบายไว้ว่า ฟลูอิดไดเซชันแบบเบดเรียบมีลักษณะคือ เม็ดของแข็งแยกจากกันโดยอิสระระยะห่างระหว่างเม็ดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ระยะห่างนี้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วของของไหล เบดมีเนื้อสม่ำเสมอหรือกล่าวอีกประการหนึ่งคือ มีความหนาแน่นของเม็ดของแข็งสม่ำเสมอ ลักษณะเช่นนี้มักเกิดขึ้นในฟลูอิดไดเซชันของเหลว ส่วนในก๊าซ ฟลูอิดไดเซชันเบดเกิดขึ้นยาก นอกจากเบดที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็วต่ำสุดเล็กน้อย

ส่วนเบดขุลมุน เม็ดของแข็งไม่ได้เคลื่อนที่อย่างอิสระมันมีแนวโน้มที่จะรวมอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ ๆ การเคลื่อนไหวยิ่งน้อยไปอย่างขุลมุน นอกจากนี้บางส่วนของของไหลก่อตัวเป็นฟองที่ส่วนล่างของเบดแล้วฟองนี้ก็จะชักนำให้เม็ดของแข็งลอยตามขึ้นไปจนถึงเบดถ้าของไหลเป็นของเหลวการก่อตัวเป็นฟองมีส่วนคล้ายกับการเกิดฟองของก๊าซ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นเบดจึงมีลักษณะเหมือนกับของเหลวกำลังเดือด เบดจึงไม่สม่ำเสมอ ภายในเบดจึงประกอบไปด้วยสถานะ 2 สถานะ คือ เบดหนาแน่นและเบดเจือจางอยู่พร้อมกัน

ถ้าพิจารณาถึงการปฏิบัติ ฟลูอิดไดเซชันแบบเบดขุลมุนเกิดขึ้นได้ก็ต้องใช้เม็ดของแข็งและของไหล ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันมาก ๆ ซึ่งก็ได้แก่ ก๊าซกับของแข็ง เป็นต้น

2.6.3 การเกิดฟองก๊าซและชั้นสลับของของไหลกับเม็ดของแข็ง

ลักษณะของเบดทั้งสองเกิดขึ้นเฉพาะในเบดซุลมุนเท่านั้น ฟองที่เกิดขึ้นคล้ายกับเกิดฟองก๊าซเริ่มแรกเกิดขึ้นที่ ส่วนกลางเหนือแผ่นกระจาย หลังจากนั้นก็หลุดลอยผ่านชั้นเบดขึ้นไป จนถึงผิวหน้าของเบดแล้วก็แตกกระจายออก

ชั้นสลับเกิดขึ้นได้เมื่อฟองก๊าซหลายๆ ฟองมารวมกันแล้วเป็นฟองขนาดใหญ่จนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด ฟองก๊าซก็แยกของแข็งออกเป็นชั้นๆ ให้เห็นชัดเจน การเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เม็ดของแข็งเคลื่อนที่จนถึงความสูงระดับหนึ่ง ก็แยกออกตกกลับลงในเบดเหมือนกับฝนตก แล้วก่อตัวเป็นเบดซุลมุนใหม่ เบดชนิดนี้เกิดขึ้นได้ง่าย กับเบดที่มีความสูงมาก และเบดที่มีความเร็วของก๊าซมากด้วย

2.7 สถานะของฟลูอิดไดเซชัน

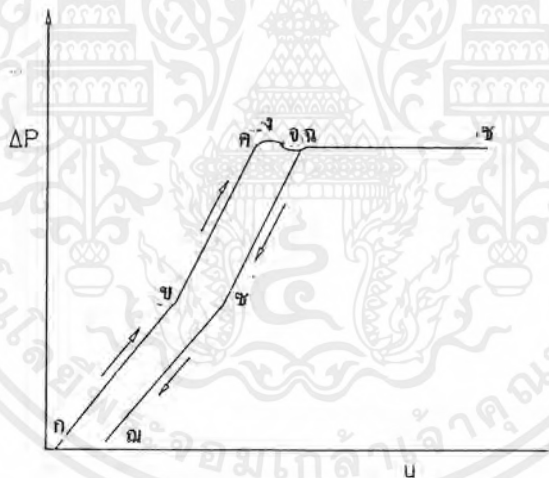
เม็ดของแข็งที่บรรจุลงไปนั้น จะเป็นการบรรจุแบบไม่เป็นระเบียบ (แบบสุ่ม) เม็ดของแข็งจะก่ายกันอยู่ทำให้เกิดช่องว่างมากกว่าช่องว่างต่ำสุดที่เป็นเบดนิ่ง เมื่อผ่านของไหลเข้าไปในเบด สถานะของเบดจะเปลี่ยนตามความเร็วของของไหล ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของความดันตกกับความเร็ว ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ [4]

เมื่อผ่านของไหลเข้าไปในเบดขณะที่ยังเป็นเบดนิ่งความดันตกของเบดที่วัดได้จะดำเนินตามเส้น ก-ข ขณะที่ความเร็วต่ำๆ ความชันจะมีค่าเท่ากับ 1 และไปตามเส้น ข-ค เมื่อความเร็วสูงขึ้นความชันจะมีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ ERGUN ที่จุดนั้นความเร็วของไหลใกล้เคียงกับความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชันเม็ดของแข็งเริ่มขยับตัวจัดตัวเองให้เข้าระเบียบ ภายในเบด ความดันตกขณะนั้นจะมากที่สุดคือ ช่วง ค-ง เมื่อเรียงตัวเรียบร้อยแล้วความดันตกจะลดลงมาอยู่ที่จุด จ ซึ่งต่ำกว่าความดันตกที่จะเกิดฟลูอิดไดเซชัน จากนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนถึงจุด ฉ แล้วจะคงที่ไปจนถึงจุด ช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลดความเร็วของไหลจนถึงจุด $ค$ ความดันยังคงที่อยู่ แต่จากจุด $ค$ ความดันตกของเบดจะลดลงตามเส้น $ค-ช$ และ $ช-ฉ$ ตามลำดับ ถ้าเราทำการทดลองใหม่จากเบดเดิมนี้อัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นตามเส้น $ฉ-ช$ และ $ช-ค$ เหมือนเดิม เพราะเบดขณะที่ย้ายจากฟลูอิดไดซ์เบดเข้าสู่เบดนิ่งเม็ดของแข็งเริ่มจัดระเบียบตัวเองแล้ว เมื่อทำการทดลองใหม่จึงไม่ต้องเสียพลังงานในการจัดระเบียบอีกจึงเดินตามเส้น $ฉ-ค$ ที่จุด $ค$ นี้เราเรียกว่า จุดความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชัน

การที่ความดันตกของเบดเริ่มแรกสูงกว่าความดันตกในขณะที่เบดเป็นระเบียบ เพราะช่องว่างภายในเบดจัดไม่เป็นระเบียบการไหลจึงเกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าปกติ จากการทดลองพบว่าความดันตกในครั้งแรกมากกว่าความดันตกในเบดที่เป็นระเบียบประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลต่างของความดันกับความเร็วลมในเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดชนิดไม่ต่อเนื่อง

3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดชนิดไม่ต่อเนื่อง

ในฟลูอิดไดซ์เบดวัสดุถูกกวนและผสมอย่างรุนแรงในทิศแนวตั้ง โดยกระแสลมร้อนที่ไหลผ่านชั้นวัสดุคั่งนั้น จึงถือว่าเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ในแนวตั้ง และไม่ต้องคำนึงถึงการกระจายของอัตราส่วนความชื้น หรือการกระจายของอุณหภูมิของวัสดุในชั้นวัสดุ ส่วนการไหลของอากาศอาจถือได้ว่าเป็นการไหลแบบผสมอย่างสมบูรณ์กับวัสดุที่กำลังถูกฟลูอิดไดซ์ ในขณะที่เดียวกับที่ถูกปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง

3.1.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง

เนื่องจากการกวนในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดรุนแรงมาก ดังนั้นเราสามารถถือว่าปริมาณความชื้นของวัสดุทั้งหมดถูกระเหยไปในช่วงของการระเหยจากผิววัสดุ ส่วนช่วงที่อัตราการอบแห้งช้าลง มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของวัสดุที่ทางออกเท่านั้น

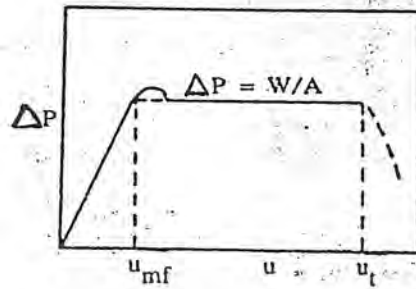
ในช่วงการระเหยจากผิววัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะยังคงเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน

3.1.2 ผลของความดันลดในฟลูอิดไดซ์เบด

เนื่องจากน้ำหนักของชั้นวัสดุถูกค้ำจุน โดยก๊าซที่ไหลผ่านฟลูอิดไดซ์เบด ผลความดันลดที่ความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วต่ำสุดที่เริ่มก่อให้เกิดฟลูอิดไดซ์ชันจะมีค่าคงที่ ดังแสดง

ไว้ในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของความดันลดกับความเร็วของก๊าซ
ในฟลูอิดไดซ์เบด

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะของแรง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็งคือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{แรงพยุง (แรงเสียดทาน + แรงต้าน)} = \text{น้ำหนักของเม็ดของแข็ง} \quad (3.1)$$

เนื่องจาก

$$\begin{aligned} \text{แรงพยุง(แรงเสียดทาน + แรงต้าน)} &= (\text{ความดันลดในพื้นที่ภาคตัดขวางของเบด})(\text{พื้นที่ภาคตัดขวางของหอคอลลอง}) \\ &= \Delta P \times A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของเม็ดของแข็ง} &= (\text{ปริมาตรของเบด})(\text{ส่วนของของแข็งในเบด})(\text{ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง}) \\ &= (AH_0)(1-\varepsilon_0)(\rho_s - \rho_f)g \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$\Delta P \times A = (AH_0)(1-\varepsilon_0)(\rho_s - \rho_f)g \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถที่จะหาค่าความดันตกในคอลัมน์ของฟลูอิดโคซ์เบค ได้จาก

$$\Delta P = (\rho_s - \rho_f)(1 - \varepsilon_0)H_0g \quad (3.3)$$

เพราะว่า $\rho_s \gg \rho_f$ โดยปกติ ΔP มีค่าประมาณ 30 - 300 มิลลิเมตรน้ำ แต่อาจมีค่าสูงถึง 1000 มิลลิเมตรน้ำในบางครั้ง และเพื่อให้เกิดฟลูอิดโคเซชันอย่างสม่ำเสมอ โดยปกติแล้วจะออกแบบให้ความต้านทานต่อการไหลผ่านรูพรุนที่รองรับชั้นวัสดุมีค่า 50 ~ 100 มิลลิเมตรน้ำ

เพราะฉะนั้นผลความดันตก คือ

$$\Delta P \cong (\rho_s)(1 - \varepsilon_0)H_0g = \rho_s H_0g \quad (3.4)$$

ปริมาณช่องว่างในเบคต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้น จะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบคนี้เล็กน้อย ในขณะที่เบคยังอยู่ในลักษณะของค่าต่ำสุดของฟลูอิดโคเซชันนั้น สมการของความดันตกยังสามารถนำมาประยุกต์ได้ เมื่อแทนค่าความดันตกในสมการของ ERGUN จะได้

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3} \left[\frac{D_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf}) (D_p U_{mf} \rho_g)}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3 \mu_f} = \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g_c}{\mu_f^2} \quad (3.5)$$

3.1.3 ความเร็วของก๊าซที่ทางเข้าฟลูอิดโคซ์เบค

ความเร็วของก๊าซที่ไหลเข้าฐานล่างของฟลูอิดโคซ์เบค จะต้องมากกว่าความเร็วของการเริ่มเกิดฟลูอิดโคเซชันของอนุภาคแต่น้อยกว่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาค

LEVA [4] พบว่าค่าของ u_{mf} สำหรับอนุภาคทรงกลมคำนวณได้จาก

$$u_{mf} = (d_p^2 / 180)(\rho_s - \rho_f)(g / \mu_f) \varepsilon_{mf}^3 / (1 - \varepsilon_{mf}) \quad (3.6)$$

BAERG, KLASSEN และ GISHLER [4] ได้ศึกษาถึงไฮโดรไดนามิกของเบด

พบว่า

$$u_{mf} = 1.8 \times 10^{-2} (D_p \rho_b)^{1.23} \quad (3.7)$$

ส่วนค่าของ u_c คำนวณได้จาก

$$u_c = g(\rho_s - \rho_f) d_p^2 / 18 \mu_f \quad \text{ถ้า } (d_p u_c \rho_f / \mu_f) = Re_p < 2 \quad (3.8)$$

$$u_c = [(4/255)(\rho_s - \rho_f)^2 g^2 / \mu_f \rho_f]^{1/3} d_p \quad \text{ถ้า } 2 < Re_p < 500 \quad (3.9)$$

$$u_c = [3g(\rho_s - \rho_f) d_p / \rho_f]^{1/2} \quad \text{ถ้า } Re_p > 500 \quad (3.10)$$

โดยทั่วไป u_{mf} มีค่าประมาณ $(0.06 \sim 0.12)u_c$ เนื่องจาก u_c มักถูกเลือกให้เท่ากับ $(3 \sim 8)u_{mf}$ จึงมีค่าประมาณ $(0.2 \sim 0.6)u_c$ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าสูง และเกิดการรวมตัวของอนุภาควัสดุอย่างมากฟลูอิดไดเซชัน อาจไม่เกิดขึ้นที่ค่าความเร็วที่คำนวณได้จากกรณีของอนุภาคทรงกลมเดี่ยว ด้วยเหตุนี้เรามักจะใช้เครื่องมือกลอย่างง่าย ๆ ช่วยกวนให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน

3.2 การหาความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด

จากการทดลองของ WILLIAMS-GARDNER (1971) พบว่า ความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบดที่เหมาะสมนั้นจะต้องสูงอย่างน้อย 1.5 เท่าของความสูงของเบดตอนเริ่มต้น ดังสมการ

$$H = 1.5 H_0 \quad (3.11)$$

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) คอลัมน์

- ท่ออะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร เนื่องจากมีความแข็งแรงและใสทำให้สามารถมองเห็นวัสดุอบที่อยู่ภายใน ทำให้สะดวกต่อการศึกษาระบบการทำงานของเครื่อง

- ท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร เนื่องจากมีราคาที่ไม่สูงนักอีกทั้งยังไม่เกิดการปนเปื้อนต่อวัสดุอบอีกด้วย

2) หน้าแปลน

- หน้าแปลนอะคริลิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร 2 อัน

- หน้าแปลนพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร 2 อัน

3) ท่อสามทาง

- ท่อสามทางลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร เป็น 10 เซนติเมตร 1

อัน

4) ขี้ออบ

- ขี้ออบ 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร 1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ท่อสำหรับบรรจุวัสดุ

6) โครงเหล็ก

- โครงเหล็กที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดประกอบขึ้นจากเหล็กที่เหลื่อมขนาด 2.54 เซนติเมตร ติดตั้งล๊อตที่ขา 4 ขาเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ขนาดของโครงเหล็กกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 160 เซนติเมตร

7) เครื่องเป่าลมและอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เครื่องเป่าลม

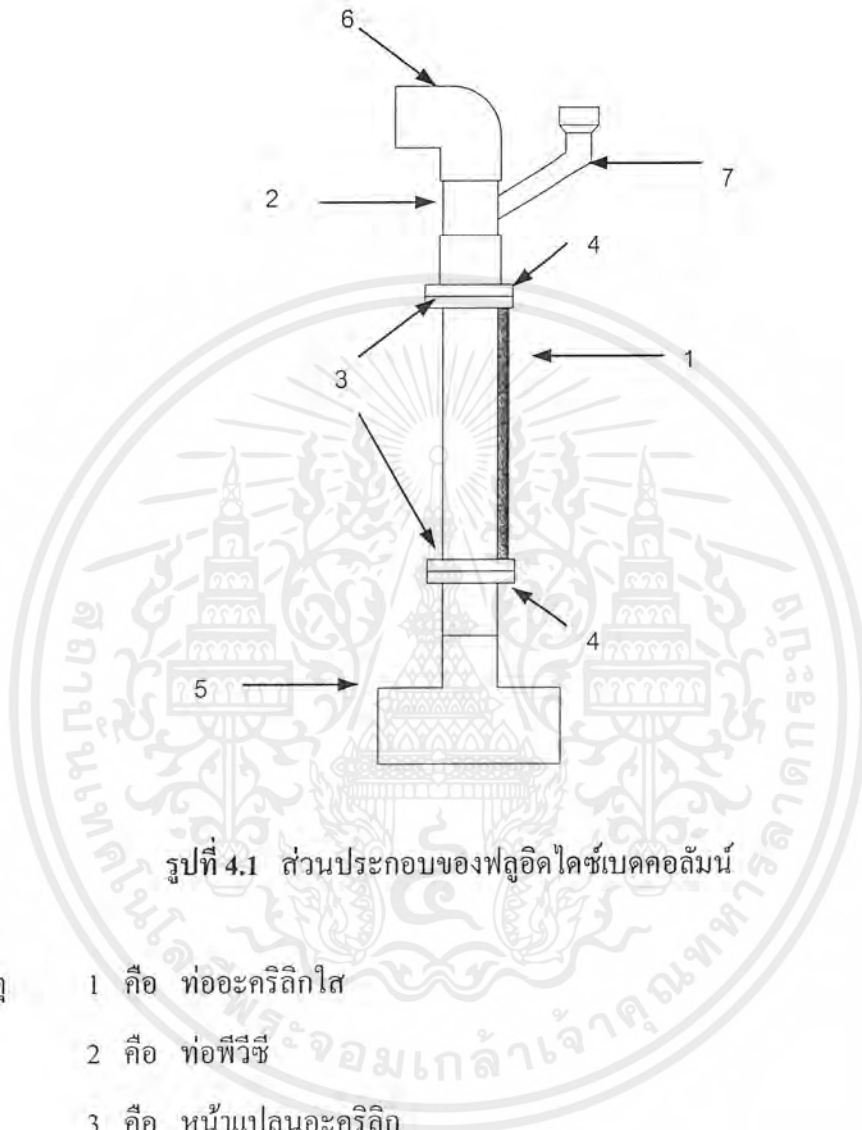
- แบบ : AV-B110
- กำลังงาน : 0.75 กิโลวัตต์
- ความเร็วรอบ : 2800 รอบต่อนาที
- ความต่างศักย์ : 380 โวลต์
- ความถี่ : 50 เฮิร์ตซ์
- กระแส : 1.8 แอมแปร์

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์

- รุ่น : L100-007 NFC
- กำลังงาน : 0.75 กิโลวัตต์

ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

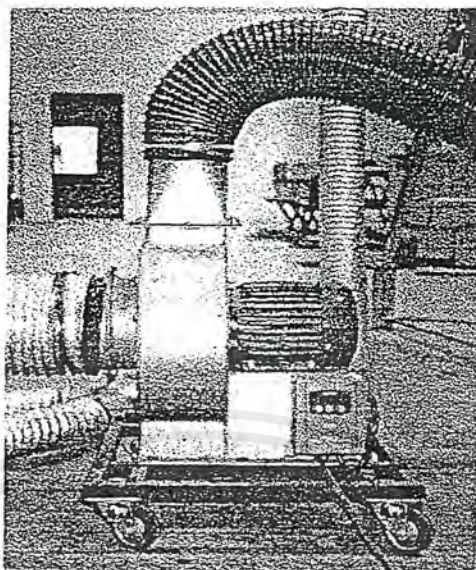


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของฟลูอิดไดซ์เบดคอลลัมน์

หมายเหตุ

- 1 คือ ท่ออะคริลิกใส
- 2 คือ ท่อพีวีซี
- 3 คือ หน้าแปลนอะคริลิก
- 4 คือ หน้าแปลนพีวีซี
- 5 คือ ท่อสามทางลดขนาด
- 6 คือ ข้องอ 90 องศา
- 7 คือ ท่อสำหรับบรรจุวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เครื่องเป่าอากาศและอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์

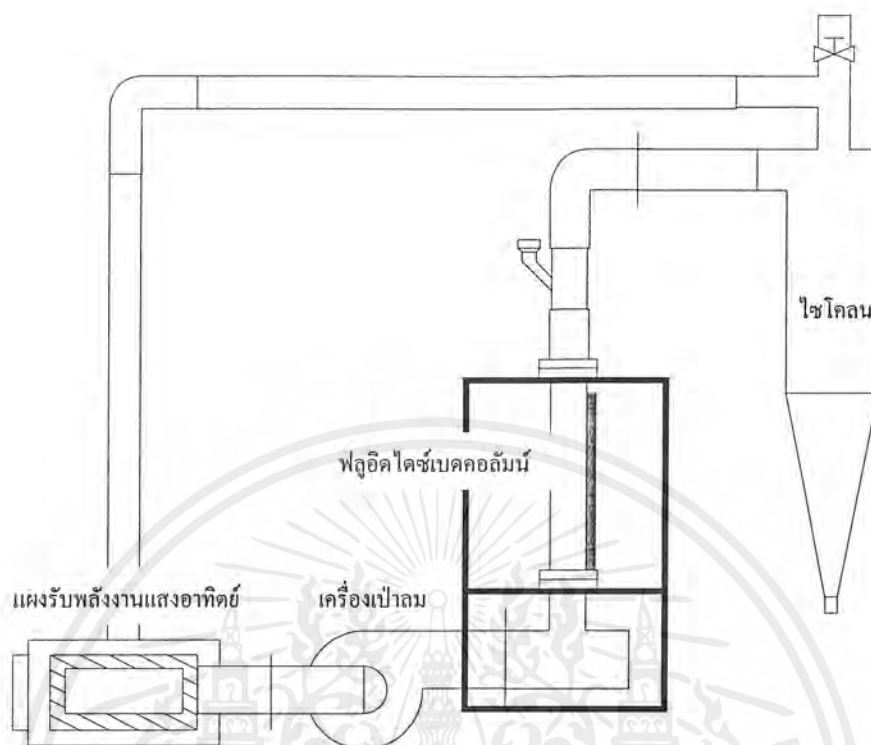
4.2 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

1) การสร้างส่วนที่เชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลม โดยการนำท่อสามทางแบบลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร เป็น 10 เซนติเมตร แล้วต่อเข้ากับหน้าแปลนพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร โดยใช้น้ำยาเชื่อมชนิดรับแรงดัน

2) การสร้างคอลัมน์ฟลูอิดไดซ์เบด โดยนำท่ออะคริลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร มาต่อเข้ากับหน้าแปลนอะคริลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ที่ด้านหัวและท้ายรวม 2 อัน

3) การสร้างส่วนที่เชื่อมต่อกับไซโคลนและส่วนที่รับวัสดุอบ โดยใช้ข้องอ 90 องศาเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มาต่อเข้ากับท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ด้วยน้ำยาเชื่อมชนิดรับแรงดัน จากนั้นนำปลายอีกด้านหนึ่งของท่อพีวีซีมาต่อเข้ากับข้อต่อหน้าแปลนพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ด้วยน้ำยาเชื่อมชนิดรับแรงดัน

4) ประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันดังรูปที่ 4.1 แล้วเชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลม โดยใช้สกรูชนิดเป็นตัวยึด ต่อแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าอีกด้านหนึ่งของเครื่องเป่าลม แล้วต่อปลายคอลัมน์ฟลูอิดไดซ์เบดส่วนบนเข้ากับไซโคลน โดยใช้สกรูชนิดเป็นตัวยึดเช่นเดียวกัน อุปกรณ์ดังกล่าวทั้งหมดติดตั้งและยึดไว้กับโครงเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด

4.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่อาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) แผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะเก็บสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่ไหลผ่าน
- 2) เครื่องเป่าลม จะเป่าลมให้ไหลผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ลมที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้น กลายเป็นลมร้อน
- 3) ลมร้อนจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์ฟลูอิด ไคซ์เบดที่บรรจุวัสดุอบอยู่ ทำให้วัสดุเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชัน ซึ่งพื้นที่ผิวของวัสดุในการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว

4) วัสดุที่สูญเสียความชื้นจะมีน้ำหนักต่อปริมาตร (น้ำหนักต่อพื้นที่ผิว) ลดลง จึงหลุดลอยออกจากคอลัมน์ไปยังไซโคลนได้ก่อนวัสดุที่มีความชื้นมากกว่า จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถแยกวัสดุที่มีความชื้นที่แตกต่างกันได้

5) เมื่อวัสดุถูกพัดเข้าสู่ไซโคลน ไซโคลนจะทำหน้าที่แยกวัสดุกับลมร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ลมร้อนที่ผ่านการใช้งานแล้ว บางส่วนจะถูกนำกลับมาใช้อีก โดยการผ่านเข้าสู่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อีกครั้งเพื่อผสมกับกับอากาศภายนอกที่เข้ามาใหม่ แล้วนำมาใช้อบแห้งวัสดุต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- การทดลองหาปริมาณสูงสุดของวัสดุอบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ทำการอบแห้ง
- การทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งสุกของเมล็ดวัสดุอบ
- การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังการอบกับความเร็วมที่ใช้ในการอบแห้ง

5.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด
2. เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิ
3. เครื่องวัดความเร็วม
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เมล็ดวัสดุอบ ได้แก่ ข้าวโพด, ถั่วเขียว, ถั่วแดง และถั่วดำ

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

5.2.1 การทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบในเครื่องอบแห้ง

- 1) ปรับค่าความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมให้มีค่าสูงสุด (50 เฮิร์ตซ์)* โดยไม่ได้ต่อเครื่องเป่าลมเข้ากับแผงรับแสงอาทิตย์
- 2) บรรจุเมล็ดวัสดุอบตอนเริ่มต้นจำนวน 50 กรัม
- 3) สังเกตเมล็ดวัสดุอบที่ถูกบรรจุไว้นั้นว่าเกิดการหลุดลอยขึ้นหรือไม่ ถ้าเกิดการหลุดลอยขึ้นให้ทำการบรรจุเมล็ดวัสดุเพิ่มขึ้นอีกทีละ 50 กรัม จนกระทั่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเกิดการหลุดลอยขึ้น
- 4) ทำการทดลองเมล็ดวัสดุอบชนิดเดียวกันซ้ำอีก 3 ครั้ง
- 5) เปลี่ยนชนิดของเมล็ดวัสดุอบแล้วทำการทดลองซ้ำใหม่ทั้งหมด
- 6) นำข้อมูลที่บ้านทักได้ มาใช้เป็นฐานข้อมูลการทดลองต่อไป

5.2.2 การทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งสุกของเมล็ดวัสดุอบ

- 1) แบ่งเมล็ดวัสดุอบเป็นสองส่วนเท่ากัน โดยส่วนหนึ่งนำไปทำการทดลองกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และอีกส่วนหนึ่งนำไปทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดวัสดุอบ
- 2) นำเมล็ดวัสดุที่แบ่งไว้ส่วนหนึ่งไปเข้าตู้อบไฟฟ้าทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 16 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISTA [10]
- 3) นำไปชั่งน้ำหนัก
- 4) นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณหาน้ำหนักแห้งสุกของเมล็ดวัสดุอบ ** ที่ใช้ในการทดลองกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 5) บันทึกข้อมูลที่ได้

5.2.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังการอบกับความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ในการอบแห้ง

- 1) บรรจุเมล็ดวัสดุอบจำนวนสูงสุดที่ทดลองได้ในตอนแรก
- 2) ตั้งค่าความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมเริ่มต้นให้มีค่าสูงสุด (50 เฮิร์ตซ์)*
- 3) จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องเป่าลมจนกระทั่งเกิดการหลุดลอยของเมล็ดวัสดุอบจนหมดจากเครื่องอบแห้ง พร้อมทั้งทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของลมร้อนทั้งก่อนอบและหลังจากทำการอบ
- 4) บันทึกข้อมูลที่ได้
- 5) นำเมล็ดวัสดุอบที่หลุดออกมาไปทำการชั่งน้ำหนัก
- 6) นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ***
- 7) ทำการทดลองซ้ำ โดยลดความเร็วของมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมลงทีละ 2 เฮิร์ตซ์จนกระทั่งถึงความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม ที่ไม่สามารถทำให้เมล็ดวัสดุอบเกิดการหลุดลอยภายในระยะเวลา 40 นาทีได้
- 8) ทำการทดลองเมล็ดวัสดุอบชนิดเดียวกันซ้ำอีก 3 ครั้ง
- 9) เปลี่ยนชนิดของเมล็ดวัสดุอบแล้วทำการทดลองใหม่
- 10) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงของเมล็ดวัสดุอบกับเวลาและความเร็วมอเตอร์ที่ใช้
- 11) สรุปผลการทดลอง

* ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าอากาศกับความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ในการอบดูได้จากภาคผนวก ง

** ตัวอย่างการคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาน้ำหนักแห้งสุทธิของเมล็ดวัสดุอบดูได้จากภาคผนวก ก

*** ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นดูได้จากภาคผนวก ก

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบ

จากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ข จะได้ความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบดังนี้

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบแบบไม่ต่อเนื่อง

ชนิดครั้งที่	ข้าวโพด (กรัม)	ถั่วเขียว (กรัม)	ถั่วแดง (กรัม)	ถั่วดำ (กรัม)
1	526.14	425.62	424.92	424.17
2	525.64	425.69	455.48	425.96
3	530.73	425.93	455.29	425.81
4	528.18	425.63	456.84	426.80
เฉลี่ย	527.67	425.72	448.13	425.69

จะเห็นว่าสามารถป้อนข้าวโพดได้สูงที่สุด เนื่องจากเมื่อเทียบความหนาแน่นต่อเมล็ดแล้ว ข้าวโพดมีความหนาแน่นต่อเมล็ดน้อยที่สุด ทำให้แรงลอบตัวต่อเมล็ดที่เกิดจากเครื่องเป่าลมมีค่าสูง จึงสามารถป้อนข้าวโพดได้มากกว่าเมล็ดวัสดุอบชนิดอื่น

6.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของเมล็ดวัสดุอบ

จากข้อมูลการทดลองซึ่งแสดงไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ข สามารถคำนวณหาน้ำหนักแห้งสุทธิสำหรับเมล็ดวัสดุอบแต่ละชนิด ดังตารางต่อไปนี้ ทั้งนี้ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักแห้งสุทธิได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของข้าวโพด

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตู้อบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตู้อบ (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (กรัม)
1	538.21	365.52	538.55	365.75
2	514.23	343.74	514.50	343.92
3	540.13	366.84	540.21	366.90
4	538.72	363.67	538.67	363.64

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วเขียว

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตู้อบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตู้อบ (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (กรัม)
1	426.03	330.96	426.15	331.06
2	425.73	314.30	426.85	314.39
3	428.31	339.43	428.40	339.50
4	426.27	330.24	426.23	330.21

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วดำ

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตูบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตูบ (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (กรัม)
1	424.50	227.60	424.43	227.55
2	424.71	234.52	424.63	234.48
3	428.81	227.02	428.78	227.01
4	425.51	233.52	425.27	233.39

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองหาน้ำหนักแห้งสุทธิของถั่วแดง

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตูบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตูบ (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุทธิ (กรัม)
1	417.70	259.42	417.85	259.52
2	445.21	345.08	445.18	345.05
3	450.47	335.04	450.30	334.92
4	450.51	338.64	450.45	275.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

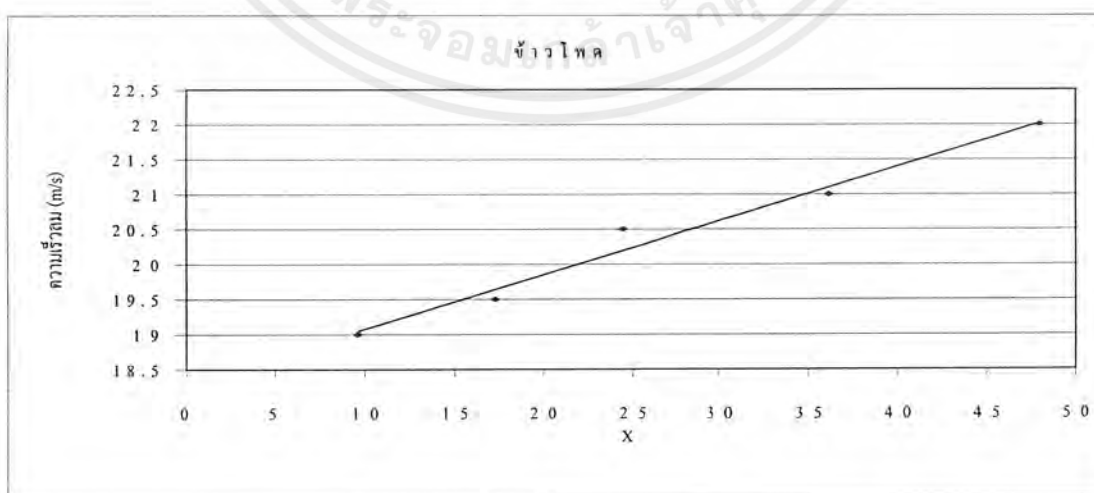
6.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้ หลังการอบกับความเร็วมที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ข จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบแต่ละชนิดกับความเร็วมที่ใช้ ดังตารางและกราฟความสัมพันธ์ต่อไปนี ทั้งนี้ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดวัสดุอบแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว โทคกับความเร็วมที่ใช้

ความเร็วม (เมตร/วินาที)	X
220	48.01
21.0	36.13
20.5	24.43
19.5	17.28
19.0	9.63

หมายเหตุ X = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง)



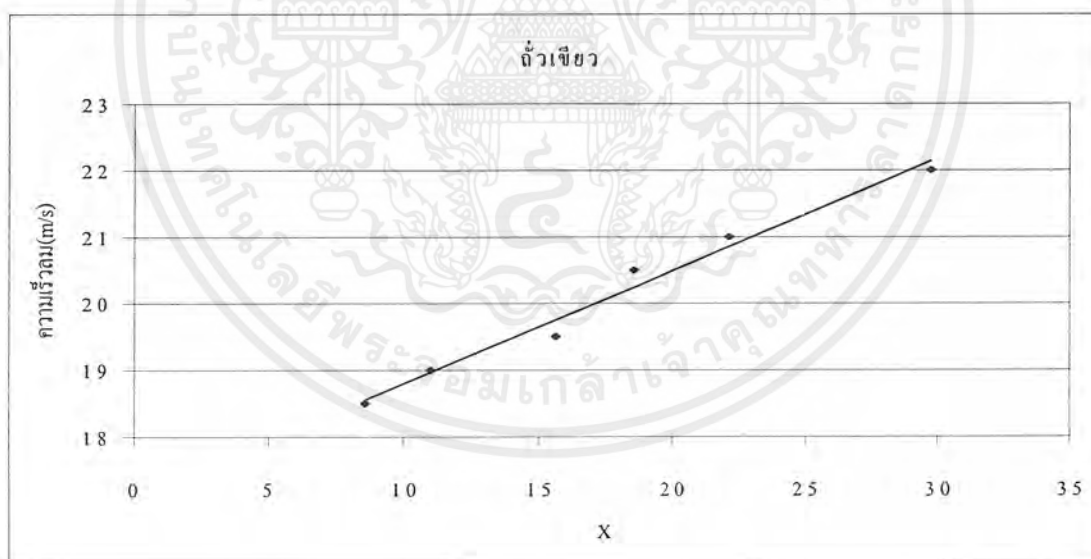
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว โทคกับความเร็วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวกับความเร็วลมที่ใช้

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	X
22.0	29.76
21.0	22.17
20.5	18.52
19.5	15.65
19.0	11.02
18.5	8.59

หมายเหตุ $X =$ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดถั่วสดดูอบ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง)



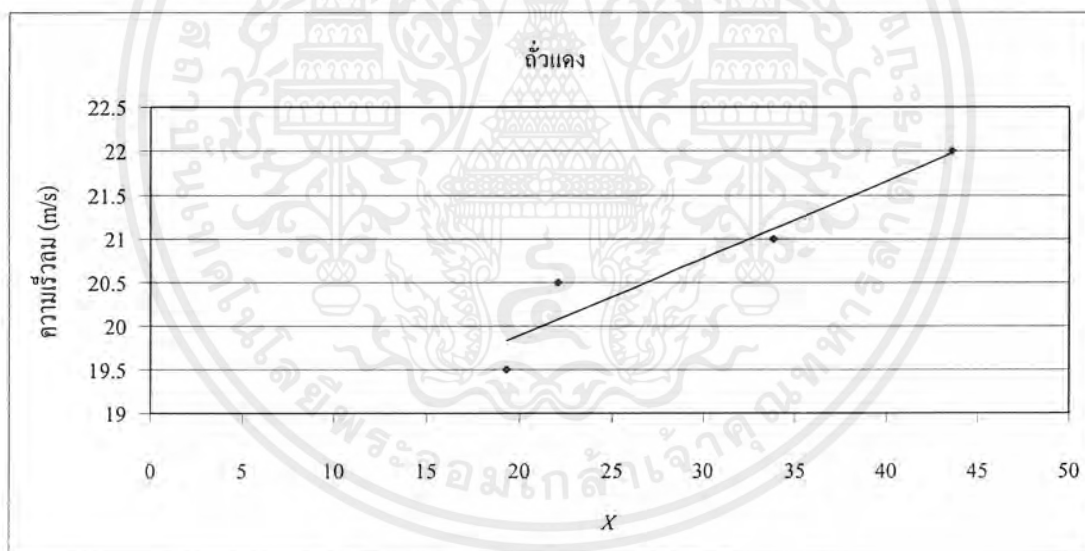
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วแดงกับความเร็วลมที่ใช้

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	X
22.0	43.56
21.0	33.80
20.5	22.05
19.5	19.30

หมายเหตุ X = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดควัดคอบ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วแดงกับความเร็วลม

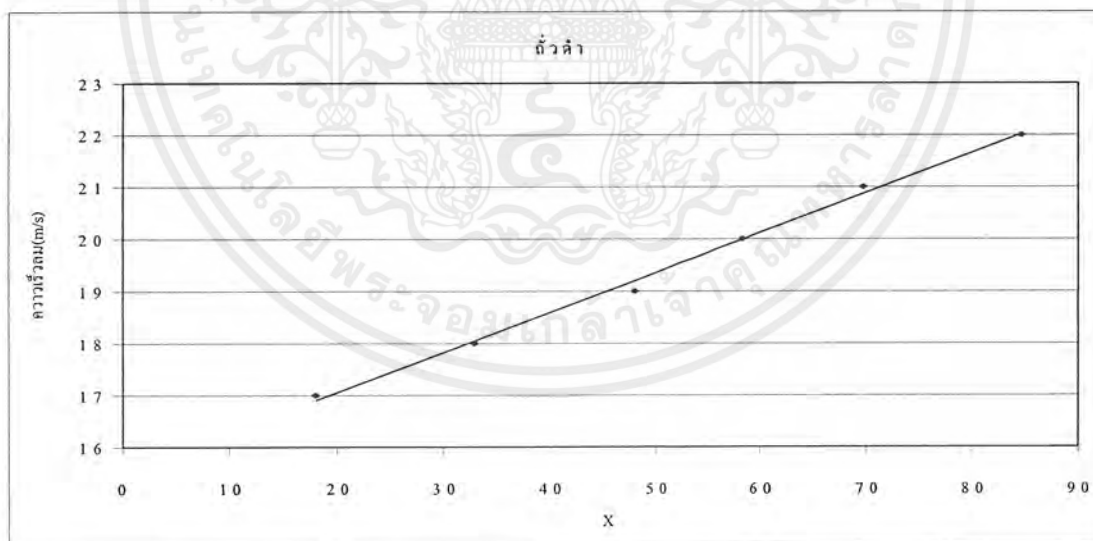
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วดำกับความเร็วลมที่ใช้

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	X
22.0	84.63
21.0	69.66
20.0	58.24
19.0	47.90
18.0	32.97
17.0	18.03

หมายเหตุ

$X =$ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดควิสคอบ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง)



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วดำกับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟดังรูปที่ 6.1, 6.2, 6.3 และ 6.4 จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ได้จะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แสดงว่าอัตราการอบแห้งมีค่าค่อนข้างคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับความสามารถในการนำไปใช้งานของเครื่องอบแห้ง

1. ในการทดลองเกี่ยวกับการหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบแห้ง พบว่า ถั่วเขียว, ถั่วดำ และถั่วคั่ว จะมีค่าความสามารถสูงสุดในการป้อนที่ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 425 – 456 กรัมต่อครั้ง โดยประมาณ ส่วนข้าวโพดมีค่าความสามารถสูงสุดในการป้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 526 – 530 กรัมต่อครั้ง โดยประมาณ

2. เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ที่ได้หลังจากที่ผ่านการอบแห้ง พบว่าภายในระยะเวลา 40 นาที การอบแห้งถั่วแดงและถั่วดำจะมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด คือ หลังจากที่ได้สิ้นสุดกระบวนการอบแห้งแล้วก็ยังมีค่าความชื้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการอบแห้งข้าวโพดและถั่วเขียวจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า คือ สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นให้ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ได้

3. ผลกระทบจากความดันลดที่มีต่อการป้อนวัสดุอบแห้ง เมื่อพิจารณาค่าความดันลด พบว่าค่าความดันลดที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยมาก คือ มีค่าที่ประมาณ 3 – 8 มิลลิเมตรปรอท โดยในการอบแห้งข้าวโพดจะมีค่าความดันลดสูงที่สุด คือ ประมาณ 7 – 8 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งยังคงเป็นค่าที่น้อยๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความดันลดไม่มีผลต่อการป้อนเมล็ดวัสดุอบแห้ง ดังนั้นข้อจำกัดในการที่จะป้อนเมล็ดวัสดุอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องเป่าลมเพียงอย่างเดียว

4. เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แม้จะน้อยกว่า 40 นาที ก็ยังสามารถลดความชื้นได้เป็นที่น่าพอใจดังที่ได้ทำการสรุปไว้ในข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากผลการทดลอง ได้ความสัมพันธ์ของความเร็วลมกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังนี้ เมื่อความเร็วลมต่ำ เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะมีค่าน้อย หรือ ลดความชื้นได้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อความเร็วลมต่ำ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จะมีค่าน้อยลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า u เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ X

6.ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์

6.1 เมื่อใช้ลมร้อนเป่าเมล็ดธัญพืชด้วยความเร็วลมที่เหมาะสมจะทำให้เมล็ดธัญพืชเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

6.2 เมล็ดธัญพืชจะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันได้เมื่อความเร็วลมมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า u_{mf} แต่มีค่าน้อยกว่า u_c โดยเมื่อลมร้อนมีความเร็วลมเท่ากับ u_{mf} เมล็ดธัญพืชจะเริ่มเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันและเมื่อลมร้อนมีความเร็วลมเท่ากับหรือมากกว่า u_c เมล็ดธัญพืชจะเกิดการหลุดลอย

6.3 ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน ความดันสถของลม (เกิดเนื่องจากเมล็ดธัญพืชในคอลัมน์เป็นตัวกีดขวางทางผ่านของลม) จะมีค่าน้อยจนถือว่าคงที่ได้

6.4 เมื่อเราป้อนเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้น ความเร็วลมที่ใช้ต้องมีค่าน้อยกว่า u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้นแต่ต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า u_{mf} ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นสุดท้าย

เหตุผลที่ความเร็วลมที่ใช้ต้องมีค่าน้อยกว่า u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้นคือ ถ้าความเร็วลมที่ใช้มีค่ามากกว่า u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้น เมล็ดธัญพืชจะหลุดลอยและไม่เกิดการอบแห้ง (u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้น กำหนดให้เท่ากับ 22 เมตร/วินาทีสำหรับทุกการทดลองเนื่องจากเป็นความเร็วลมสูงสุดที่เครื่องเป่าลมสามารถเป่าได้)

และเหตุผลที่ความเร็วลมที่ใช้ต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า u_{mf} ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นสุดท้ายคือ ถ้าความเร็วลมที่ใช้มีค่าน้อยกว่า u_{mf} ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นสุดท้าย จะเกิดปรากฏการณ์ ฟลูอิดไดเซชันไปเรื่อยๆ แต่ไม่เกิดการหลุดลอย เนื่องจากไม่สามารถลดความชื้นได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเร็วลมที่ใช้มีค่าน้อยกว่า u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้นแต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นสุดท้าย จะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันทำให้ความชื้นของเมล็ดธัญพืชลดลง เมื่อความชื้นลดลง น้ำหนักของเมล็ดธัญพืชจะเบาลง ทำให้ u_c ของเมล็ดธัญพืชมีค่าลดลงเมล็ดธัญพืชจะมีความชื้นและ u_c ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความเร็วลมที่เราตั้งเอาไว้ เมล็ดธัญพืชก็จะเกิดการหลุดลอย

ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดหนัก 358.55 กรัม

u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นเริ่มต้น 47.25 เปอร์เซ็นต์ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ประมาณ 22 เมตร/วินาที

u_c ของเมล็ดธัญพืชที่มีความชื้นสุดท้าย 8.69 เปอร์เซ็นต์ (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ประมาณ 19 เมตร/วินาที

ความเร็วลมที่จะใช้ในการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง 19-22 เมตร/วินาที ถ้าใช้ความเร็วลม 22 เมตร/วินาที ข้าวโพดมีความชื้นและ u_c ลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งมี u_c ประมาณ 20.5 เมตร/วินาที (ต่ำกว่า 22 เมตร/วินาที) ข้าวโพดจะเกิดการหลุดลอย

8. u_c ของเมล็ดธัญพืชที่ใช้ในการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้

ข้าวโพด (หนัก 514 - 540 กรัม, ความชื้น 8 - 12%) จะมี u_c ประมาณ 19 เมตร/วินาที

ถั่วเขียว (หนัก 426 - 428 กรัม, ความชื้น 5 - 9%) จะมี u_c ประมาณ 18.5 เมตร/วินาที

ถั่วแดง (หนัก 417 - 450 กรัม, ความชื้น 6 - 18%) จะมี u_c ประมาณ 20 เมตร/วินาที

ถั่วดำ (หนัก 424 - 428 กรัม, ความชื้น 15 - 24%) จะมี u_c ประมาณ 17 เมตร/วินาที

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ข้อจำกัดและเหตุผลในการที่จะต้องทำการทดลอง

1. ข้อจำกัดในการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุคอบในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากในระหว่างการเป่าลมเพื่อสังเกตการหลุดลอยของเมล็ดวัสดุคอบนั้น ถึงแม้ว่าจะยังไม่มี การต่อผ่านลมร้อนเข้ากับแหล่งให้พลังงานความร้อนก็ตาม แต่กระแสลมที่ผ่านเมล็ดวัสดุคอบก็จะทำให้ เมล็ดวัสดุคอบนั้นมีค่าความชื้นลดน้อยลงไป ส่งผลให้ค่าความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุคอบใน เครื่องอบแห้งที่ทำการทดลองได้มีค่ามากกว่าความเป็นจริง

สาเหตุที่จำเป็นที่จะต้องมีการทดลองนี้ เพื่อจะได้นำค่าความสามารถสูงสุดในการป้อน เมล็ดวัสดุคอบในเครื่องอบแห้งไปทำการป้อนในเครื่องอบแห้งทุกครั้งที่ทำทดลองในเรื่องการหาหา ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดวัสดุคอบที่ได้หลังจากที่ทำการอบกับเวลาและความเร็วลมที่ใช้ ในการอบแห้ง

2. ข้อจำกัดในการทดลองหาค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดวัสดุคอบเนื่องจากตามมาตรฐาน ของทาง ISTA ได้ระบุไว้ว่าในการที่จะทำการหาน้ำหนักแห้งของเมล็ดพืชจะต้องทำการอบเมล็ดพืชสด นั้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลานาน 16 ชั่วโมง [10] ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะนำเมล็ดพืช ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วมาอบได้ เนื่องจากจะทำให้เมล็ดพืชเกิดการไหม้ได้ จึงจำเป็นที่จะต้อง ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของเมล็ดพืชให้ใกล้เคียงกับเมล็ดพืชที่ใช้ทำการอบแทนแล้วนำไปคำนวณ เปรียบเทียบ

สาเหตุที่จำเป็นที่จะต้องมีการทดลองนี้ เพื่อต้องการที่จะทราบน้ำหนักแห้งสุทธิของ เมล็ดแห้งเพื่อที่จะได้นำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่อไป

3. ข้อจำกัดในการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังจากที่ทำการอบกับเวลาและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง ในการลดความเร็วลมของเครื่องเป่าลมในแต่ละครั้ง จะใช้เมล็ดวัสดุอบที่ผ่านการอบที่ใช้ความเร็วรอบของเครื่องเป่าลมในช่วงความเร็วรอบสูง มาใช้ในการอบแห้งอีกครั้ง ไม่ได้นำเมล็ดวัสดุอบใหม่มาอบซึ่งส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ถูกต้องนัก

สาเหตุที่จำเป็นที่จะต้องมีการทดลองนี้ เพื่อเป็นการหาซึ่งวิธีในการนำไปใช้งานของเครื่องอบแห้งเพื่อที่จะให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดทั้งในแง่ของความชื้นสุดท้ายที่ได้หลังจากทำการอบและเวลาที่ใช้ในการอบ

7.2.2 ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดพร้อมทั้งแนวทางการแก้ไข

1. ข้อจำกัดในเรื่องระบบท่อที่ใช้ในการลำเลียงเมล็ดวัสดุอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วออกจากฟลูอิดไดซ์เบดคอคัลมันน์ ซึ่งแต่เดิมที่ใช้ท่อพอยด์ตัวหนอนั้น พบว่ารอยหยักภายในท่อเป็นอุปสรรคต่อการลำเลียงเมล็ดวัสดุอบทำให้เกิดการติดค้างภายในท่อ

แนวทางการแก้ไข ได้ทำการเปลี่ยนแปลงท่อที่ใช้ในการลำเลียงเมล็ดวัสดุอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจากท่อพอยด์ มาเป็นท่อผ้าใบซึ่งพบว่าจะสามารถที่จะช่วยในการลดปัญหาเกี่ยวกับการติดค้างของเมล็ดวัสดุภายในท่อได้ แต่ก็ต้องพบกับปัญหาในเรื่องของความดันลด ที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากท่อผ้าใบนั้นจะมีการพับตัวอยู่ตลอดเวลา

2. ข้อจำกัดในเรื่องแหล่งที่ให้พลังงานความร้อนจากที่ทำการทดลองซึ่งทำการเลือกแหล่งให้พลังงานความร้อน โดยได้อาศัยแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งนั้นจะพบว่าหากวันใดมีแสงแดดที่ไม่พอเพียงก็จะเป็นอุปสรรคต่อการทำงานได้

แนวทางการแก้ไข ควรมีแหล่งให้พลังงานความร้อนประเภทอื่นสำรองไว้ใช้งาน ในยามที่มีแสงแดดไม่พอเพียง เช่น เครื่องทำความร้อนที่ใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้า เป็นต้น

3. ข้อจำกัดของอุปกรณ์ช่วยในการคัดแยกเมล็ดวัสดุอบออกจากลมร้อน (ไซโคลน) เนื่องปากทางเข้าทางด้านบนของไซโคลนมีลักษณะที่เป็นแนวราบขนานไปกับแนวระดับทำให้จะต้องใช้ความเร็วลมที่มากกว่าปกติในการที่จะพามเมล็ดวัสดุอบที่ผ่านการอบแห้งแล้วเข้าสู่ไซโคลนเนื่องจากลักษณะที่ขนานกับแนวระดับของปากทางเข้าทางด้านบนของไซโคลนนี้นั้นจะง่ายต่อการติดค้างของเมล็ดวัสดุอบที่บริเวณทางเข้า

แนวทางการแก้ไข ควรที่จะมีการปรับปรุงบริเวณปากทางเข้าทางด้านบนของไซโคลนให้มีลักษณะที่ลาดเอียงลงอันซึ่งจะช่วยในการพามเมล็ดวัสดุอบเข้าสู่ไซโคลนได้ง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1975. **Chemical Engineering**, 3rd ed. Singapore: Pergamon Press.
2. Dennis, R.H. and Daryl, B.L. 1988. **Handbook of Food Engineering**, United States of America : Marcel Dekker.
3. เรียวโซ โทเอ. 2527. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 3. แปลและเรียบเรียงโดย วิรัตน์ ตันตะพานิชกุล. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
4. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดไดเซชัน, พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ภัทรา ปรงัญญะพฤกษ์, สุวิชา สืบจากดี, และ หนึ่งฤทัย ไชยสิทธิ์. 2541. แผลงรับแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องอบแห้งธัญพืช, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาค วิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. เจษฎา โอทอง, วุฒิพงษ์ โสมรักษ์, และ อัยฎา บุญศรีรัตน์. 2541. ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. พิสมัย ศรีสุขประเสริฐ. 2537. การผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่, รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
8. อารมณ ศรีพิจิตต์. 2539. วิทยาการเมล็ดพันธุ์เบื้องต้น, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2535. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : สำนักพิมพ์กลุ่มหนังสือเกษตร
10. นงลักษณ์ ประกอบบุญ, รศ. 2539. การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์, ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 184 ถึง 194.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเหมาะสำหรับใช้ในการอบแห้งเมล็ดธัญพืชที่มีลักษณะเป็นทรงกลมหรือคล้ายทรงกลม ดังนั้นในการออกแบบ จะใช้คุณสมบัติของกระสุนปืนลมพลาสติกทรงกลมเป็นวัสดุพื้นฐาน

ข้อมูลในการคำนวณเมื่อพลาสติกกระสุนปืนลมทรงกลมเป็นวัสดุอบแห้ง

$$d_p = 0.006 \text{ เมตร}$$

$$\text{อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า} = 43.58 \text{ องศาเซลเซียส}$$

เปิดตารางคุณสมบัติของลมจะได้

$$\rho_f = 1.115 \text{ กิโลกรัม/ตารางเมตร}$$

$$\mu_f = 1.755 \times 10^{-5} \text{ กิโลกรัม/เมตร \cdot วินาที}$$

$$\text{กำหนดให้ } u_c = 22 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$H_0 = 0.54 \text{ เมตร}$$

$$\varepsilon_0 = 0.45$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.55$$

$$g = 9.8 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

$$D = 0.1 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I. การคำนวณหาความหนาแน่นของวัสดุอบ (ρ_s) ที่ความสูงของเบดเริ่มต้น (H_0) เท่ากับ 0.54 เมตร

สามารถหาได้จากสมการ (3.8), (3.9) หรือ (3.10) ขึ้นอยู่กับค่า Re_p

$$u_t = g(\rho_s - \rho_f) d_p^2 / 18\mu_f \quad \text{ถ้า } (d_p u_t \rho_f / \mu_f) = Re_p < 2 \quad (3.8)$$

$$u_t = [(4/255)(\rho_s - \rho_f)^2 g^2 / \mu_f \rho_f]^{1/3} d_p \quad \text{ถ้า } 2 < Re_p < 500 \quad (3.9)$$

$$u_t = [3g(\rho_s - \rho_f) d_p / \rho_f]^{1/2} \quad \text{ถ้า } Re_p > 500 \quad (3.10)$$

หา Re_p จาก

$$\begin{aligned} Re_p &= \frac{d_p u_t \rho_f}{\mu_f} \\ &= \frac{0.006 \times 22 \times 1.115}{1.755 \times 10^{-5}} \\ &= 4959 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $Re_p > 500$ ดังนั้น

$$u_t = [3g(\rho_s - \rho_f) d_p / \rho_f]^{1/2}$$

$$u_t^2 = \frac{3g(\rho_s - \rho_f) d_p}{\rho_f}$$

$$\rho_s = \frac{u_t^2 \rho_f}{3g d_p} + \rho_f$$

$$\rho_s = \frac{22^2 \times 1.15}{3 \times 9.8 \times 0.006} + 1.115$$

$$= 3060 \text{ กรัม/ตารางเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาค่าความดันลด

สามารถหาได้จากสมการ (3.3)

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= (\rho_s - \rho_f)(1 - \varepsilon_0) H_0 \times g \\
 &= (3060 - 1.115) (1 - 0.45) (0.54) (9.8) \\
 &= 8.903 \times 10^3 \text{ นิวตัน/ตารางเมตร}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

3. หาน้ำหนักของวัสดุอบแห้งที่มีความสูงของเบดเริ่มต้น (H_0) เท่ากับ 0.54 เมตร

$$\begin{aligned}
 W &= \Delta P \cdot A/g \\
 &= \Delta P \cdot \pi D^2/4g \\
 &= (8.903 \times 10^3) \cdot (3.14 \times 0.1^2)/(4 \times 9.8) \\
 &= 7.13 \text{ กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

4. หาคความเร็วของไหลขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (u_{mf})

จากสมการ (3.5)

$$\begin{aligned}
 \frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3} \left[\frac{D_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})(D_p U_{mf} \rho_g)}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3 \mu_r} &= \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g_c}{\mu_r^2} \\
 \frac{1.75}{(0.55)^3(1)} \left[\frac{0.006 \times u_{mf} \times 1.115}{1.755 \times 10^{-5}} \right]^2 + \frac{150(1-0.55)(0.006)(1.115) u_{mf}}{(1.755 \times 10^{-5})(0.55)^3(1)} &= \frac{(0.006)^3(1.115)(3060-1.115)(9.8)}{(1.755 \times 10^{-5})^2} \\
 u_{mf} &\approx 3.75 \text{ เมตร/วินาที}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของลมร้อน เมื่อออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางของฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์มีค่าเท่ากับ 0.10 เมตร

จากความสัมพันธ์ $D = (4G/60\rho_r\pi V_r)^{0.5}$

โดย D คือความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางกลางน้อยที่สุดที่ใช้ในการออกแบบ

G คืออัตราการไหลของของอากาศร้อน (กิโลกรัม/วินาที)

ρ_r คือค่าความหนาแน่นของอากาศร้อน

V_r คือค่าความเร็วในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่าประมาณ 1.5 เท่า

ของค่า v_0

ค่าที่ใช้

$$D = 0.10 \text{ เมตร}$$

$$\rho_r = 1.115 \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$V_r = 1.5(3.75) = 5.625 \text{ เมตร/วินาที}$$

จะได้

$$0.1 = 4 \times G / (60 \times 1.115 \times \pi \times 5.625)$$

$$G = 2.65 \text{ กิโลกรัม/วินาที}$$

ดังนั้นสามารถที่จะกล่าวได้ว่า อัตราการไหลของลมร้อนที่ 2.65 กิโลกรัม/วินาที เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ข.1 ผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดวัสดุอบในเครื่องอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ชนิดเมล็ดข้าวสาลี

	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4	
	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี
	50.48	เกิด	52.48	เกิด	50.89	เกิด	50.44	เกิด
	101.98	เกิด	100.98	เกิด	101.36	เกิด	101.11	เกิด
	152.68	เกิด	150.68	เกิด	150.81	เกิด	149.81	เกิด
	199.26	เกิด	199.89	เกิด	200.02	เกิด	200.75	เกิด
	248.12	เกิด	249.96	เกิด	249.63	เกิด	247.62	เกิด
	303.15	เกิด	300.85	เกิด	300.89	เกิด	307.09	เกิด
	356.89	เกิด	353.09	เกิด	350.89	เกิด	348.17	เกิด
	400.26	เกิด	400.62	เกิด	400.77	เกิด	399.77	เกิด
	442.98	เกิด	440.98	เกิด	443.89	เกิด	448.89	เกิด
	501.39	เกิด	500.39	เกิด	504.39	เกิด	502.19	เกิด
	550.89	ไม่เกิด	551.89	ไม่เกิด	557.06	ไม่เกิด	554.16	ไม่เกิด
ความสามารถสูงสุด ในการบ่อนประมาณ	526.14		525.64		530.73		528.18	

ตารางที่ ข.2 ชนิดเมล็ดข้าวสาลี ตัวเมีย

	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4	
	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี	น้ำหนัก เมล็ดข้าวสาลี (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวสาลี
	50.48	เกิด	50.8	เกิด	49.86	เกิด	51.76	เกิด
	100.98	เกิด	102.98	เกิด	104.98	เกิด	100.48	เกิด
	150.68	เกิด	153.68	เกิด	150.37	เกิด	152.37	เกิด
	200.26	เกิด	200.26	เกิด	205.26	เกิด	201.38	เกิด
	250.12	เกิด	255.12	เกิด	249.1	เกิด	250.13	เกิด
	300.15	เกิด	298.15	เกิด	307.05	เกิด	304.54	เกิด
	350.89	เกิด	349.89	เกิด	350.89	เกิด	353.23	เกิด
	400.26	เกิด	403.46	เกิด	398.87	เกิด	400.87	เกิด
	450.98	ไม่เกิด	447.92	ไม่เกิด	452.98	ไม่เกิด	450.38	ไม่เกิด
ความสามารถสูงสุด ในการป้อนปริมาณ	425.62		425.69		425.93		425.63	

ตารางที่ ข.3 ชนิดเมล็ดข้าวตอกแก้วแดง

	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4	
	น้ำหนัก เมล็ดข้าวตอก (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวตอก	น้ำหนัก เมล็ดข้าวตอก (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวตอก	น้ำหนัก เมล็ดข้าวตอก (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวตอก	น้ำหนัก เมล็ดข้าวตอก (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดข้าวตอก
	48.84	เกิด	49.83	เกิด	49.44	เกิด	50.44	เกิด
	100.53	เกิด	101.43	เกิด	100.55	เกิด	101.28	เกิด
	148.98	เกิด	149.95	เกิด	149.04	เกิด	150.93	เกิด
	204.04	เกิด	202.24	เกิด	203.4	เกิด	201.04	เกิด
	250.78	เกิด	251.08	เกิด	257.81	เกิด	252.18	เกิด
	300.35	เกิด	301.35	เกิด	300.79	เกิด	300.97	เกิด
	351.23	เกิด	350.23	เกิด	352.23	เกิด	352.01	เกิด
	400.48	เกิด	400.36	เกิด	400.51	เกิด	409.52	เกิด
	449.36	ไม่เกิด	450.67	เกิด	450.45	เกิด	452.47	เกิด
			460.29	ไม่เกิด	460.12	ไม่เกิด	461.21	ไม่เกิด
ความสามารถสูงสุด ในการป้อนประมาณ	424.92		455.48		455.29		456.84	

ตารางที่ ข.4 ชนิดเมล็ดพืชคอกบ ถั่วดำ

	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4	
	น้ำหนัก เมล็ดพืชคอกบ (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดพืชคอกบ	น้ำหนัก เมล็ดพืชคอกบ (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดพืชคอกบ	น้ำหนัก เมล็ดพืชคอกบ (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดพืชคอกบ	น้ำหนัก เมล็ดพืชคอกบ (กรัม)	การหลุดลอย ของเมล็ดพืชคอกบ
	50.84	เกิด	51.25	เกิด	53.77	เกิด	50.17	เกิด
	101.53	เกิด	102.46	เกิด	101.03	เกิด	100.03	เกิด
	150.68	เกิด	151.48	เกิด	150.8	เกิด	150.28	เกิด
	200.64	เกิด	200.97	เกิด	204.44	เกิด	201.33	เกิด
	250.78	เกิด	248.37	เกิด	251.02	เกิด	251.22	เกิด
	300.95	เกิด	302.54	เกิด	300.61	เกิด	300.77	เกิด
	354.83	เกิด	350.15	เกิด	351.23	เกิด	350.74	เกิด
	400.98	เกิด	400.55	เกิด	401.23	เกิด	400.23	เกิด
	447.36	ไม่เกิด	451.37	ไม่เกิด	450.39	ไม่เกิด	453.36	ไม่เกิด
ทั้งหมด	424.17		425.96		425.81		426.8	
ทั้งหมดสามารถสูงสุด ในการป้อนประมาณ								

ข.2 ผลการทดลองเรื่องการหาน้ำหนักแห้งสุกของเมล็ดวัสดุอบ

ตารางที่ ข.5 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ข้าวโพด

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่อบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตู้อบ + น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุก (กรัม)
1	538.21	513.22	147.70	365.52
2	514.23	491.44	147.70	343.74
3	540.13	514.54	147.70	366.84
4	538.72	511.37	147.70	363.67

ตารางที่ ข.6 ชนิดเมล็ดวัสดุอบ ถั่วเขียว

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่อบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากตู้อบ + น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักแห้งสุก (กรัม)
1	426.03	606.15	275.19	330.96
2	425.73	589.49	275.19	314.30
3	428.31	487.40	147.97	339.43
4	426.27	605.43	275.19	330.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ชนิดเมล็ดวัสดุคอบ ถั่วแดง

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่คอบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอบ + น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง สุทธิ (กรัม)
1	417.70	534.74	275.32	259.42
2	445.21	492.78	147.70	345.08
3	450.47	610.23	275.19	335.04
4	450.51	613.83	275.19	338.64

ตารางที่ ข.8 ชนิดเมล็ดวัสดุคอบ ถั่วดำ

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเข้าสู่คอบ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอบ + น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง สุทธิ (กรัม)
1	424.50	375.30	147.70	227.60
2	424.71	382.49	147.97	234.52
3	428.81	502.21	275.19	227.02
4	425.51	381.22	147.70	233.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังการอบกับความเร็วมวลที่ใช้ในการอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพด

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 538.55 กรัม

อุณหภูมิห้อง = 33 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 68.5% RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ = 365.75 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	33	-	68.5	-	-	538.55	538.55	47.25	0
48	21	48.3	47.5	45	44.7	8	538.55	495.82	35.56	199
47	20.5	41.7	40.2	47.8	48.5	8	495.82	457.12	24.98	231
45	19.5	43.1	42	49	48.7	8	457.12	425.68	16.39	611
44	19	46	44.1	35.5	37.5	8	425.68	397.55	8.69	674
43	18.5	44.7	43.8	39.7	38.9	8	397.55	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ

T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)

H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ๗.10 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพด

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 514.50 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 39.2 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 54.4 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 343.92 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากราคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	39.2	-	54.4	-	-	514.5	514.5	49.54	0
48	21	50.2	50	35.3	38.2	7	514.5	471.68	37.15	316
47	20.5	50.3	49	35.5	38.5	7	471.68	430.38	25.14	515
45	19.5	48.7	48.4	36	36.2	7	430.38	407.78	18.57	878
44	19	46.5	46	40.8	40	7	407.78	385.5	12.09	1068
43	18.5	45.9	45.3	41.2	41	7	385.5	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากราคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากราคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพด

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 540.21 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 68.3 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 366.90 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากราคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	34	-	68.3	-	-	540.21	540.21	47.17	0
48	21	50.2	50.1	35.6	36.1	8	540.21	496.37	35.28	170
47	20.5	43.5	43.8	50	49.8	8	496.37	459.31	25.18	356
45	19.5	41.8	41.6	48.1	48	8	459.31	427.23	16.44	671
44	19	45	44.9	35.3	35.8	8	427.23	399.54	8.89	1399
43	18.5	46.8	46.1	37.3	37.5	8	399.54	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากราคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากราคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเม็ดพันธุ์ ข้าวโพด

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร
อุณหภูมิห้อง = 35 องศาเซลเซียส
น้ำหนักแห้งสุทธิ = 363.64 กรัม

น้ำหนักขึ้น = 538.67 กรัม
เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 67.8 % RH

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	35	-	67.8	-	-	538.67	538.67	48.13	0
48	21	50.4	50.2	35.1	35.1	8	538.67	496.76	36.61	189
47	20.5	43.3	43.5	50.3	50.6	8	496.76	455.31	25.21	480
45	19.5	42.1	42.6	48.7	48.9	8	455.31	428.44	17.82	677
44	19	45.2	45.1	35.6	35.8	8	428.44	396.4	9.01	1208
43	18.5	43.7	43.4	34.9	35.3	8	396.4	-	-	>40นาที

- หมายเหตุ
- T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 - T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 - H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 - H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วเขียว

ความสูงของเบด = 8.5 เซนติเมตร

น้ำหนักขึ้น = 426.15 กรัม

อุณหภูมิห้อง = 33 องศาเซลเซียส

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 64.2 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ = 331.06 กรัม

f	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันสด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22.0	33.0	-	64.2	-	-	426.15	426.15	28.72	0
48	21.0	48.5	49.0	37.0	38.0	3	426.15	400.16	20.87	42
47	20.5	47.8	47.7	36.9	36.7	3	400.16	388.21	17.26	134
46	20.0	50.0	49.7	35.1	35.9	3	388.21	379.62	14.66	278
45	19.5	47.2	47.4	37.5	36.6	3	379.62	363.72	9.86	412
44	19.0	50.0	49.4	34.6	34.8	3	363.72	358.33	8.23	488
43	18.5	47.3	44.3	35.6	37.0	3	358.33	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ

T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)

H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วเขียว

ความสูงของเบด = 8.5 เซนติเมตร น้ำหนักดิน = 428.40 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34.3 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 66.2 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 339.5 กรัม

f	u (m/s)	T1 (° C)	T2 (° C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	34.3	-	66.2	-	-	428.4	428.4	26.18	0
48	21	52	51.6	33.8	33.8	4	428.4	413.48	21.77	15
47	20.5	51.3	51.1	34.3	34.4	4	413.48	393.71	15.96	99
46	20	53.8	53.5	32.1	32.3	4	393.71	381.84	12.47	133
45	19.5	52.3	50.7	32.9	34.2	4	381.84	369.38	8.78	279
44	19	50	49.5	34.5	34.7	4	369.38	366.35	7.91	349
43	18.5	49	48.5	34.5	34.8	4	366.35	-	-	> 40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ๗.16 ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเม็ดพันธุ์ ถั่วเขียว

ความสูงของเบด = 8.5 เซนติเมตร

น้ำหนักขึ้น = 426.23 กรัม

อุณหภูมิห้อง = 34.1 องศาเซลเซียส

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 64.4 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ = 330.21 กรัม

F (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์	น้ำหนักออกจากคอลัมน์	X	เวลา (วินาที)
50	22	34.1	-	64.4	-	-	426.23	426.23	29.07	0
48	21	48.9	49.1	37.1	37.4	3	426.23	400.28	21.22	37
47	20.5	48.1	47.9	36.8	37	3	400.28	390.01	18.11	85
46	20	50	49.7	35.1	35.8	3	390.01	380.43	15.21	141
45	19.5	48.2	47.3	36.9	36.6	3	380.43	362.63	9.82	199
44	19	50.2	49.9	34.5	34.7	3	362.63	355.01	7.51	437
43	18.5	50	48.2	33	31.5	3	355.01	-	-	> 40 นาที

หมายเหตุ

T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)

H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)

H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.17 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วแดง

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 417.85 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34.7 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 65.7 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 259.52 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	34.7	-	65.7	-	-	417.85	417.85	61.08	0
48	21	46.5	45.4	41.4	41.5	5	417.85	354.23	36.49	92
47	20.5	44.7	41.9	41	46.8	5	354.23	327.3	26.11	277
46	20	43.6	42.9	42.8	42.8	5	327.3	307.47	18.47	1008
45	20.3	42.6	41.6	42	41.9	5	307.47	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ

- T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
- T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
- H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
- H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.18 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วแดง

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 445.18 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34.7 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 56.8 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 345.05 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากรอกอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	34.7	-	56.8	-	-	445.18	445.18	29.01	0
48	21	47.6	47.4	36.5	36.8	5	445.18	410.38	18.93	62
46	20	47.4	47.6	36.4	36.1	5	410.38	368.79	6.88	982
45	21	46.5	44.3	35.5	36.5	5	368.79	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ
 T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากรอกอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากรอกอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วแดง

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 450.30 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34.7 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 72.5 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 334.92 กรัม

f	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	33.6	-	72.5	-	-	450.3	450.3	34.45	0
48	21	42.4	42.5	48.2	48.4	5	450.3	426.81	27.43	98
46	20	42.8	43.3	46.6	46.3	5	426.81	385.81	15.19	1061
45	20.5	42.6	41.7	45.6	46.6	5	385.81	-	-	>40 นาที

- หมายเหตุ
- T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 - T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 - H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 - H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองครั้งที่ 4 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วแดง

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 450.45 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 35.7 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 70.2 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 275.19 กรัม

f (Hz)	μ (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	35.7	-	70.2	-	-	450.45	450.45	33.03	0
48	21	46.7	46.1	41.4	41.7	5	450.45	433.78	28.11	154
47	20.5	45.5	45.3	41	41.1	5	433.78	413.94	22.25	278
46	20	44.8	44.9	40.8	40.9	5	413.94	387.59	14.47	996
45	20.5	44.5	42.3	40.8	40.9	5	387.59	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วดำ

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 424.43 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 33.3 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 70.4 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 227.55 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	33.3	-	70.4	-	4	424.43	424.43	86.52	0
48	21	48	47.8	45	44.8	4	424.43	414.58	82.19	32
46	20	44	44.8	50	44.5	4	414.58	376.62	65.51	255
44	19	38.6	38	52.1	58.6	4	376.62	346.25	52.16	684
42	18	45.3	43.4	43.1	46.4	4	346.25	320.47	40.83	1048
40	17	42.5	44	48.2	44.5	4	320.47	282.68	24.22	2055
38	16	43.8	42.7	49.4	50	4	282.68	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ
 T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วดำ

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 424.63 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 33.8 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 69.0 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 234.48 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	33.8	-	69	-	-	424.63	424.63	81.09	0
48	21	49.9	49.5	35.1	36.3	4	424.63	377.85	61.14	202
46	20	48.1	46.4	37.9	39.9	4	377.85	362.16	54.45	316
44	19	46.1	46.2	40.4	40.5	4	362.16	345.57	47.37	436
42	18	46.4	46.3	40.1	40.3	4	345.57	308.32	31.49	1149
40	17	45.8	42.1	39.9	48	4	308.32	270.74	15.46	2538
38	16	44.2	41.3	40.1	42.3	4	270.74	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ
 T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วดำ

ความสูงของเบด = 8.0 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 428.78 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 39.6 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 56.0% RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 227.01 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากรอคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22	39.6	-	56	-	-	428.78	428.78	88.88	0
48	21	50.1	49.9	35.7	35.9	4	428.78	392.65	72.96	110
46	20	51.7	49.3	33.2	36.1	4	392.65	359.83	58.51	347
44	19	47.2	47	38.3	38.1	4	359.83	328.2	44.57	746
42	18	50.2	47.2	35.6	39.2	4	328.2	291.36	28.34	1568
40	17	46.2	44.2	39.2	46.3	4	291.36	266.43	17.36	2498
38	16	45.3	44.7	38.1	39.2	4	266.43	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ
 T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากรอคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากรอคอลัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.25 ผลการทดลองด้วย ชนิดเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพด

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 532.93 กรัม

อุณหภูมิห้อง = 35.3 องศาเซลเซียส

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 59.25 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ = 360.05 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอกัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากราคอกัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22.0	35.3	-	59.25	-	-	532.93	532.93	48.01	0
48	21.0	49.8	49.45	37.75	38.53	7.75	532.93	490.16	36.13	218.50
47	20.5	44.7	44.13	45.90	46.85	7.75	490.16	448.03	24.43	395.50
45	19.5	43.9	43.65	45.45	45.45	7.75	448.03	422.28	17.28	709.25
44	19.0	45.7	45.03	36.80	37.28	7.75	422.28	394.75	9.63	179.00
43	18.5	45.3	44.73	36.52	37.58	7.75	394.75	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)

T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากราคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)

H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอกัมน์ (% RH)

H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากราคอกัมน์ (% RH)

ตารางที่ ๖.26 ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดผลิตภัณฑ์ ถั่วเขียว

ความสูงของเบต = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 426.66 กรัม
อุณหภูมิห้อง = 34.3 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 63.6 % RH
น้ำหนักแห้งสุทธิ = 328.79 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอกัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอกัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22.0	34.30	-	63.60	-	-	426.66	426.66	29.76	0
48	21.0	49.50	49.53	35.85	36.33	3.5	426.66	401.69	22.17	30.50
47	20.5	48.68	48.53	36.20	36.15	3.5	401.69	389.69	18.52	96.25
46	19.5	50.05	49.83	34.70	35.10	3.5	389.69	380.25	15.65	159.75
45	19.0	48.68	48.23	36.20	35.95	3.5	380.25	365.05	11.02	277.50
44	18.5	49.03	48.65	35.13	35.13	3.5	365.05	357.07	8.59	412.50
43	18.0	45.90	45.90	36.20	36.30	3.5	357.07	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)
T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)
H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอกัมน์ (% RH)
H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอกัมน์ (% RH)

ตารางที่ ข.27 ผลการทดลองเฉลี่ย ชนิดเมล็ดพันธุ์ ถั่วแดง

ความสูงของยอด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักขึ้น = 435.95 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 34.65 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 65.80 % RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 303.67 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอกัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอกัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22.0	34.65	-	65.80	-	-	435.95	435.95	43.56	0
48	21.0	45.80	45.35	41.90	42.10	5	435.95	406.30	33.80	101.50
47	20.5	45.10	43.60	41.00	43.95	5	406.30	370.62	22.05	277.50
46	19.5	44.65	44.68	41.50	41.50	5	370.62	363.26	19.30	1011.75
45	19.0	43.90	42.73	41.96	42.84	5	363.26	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอกัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอกัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอกัมน์ (% RH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.28 ผลการทดลองเกี่ยวกับ ชนิดผลิตภัณฑ์ ถั่วดำ

ความสูงของเบด = 10.5 เซนติเมตร น้ำหนักชั้น = 425.78 กรัม
 อุณหภูมิห้อง = 35.45 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ = 65.65 %RH
 น้ำหนักแห้งสุทธิ = 230.61 กรัม

f (Hz)	u (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	H1	H2	ความดันลด (mm Hg)	น้ำหนักก่อนเข้าคอลัมน์ (กรัม)	น้ำหนักออกจากคอลัมน์ (กรัม)	X	เวลา (วินาที)
50	22.0	35.45	-	65.65	-	-	425.78	425.78	84.63	0
48	21.0	49.13	48.88	40.23	40.58	4	425.78	391.25	69.66	130.25
46	20.0	47.03	46.18	42.78	42.73	4	391.25	368.93	58.24	279.75
44	19.0	42.70	42.48	45.73	47.30	4	368.93	341.07	47.90	601.00
42	18.0	46.53	45.23	40.53	42.40	4	341.07	306.65	32.97	1170.00
40	17.0	43.90	42.93	44.03	46.93	4	306.65	272.50	18.03	2306.50
38	16.0	44.74	42.87	43.14	44.03	4	272.5	-	-	>40 นาที

หมายเหตุ T1 คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 T2 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)
 H1 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนเข้าคอลัมน์ (% RH)
 H2 คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นออกจากคอลัมน์ (% RH)

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาความสามารถสูงสุดในการป้อนเมล็ดข้าวสาคูอบ

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

การทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวสาคูครั้งที่ 1

- ใช้ความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศในการอบแห้งเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์
- ปริมาณของข้าวสาคูครั้งที่สุดท้ายที่ทำให้เกิดการหลุดลอยขึ้น 400.26 กรัม
- ปริมาณของข้าวสาคูครั้งที่สุดท้ายที่ไม่ทำให้เกิดการหลุดลอยขึ้น 450.98 กรัม
- ความสามารถสูงสุดในการป้อนในแต่ละครั้งจะมีค่าเป็น $(400.26 + 450.98)/2$
= 425.62 กรัม

2. การหาค่าน้ำหนักแห้งที่แท้จริง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

การทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวแดงครั้งที่ 1

- น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตู้อบ 417.70 กรัม
- น้ำหนักหลังออกจากตู้อบ+น้ำหนักถาด 534.74 กรัม
- น้ำหนักหลังออกจากตู้อบ 259.42 กรัม
- น้ำหนักเปียก 417.85 กรัม
- น้ำหนักแห้งสุทธิ $(259.42/417.70) \times 417.85$
= 259.51 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

การทดลองอบแห้งเมล็ดถั่วเขียวครั้งที่ 1

- ที่ใช้ความเร็วรอบของเครื่องเป่าลมในการอบแห้งเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์
- น้ำหนักที่ชั่งได้หลังจากที่ผ่านการอบแห้ง 354.23 กรัม
- น้ำหนักแห้งสุทธิ 259.52 กรัม
- เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ $(354.23 - 259.52) \times 100/259.42$
= 36.49 %



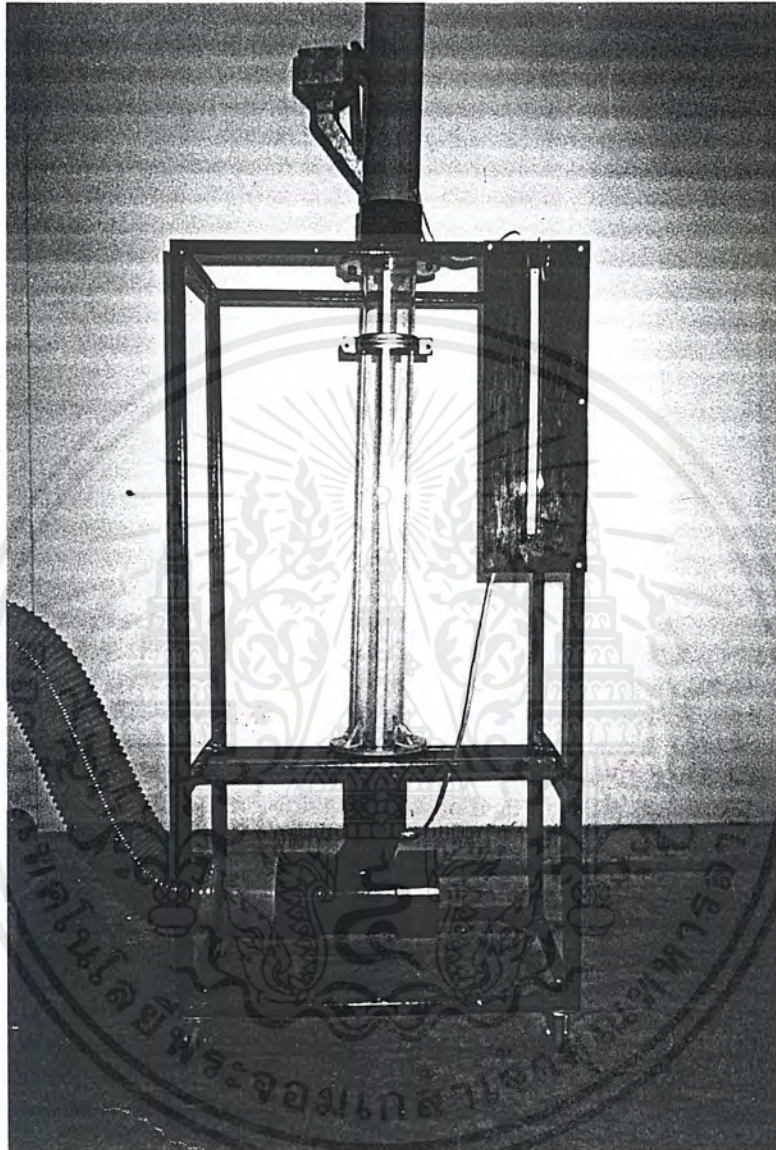
ภาคผนวก ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลม กับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมกับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง

ความเร็วรอบของเครื่องเป่าลม (เฮิร์ตซ์)	ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง (เมตร/วินาที)
50	22.0
49	21.5
48	21.0
47	20.5
46	20.0
45	19.5
44	19.0
43	18.5
42	18.0
41	17.5
40	17.0
39	16.5
38	16.0
37	15.5
36	15.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

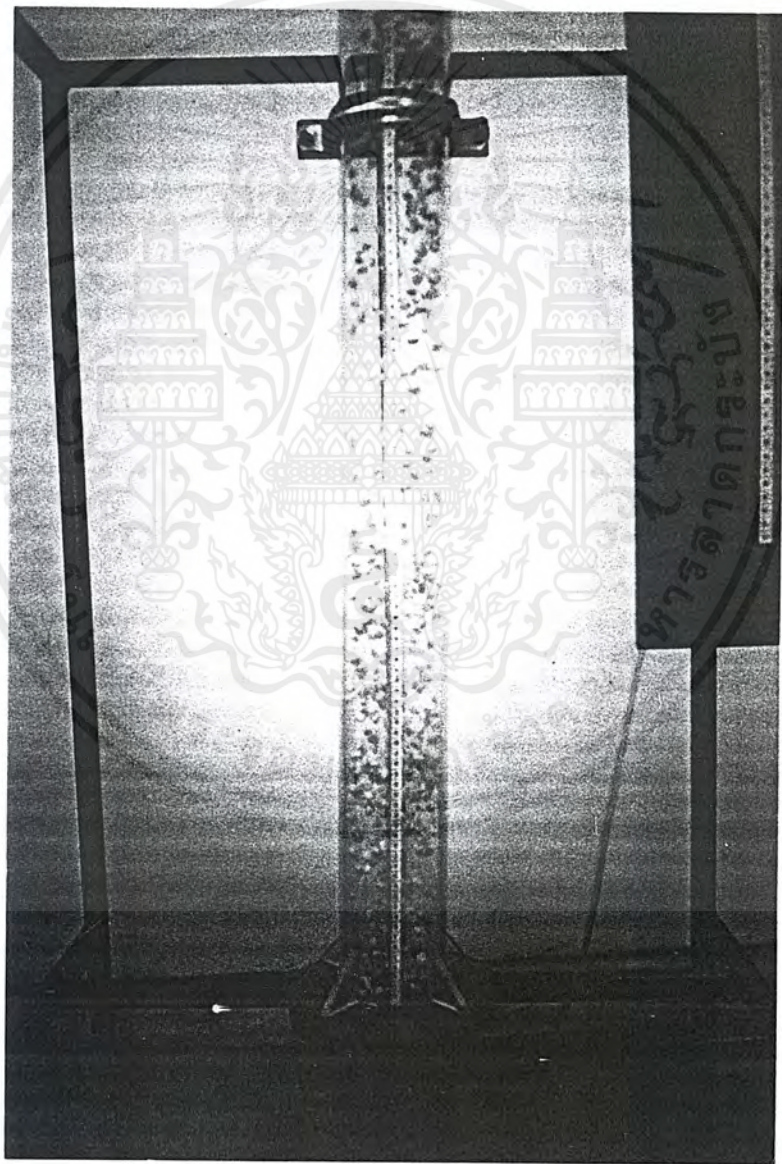


รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบของฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

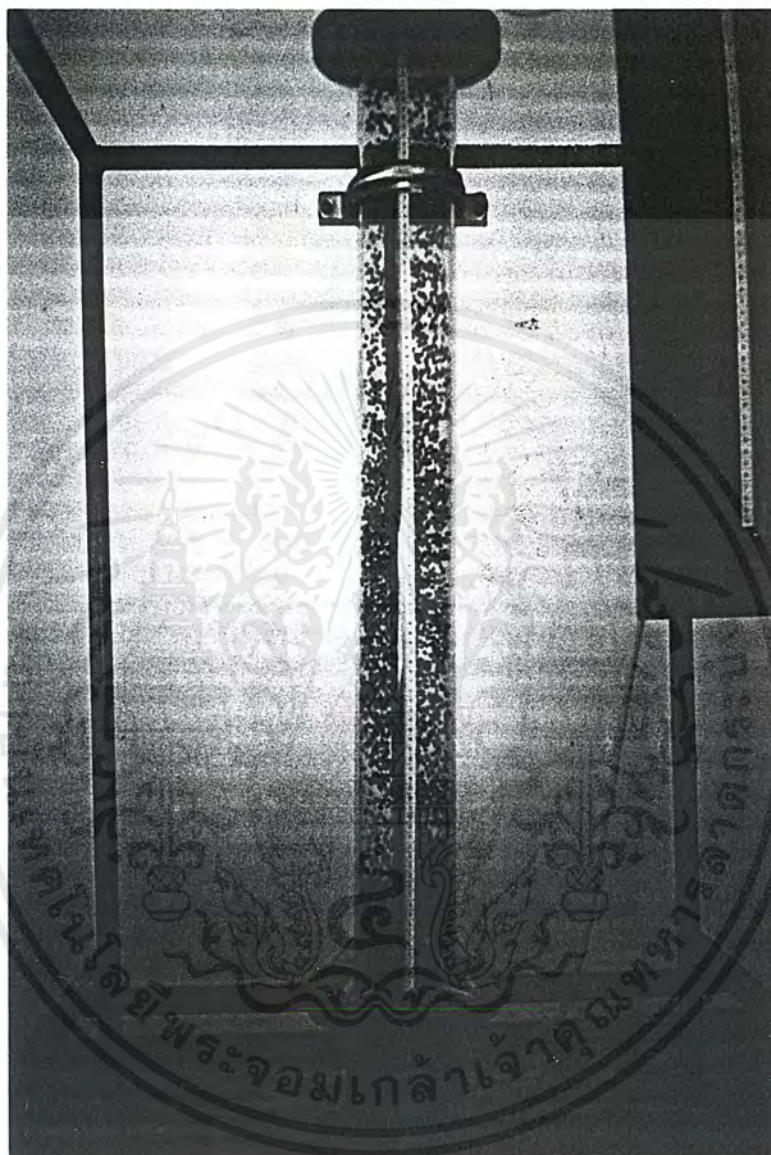
ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลอง



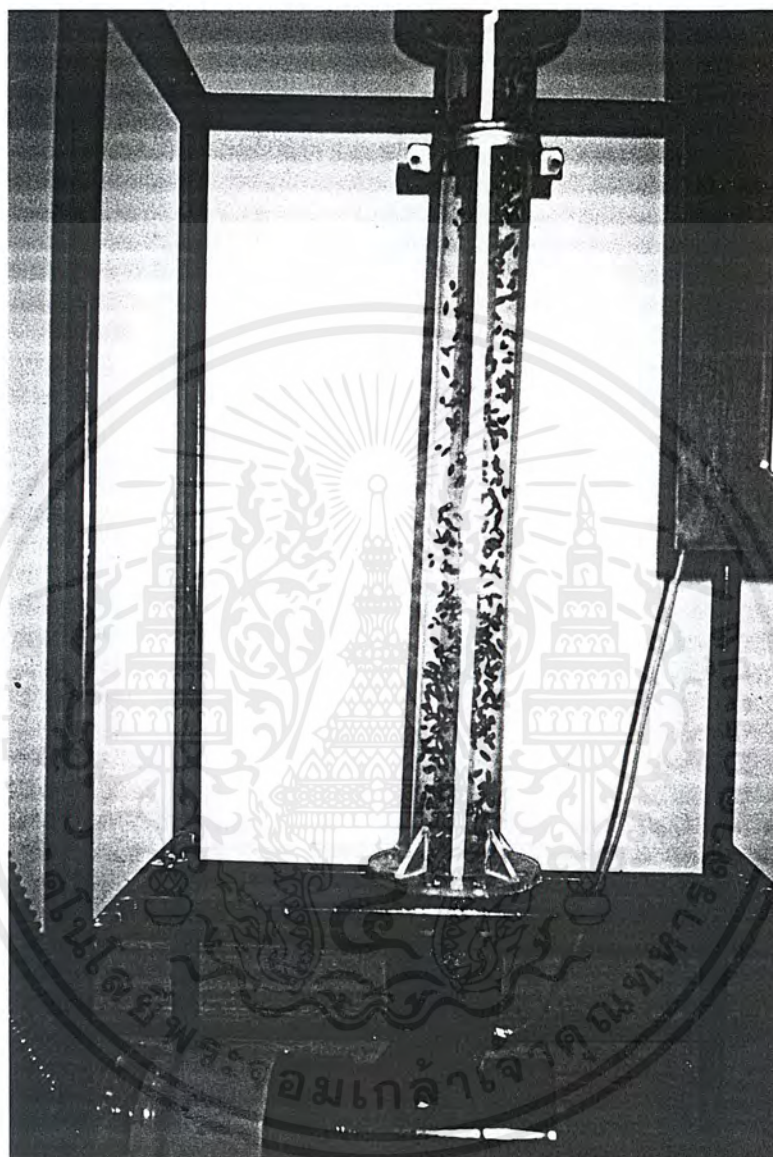
รูปที่ ฉ.1 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันภายในคอลัมน์ของข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๒ การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันภายในคอลัมน์ของถั่วเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันภายในคอลัมน์ของถั่วแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๔ การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันภายในคอลัมน์ของถั่วดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้