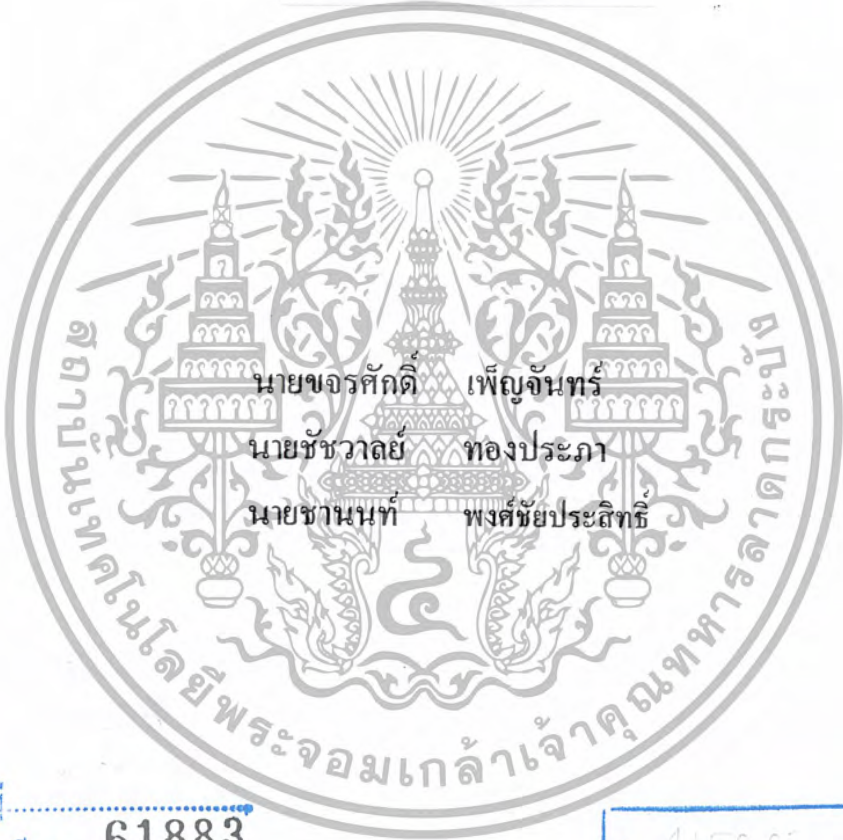


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบใช้เทคนิคลมหมุนวง

VORTEXING FLUIDZED BED DRYER



นายจรัสศักดิ์ เพ็ญจันทร์
นายชวัลย์ ทองประภา
นายชานนท์ พงศ์ชัยประสิทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61883
วัน,เดือน,ปี 24 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2547 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดฟลูอิดไดซ์แบบใช้เทคนิคลมหมุนควง
VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER

นายจรศักดิ์ เพ็ญจันทร์

นายชัชวาลย์ ทองประภา

นายชานนท์ พงศ์ชัยประสิทธิ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง

VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|------------------|-----------------------|
| 1. นายขจรศักดิ์ | เพ็ญจันทร์ | รหัสประจำตัว 44010649 |
| 2. นายชัชวาลย์ | ทองประภา | รหัสประจำตัว 44010678 |
| 3. นายชานนท์ | พงษ์ชัยประสิทธิ์ | รหัสประจำตัว 44010681 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง

นายขจรศักดิ์ เพ็ญจันทร์ 44010649
 นายชัชวาลย์ ทองประภา 44010678
 นายชานนท์ พงศ์ชัยประสิทธิ์ 44010681
 รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงส์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมาใช้ในการอบ โดยหอตลอดงที่ใช้ในการทดลองเป็นอะคริลิกใส ซึ่งภายในหอตลอดงจะมีกรวยที่ทำด้วยสังกะสีทำมุม 60 และ 75 องศา กับขอบเทอร์โบ ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 81% (430%มาตรฐานแห้ง) มวล 300 กรัม ใช้ความเร็วลมในหอตลอดง 0.5, 1.0, 1.5 m/s อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าหอตลอดง 80 และ 100 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกประมาณ 65 - 67% ใช้เวลาในการทดลอง 2 ชั่วโมง โดยทำการบันทึกผลทุกๆ 10 นาที และทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยเทคนิคลมหมุนควงความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพด ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate Drying Period) และการเพิ่มกรวยไปในหอตลอดงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในการทดลองที่กรวยทำมุม 0, 60, 75 และ 90 องศา กับขอบเทอร์โบ พบว่ากรวยที่ทำมุม 60 องศา ให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งที่ดีที่สุด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันพบว่าสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ประมาณ 33% นอกจากนี้ทางทีมงานยังได้ทำการทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย ซึ่งเมื่อนำผลของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาที่ความเร็วลม 1 และ 2.7 m/s มาเปรียบเทียบกับ การอบแห้งโดยการ ใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยที่ความเร็ว 2 และ 3 m/s ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C พบว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ประมาณ 30% และเมื่อทำการทดลองโดยการเพิ่มความเร็วของลมหมุน พบว่าความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดอีกด้วย

VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER

Mr. Kajornsak Penjan 44010649

Mr. Chutchawan Tongprapa 44010678

Mr. Chanon Pongchaiprasit 44010681

Assoc.Prof.Dr.Pongjat Promvonge Advisor

ABSTRACT

This paper presents the comparative study of drying corn kernels using fluidization and vortex flow techniques. The experiment has been carried out in a drying chamber having the variation of inside wall angle of 0, 60, 75 and 90 degree. Each experimental run the wet corn with initial moisture around 81 % (43% dry basis) of 300 g was put into the chamber. Then, hot air at 80 and 100 °C was flowed through the chamber with different velocity of 0.5, 1.0 and 1.5 m/s for each case. The relative humidity of the ambient was around 65 - 67 %. The drying duration of each case was set to 2 hours. In every 10 minutes, weight of corn in the bed was measured for each test of both techniques.

The experimental results show that use of different velocities leads to no significant effect on drying rate for the fluidization technique but provides substantial influence for the vortex drying method. In comparison between both methods, at low velocity (around minimum fluidization velocity) the fluidization drying shows slightly better. At higher velocity the vortex drying with variation of inside wall angle (60 degree) performs better and can reduce drying time to be 33%. Beside the previous experimental if used the vortex flows help to drying corn with fluidization technique, it can reduce drying time from the fluidization technique to be 30% at velocity of vortex flow in 3 m/s and temperature of hot air in 80°C. Beside the previous experimental if used the vortex flows help to drying corn with fluidization technique, it can reduce drying time from the fluidization technique to be 30% at velocity of vortex flow in 3 m/s and temperature of hot air in 80°C.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลท่านแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร และพี่จารย์ และมาน รุ่นพี่ปริญญาโท ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งทางทีมงานต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่ยังทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงยกให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอ กราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 สถานภาพและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ทฤษฎีฟลูอิดไดเซชัน	4
2.2 กลศาสตร์ของการเกิดฟลูอิดไดเซชัน	6
2.3 กระบวนการอบแห้ง	9
2.4 ช่วงของการอบแห้ง	10
2.5 ความชื้นในวัสดุ	11
2.6 ชนิดของเครื่องอบแห้ง	12
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง	14
3.1 การออกแบบกรวย	14
3.2 แบบของหอตดลอง	14
บทที่ 4 อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	17
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	17
4.2 การติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	22
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	22
บทที่ 5 ผลการทดลอง	25

5.1 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 25
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง	26
5.3 ผลของการอบแห้งที่มุมของหอตดลองต่างกันและความเร็วลมเดียวกัน	32
5.4 การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของ หอตดลองมุม 60 และ 90 องศา	36
5.5 การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของหอตดลอง มุม 60 กับ การอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด	38
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	40
6.1 สรุปผลการทดลอง	40
6.2 ข้อเสนอแนะ	40
บทที่ 7 การอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย	41
7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	41
7.2 ขั้นตอนในการทดลอง	41
7.3 ผลการทดลองของเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย	42
7.4 สรุปผลการทดลอง	47
7.5 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	50
ภาคผนวก ข	51
	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงวิธีการทดลองการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแบบใช้ลมหมุนควง	24
ก.1 การทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์	52
ก.2 การทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์	53
ก.3 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 0 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80 องศาเซลเซียส	54
ก.4 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 60 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80 องศาเซลเซียส	55
ก.5 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 75 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80 องศาเซลเซียส	56
ก.6 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 60 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80 องศาเซลเซียส	57
ก.7 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 0 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100 องศาเซลเซียส	58
ก.8 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 60 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100 องศาเซลเซียส	59
ก.9 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 75 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100 องศาเซลเซียส	60
ก.10 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงมุมของหอตลอด 90 องศา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100 องศาเซลเซียส	61
ก.11 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย ความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s	62
ก.12 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย ความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s	63
ก.13 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย ความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s	64
ข.1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของอาหารบนพื้นฐานของ Fick's law	66
ข.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	68

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 พฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดเซชัน	5
2.2 ความความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกับสัดส่วนช่องว่าง	7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับความเร็วอากาศ	8
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง	10
3.1 ลักษณะของกรวยที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 ลักษณะของหอทดลองที่ใช้	15
3.3 แสดงหอทดลองที่ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร	16
4.1 หอทดลอง	17
4.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)	18
4.3 ระบบให้ความร้อน(Heater)	18
4.4 ท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง	19
4.5 ชุดอากาศหมุนควง	19
4.6 แผ่นออริฟิส	20
4.7 มาโนมิเตอร์	20
4.8 คาซัง	21
4.9 ผังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	22
5.1 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	25
5.2 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	26
5.3 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมหอทดลอง 0 องศา	27
5.4 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอทดลอง 60 องศา	27
5.5 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอทดลอง 75 องศา	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 90 องศา	29
5.7 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 0 องศา	30
5.8 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 60 องศา	30
5.9 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 75 องศา	31
5.10 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 90 องศา	32
5.11 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 0.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	33
5.12 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	33
5.13 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	34
5.14 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 0.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	35
5.15 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1.0 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	35
5.16 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	36
5.17 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมหมุนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 และ 90 องศา ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	37
5.18 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมหมุนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 และ 90 องศา ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	37
5.19 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมหมุนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 กับหอคดลองที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้ง ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 เปรียบเทียบอัตราการรอบแหว่งระหว่างการรอบด้วยลมหมุนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 กับหอคดลองที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการรอบแหว่ง ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	38
7.1 แสดงหอคดลองที่มีตะแกรงอยู่ตรงกลาง	41
7.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการรอบแหว่ง ที่ความเร็ว ลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s	42
7.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการรอบแหว่ง ที่ความเร็ว ลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s	43
7.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการรอบแหว่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	44
7.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการรอบแหว่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	44
7.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s กับการรอบแหว่งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 1 m/s ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	45
7.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s กับการรอบแหว่งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 1 m/s ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	46
7.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s กับการรอบแหว่งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	46
7.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s กับการรอบแหว่งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	47

สัญลักษณ์

d	คือ	มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg
d_p	คือ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง, เมตร
d_p^*	คือ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดของแข็งไร้มติ
g	คือ	อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก, เมตร/วินาที ²
h_p	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่วัสดุ
K_p	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
L_{mf}	คือ	ความสูงต่ำสุดของเบด, เมตร
M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
N_c	คือ	อัตราการระเหยน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวของวัสดุในช่วงอัตราอบแห้งคงที่
p	คือ	ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ
p_{wb}	คือ	ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก
Δp	คือ	ความดันต่างของเบด, นิวตัน/เมตร ²
Re_{mf}	คือ	Reynolds number ที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน
T	คือ	อุณหภูมิอากาศ
T_{wb}	คือ	อุณหภูมิกระเปาะเปียก
u_t	คือ	ความเร็วตกอิสระของของแข็ง
u_t^*	คือ	ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งไร้มติ
u_{mf}	คือ	ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชัน, เมตร/วินาที
w	คือ	มวลของวัสดุ, kg
ε_m	คือ	สัดส่วนช่องว่าง
ε_{mf}	คือ	สัดส่วนช่องว่างที่เกิดฟลูอิดไดเซชัน
ϕ_s	คือ	ค่าความเป็นทรงกลม
λ	คือ	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
μ	คือ	ความหนืดของของไหล, กิโลกรัม-เมตร/วินาที
ρ_g	คือ	ความหนาแน่นของก๊าซ, กิโลกรัม/เมตร ³
ρ_s	คือ	ความหนาแน่นของของแข็ง, กิโลกรัม/เมตร ³



บทที่ 1

บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและมักจะเป็นปฏิบัติการหน่วยสุดท้ายเสมอ เนื่องจากวัสดุอบแห้งมีประเภทรปร่างและสภาพมากมาย กรรมวิธีที่ประหยัดที่สุดจะต้องเข้าใจหลักการทำงาน ลักษณะพิเศษและโครงสร้างของเครื่องอบแห้งรวมทั้งมีการเลือกใช้อุปกรณ์และสภาวะเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมด้วย

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการอบแห้งคือ การที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นนี้ออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหยความร้อนดังกล่าวจะต้องถูกถ่ายเทไปยังวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการศึกษาการอบแห้งมักจะมีเครื่องจำลองเครื่องมือการอบแห้ง ซึ่งมีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงและกำหนดสภาวะการทำงานให้ได้สภาวะเดียวกับการทำงานจริง ผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ได้

1.1 สถานภาพและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ที่ทำรายได้ให้ประเทศคิดเป็นมูลค่าประมาณปีละ 10,000 ล้านบาท โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดประมาณปีละ 11-12 ล้านไร่ ได้ผลผลิตประมาณปีละ 4-5 ล้านตัน ประมาณ 65% ของผลผลิต ใช้บริโภคภายในประเทศในรูปที่เป็นวัตถุดิบให้แก่โรงงานอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปของเมล็ดข้าวโพด ข้าวโพดคั่ว และแป้งข้าวโพด การบริโภคภายในประเทศได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการผลิตข้าวโพด จึงไม่มีปัญหาเรื่องตลาดรองรับ เพราะเป็นที่ต้องการทั้งภายในและต่างประเทศ

แหล่งที่ปลูกข้าวโพดที่สำคัญอยู่ในภาคเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกถึงกว่าครึ่งหนึ่งของทั้งประเทศ ส่วนที่เหลือกระจายปลูกในทุกภาคของประเทศ จังหวัดที่ปลูกข้าวโพดที่สำคัญได้แก่ เพชรบูรณ์ นครราชสีมา เลย ตพบุรี และนครสวรรค์ ข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายและเหมาะสมกับดินฟ้าอากาศของประเทศไทย นอกจากนี้แล้วการเก็บเกี่ยวผลผลิตก็จะกระทำได้ในช่วงระยะเวลาสั้นประมาณ 90-120 วัน หรือ มีอายุนับจากวันออกใหม่ ประมาณ 60-65 วัน ซึ่งจะพบว่าข้าวโพดเมื่อเก็บมาใหม่ ๆ มักจะมีความชื้นค่อนข้างสูงประมาณ 20-30% มาตรฐานเปียก ความชื้นดังกล่าวจะมีผลต่อการหายใจของเมล็ด และมักจะทำให้คุณภาพของข้าวโพดต่ำลง เนื่องจากมักเกิดเชื้อราต่าง ๆ ได้ง่าย ซึ่งเป็นผลมาจากสารแอลฟาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งเป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา แอสเพอร์กิลลัส ฟลาวัส (Aspergillus Flavus) และ แอสเพอร์กิลลัส พาราซีติกัส (Aspergillus Paraciticus) ซึ่งเป็นอันตรายต่อคน และสัตว์ที่บริโภคเข้าไป

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับเกิดการเกิดสารแอลฟาทอกซิน มีหลายสาเหตุด้วยกันเช่น ชนิดของเชื้อรา ชนิดของอาหาร และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการสร้างแอลฟาทอกซิน ซึ่งอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสร้างแอลฟาทอกซิน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อุณหภูมิ เชื้อราที่สร้างสารพิษแอลฟาทอกซิน มีช่วงอุณหภูมิที่สามารถเจริญเติบโตได้กว้างมาก มักเจริญเติบโตตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 6-46 °C โดยมีอุณหภูมิเหมาะสมอยู่ระหว่าง 36-38 °C สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษแอลฟาทอกซินนั้นอยู่ระหว่าง 25-35 °C

2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 85%

3) ระยะเวลา ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมระยะเวลาในการที่เชื้อราจะเจริญเติบโต และสร้างสารพิษจะสั้นกว่าในสภาพที่ไม่เหมาะสม ในสภาพที่เหมาะสมเชื้อราจะสร้างสารพิษแอลฟาทอกซินได้ภายในเวลา 24-48 ชั่วโมง

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การลดการเกิดของเชื้อราเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถทำได้โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้มีค่าประมาณ 65% หรือต่ำกว่าซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นของข้าวโพด ประมาณ 10-15% มาตรฐานเปียก ที่อุณหภูมิแวดล้อมทั่ว ๆ ไป การทำให้ข้าวโพดแห้งลงจึงมีความสำคัญซึ่งวิธีที่เกษตรกรนิยมทำกันผ่านมาจะอาศัยพลังงานจากธรรมชาติคือพลังงานแสงอาทิตย์ ในการสังเคราะห์วิธีนี้เป็นวิธีที่เกษตรกรในปัจจุบันจำนวนน้อยที่ปฏิบัติทั่วไป ซึ่งถ้าผลิตจำนวนมากอาจจะเกิดปัญหา และเสียเวลาในการขนย้ายออกตาก และ เก็บเข้าร่มพื้นที่ที่ตากมักเป็นแคร่ไม้ไผ่ ลานดินหรือลานคอนกรีต ที่เปลือยพื้นที่มากทั้งยังมีปัญหาในเรื่องกรวด เศษหิน หวาย ที่ติดไปในการเก็บเมล็ดข้าวโพด ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงมีบทบาทและความสำคัญขึ้นมา ซึ่งโดยปกติความสามารถและประสิทธิภาพของการอบแห้งมักขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่นำมาใช้อบแห้ง แต่ความสามารถและประสิทธิภาพดังกล่าวก็สามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยก่อให้เกิดประโยชน์ในแง่ที่การอบแห้งจะกระทำโดยรวดเร็ว และให้อัตรการอบแห้งที่สูงทำให้ได้ผลผลิตรวดเร็วทันต่อเวลาแต่ก็พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนั้นจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดหลังอบแห้งนั้นด้วย คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ความชื้น และการหดตัวของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้ง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการร้าว หรือ การปริแตกในเมล็ดได้ ซึ่งเป็นผลมาจากผิวของเมล็ดข้าวโพดสูญเสียความชื้นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการหดตัวและแยกตัวจากผิวขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงความดันทานกลก็ลดลงด้วย เช่น ในระหว่างการขนย้ายผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น และนอกจากนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงที่ผิวของเมล็ดจากความร้อนที่ได้รับด้วย เช่น สีเปลี่ยนไปจากสีเหลืองปกติมากเกินกว่าที่ยอมรับกันได้โดยทั่วไป ดังนั้นจึงต้องเข้าใจถึงความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระหว่างการอบแห้ง การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้เราทราบถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบแห้งเพื่อประโยชน์ต่อการลงทุน และความคุ้มค่าของค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้กัน คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดนั้นเป็นเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชซึ่งไหลตามกระแสอากาศร้อนและ ให้ความสม่ำเสมอของความชื้นของเมล็ดภายหลังอบแห้งได้ดี ใช้เวลาสั้นในการดำเนินการอบแห้งนี้ยังสามารถช่วยลดเนื้อที่ในการตากบนลานดินหรือลานคอนกรีตได้อีกด้วย ซึ่งทำให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้โดยง่ายและรวดเร็วขึ้น และเมื่อนำมาใช้กับการอบแห้งวัสดุที่มีช่วงอัตรการอบแห้งลดลงก็ยังใช้ได้

อัตราการอบแห้งที่สูง เนื่องจากการอบแห้งโดยเทคนิคนี้ใช้มวลอากาศในการอบแห้งสูงเมื่อเทียบกับหนึ่งหน่วยมวลของเมล็ด ดังนั้น จึงยังคงให้อัตราการอบแห้งสูง ไม่ว่าจะเทียบกันระบบที่อบแห้งโดยใช้เบคนึ่งหรือระบบต่อเนื่องอื่น ๆ ก็ตาม

ดังนั้น การศึกษาการอบแห้งข้าวโพดด้วยวิธีฟลูอิดไดเซชันโดยใช้อุณหภูมิสูง และ เหมาะสมจึงมีประโยชน์ในแง่ของการเพิ่มสมรรถนะ หรือ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งในขนาดทางอุตสาหกรรมต่อไป โดยวัตถุประสงค์ที่สามารถให้คุณภาพของข้าวโพดหลังอบแห้งในเกณฑ์ที่ดีให้อัตราการอบแห้งที่สูง และยังสามารถช่วยลดความสูญเสียของเมล็ดที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนย้ายข้าวโพดเป็นจำนวนมากด้วยซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีค่าอันสำคัญต่อการวิเคราะห์การอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบคในทางอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันแบบธรรมดา และแบบใช้เทคนิคลมหมุนควงในกระบวนการอบแห้ง
2. ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบคแบบใช้เทคนิคลมหมุนควงได้
3. เปรียบประสิทธิภาพที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบคแบบใช้เทคนิคลมหมุนควงภายในหอทดลองกับเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบคแบบธรรมดา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบคแบบธรรมดาและแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง
2. ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบคแบบธรรมดา และเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบคแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง
3. ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบค ในช่วงความเร็วลมระหว่าง 0.5, 1, 1.5 และ 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 100°C
4. ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยการใช้ลมหมุนควง โดยมีผิวหอทดลองเอียงทำมุมเป็นรูปกรวย 0, 60, 75 และ 90 องศา โดยในแต่ละมุมใช้ความเร็วลม 0.5, 1 และ 1.5 m/s ที่อุณหภูมิ 80 และ 100°C
5. ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดแบบฟลูอิดไดซ์เบคโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย โดยใช้ความเร็วลมหมุน 2 และ 3 m/s และความเร็วลมตรง 1 และ 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีฟลูอิดไดเซชัน

ฟลูอิดไดเซชัน เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็ง ซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ด หรือชิ้น สัมผัสกับของไหลซึ่งไหลผ่านเม็ดของแข็งที่มีความเร็วสูงพอ ที่จะทำให้ของแข็งดังกล่าวเคลื่อนที่และ ประพฤติตัวคล้ายของไหล เมื่อนำเม็ดของแข็งกลุ่มหนึ่งมาวางไว้บนตะแกรงที่รองรับ แล้วให้ของไหล ไหลผ่านเม็ดของแข็งกลุ่มนั้น หลังจากนั้นทำการเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นเรื่อยๆ เมื่อของไหลมี ความเร็วค่าหนึ่ง จะเห็นเม็ดของแข็งเริ่มขยับตัวแล้วลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ใน ลักษณะนี้ จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล เรียกของแข็งที่ประพฤติตัวในลักษณะนี้ว่า ฟลูอิดไดซ์เบด และ เรียกปรากฏการดังกล่าวว่า ฟลูอิดไดเซชัน ซึ่งพฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดเซชันดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.1.1 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน

งานของฟลูอิดไดเซชันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. ฟลูอิดไดเซชันแบบสองสถานะ (Two-phase Fluidization) หมายความว่า ในหอตลอดหรือ เบดที่ใช้งานจะประกอบไปด้วยสองสถานะ คือของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือ ของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิด ไดเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (Gas Fluidization) และ ฟลูอิด ไดเซชันเหลว (Liquid Fluidization)

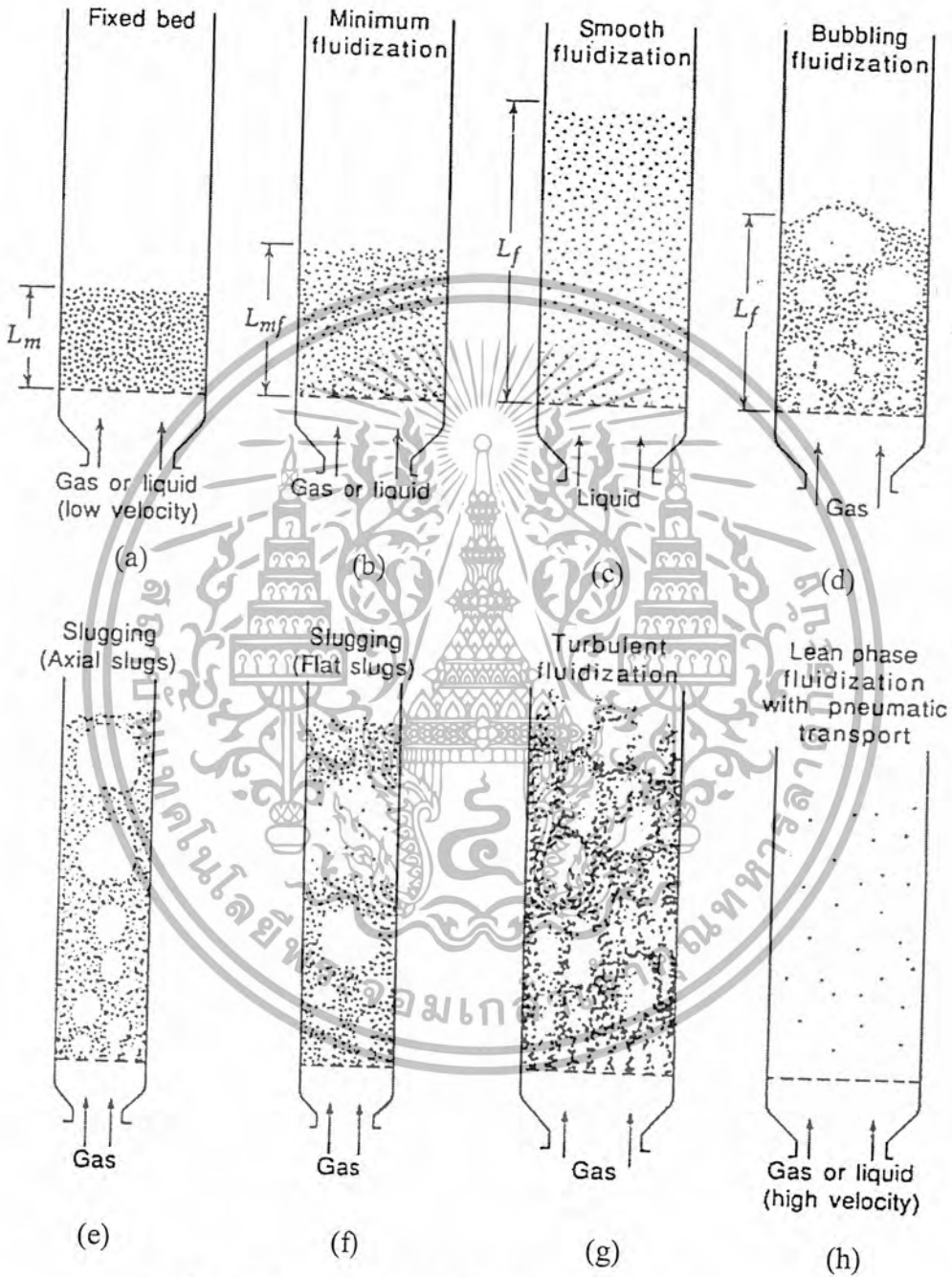
2. ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ (Three-phase Fluidization) หมายความว่าภายในหอตลอดหรือ เบดจะประกอบไปด้วยสามสถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซสำหรับฟลูอิดไดเซชันสาม สถานะนั้นเป็นขบวนการที่พัฒนาไปจากฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ

2.1.2 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึง อาณาเขตในหอตลอดที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้น จะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอตลอดจะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะทำเป็นตะแกรงรองรับหรือ เป็นตัวกระจายของไหล (Distributor) จนถึงระดับสูงสุด คือ ผิวหน้าของเม็ดแข็งที่อยู่ในหอตลอด

เมื่อบรรจุเม็ดของแข็งในหอตลอดเรียบร้อยแล้ว เริ่มปล่อยของไหลเข้าทางด้านล่าง ของหอตลอดอย่างช้า ๆ ขณะที่ของไหลความเร็วยังน้อยอยู่ เม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของ เบดเช่นนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็ว ระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งเริ่มขยับตัว และจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นอีก เล็กน้อยของแข็งจะหลุดออกจากกันลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะนี้เรียกว่า จุดเริ่มฟลูอิดไดเซชัน หลังจากจุด นี้ไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้เบดขยายตัวตามความเร็วของของไหล เม็ดของแข็งอยู่ ชิดกันมาก ดูเหมือนว่าเม็ดของแข็งยังจับกันเป็นกลุ่มก้อน เบดลักษณะนี้เรียกว่าฟลูอิดไดซ์เบดแบบ หนาแน่น (Dense phase fluidized bed) ถ้าความเร็วของไหลมากขึ้นอีกของไหลก็เกือบจะพาเอาเม็ด

ของแข็งออกไปจากหอตลอดอยู่แล้ว เบลักษณะนี้เรียกว่าฟลูอิดไดซ์เบดเจือจาง (Diluted - phase fluidized bed) หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วของไหลอีกเล็กน้อยเม็คของแข็งก็จะหลุดลอยออกจากหอตลอดไป



รูปที่ 2.1 พฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดซ์ชัน [Daizo Kunii, 1991]

ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบด เป็นไปอย่างสม่ำเสมอการลอยตัว และหมุนรอบตัวของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างช้า ๆ เราเรียกเบดนี้ว่าเบดสม่ำเสมอ หรือเบดที่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 2.1 (b) ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นก๊าซ ลักษณะของเบดจะแตกต่างจากที่ใช้ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้เข้าใจผิดว่าเอกสารนี้เป็นการรับประกันคุณภาพหรือการรับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบคแล้ว ก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิมแต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวกันเป็นฟองก๊าซขึ้น ฟองก๊าซก็จะแทรกตัวของขึ้นมายังบนผิวหน้าของเบคและแตกตัวเองในที่สุด ขณะที่ฟองก๊าซลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งไหลจากส่วนหลังคาของฟองก๊าซลงมายังส่วนล่าง พร้อมกันนั้นยังมีบางส่วนของเม็ดของแข็งลอยติดตามฟองก๊าซขึ้นไปตาม ภายในเบคจะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างสุ่มจนวุ่นวายเบคชนิดนี้เรียกว่าฟลูอิดไดซ์เบควุ่นวาย ดังรูปที่ 2.1 (d)

2.2 กลศาสตร์ของการเกิดฟลูอิดไดเซชัน

พฤติกรรมของการเกิดฟลูอิดไดเซชันมักมีตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบอย่างมาก เพราะก่อนที่เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวหรือเกิดฟลูอิดไดซ์เบค เม็ดของแข็งจะพักอยู่บนระนาบรองรับปล่อยให้ของไหลไหลผ่านไปตามช่องว่างที่อยู่ในเบค ความเร็วของของไหลจึงมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเบค ดังรายละเอียดต่อไปนี้

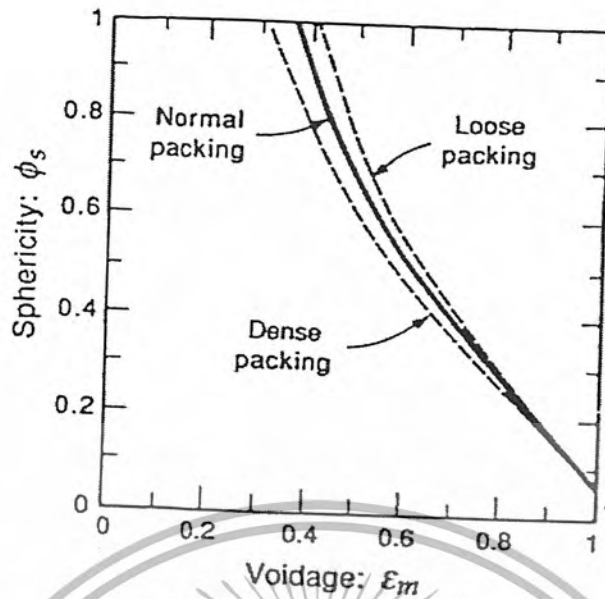
2.2.1 ความเป็นทรงกลม (Sphericity, ϕ_s)

การวัดค่าความไม่เป็นทรงกลมศึกษาโดย Zenz และ Othmer ปี 1960 ที่อ้างอิงโดย Kunii, D. Levenspiel, O. (1991) โดยความเป็นทรงกลมหมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของเม็ดทรงกลมที่มีปริมาตรเท่าเม็ดของแข็งต่อพื้นที่ผิวของเม็ดของแข็งใดๆ โดยที่เม็ดของแข็งเป็นทรงกลมค่าความเป็นทรงกลมมีค่าเท่ากับหนึ่ง ($\phi_s = 1$) และถ้าถ้าเม็ดของแข็งมีรูปร่างต่างๆ ไปค่าความเป็นทรงกลมมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ ($\phi_s < 1$) เสมอ

2.2.2 สัดส่วนช่องว่าง (Fraction void, ϵ_m)

กรณีที่เม็ดของแข็งมีรูปร่างเป็นทรงกลมและขนาดสม่ำเสมอตลอด เราสามารถคำนวณหาช่องว่างระหว่างเม็ดทรงกลมเหล่านี้ได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ลักษณะการเรียงตัวของเม็ดทรงกลมในเบคทำให้เกิดขนาดของช่องว่างที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป แต่ในกรณีที่เม็ดของแข็งมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม Brown และ คณะ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมกับสัดส่วนช่องว่างไว้ดังรูปที่ 2.2

ในขณะที่เริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน ช่องว่างในเบคจะมีการขยายตัว ช่องว่างในขณะนั้นเรียกว่า สัดส่วนช่องว่างที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบค (ϵ_{mf})



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมกับสัดส่วนช่องว่าง (Kunii, D. Levenspiel, O. 1991)

WEN และ YU, 1966 ได้เสนอผลคูณของช่องว่างต่ำสุดและความเป็นทรงกลม เป็นค่าคงที่และอาจสังเกตได้จากการทดลองของเขาโดยใช้วัตถุนิตต่างๆ บรรจุลงในเบดแล้วสรุปว่าวัตถุอย่างหนึ่งก็จะมีสัดส่วนช่องว่างอันหนึ่ง ดังสมการ

$$\epsilon_{mf} = \left(\frac{0.071}{\phi_s} \right)^{1/3} \tag{2.1}$$

2.2.3 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน, u_{mf}

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากการไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหลซึ่งเขียนและจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{\Delta p}{L_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) g \tag{2.2}$$

โดยการประยุกต์สมการ (3.6) กับสมการความดันตกของ ERGUN จะได้

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s} \text{Re}_{mf}^2 + \frac{150(1 - \epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s^2} \text{Re}_{mf} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu_g^2} \tag{2.3}$$

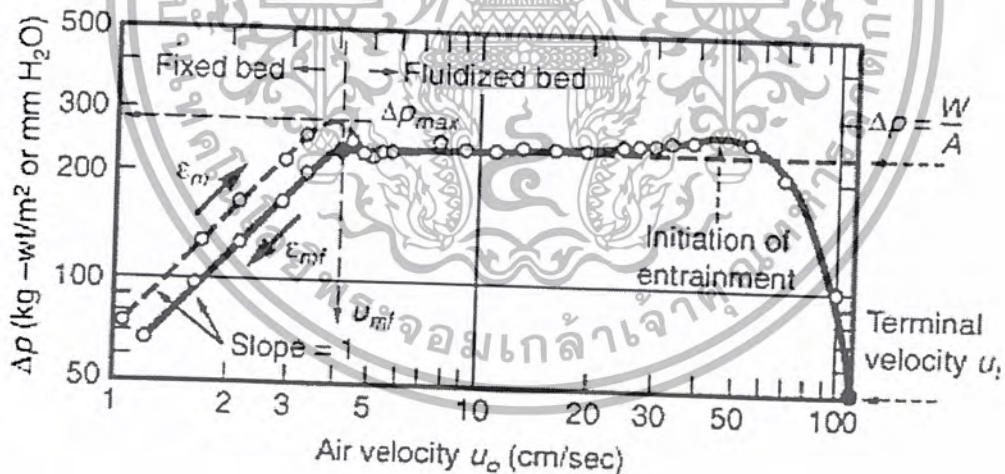
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$Re_{mf} = \frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu_g} \quad (2.4)$$

- เมื่อ Re_{mf} คือ Reynolds number ที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน
- d_p คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง, เมตร
- g คือ อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก, เมตร/ชม.²
- L_{mf} คือ ความสูงต่ำสุดของเบด, เมตร
- Δp คือ ความดันต่างของเบด, นิวตัน/เมตร²
- u_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไลเซชัน, เมตร/วินาที
- μ คือ ความหนืดของของไหล, กิโลกรัม-เมตร/วินาที
- ρ_g คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, กิโลกรัม/เมตร³
- ρ_s คือ ความหนาแน่นของของแข็ง, กิโลกรัม/เมตร³

ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชันสามารถหาได้วิธีการหนึ่ง คือจากการทดลองโดยพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วอากาศ (Superficial air velocity) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วอากาศ

2.2.4 ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลอยู่นิ่ง, u_t

ในฟลูอิดไลเซชันนั้นมีขอบเขตความเร็วของของไหลอยู่สองอย่างคือ ขอบเขตแรก คือความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไลเซชัน และขอบเขตที่สองคือ ความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งลอยตัว

หลุดออกจากหม้อต้ม ความเร็วนี้มีขนาดเท่ากับความเร็วตกอิสระของของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Haider และ Levenspiel ได้เสนอการหาค่าความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งดั่งสมการ

$$u_t^* = \left[\frac{18}{(d_p^*)^2} + \frac{2.335 - 1.744\phi_s}{(d_p^*)^{0.5}} \right]^{-1} \quad (2.5)$$

เมื่อ d_p^* คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดของแข็งไร้มิติ

โดยที่ $0.5 < \phi_s < 1$ และ

$$d_p^* = d_p \left[\frac{\rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \right]^{1/3} \quad (2.6)$$

ดังนั้นความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งมีค่าเท่ากับ

$$u_t = u_t^* \left[\frac{\mu (\rho_s - \rho_g) g}{\rho_g^2} \right]^{1/3} \quad (2.7)$$

เมื่อ u_t^* คือ ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งไร้มิติ

2.3 กระบวนการอบแห้ง

“การอบแห้ง” คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยทั่วไปจะอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุ และการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน และความชื้นจะช้าหรือเร็วเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง สิ่งสำคัญในการอบแห้งคือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาวาสกุลไว้ได้นาน และเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุ เนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์

โดยทั่วไปเรามักจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธี และเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งเร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ช่วงของการอบแห้ง

ในกระบวนการอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

2.4.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate Drying Period)

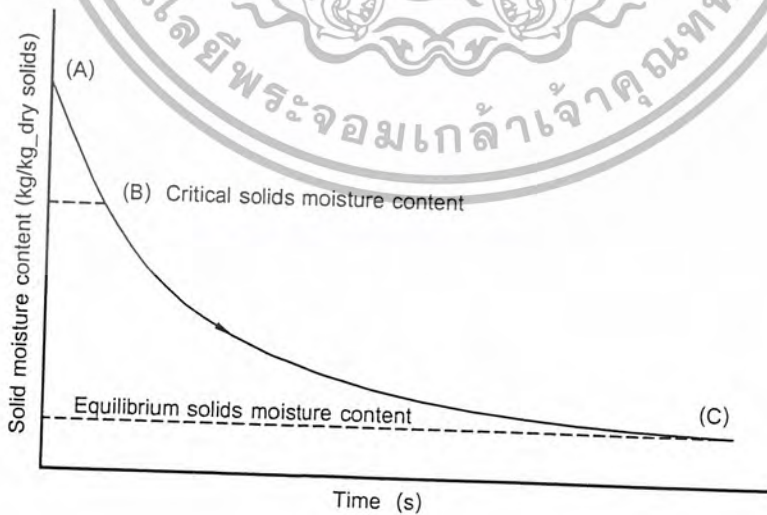
จากรูปที่ 2.4 ในช่วง A ถึง B ผิววัสดุจะมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ผิว ค่าช้ากว่าการแพร่ของความร้อนภายในวัสดุของวัสดุ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของผิววัสดุมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ T_{wb} และความเข้มข้นของน้ำที่ผิววัสดุคงที่ ดังนั้นอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ถ้า p_{wb} คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก, p คือ ความดันย่อยของไอในอากาศ และ K_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ดังนั้นค่าอัตราการระเหยน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวของวัสดุ N_c ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ที่กำหนดโดยสมการ

$$N_c = K_p (p_{wb} - p) \tag{2.8}$$

เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของวัสดุไม่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ แสดงว่าความร้อนทั้งหมดถูกถ่ายโอนจากอากาศไปยังวัสดุ เพื่อใช้ในการระเหยกลายเป็นไอ จากสมการที่ 2.8 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$N_c = \frac{h_p}{\lambda} (T - T_{wb}) \tag{2.9}$$

เมื่อ h_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่ผิววัสดุ, λ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและ T คือ อุณหภูมิอากาศ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง (Davidson, J. F. Clift, R. and Harrison, D. 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-Rate Drying Period)

ช่วง B ถึง C หลังจากที่มีความชื้นบริเวณผิวหน้าของวัสดุถูกระเหยออกไปมากแล้ว อัตราการอบแห้งจะเริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่ตำแหน่ง B นี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลownั้น การแพร่ของความชื้นมายังผิววัสดุช้ากว่าการระเหยของน้ำที่ผิวของวัสดุ ดังนั้นอัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมด้วยการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุ โดยที่ผิวของวัสดุจะค่อยๆ แห้งและอุณหภูมิก็จะค่อยๆ สูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัสดุถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุส่วนหนึ่งจึงมีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ในการระเหยน้ำ อัตราการอบแห้งจึงลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่งแล้วความชื้นก็จะไม่ลดลงอีก เรียกว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ดังรูปที่ 2.4 ที่จุด C โดยทั่วไปการอบแห้งเมล็ดพืชจะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น มีสมการอบแห้งหลายรูปแบบทั้งสมการทางทฤษฎี สมการกึ่งทฤษฎี และสมการเอมไพริคัลซึ่งได้จากการทดลอง ที่พยายามทำนายในช่วงความชื้นลดลง

2.5 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกรปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w

$$M_w = \frac{w - d}{w} \tag{2.10}$$

ความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในการการค้า โดยทั่วไปจะอ้างในรูปของเปอร์เซ็นต์ $100M_w$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d

$$M_d = \frac{w - d}{d} \times 100 \tag{2.11}$$

- เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ, kg
- d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นมาตรฐานแห้งนี้เป็นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่เกือบคงที่ผลผลิตทางเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ชนิดของเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืชสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 แบบคือ เครื่องอบแห้งแบบ Batch type และ เครื่องอบแห้งแบบ Continuous-flow type

2.5.1 เครื่องอบแห้งแบบ Batch type

เป็นเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดอยู่ในเครื่อง อาจบรรจุหรือไม่บรรจุก็ได้ เมล็ดจะไม่มีเคลื่อนที่จนกระทั่งเมล็ดแห้งจึงลำเลียงออกไป ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งแบบนี้ได้แก่

1. Bin drier เป็นเครื่องอบแห้งที่เมล็ดอยู่กับที่ เมล็ดจะถูกบรรจุอยู่ในถังขนาดใหญ่ที่มีพื้นเป็นตะแกรง โดยอากาศร้อนจะถูกเป่าผ่านเมล็ดจากทางด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ความสูงของกองเมล็ดต้องไม่สูงเกินไป เพราะถ้ากองเมล็ดสูงเกินไปเมล็ดทางด้านบนจะยังคงชื้นอยู่
2. Sack drier เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้อบเมล็ดที่บรรจุอยู่ในถุงหรือกระสอบ โดยที่ถุงหรือกระสอบต้องทำจากวัสดุโปร่ง และไม่ควรรวมเมล็ดแน่นเกินไป ถุงจะถูกวางอยู่บนพื้นที่ยกสูงและมีช่องให้อากาศร้อนผ่านจากด้านล่างขึ้นมา
3. Tray drier เป็นเครื่องอบแห้งที่มีวิธีการอบคล้ายกับวิธี Sack drier แต่เมล็ดจะบรรจุอยู่ในกระบะ ซึ่งกระบะจะมีด้านล่างเป็นตะแกรง อากาศร้อนจะเป่าผ่านจากด้านล่างขึ้นมายังด้านบนเช่นเดียวกัน
4. Circular drier หรือ Radial flow drier เป็นเครื่องอบแห้งที่ปล่องตรงกลางทำด้วยตะแกรง เมล็ดจะถูกบรรจุในถังรอบปล่องตะแกรง อากาศร้อนจะถูกเป่าผ่านรูตะแกรงไปสู่เมล็ดที่อบในแนวรัศมี

2.5.2 เครื่องอบแห้งแบบ Continuous-flow type

เป็นเครื่องอบแห้งแบบที่เมล็ดพันธุ์ที่จะทำการอบจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องอบและเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ไหลเวียนผ่านอากาศร้อนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเมล็ดแห้ง ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งแบบนี้ได้แก่

1. Column drier เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับเมล็ดปริมาณมาก โดยให้เมล็ดไหลผ่านช่องที่มีลมร้อนเป่า แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ
 - 1.1 Solid Column เครื่องอบแห้งแบบนี้ภายในถังบรรจุเมล็ดจะมีช่องทางลงเมล็ดค่อน้อย 2 ช่อง ส่วนตรงกลางจะเป็นห้องลมร้อน ลมร้อนจะถูกเป่าออกทางด้านข้างสู่เมล็ด
 - 1.2 Baffle Column เครื่องอบแห้งแบบนี้เมล็ดจะมีการคลุกเคล้ากัน คือจะมีแผ่นทึบที่ทำเป็นแนวกลับทิศทางการไหลของเมล็ดให้สลับไปมา ลมร้อนจะถูกเป่าผ่านช่องระหว่างแผ่นสู่เมล็ด
2. Belt drier เป็นเครื่องอบแห้งที่มีสายพานลำเลียงให้เมล็ดเคลื่อนที่ผ่าน โดยส่งผ่านในแนวระนาบ ลมร้อนจะถูกเป่าผ่านจากด้านล่างสู่ด้านบน

2.5.3 เครื่องอบแห้งที่สามารถเป็นได้ทั้งแบบ Batch type และแบบ Continuous-flow type

นอกจากเครื่องอบแห้งที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเครื่องอบแห้งที่สามารถเป็นได้ทั้งแบบ Batch type และแบบ Continuous-flow type ได้แก่

1. Rotating drum drier เป็นเครื่องอบแห้งที่มีเมล็ดอยู่ในท่อหรือถังหมุน ทำให้เมล็ดที่อยู่ภายในถูกยกขึ้นและตกลงมา โดยลมร้อนจะเป่าผ่านไส้กลางตลอดเวลา
2. Spouted bed เป็นเครื่องอบแห้งที่ได้รับการพัฒนามาจากเครื่องอบแห้งแบบ Fluidized bed แต่จะแตกต่างกันตรงที่เครื่องอบแห้งแบบ Spouted bed มีการเคลื่อนที่ของเมล็ดในรูปแบบของการหมุนวน โดยใช้ลมร้อนเป่าจากด้านล่างเช่นกัน
3. Fluidized bed เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงมาก ลมร้อนจะถูกเป่าผ่านเมล็ดด้วยความเร็วสูงพอเพื่อที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงของเมล็ดและให้เมล็ดลอยตัวอยู่ในอากาศได้



บทที่ 3

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้เทคนิคลมหมุนควง

3.1 การออกแบบกรวย

กรวยที่จัดทำขึ้นมาเป็นกรวยที่ทำจากสังกะสีเอียงทำมุม 60 และ 75 องศา มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณฐานที่ติดกับเทอร์โบเท่ากับ 11.5 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 17 เซนติเมตร ดังรูป 3.1

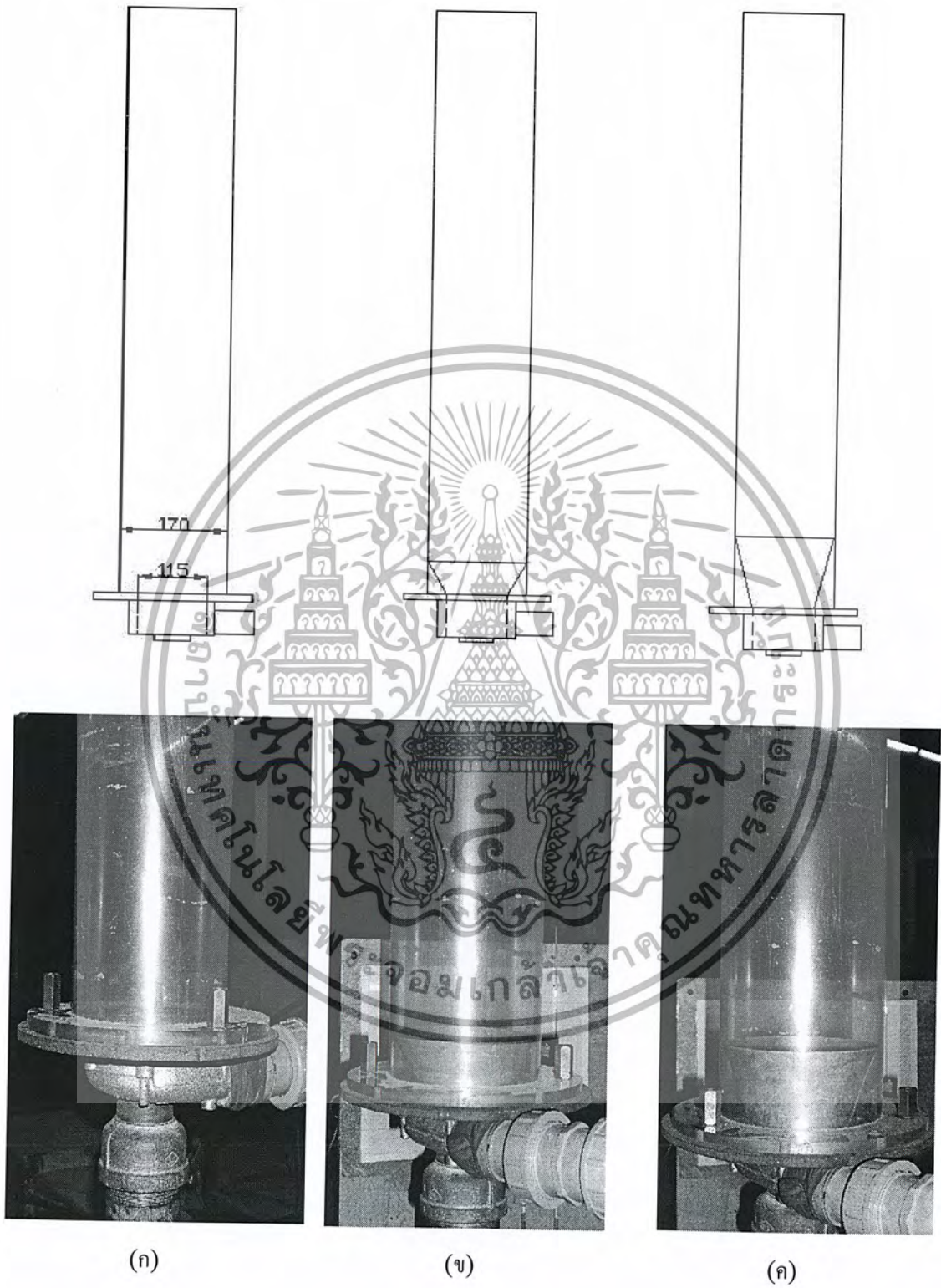


รูปที่ 3.1 ลักษณะของกรวยที่ใช้ในการทดลอง

3.2 แบบของหอทดลอง

หอทดลองที่ใช้เป็นท่ออะคริลิกใส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 17 เซนติเมตร และมีความสูง 1 เมตร โดยทำการติดตั้งเทอร์โบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 เซนติเมตร อยู่ทางด้านล่างของหอทดลอง และทำการติดตั้งกรวยลักษณะ ดังรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

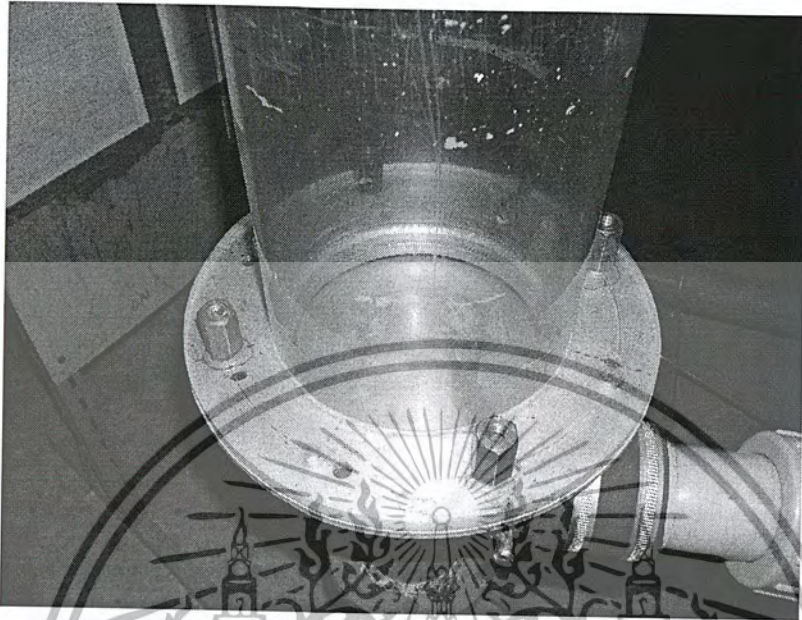


รูปที่ 3.2 ลักษณะของหอทดลองที่ใช้ โดยมีเทอร์โบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 เซนติเมตร ติดอยู่ด้านล่าง โดย (ก) เป็นหอทดลองเปล่าซึ่งกำหนดให้เป็นมุมที่ผิวของหอทดลองที่ 0 องศา

(ข) เป็นมุม 60 องศา และ (ค) เป็นมุม 75 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนหอทดลองที่ต้องการผิวของหอทดลองทำมุม 90 องศา จะใช้เทอร์โบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร มาติดตั้งแทน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงหอทดลองที่ติดตั้งเทอร์โบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงซึ่งแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

4.1.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

หอททดลองที่ใช้ในการทดลองเป็นท่ออะคริลิกใส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 17 เซนติเมตร และมีความสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.1



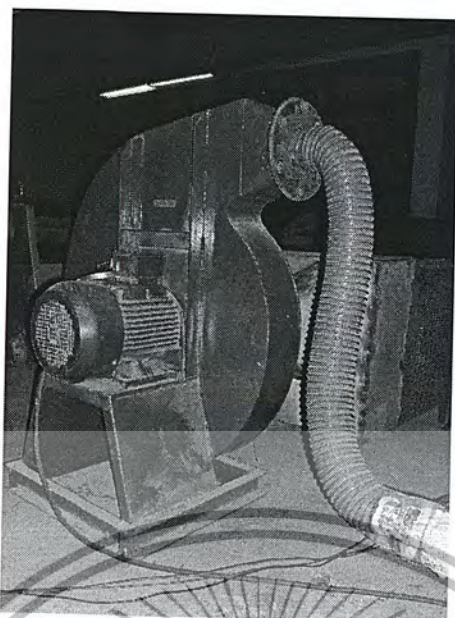
รูปที่ 4.1 หอททดลอง

โดยใช้ เทอร์โบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.5 เซนติเมตร ในการทำให้อากาศเกิดการหมุนวน ขึ้นซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านล่างของท่ออะคริลิกใส และภายในหอททดลองจะมีกรวยที่ทำจากสังกะสี

4.1.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)

ชุดป้อนอากาศนั้นได้ใช้ Blower ขนาด 7.46 กิโลวัตต์มีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบ ขับลมผ่านท่อ และใบพัดเป็นแบบ Centrifugal ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)

4.1.3 ระบบให้ความร้อน (Heater)

ระบบให้ความร้อนนั้นได้เลือกใช้ Heater ขนาด 12 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้ขดลวดให้ความร้อน ขดอยู่ภายในตัว Heater โดยจะมีตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในการปรับตั้งอุณหภูมิดังรูปที่ 4.4

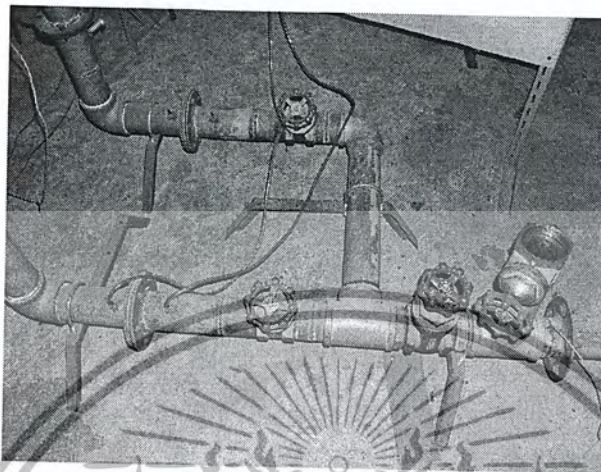


รูปที่ 4.3 ระบบให้ความร้อน(Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ชุดแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

ชุดแยกอากาศจะประกอบด้วยท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควงที่ต่อผ่านชุดป้อนอากาศดังรูปที่ 4.4

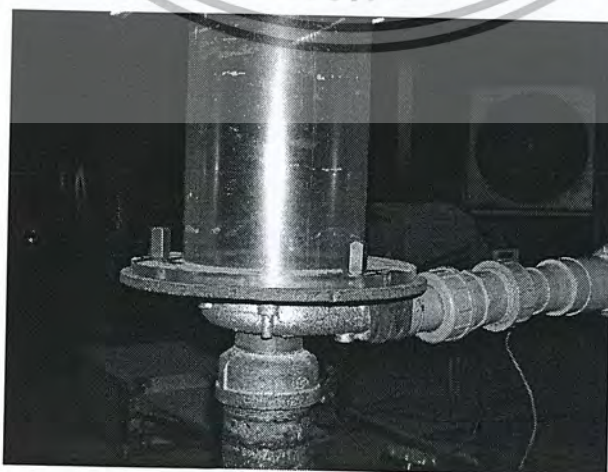


รูปที่ 4.4 ท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

โดยจะใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 81 มิลลิเมตร และมีแผ่นออริฟิซถูกประกอบอยู่ด้านหน้าแปลนเป็นตัวขวางการไหลของอากาศเพื่ออ่านค่าความอิมเตอร์ซึ่งได้ติดตั้งไว้หลังวาล์วซึ่งวาล์วทั้งสองตัวมีไว้เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

4.1.5 ชุดอากาศหมุนควง

ชุดอากาศหมุนควงได้ใช้เทอร์โบซึ่งทำให้อากาศเกิดการหมุนควง ซึ่งด้านบนจะต่อกับท่ออะคริลิก และที่ปากของเทอร์โบจะต่อกับท่ออากาศแบบหมุนควงดังรูปที่ 4.5



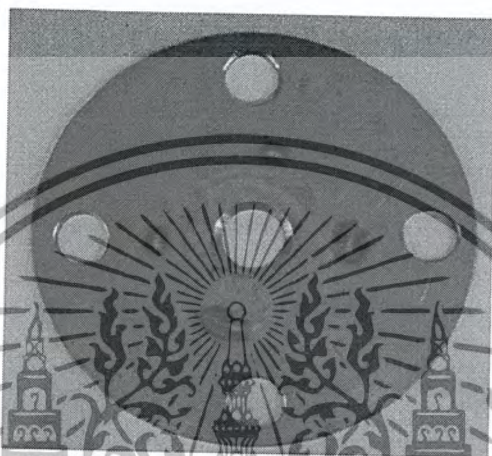
รูปที่ 4.5 ชุดอากาศหมุนควง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

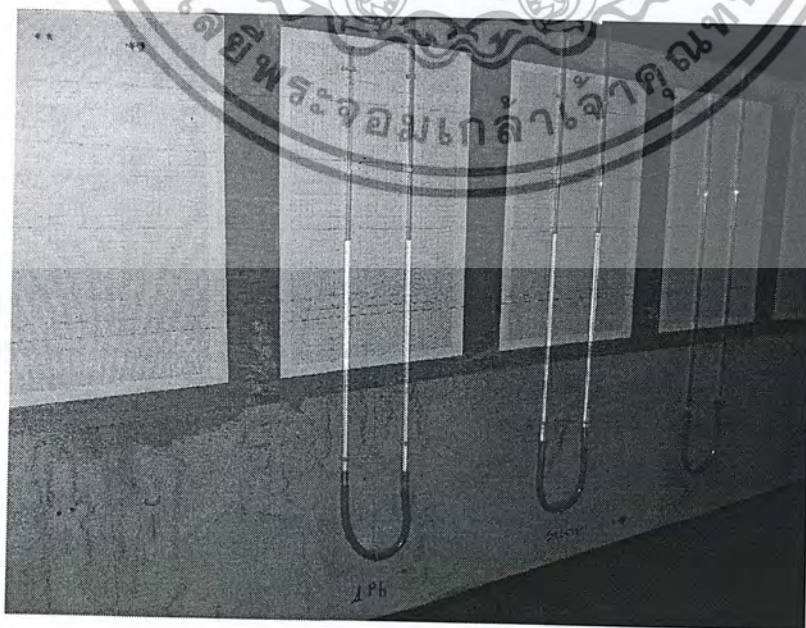
การวัดอัตราการไหลของอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และอากาศแบบหมุนควงจะใช้ออริฟิส (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออริฟิสสามารถอ่านค่าโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าอัตราการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แผ่นออริฟิส (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ออริฟิส 1 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และออริฟิส 2 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบหมุนควง ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผ่นออริฟิส

การสร้างออริฟิสมิเตอร์ใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530) และมาโนมิเตอร์ (Manometer) ซึ่งใช้น้ำเป็นของเหลวภายใน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 มาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

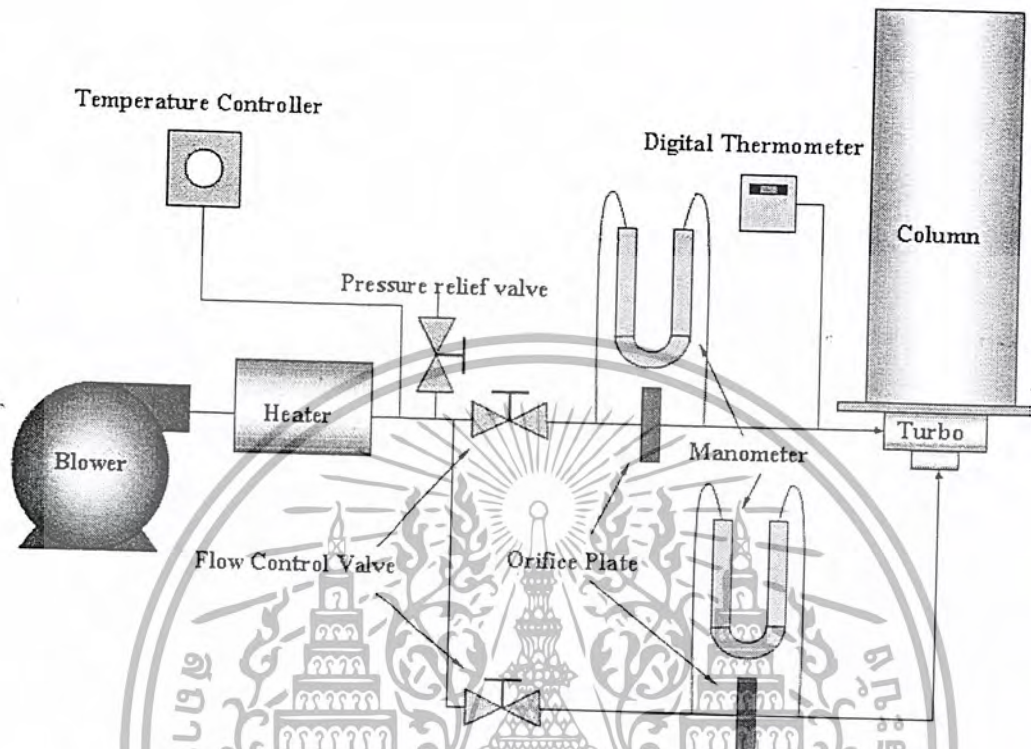
4.1.7 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด

อุปกรณ์วัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเป็นตาชั่งดิจิตอล ที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม แสดงผลเป็นแบบดิจิตอล ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ตาชั่ง

4.2 การติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง



รูปที่ 4.9 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบหอตลอดที่มาจากอะคริลิกใสเข้าด้วยกันกับกรวยสังกะสีและชุดเทอร์โบซึ่งวางอยู่ด้านล่างของหอตลอดดังรูปที่ 4.9 ซึ่งอากาศจะถูกเป่าออกจาก Blower ผ่านเข้าไปใน Heater เพื่อสร้างความร้อนให้กับอากาศ โดยอากาศร้อนจะไหลไปตามท่อผ่านออริฟิสซึ่งใช้วัดความดันโดยมามอนิเตอร์ก่อน แล้วจึงเข้าหอตลอดโดยผ่านเทอร์โบเพื่อสร้างลมหมุน และอัตราการไหลของอากาศถูกควบคุมโดยวาล์ว

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1 การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดสดโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

1. เปิดสวิทช์เดินเครื่อง Blower ให้อากาศไหลผ่านระบบเครื่องอบแห้ง และเปิดเครื่องให้ความร้อน อุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที
2. ปรับความเร็วลมในหอตลอดให้ได้เท่ากับ 1.5 เมตรต่อวินาที
3. ใส่เมล็ดข้าวโพดสด ชั่งน้ำหนัก 300 กรัมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม ลงในหอตลอด และสังเกตผลการทดลอง

4. นำเมล็ดข้าวโพดออกมาชั่งน้ำหนักของน้ำที่หายไปทุก ๆ 10 นาทีและบันทึกผลการทดลอง

5. ทำการทดลองจนกระทั่งมวลของเมล็ดข้าวโพดไม่เปลี่ยนแปลง ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนความอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 1 – 5 ใหม่ตามลำดับ

4.3.2 การแห้งเมล็ดข้าวโพดสดโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแบบใช้ลมหมุนวง

1. เปลี่ยนหอตทดลอง โดยติดตั้งเทอร์โบไว้ทางด้านล่าง ของหอตทดลอง โดยเริ่มการทดลองที่ผิวกรวยที่ 0 องศา
2. เปิดสวิทซ์เดินเครื่องBlower ให้อากาศไหลผ่านระบบเครื่องอบแห้ง และเปิดเครื่องให้ความร้อน อุณหภูมิเครื่องให้ได้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที
3. ปรับความเร็วลมในหอตทดลองให้ได้เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที
4. ใส่เมล็ดข้าวโพดสด ชั่งน้ำหนัก 300 กรัมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม ลงในหอตทดลอง และสังเกตผลการทดลอง
5. นำเมล็ดข้าวโพดออกมาชั่งน้ำหนักของน้ำที่หายไปทุกๆ 10 นาทีและบันทึกผลการทดลอง
6. ทำการทดลองจนกระทั่งมวลของเมล็ดข้าวโพดไม่เปลี่ยนแปลง ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2 - 5 ใหม่ตามลำดับ
7. เปลี่ยนมุมของกรวยเป็น 60 องศา แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2 - 6 ใหม่ตามลำดับ แล้วเปลี่ยนมุมของกรวยเป็น 75 องศา แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2 - 6 ใหม่ตามลำดับ
8. ทดลองมุม 90 องศา โดยการเปลี่ยนขนาดของเทอร์โบ ให้มีขนาดความกว้างเท่ากับหอตทดลอง แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2 - 6 ใหม่ตามลำดับ
9. ปรับความเร็วลมในหอตทดลองเป็น 1.0 m/s แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2,4,5,6,7 และ 8ตามลำดับ
10. ปรับความเร็วลมในหอตทดลองเป็น 1.5 m/s แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2,4,5,6,7 และ 8ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงวิธีการทดลองการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแบบใช้ลมหมุนควง

มุมของผิวหอตลอด(องศา)	อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วลม(m/s)	
0	80	0.5	
		1	
		1.5	
	100	0.5	
		1	
		1.5	
60	80	0.5	
		1	
		1.5	
	100	0.5	
		1	
		1.5	
	75	80	0.5
			1
			1.5
		100	0.5
			1
			1.5
90	80	0.5	
		1	
		1.5	
	100	0.5	
		1	
		1.5	

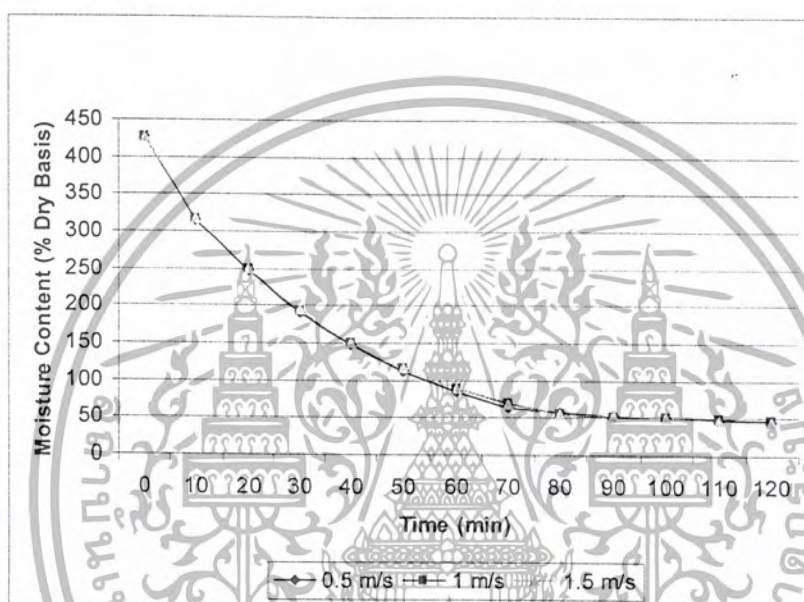
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

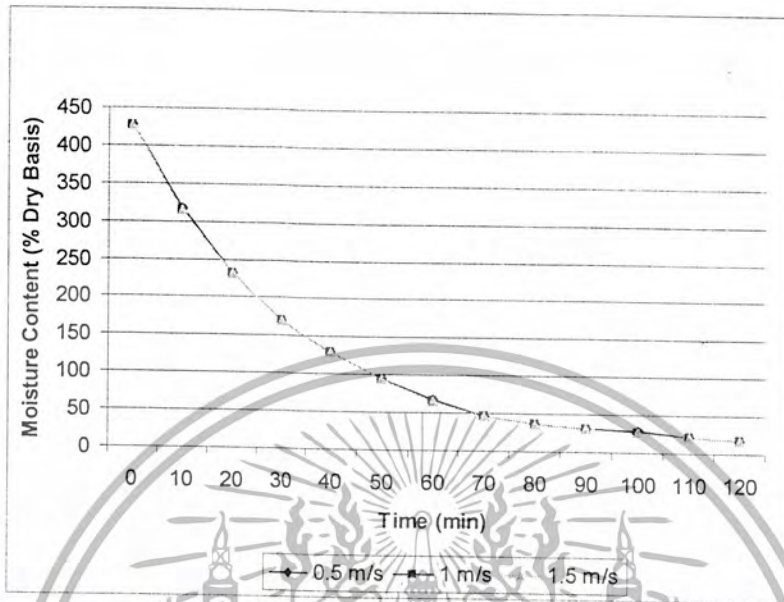
การอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง โดยจากการทำการทดลองที่ความเร็วลมในหอตลอดเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง พบว่าอัตราการอบแห้งแทบจะไม่แตกต่างกัน

การอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 5.2



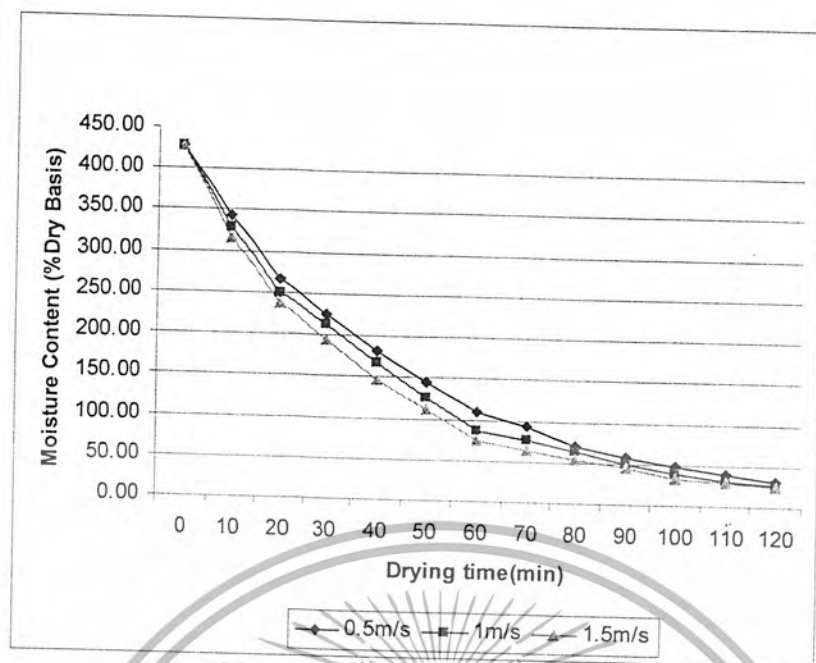
รูปที่ 5.2 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง โดยจากการทำการทดลองที่ความเร็วลมในหอตลอดเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง อัตราการอบแห้งแทบจะไม่แตกต่างกัน

5.2 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

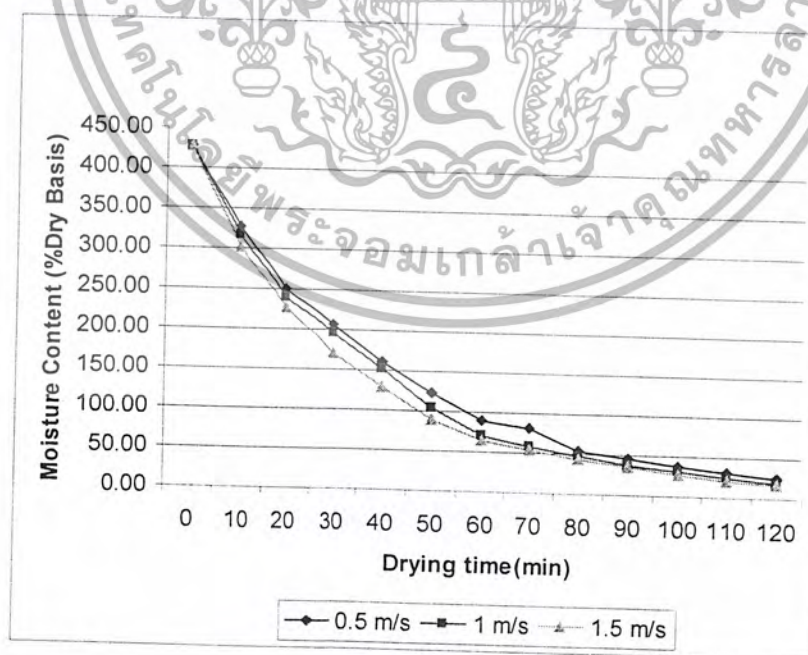
5.2.1 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตลอดเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตลอด 0 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 0 องศา

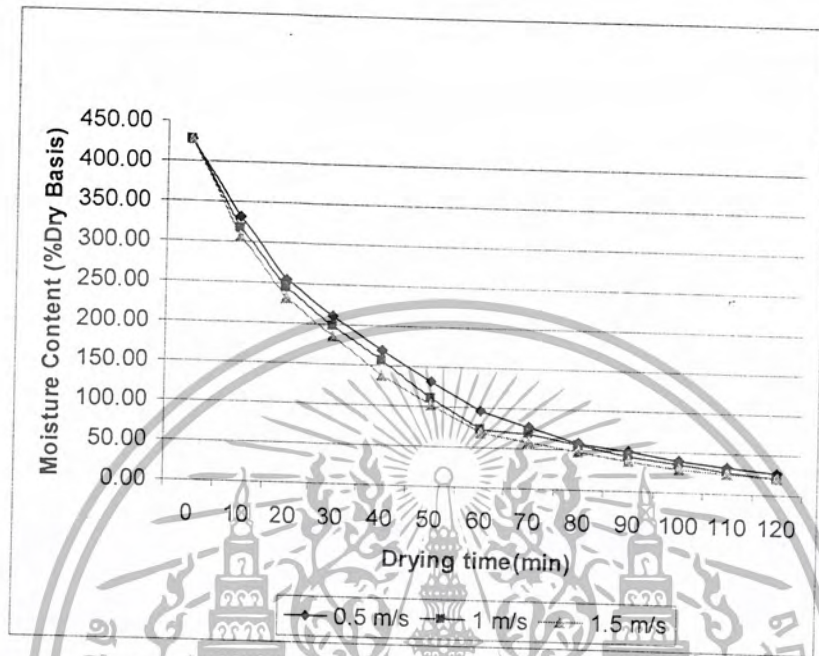
การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอคดลองเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 60 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอคดลอง 60 องศา

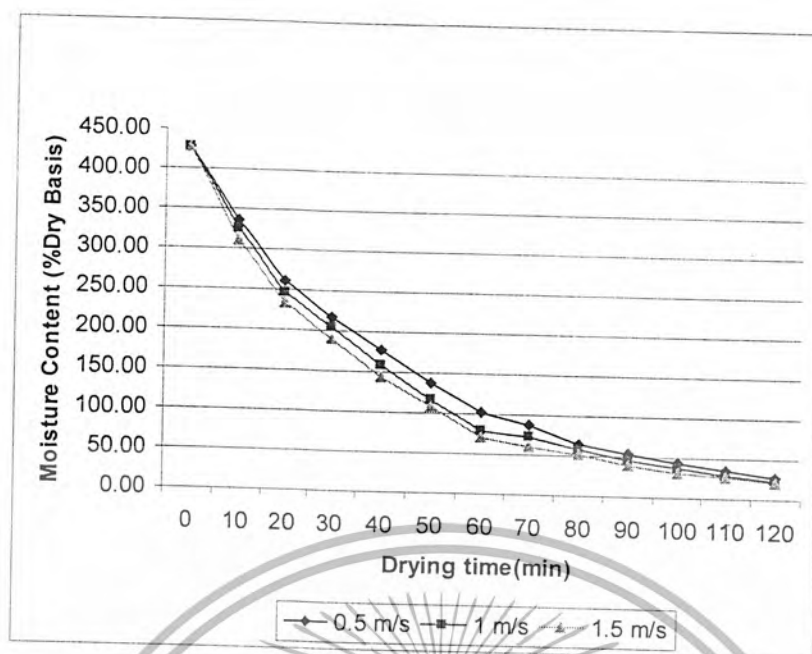
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตดลองเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 75 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 75 องศา

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตดลองเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 90 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.6

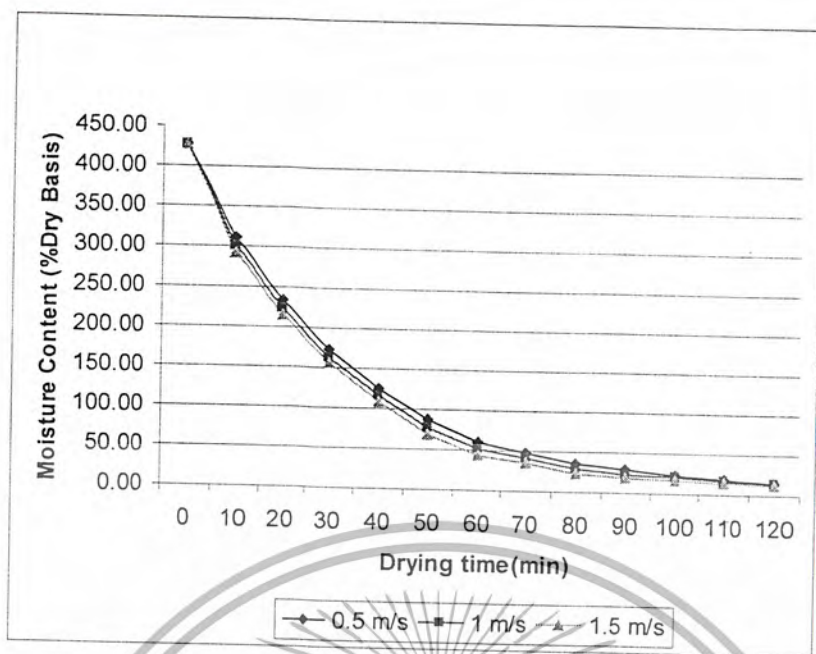


รูปที่ 5.6 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตลอด 90 องศา

จากกราฟรูปที่ 5.3, 5.4, 5.5 และ 5.6 จะพบว่าที่อุณหภูมิในการทดลอง 80 องศาเซลเซียส และมุมของหอตลอด 0, 60, 75 และ 90 องศา ซึ่งวัดจากขอบเทอร์โบ ความเร็วลมภายในหอตลอดมีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอตลอดจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าที่ความเร็วลมหมุนในหอตลอด 1.5 m/s จะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งดีที่สุด ตามด้วย 1 m/s และ 0.5 m/s ตามลำดับ

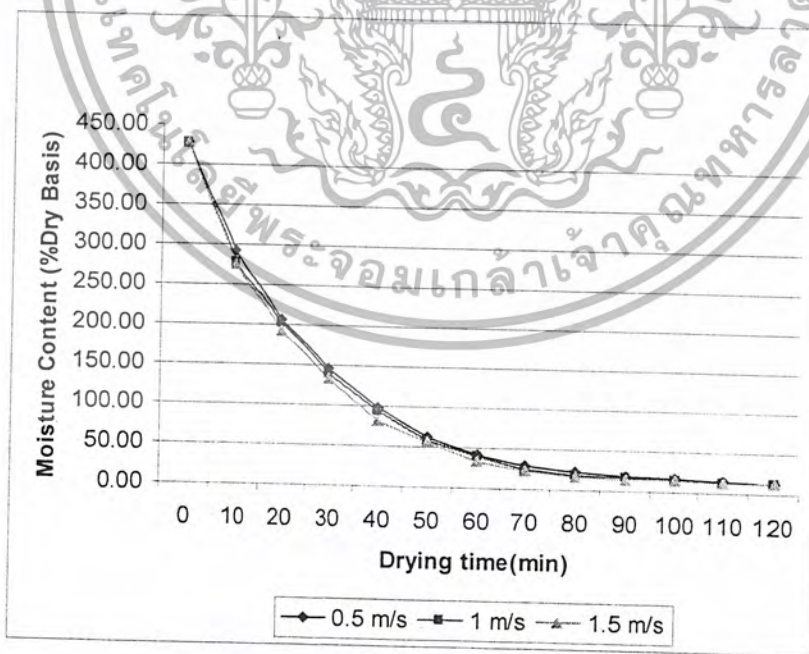
5.2.2 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตลอดเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอตลอด 0 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอทดลอง 0 องศา

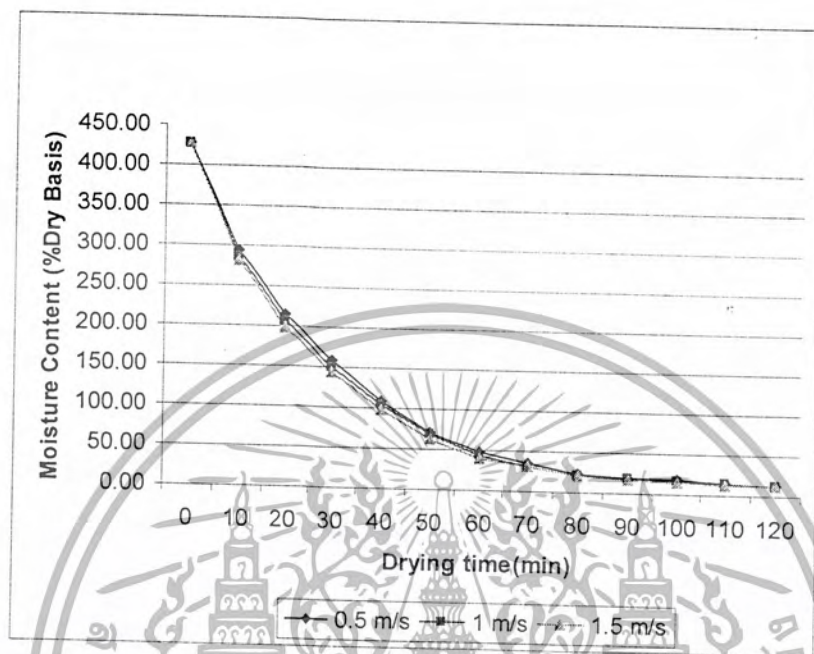
การอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอทดลองเป็น 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอทดลอง 60 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5,1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอทดลอง 60 องศา

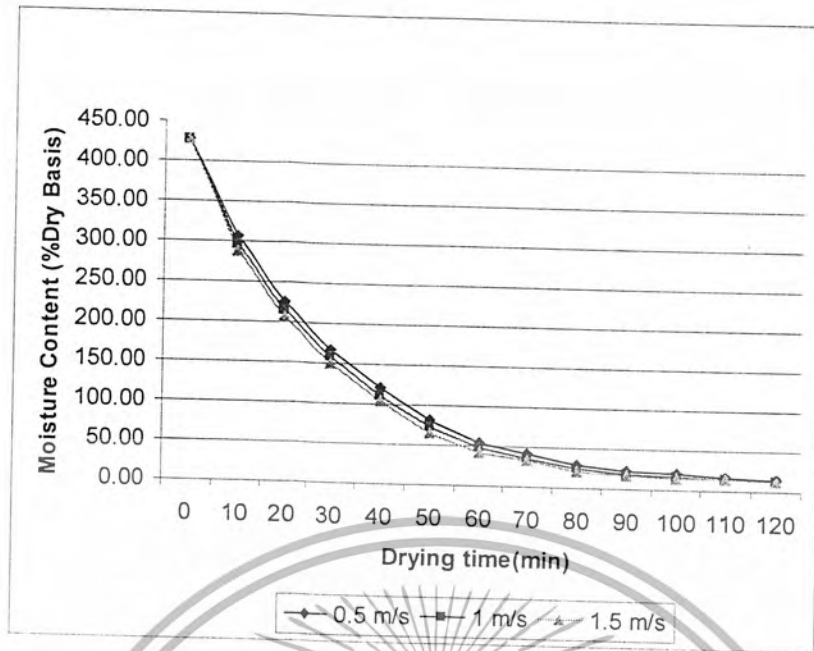
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตดลองเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 75 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 75 องศา

การอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่เปลี่ยนความเร็วลมภายในหอตดลองเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิที่ใช้ทำการอบเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอตดลอง 90 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 5.10



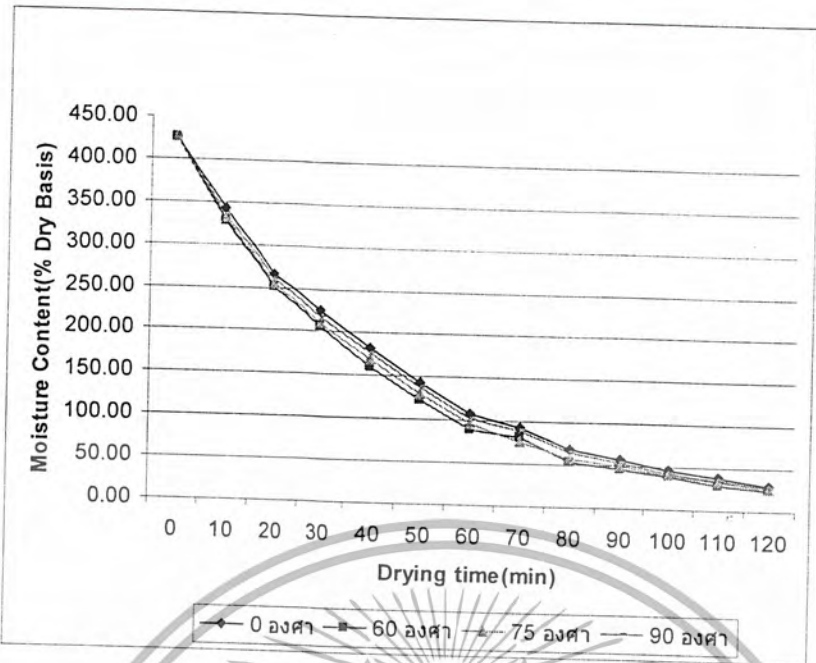
รูปที่ 5.10 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอยทาดลอง 90 องศา

จากกราฟรูปที่ 5.7, 5.8, 5.9 และ 5.10 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และมุมของหอยทาดลอง 0, 60, 75 และ 90 องศา ซึ่งวัดจากขอบเทอร์โบ ความเร็วลมในหอยทาดลองมีผลต่ออัตราการอบแห้งคือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอยทาดลองจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าที่ความเร็วลมหมุนในหอยทาดลอง 1.5 m/s จะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งดีที่สุด ตามด้วย 1 m/s และ 0.5 m/s ตามลำดับ

5.3 ผลของการอบแห้งที่มุมของหอยทาดลองต่างกันและความเร็วลมเดียวกัน

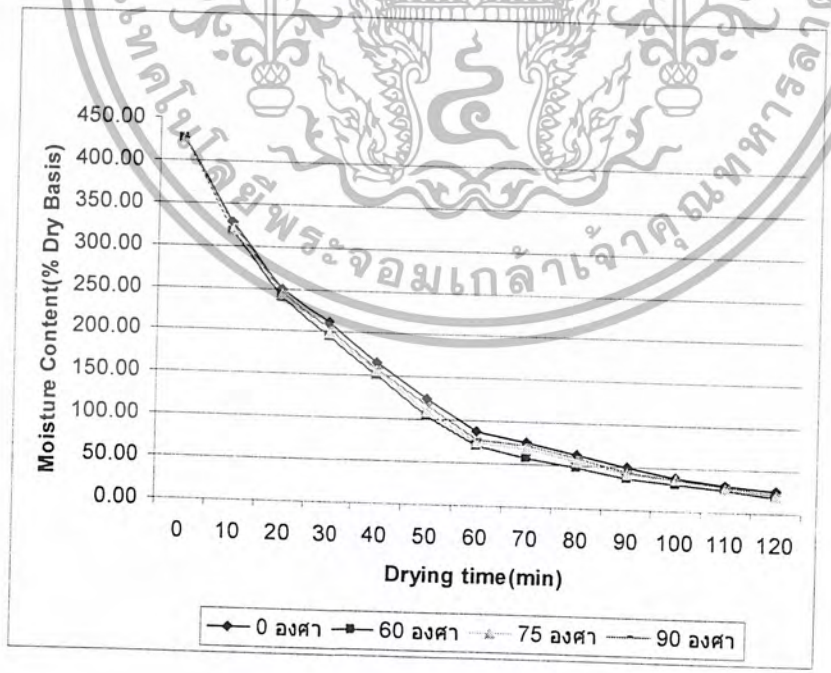
5.3.1 ผลของการอบแห้งที่มุมของหอยทาดลองต่างกันและความเร็วลมเดียวกันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

การอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลมในหอยทาดลอง 0.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอยทาดลองมีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.11



รูปที่ 5.11 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคอย 0,60,75 และ 90 องศา ที่ ความเร็วลม 0.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

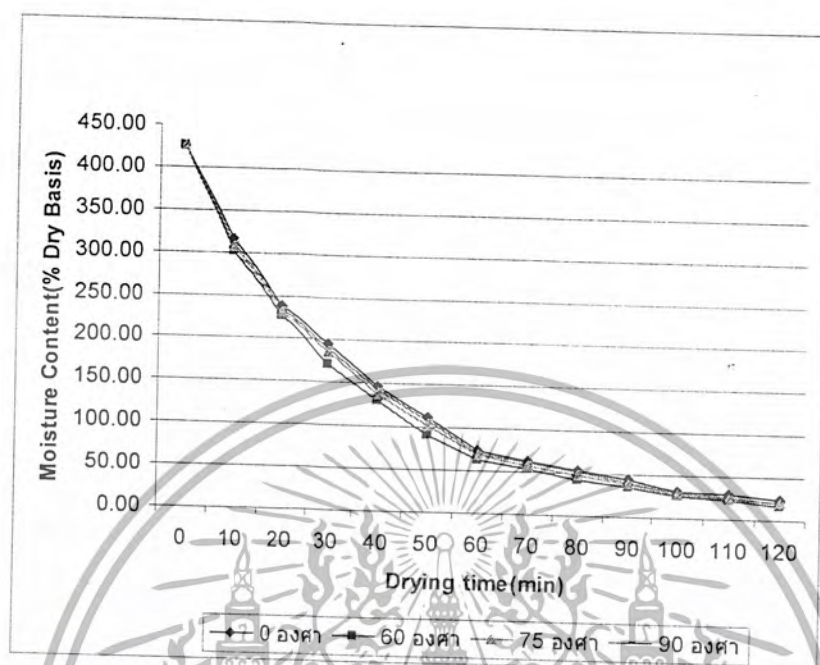
การอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบคโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลมในหอคอย 1.0 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอคอยมีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.12



รูปที่ 5.12 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอคอย 0,60,75 และ 90 องศา ที่ ความเร็วลม 1 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคหมุนควงที่ความเร็วลมในหอตลอด 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอตลอดที่มีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.13

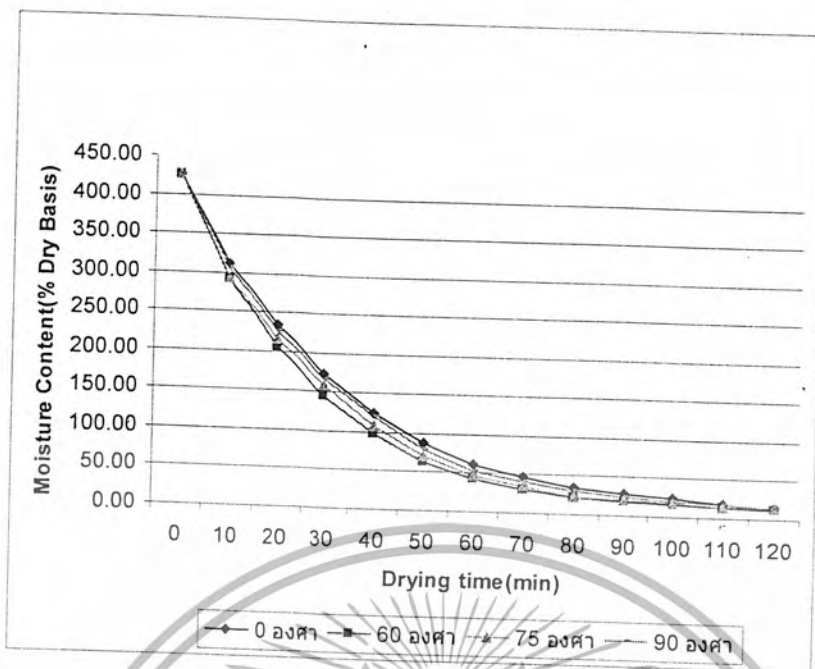


รูปที่ 5.13 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคหมุนควงที่มุมของหอตลอด 0, 60, 75 และ 90 องศาที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 จะพบว่าที่ความเร็วลมในหอตลอดเดียวกันและอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มุมของหอตลอด 60 องศาซึ่งวัดจากขอบเทอร์โมจะให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุดตามด้วยมุม 75, 90 และ 0 องศา ตามลำดับ

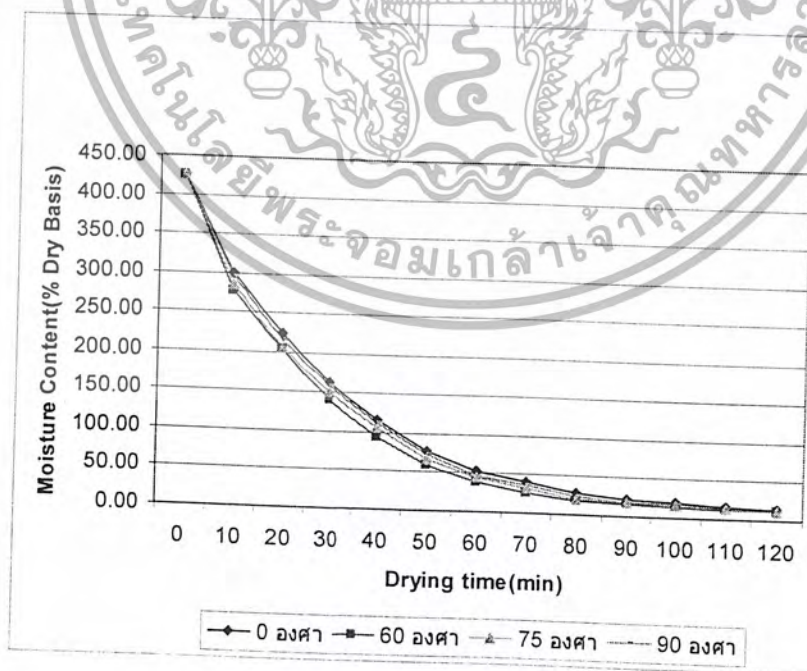
5.3.1 ผลของการอบแห้งที่มุมของหอตลอดต่างกันและความเร็วลมเดียวกันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคหมุนควงที่ความเร็วลมในหอตลอด 0.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอตลอดที่มีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.14



รูปที่ 5.14 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอตดลอง 0,60,75 และ 90 องศาที่ ความเร็วลม 0.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

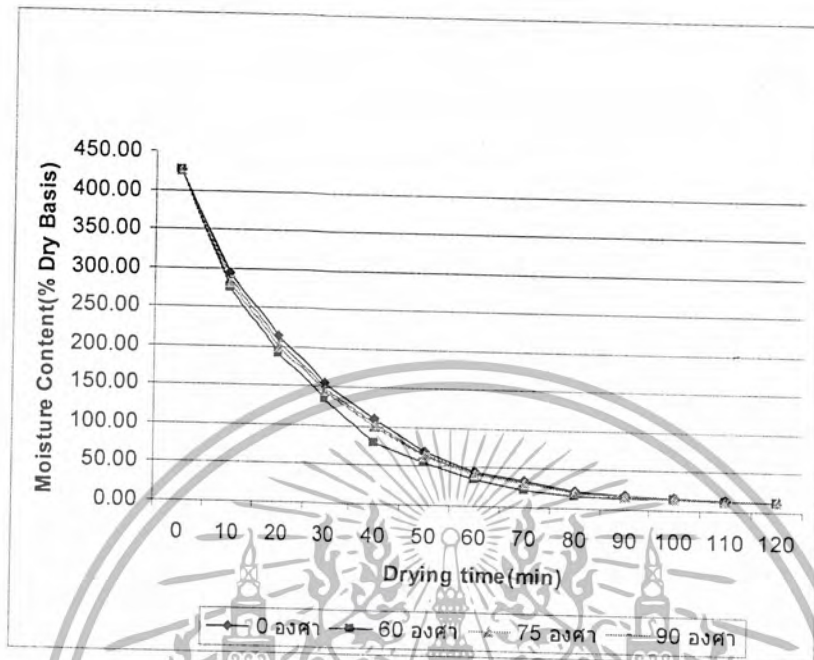
การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลมในหอตดลอง 1.0 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอตดลองมีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.15



รูปที่ 5.15 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอตดลอง 0,60,75 และ 90 องศาที่ ความเร็วลม 1.0 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่ความเร็วลมในหอตลอด 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อิทธิพลของมุมของหอตลอดมีผลต่อการอบแห้งดังแสดงในรูป 5.16

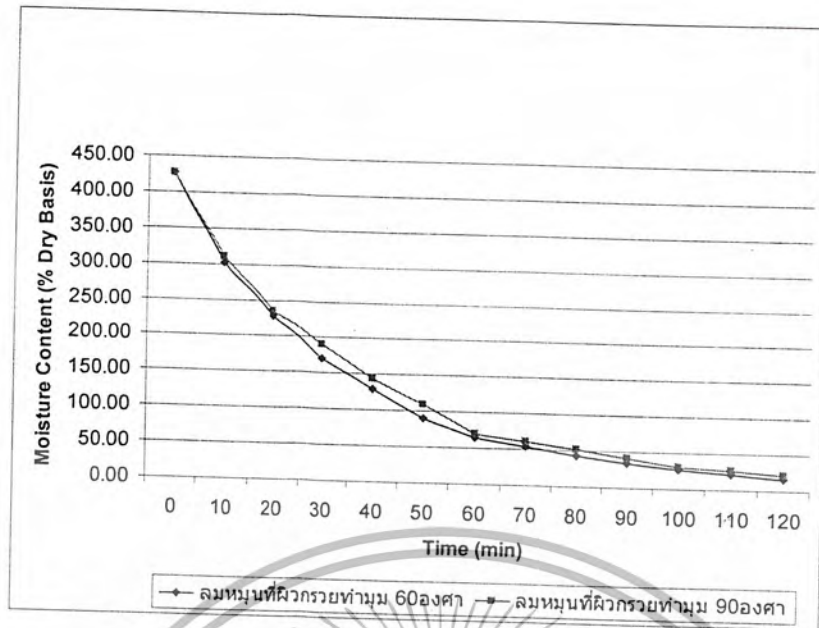


รูปที่ 5.16 ผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอตลอด 0, 60, 75 และ 90 องศาที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

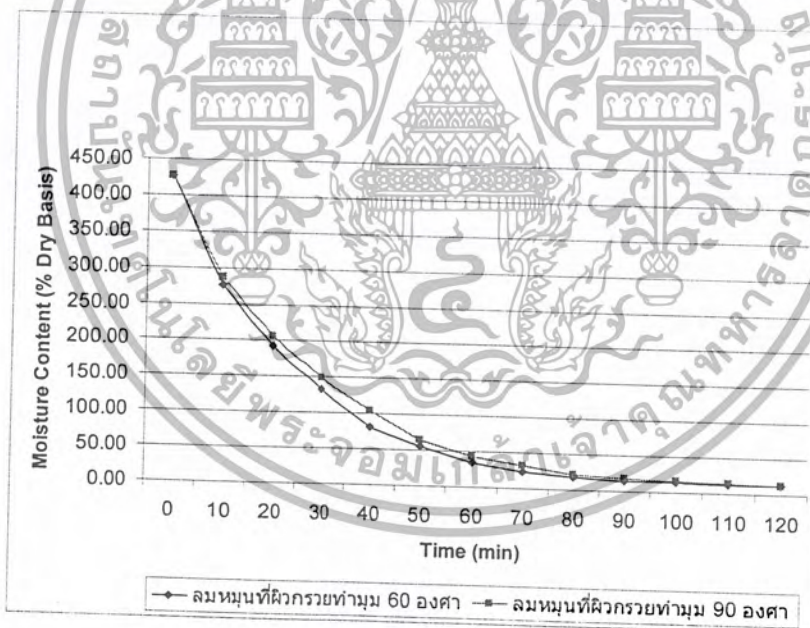
จากกราฟรูปที่ 5.14, 5.15 และ 5.16 จะพบว่าที่ความเร็วลมในหอตลอดเดียวกันและอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มุมของหอตลอด 60 องศาจะให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุดตามด้วยมุม 75, 90 และ 0 องศาตามลำดับ

5.4 การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของหอตลอดมุม 60 และ 90 องศา

ผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของหอตลอดมุม 60 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุดกับหอตลอดมุม 90 องศา ซึ่งเป็นหอตลอดที่ไม่มีการเอียงทำมุมของผิวภายในหอตลอดที่อุณหภูมิเดียวกันและความเร็วลมหมุนภายในหอตลอด 1.5 m/s แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 5.17 และ 5.18



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมร้อนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



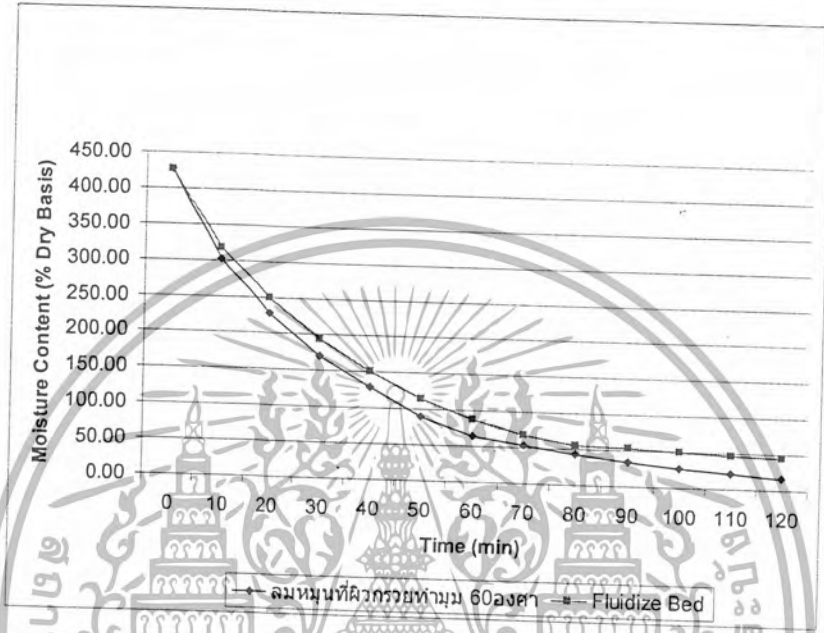
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมร้อนที่มีผิวกรวยทำมุม 60 และ 90 องศา ที่ความเร็วลม 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 5.17 และ 5.18 พบว่าที่อุณหภูมิและความเร็วลมภายในหอตลอดเดียวกัน หอตลอดที่ทำมุม 60 องศา ให้อัตราการอบแห้งที่ดีกว่าหอตลอดที่ทำมุม 90 องศา

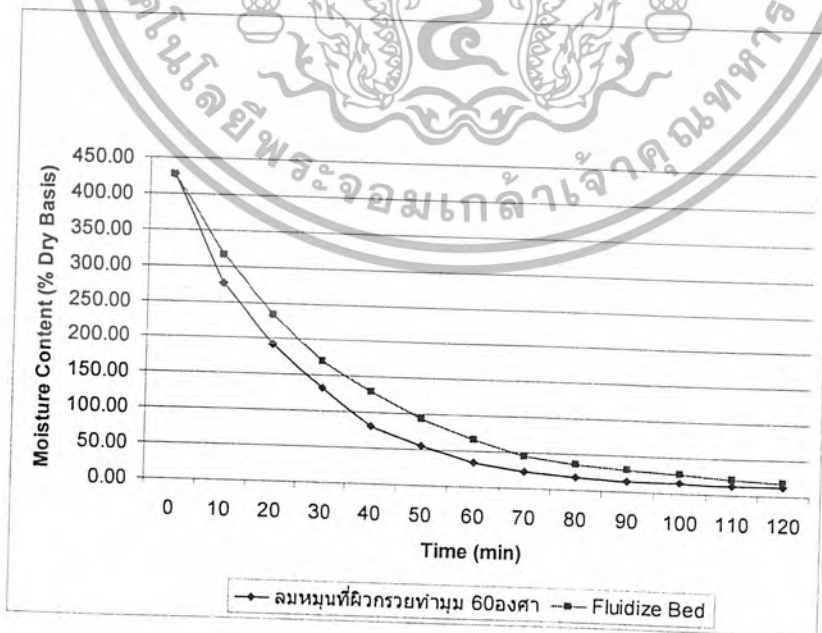
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของหอตดลองมุม 60 กับ การอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

ผลของการอบแห้งโดยเทคนิคลมหมุนควงของหอตดลองมุม 60 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ให้อัตราการอบแห้งดีที่สุดกับหอตดลองที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันและความเร็วลมหมุนภายในหอตดลอง 1.5 m/s แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 5.19 และ 5.20



รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมหมุนที่มีควรวัยทำมุม 60 กับหอตดลองที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้ง ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบด้วยลมหมุนที่มีควรวัยทำมุม 60 กับหอตดลองที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้ง ที่ความเร็วลมหมุน 1.5 m/s อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 5.19 และ 5.20 พบว่าที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 80 และ 100 องศาเซลเซียสและความเร็วลมหมุนภายในหอคอย 1.5 m/s ของหอคอยที่ทำมุม 60 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุดเมื่อทำการเทียบกับทุกมุมที่ทำการทดลอง จะพบว่าสามารถให้อัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นกว่าหอคอยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ความเร็วลมในหอคอย 1.5 m/s ในการอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันและเทคนิคลมหมุนควงที่ความชื้นเริ่มต้น 81% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิอากาศที่ทำการอบ 80 และ 100 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 65-67% มวลข้าวโพดที่ใช้ในการอบแห้ง 300 กรัมสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชันความเร็วลมในหอตลอดไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน

6.1.2 การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้เทคนิคเทคนิคลมหมุนควงที่อุณหภูมิเดียวกันความเร็วลมในหอตลอดมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง คือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอตลอดจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

6.1.3 การเปลี่ยนมุมของหอตลอดมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยจากการทดลองที่มุมของหอตลอด 0, 60, 75 และ 90 องศา พบว่าที่อุณหภูมิและความเร็วในหอตลอดเดียวกันมุมของหอตลอด 60 องศา จะให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งดีที่สุดตามด้วยมุม 75, 90 และ 0 องศา ตามลำดับ

6.1.4 เมื่อนำผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้เทคนิคเทคนิคลมหมุนควง ที่มุมของหอตลอด 60 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชันในสภาวะที่อุณหภูมิเดียวกัน จะพบว่าการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้เทคนิคเทคนิคลมหมุนควงที่มุมของหอตลอด 60 องศา จะให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งดีกว่าโดยสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ประมาณ 33%

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ในการทดลองถ้าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเปลี่ยนแปลงมากๆ มีผลให้อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นในเมล็ดกาแฟต่อเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นควรจะมีงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และตัวแปรอื่นอีก

6.2.2 ควรที่จะศึกษาผลของการนำอากาศที่ใช้ออบแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ และความคุ้มค่าของพลังงานโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

6.2.3 พัฒนาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันและเทคนิคลมหมุนควงไปสู่อุตสาหกรรมการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดและเมล็ดพืชชนิดอื่นๆภายในประเทศต่อไปในอนาคต

บทที่ 7

เครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย

จากการทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้ามาช่วยในการอบ เพื่อที่จะช่วยลดความดันภายในหอตลอด เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาพบว่ามียอดการอบแห้งที่ดีกว่า ทางทีมงานจึงได้นำเสนอเครื่องอบแห้งชนิดนี้เพิ่มเข้ามา

7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของเครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมือนกันกับการทดลองที่ผ่านมา แต่จะแตกต่างกันตรงบริเวณหอตลอด การทดลองนี้จะใช้เทอร์โบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร บริเวณรูตรงกลางของเทอร์โบจะมีตะแกรงสำหรับใส่เมล็ดข้าวโพด ดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงหอตลอดที่มีตะแกรงอยู่ตรงกลาง

7.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เปิดสวิทช์เดินเครื่องBlower ให้อากาศไหลผ่านระบบเครื่องอบแห้ง และเปิดเครื่องให้ความร้อน อุ่นเครื่องให้ได้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที
2. ปรับความเร็วลมในหอตลอดที่ลมตรงให้ได้เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาทีและลมหมุน 2 เมตรต่อวินาที

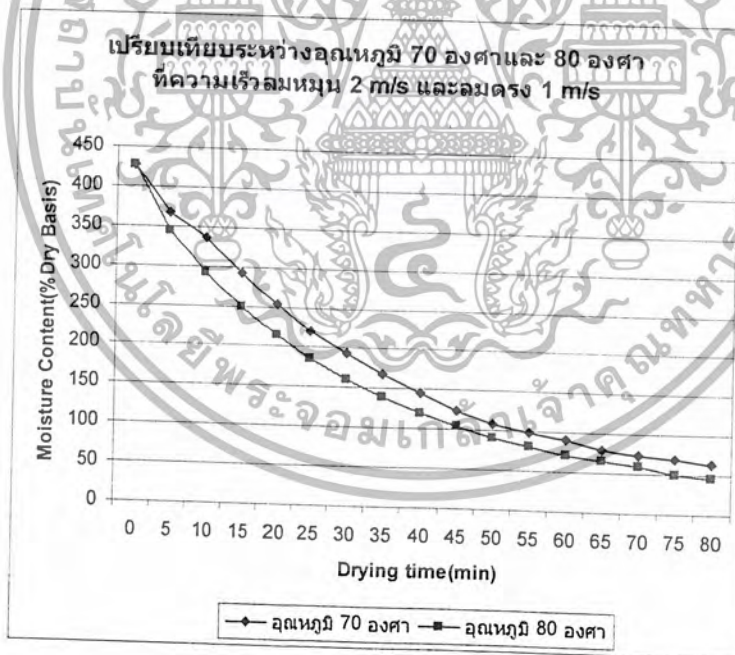
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่เมล็ดข้าวโพดสด ชั่งน้ำหนัก 100 กรัมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม ลงในหอทดลอง และสังเกตผลการทดลอง
4. นำเมล็ดข้าวโพดออกมาชั่งน้ำหนักของน้ำที่หายไปทุกๆ 5 นาทีและบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองจนกระทั่งมวลของเมล็ดข้าวโพดไม่เปลี่ยนแปลง ประมาณ 80 นาที แล้วเปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 2 - 4 ใหม่ตามลำดับ
6. เปลี่ยนความเร็วลมในหอทดลองที่ลมหมุนเป็น 3 เมตรต่อวินาที และทำการทดลองขั้นตอนที่ 3 - 5 ใหม่ตามลำดับ
7. เปลี่ยนความเร็วลมในหอทดลองที่ลมตรงเป็น 1 เมตรต่อวินาทีและลมหมุน 2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

7.3 ผลการทดลองของเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนกวงเข้าช่วย

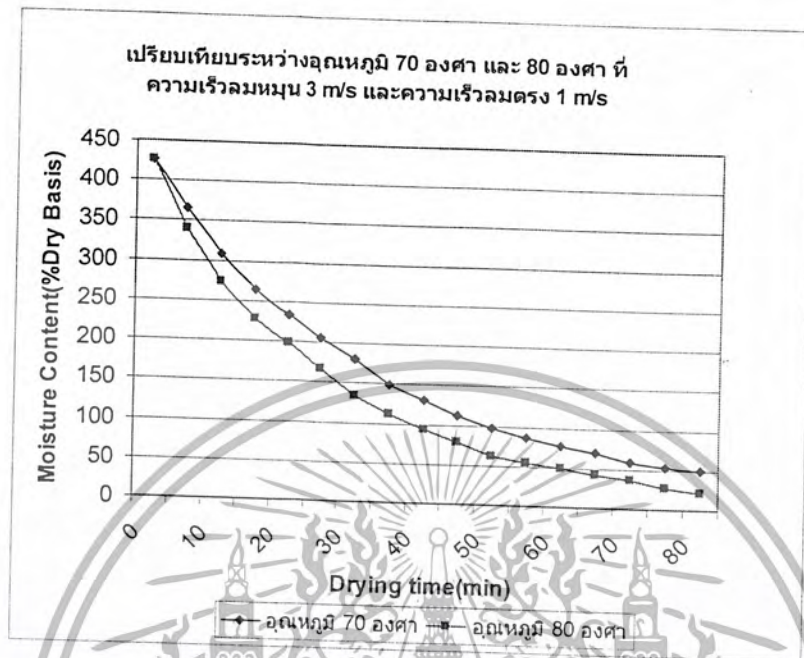
7.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมหมุน ภายในหอทดลอง 2 m/s และความเร็วลมตรงภายในหอทดลอง 1 m/s แสดงได้ดังกราฟรูป 7.2



รูปที่ 7.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s

ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมหมุนภายในหอคอย 3 m/s และความเร็วลมตรงภายในหอคอย 1 m/s แสดงได้ดังกราฟรูป 7.3

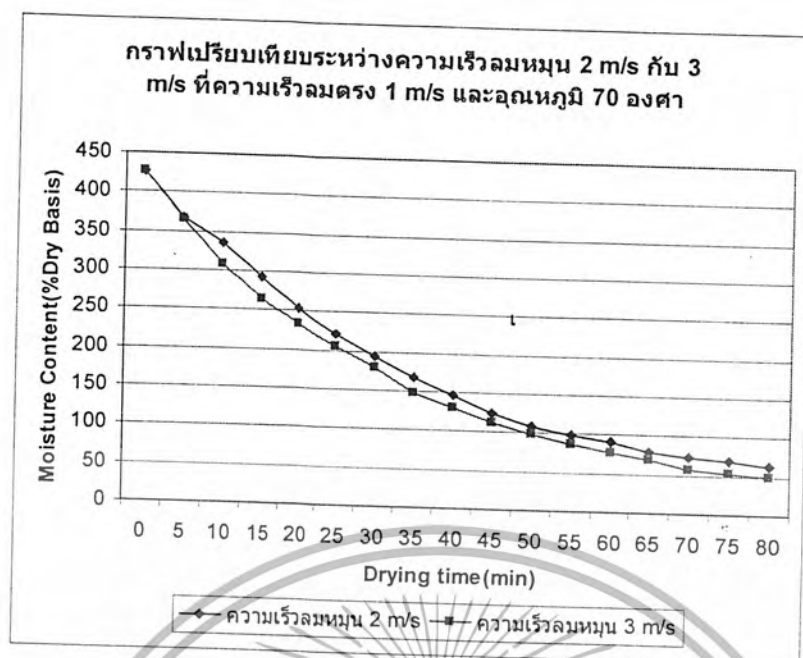


รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s

จากกราฟรูปที่ 7.2 และ 7.3 จะพบว่าอุณหภูมิที่ทำการอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมเดียวกัน เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

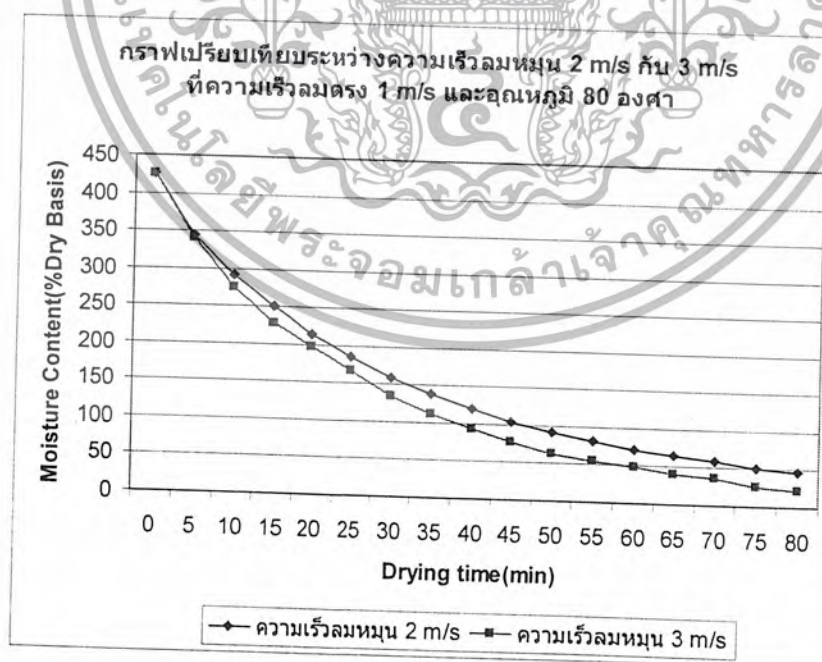
7.3.2 อิทธิพลของความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

อิทธิพลของความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมหมุนในหอคอย 2 m/s และ 3 m/s ความเร็วลมตรงในหอคอย 1 m/s และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

อิทธิพลของความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมหมุนในหอทดลอง 2 m/s และ 3 m/s ความเร็วลมตรงในหอทดลอง 1 m/s และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

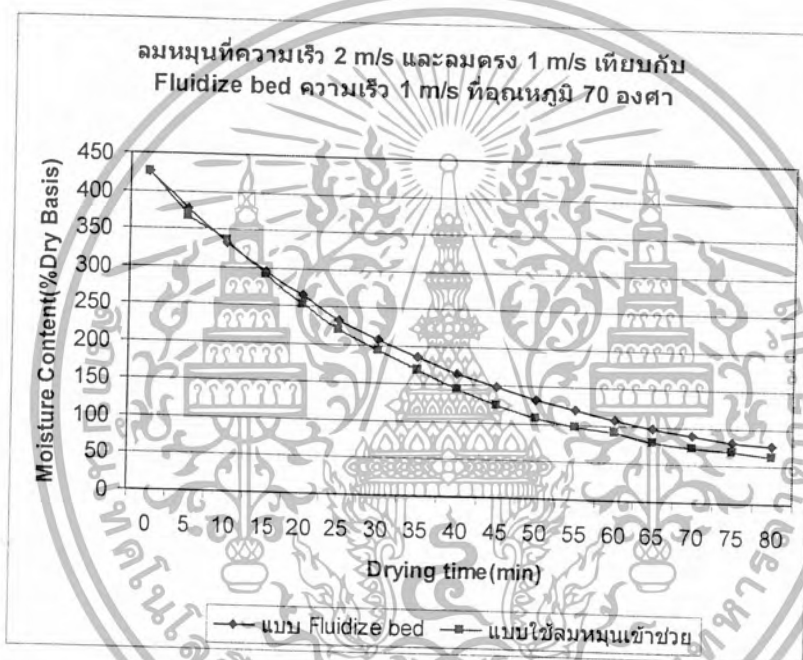
เซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 7.4 และ 7.5 จะพบว่าที่อุณหภูมิและความเร็วลมตรงเดียวกันความเร็วลมหมุนรอบในหอทดลองมีผลกับอัตราการอบแห้ง คือเมื่อทำการเพิ่มความเร็วลมหมุนขึ้นจะมีผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

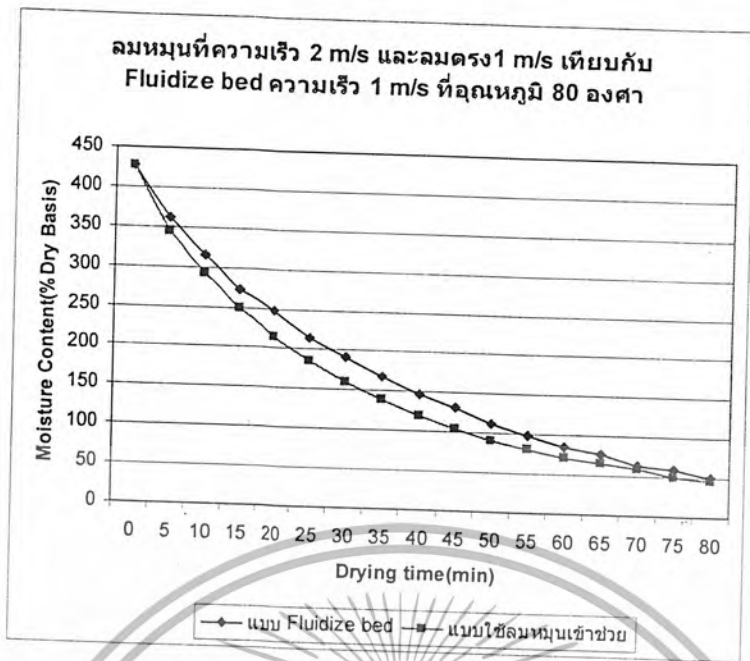
7.3.3 การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยกับการอบแห้งการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยที่ความเร็วลมหมุน 2 m/s และลมตรง 1 m/s กับการอบแห้งการอบแห้งฟลูอิด ไดซ์เบดที่ความเร็วลม 1m/s อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.6



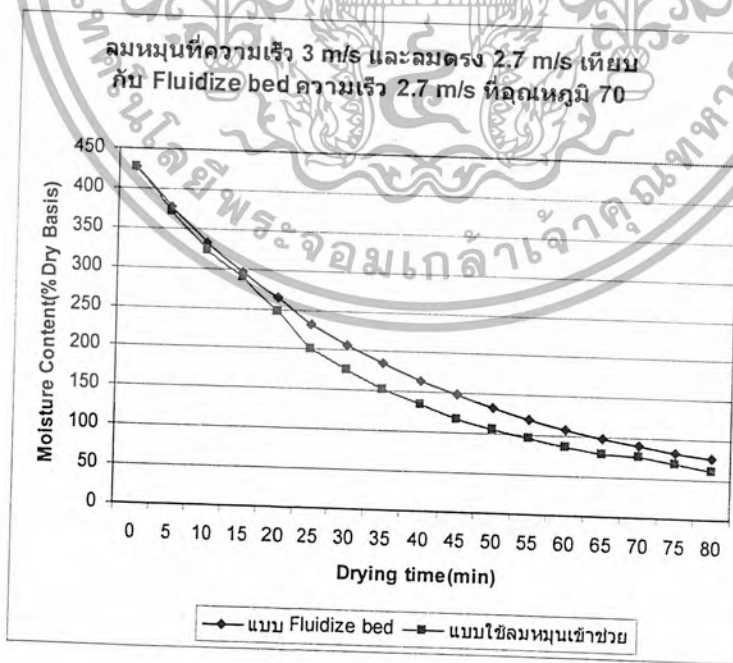
รูปที่ 7.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s กับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 1 m/s ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยที่ความเร็วลมหมุน 2 m/s และลมตรง 1 m/s กับการอบแห้งการอบแห้งฟลูอิด ไดซ์เบดที่ความเร็วลม 1m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s กับการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดความเร็วลม 1 m/s ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

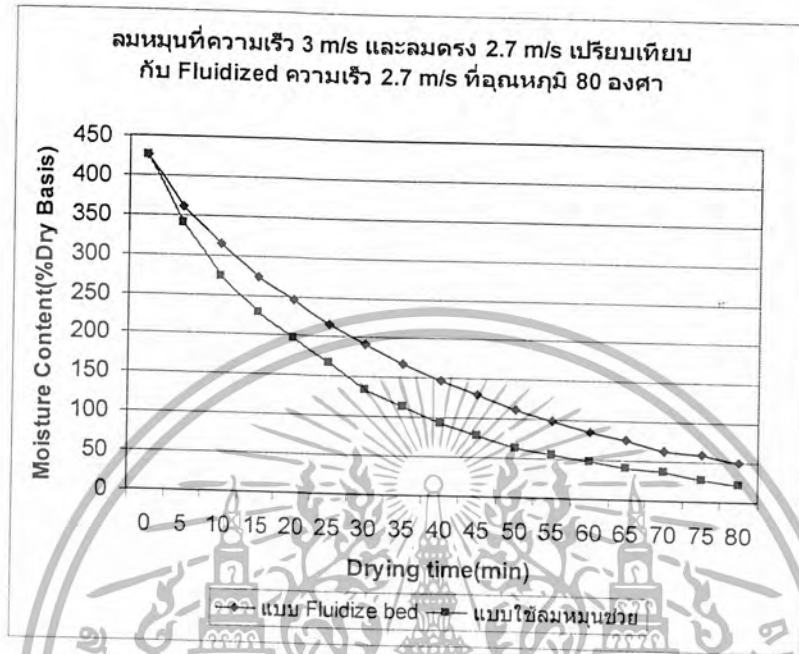
การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบด โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยที่ความเร็วลมหมุน 3 m/s และลมตรง 2.7 m/s กับการอบแห้งการอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบดที่ความเร็วลม 2.7 m/s อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s กับการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดความเร็วลม 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบผลของการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยที่ความเร็วลมหมุน 3 m/s และลมตรง 2.7 m/s กับการอบแห้งการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ความเร็วลม 2.7 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลของความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s กับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลม 2.7 m/s ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 7.6, 7.7, 7.8 และ 7.9 จะเห็นว่าผลที่ได้จากการอบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วยในการอบแห้งจะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิและความเร็วลมตรงเดียวกัน

7.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้ามาช่วยในการอบ ที่ความชื้นเริ่มต้น 81% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิอากาศที่ทำการอบ 70 และ 80 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 65-67% มวลข้าวโพดที่ใช้ในการอบแห้ง 100 กรัมสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

7.4.1 การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้ามาช่วยในการอบ ที่อุณหภูมิเดียวกันความเร็วลมในหอตลอดมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง คือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอตลอดจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

7.4.2 เมื่อนำผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชนิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้ามาช่วยในการอบเพื่อเป็นการช่วยลดความดันในหอทดลองที่มาเปรียบกับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาพบว่าให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งที่ดีกว่า โดยสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ถึง 30%

7.5 ข้อเสนอแนะ

7.5.1 ในการทำการทดลองเนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง จึงไม่สามารถทำการทดลองที่ความเร็วลมสูงๆได้ จึงควรจะมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ทำการทดลองเพื่อที่จะสามารถทดลองในกรณีที่ต้องใช้กำลังของอุปกรณ์มากๆ

7.5.2 ควรจะทำการทดลองในกรณีที่ไม่มีการให้อุณหภูมิที่บริเวณท่อทางเข้าลมหมุน เพื่อดูอิทธิพลของความดันที่มีต่ออัตราการอบแห้ง



บรรณานุกรม

- [1] สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ, “ฟลูอิดไดเซชัน”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ.2528.
- [2] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2535, การอบแห้งเมล็ดพืชอาหาร, พิมพ์ครั้งที่5, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] วรเมธ ทัดทอง, “การศึกษาเชิงทดลองการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด”วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปี พ.ศ. 2546.
- [4] การุณ เลาะมาน, มณฑา เทียมเมือง, ภูรินทร์ อัครกุลธร, พงษ์เจต พรหมวงศ์, “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันและเทคนิคหมุนควง”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปี พ.ศ. 2547.
- [5] อนันต์ พงษ์ธรกุลพานิช. 2539. “การศึกษาการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] Daizo Kunii, Octave Levenspiel, 1991, “Fluidization Engineering”, 2nd ed., Butterberth-Heinemann, USA
- [7] Couto, H.S. ;Ferreira, M.A.: “Investigation of Food Grain Drying with Pulsating Air Flow”, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.
- [8] S. Mondal, A.Datta, A.Sarka, “Influence of side wall expansion angle and swirl generator on flow pattern in a model combustor”, Jadavpur University, 2003.
- [9] Davidson, J. F. Clift, R. and Harrison, D. 1985. Fluidization. 2nd ed. London : Academic Press.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	236.61	10	237.42	10	237.60
20	197.37	20	198.54	20	198.90
30	165.69	30	167.16	30	167.43
40	141.09	40	142.77	40	142.44
50	120.69	50	122.76	50	122.70
60	105.36	60	107.46	60	107.34
70	93.39	70	96.30	70	95.94
80	89.01	80	87.93	80	88.50
90	86.98	90	86.45	90	87.32
100	85.74	100	85.61	100	85.78
110	83.42	110	84.10	110	83.59
120	82.80	120	83.03	120	79.73

ตารางที่ ก.2 การทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	237.15	10	236.58	10	236.46
20	189.48	20	189.56	20	189.36
30	154.32	30	153.88	30	153.60
40	130.89	40	131.03	40	130.50
50	111.23	50	110.98	50	110.64
60	95.11	60	94.84	60	94.48
70	83.23	70	83.13	70	82.98
80	77.84	80	77.77	80	77.63
90	74.54	90	74.46	90	74.32
100	73.12	100	72.39	100	72.61
110	68.99	110	69.22	110	69.15
120	67.45	120	67.34	120	67.32

ตารางที่ ก.3 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอทดลอง 0 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	251.94	10	243.74	10	237.54
20	208.54	20	208.54	20	192.29
30	185.44	30	185.44	30	168.17
40	160.68	40	160.68	40	140.90
50	138.89	50	138.89	50	120.31
60	118.94	60	118.94	60	99.43
70	110.30	70	110.30	70	93.36
80	96.48	80	96.48	80	87.88
90	89.81	90	89.81	90	82.75
100	83.96	100	83.96	100	75.53
110	79.37	110	79.37	110	73.48
120	74.22	120	74.22	120	70.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอคอย 60 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	243.65	10	237.34	10	229.03
20	200.04	20	193.72	20	186.33
30	174.84	30	168.49	30	154.42
40	148.48	40	143.13	40	130.90
50	127.03	50	116.68	50	108.49
60	108.21	60	97.73	60	93.43
70	103.31	70	90.24	70	87.64
80	87.67	80	84.46	80	81.70
90	83.69	90	78.69	90	76.65
100	78.75	100	75.08	100	72.16
110	74.32	110	71.77	110	69.44
120	70.86	120	67.93	120	66.63

ตารางที่ ก.5 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอคอย 75 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	246.06	10	237.72	10	231.64
20	202.16	20	195.63	20	188.74
30	176.95	30	170.23	30	162.60
40	153.27	40	145.55	40	135.37
50	131.48	50	119.64	50	114.81
60	111.74	60	98.89	60	96.70
70	100.75	70	96.74	70	89.67
80	89.93	80	88.69	80	84.04
90	85.62	90	81.74	90	78.90
100	80.11	100	77.71	100	73.06
110	75.96	110	72.76	110	71.22
120	72.31	120	69.04	120	68.83

ตารางที่ ก.6 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 80° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอตลอด 90 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาที่)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที่)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที่)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	247.79	10	241.94	10	234.12
20	204.88	20	197.14	20	190.48
30	180.64	30	173.36	30	165.58
40	157.59	40	147.49	40	138.82
50	135.76	50	123.60	50	118.86
60	115.02	60	101.93	60	97.33
70	107.38	70	98.86	70	91.78
80	93.57	80	90.54	80	86.51
90	87.44	90	82.96	90	80.06
100	81.55	100	78.22	100	74.46
110	77.28	110	74.11	110	72.28
120	72.97	120	70.18	120	69.06

ตารางที่ ก.7 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100°C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33°C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอคอย 0 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนัก หลังจากอบ (กรัม)
10	234.43	10	227.80	10	223.59
20	190.10	20	184.65	20	179.07
30	155.33	30	149.88	30	145.70
40	128.06	40	123.58	40	119.30
50	106.59	50	101.17	50	95.93
60	91.62	60	86.82	60	82.49
70	84.20	70	80.47	70	77.16
80	77.08	80	73.31	80	70.28
90	73.27	90	69.71	90	67.40
100	70.41	100	68.66	100	66.20
110	67.68	110	66.75	110	65.30
120	65.02	120	64.81	120	64.53

ตารางที่ ก.8 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบคโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100°C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33°C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอยทาลอง 60 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
10	223.40	10	214.69	10	213.92
20	174.62	20	172.75	20	165.93
30	139.70	30	136.91	30	133.12
40	113.10	40	110.87	40	102.76
50	93.19	50	90.60	50	88.89
60	81.16	60	79.03	60	76.50
70	73.88	70	71.69	70	70.03
80	69.60	80	67.98	80	66.80
90	67.45	90	66.44	90	65.08
100	66.04	100	65.54	100	64.82
110	64.90	110	64.33	110	64.08
120	64.17	120	64.02	120	63.73

ตารางที่ ก.9 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอคอยทดลอง 75 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
10	224.70	10	219.44	10	216.80
20	179.63	20	174.60	20	170.30
30	147.56	30	142.72	30	139.40
40	118.68	40	116.84	40	113.39
50	97.80	50	95.86	50	92.52
60	84.10	60	82.16	60	79.72
70	77.30	70	75.36	70	74.63
80	69.89	80	68.96	80	68.34
90	68.21	90	67.72	90	66.46
100	67.32	100	66.15	100	65.28
110	65.40	110	65.03	110	64.31
120	64.69	120	64.38	120	63.96

ตารางที่ ก.10 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 300 กรัม

มุมของหอยทาลอง 90 องศา

ที่ความเร็วลม 0.5 m/s		ที่ความเร็วลม 1 m/s		ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
10	231.58	10	225.45	10	220.74
20	185.83	20	179.64	20	174.80
30	152.21	30	147.02	30	142.26
40	125.69	40	120.38	40	115.84
50	102.78	50	98.86	50	93.84
60	87.75	60	83.79	60	81.18
70	80.36	70	77.75	70	75.59
80	74.19	80	71.48	80	69.04
90	70.45	90	67.64	90	66.93
100	68.69	100	66.88	100	65.86
110	66.93	110	65.67	110	65.06
120	64.98	120	64.49	120	64.22

ตารางที่ ก.11 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบค โดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย

ความเร็วลมหมุน 2 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH
อุณหภูมิห้อง 33° C น้ำหนักแห้งสุทธิ 100 กรัม

อุณหภูมิ 70° C		อุณหภูมิ 80° C	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
5	88.64	5	84.22
10	82.80	10	74.26
15	74.44	15	66.46
20	66.93	20	59.81
25	60.82	25	54.19
30	55.60	30	49.30
35	51.02	35	45.30
40	46.58	40	41.77
45	42.55	45	38.89
50	39.52	50	36.42
55	37.65	55	34.40
60	36.43	60	32.70
65	34.12	65	31.39
70	33.00	70	30.26
75	32.30	75	28.60
80	31.12	80	27.88

ตารางที่ ก.12 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบคโดยใช้เทคนิคลมหมุนวงแหวน

ความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 1 m/s เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH
อุณหภูมิห้อง 33° C น้ำหนักแห้งสุทธิ 100 กรัม

อุณหภูมิ 70° C		อุณหภูมิ 80° C	
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
5	88.31	5	83.63
10	77.51	10	71.09
15	69.40	15	62.32
20	63.15	20	56.55
25	57.95	25	50.67
30	53.08	30	44.52
35	47.31	35	40.42
40	43.85	40	36.77
45	40.31	45	33.87
50	37.63	50	30.85
55	35.46	55	29.43
60	33.76	60	28.27
65	32.11	65	26.88
70	30.02	70	25.30
75	29.01	75	24.20
80	28.31	80	23.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 การทดลองฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคลมหมุนควงเข้าช่วย

ความเร็วลมหมุน 3 m/s และความเร็วลมตรง 2.7 m/s เปรอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 65 - 67 % RH

อุณหภูมิห้อง 33° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 100 กรัม

อุณหภูมิ 70° C		อุณหภูมิ 80° C	
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจาก การอบ (กรัม)
5	89.53	5	83.63
10	80.30	10	71.09
15	73.87	15	62.32
20	65.79	20	56.55
25	57.24	25	50.67
30	52.26	30	44.52
35	48.14	35	40.42
40	44.59	40	36.77
45	41.52	45	33.87
50	39.25	50	30.85
55	37.25	55	29.43
60	35.63	60	28.27
65	34.22	65	26.88
70	33.66	70	25.90
75	32.39	75	24.20
80	30.73	80	23.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ข้อมูลผลการวิจัยจากผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของอาหารบนพื้นฐานของ Fick's law

Food Material	Specification	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	D_{eff} (cm^2 / s)
Apple	-	66	6.4×10^{-5}
	McIntosh, var.	66	1.1×10^{-5}
	Granny Smith, var.	30	2.6×10^{-6}
	Granny Smith, var.	76	3.6×10^{-5}
	Granny Smith, var.	71	1.6×10^{-5}
Beet	-	66.5	1.5×10^{-5}
Tapioca root	-	84	2.7×10^{-6}
	-	74	4.8×10^{-6}
	-	55	3.5×10^{-6}
Potatoes	-	65.5	1.6×10^{-5}
	-	65	1.4×10^{-5}
	King Edward, var.	31	1.6×10^{-6}
	Binjie, var.	31	0.62×10^{-5}
	Arran Banner	31	1.5×10^{-6}
	Pentland Crown	31	1.4×10^{-6}
Fish, muscle	Cod, ~0.05% fat	30	3.4×10^{-6}
	Haddock, 0.105% fat	30	3.3×10^{-6}
	Halibut, 0.208% fat	30	2.5×10^{-6}
	Whiting, 0.036% fat	30	2.7×10^{-6}
	Whiting, 0.036% fat	25	0.82×10^{-6}
Avocado	14.7% oil content	31	1.1×10^{-6}
	14.7% oil content	43	2.1×10^{-6}
	14.7% oil content	56	3.3×10^{-6}
	4.7% oil content	58	1.8×10^{-6}
	7.9% oil content	58	1.3×10^{-6}
	9.2% oil content	58	1.2×10^{-6}
Sugar beet root	-	81	1.3×10^{-5}
	-	60	7.0×10^{-6}
	-	47	3.8×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของอาหารบนพื้นฐานของ Fick's law (ต่อ)

Food Material	Specification	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	D_{eff} (cm^2 / s)
Fish	Herring, 2.0% fat	30	1.6×10^{-6}
	6.4% fat	30	9.5×10^{-7}
	12.5% fat	30	3.9×10^{-7}
	Dogfish, 4.0% fat	30	2.2×10^{-6}
	7.2% fat	30	1.6×10^{-6}
	14.6% fat	30	1.3×10^{-6}
Tobacco leaf	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	30	3.2×10^{-9}
	<i>cv Coker 258</i>	40	4.7×10^{-9}
		50	8.1×10^{-9}
Fish	Sword fish, 2-3% fat	40	3.0×10^{-6}
		55	3.9×10^{-6}
Fish	Sword fish, salted in saturated brine	40	2.6×10^{-6}
		55	3.3×10^{-6}

จาก Johnson และคณะ (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ในช่วงอัตรากรอบแห้งลดลง

Food Material	Specification	Temperature ($^{\circ}C$)	D_{eff} (cm^2 / s)
Fish	Cod, ~0.05% fat	30	8.1×10^{-7}
	Catfish, 0.10% fat	30	8.0×10^{-7}
	Haddock, 0.105% fat	30	$\sim 6 \times 10^{-7}$
	Halibut, 0.208% fat	30	5.8×10^{-7}
	Mackerel, 0.694% fat	30	3.5×10^{-7}
	Whiting, 0.036% fat	30	4.8×10^{-7}
	Herring, 2.9% fat	30	7.9×10^{-7}
	6.9% fat	30	2.5×10^{-7}
	12.5% fat	30	1.6×10^{-7}
	16.2% fat	30	1.3×10^{-7}
Peperoni	13.3% fat	12	5.7×10^{-7}
	25.1% fat	12	4.7×10^{-7}
Apple	Below 0.13-0.15% Moisture content	30	4.9×10^{-7}
Starch gel	0.8% moisture content	25	1.0×10^{-10}
	6.3% moisture content	25	1.5×10^{-9}
	14.1% moisture content	25	3.6×10^{-8}
Potato	Below 15% moisture content	65	2.0×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้