

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง
CORN DRYING CHARACTERISTICS IN VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER



นายทรงวุฒิ โพธิ์คัลลี
นายพิเชฐ สักดิ์ศรีทำว
นายภิญโญ ธาราสันติสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่.....550.16

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี = 4.12.2548

.....
.....

คุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง
CORN DRYING CHARACTERISTICS IN VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง คุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

CORN DRYING CHARACTERISTICS IN VORTEXING FLUIDIZED BED DRYER

ผู้จัดทำ

1. นายทรงวุฒิ โพธิ์คดี รหัสประจำตัว 44015376
2. นายพิเชฐ ศักดิ์ศรีท้าว รหัสประจำตัว 44015396
3. นายภิญโญ ธาราสันติสุข รหัสประจำตัว 44015398



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

นายทรงวุฒิ โพธิ์คี่ 44015376

นายพิเชฐ ศักดิ์ศรีท้าว 44015396

นายภิญโญ ชาราสันติสุข 44015398

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด และวอร์เทค และยังได้ทดลองเทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยการเพิ่มอากาศหมุนวนเข้าไปในเบดเพื่อเป็นการลดสัดส่วนช่องว่างภายในเบด (ϵ) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งดีขึ้นซึ่งเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองนี้มีความชื้น 14% มาตรฐานแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก 52% โดยใช้หอทดลองขนาดความสูง 2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.13 เมตร โดยใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนโดยการทดลองนี้ใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 50, 75 และ 100 °C ที่ความเร็ว 1.3, 1.5 และ 1.7 m/s โดยใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 2 ชั่วโมง และทำการวัดความชื้นทุกๆ 20 นาที

จากการทดลองปรากฏว่าในกรณีอากาศร้อนผสมกันระหว่างฟลูอิดไดซ์เบด 25% กับวอร์เทค 75% ที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วของอากาศร้อน 1.3 m/s จะให้ค่าอัตราการลดลงของความชื้น 6.8%

Corn Drying Characteristics In Vortexing Fluidized Bed Dryer

Songwut Phokli

Pichate Saksritao

Pinyo Tarasuntisook

Assoc. Prof. Dr.Pongjet Promvonge Advisor

ABSTRACT

The objective of this research is to observe about cintering Corn-seed by using the principle of fluidization and Vortexion of air. Besides, the technique of increasing the efficiency of drying and fluidization had been employed by creasing air-vortexion in bed according to help recduce fraction in bed also. In this situation the efficiency of cintering will be improved. The quantity of corn seed being used in the experimenta is about moisturizer of 14% dry basis. And also outer relative air humidity is about 52% In the experimental column which is 0.13 meters in diameter and 2 meters high had been used by obtaing power from the heater. The temperature of 50, 75 and 100 °C with the speed of 1.3, 1.5 and 1.7 u_{mf} had been employed in the whole two hours experimental and the results of the experimental obtained will be noted every 20 minutes

It can be seen from the experimental clearly hat in the case of combination between fluidization 25% and vortexion 75% and 100 °C the speed of 1.3 u_{mf} . The rate benefit of humidity decreased equal 6.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และพี่การุณ รุ่นพี่ปริญญโทที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 สถานภาพและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	4
2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	4
2.3 ฟลูอิดไดเซชันและฟลูอิดไดซ์เบด	5
2.4 ทฤษฎีปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน	6
2.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบด	7
2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของฟลูอิดไดซ์เบด	9
2.7 สถานะของฟลูอิดไดซ์เซชัน	11
บทที่ 3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	12
3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	12
3.1.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง	13
3.1.2 ผลของความดันลดในฟลูอิดไดซ์เบด	13
3.1.3 ความเร็วของก๊าซที่ทางเข้าฟลูอิดไดซ์เบด	14
3.2 การหาความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบด	14
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัยและการทดลอง	15
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	15
4.1.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	15
4.1.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)	16
4.1.3 ชุดแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง	17
4.1.4 ระบบให้ความร้อน (Heater)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

4.1.5 ชุดอากาศหมุนควง	18
4.1.6 ระบบวัดอัตราการไหลอากาศ	18
4.1.7 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด	19
4.2 ขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	20
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	21
บทที่ 5 ผลการทดลอง	23
5.1 ผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (U_{mf})	23
5.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด	24
5.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพด	24
5.4 ผลการทดลอง	37
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
6.1 สรุปผลการทดลอง	38
6.2 ข้อเสนอแนะ	39
6.2.1 ข้อจำกัดในการทดลอง	39
6.2.2 ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เซชันแบบหมุนควงพร้อมทั้งแนวทางแก้ไข	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก	42
การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	43
1. การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์	43
2. การคำนวณความเร็วสุดท้ายของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด	44
3. คำนวณหาความสูงของหอทดลอง	45
4. ความสูงหลุดลอยส่งผ่าน (Transport Disegaging Height. TDH)	46
5. ความสูงทั้งหมดของหอทดลองฟลูอิดไดซ์เบด (Total Confustion Height)	46
6. คำนวณค่าความดันลดคร่อมเบด (ΔP_b)	47
7. การคำนวณค่าความดันตกคร่อมในแผ่นกระจายลม (ΔP_p)	47
8. การคำนวณขนาดแผ่นกระจาย	47
9. การคำนวณหาความชื้นของเมล็ดข้าวโพด	48
ภาคผนวก ข	49
ผลการทดลอง	50
ภาคผนวก ค	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
5.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด	26
ข.1 การทดลองครั้งที่ 1 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์	50
ข.2 การทดลองครั้งที่ 2 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์	51
ข.3 การทดลองครั้งที่ 3 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์	52
ข.4 การทดลองครั้งที่ 4 แบบหมุนคอง 100 เปอร์เซ็นต์	53
ข.5 การทดลองครั้งที่ 5 แบบหมุนคอง 100 เปอร์เซ็นต์	54
ข.6 การทดลองครั้งที่ 6 แบบหมุนคอง 100 เปอร์เซ็นต์	55
ข.7 การทดลองครั้งที่ 7 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 25 เปอร์เซ็นต์	56
ข.8 การทดลองครั้งที่ 8 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 25 เปอร์เซ็นต์	57
ข.9 การทดลองครั้งที่ 9 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 25 เปอร์เซ็นต์	58
ข.10 การทดลองครั้งที่ 10 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 50 เปอร์เซ็นต์	59
ข.11 การทดลองครั้งที่ 11 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 50 เปอร์เซ็นต์	60
ข.12 การทดลองครั้งที่ 12 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 50 เปอร์เซ็นต์	61
ข.13 การทดลองครั้งที่ 13 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 75 เปอร์เซ็นต์	62
ข.14 การทดลองครั้งที่ 14 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 75 เปอร์เซ็นต์	63
ข.15 การทดลองครั้งที่ 15 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ผสม กับแบบหมุนคอง 75 เปอร์เซ็นต์	64
ข.16 แสดงตารางที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
2.1 การอบแห้งกับเวลา	4
2.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับฟลูอิดไดซ์เบด	7
2.3 ผลการทดลองที่ใช้เมล็ดข้าวโพด	8
2.4 การเกิดช่องว่างในขณะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชันในคอลัมน์	8
2.5 ลักษณะต่าง ๆ ของฟลูอิดไดซ์เบดที่เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น	9
2.6 ความสัมพันธ์ของผลต่างของความดันกับความเร็วลมในเบด	11
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของความดันตกกับความเร็วของก๊าซในฟลูอิดไดซ์เบด	12
4.1 หอททดลอง	15
4.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)	16
4.3 ท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง	17
4.4 ระบบให้ความร้อน	17
4.5 ชุดอากาศหมุนควง	18
4.6 แผ่นออริฟิส	18
4.7 มาโนมิเตอร์	19
4.8 ตาชั่ง	19
4.9 พังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลองเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง	20
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็ว	23
5.2 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ $1.3 U_{mf}$	24
5.3 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ $1.5 U_{mf}$	25
5.4 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ $1.7 U_{mf}$	25
5.5 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ $1.3 U_{mf}$	26
5.6 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ $1.5 U_{mf}$	26
5.7 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ $1.7 U_{mf}$	27
5.8 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบอากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.3 U_{mf}$	28
5.9 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบอากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.5 U_{mf}$	28
5.10 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบอากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.7 U_{mf}$	29
5.11 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 50% ผสมกับแบบหมุนควงที่ 50% ที่ $1.3 U_{mf}$	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
5.12 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 50% ผสมกับแบบ หมุนควงที่ 50% ที่ $1.5 U_{mf}$	30
5.13 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 50 % ผสมกับแบบ หมุนควงที่ 50 % ที่ $1.7 U_{mf}$	30
5.14 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 25 % ผสมกับแบบ หมุนควง ที่ 75 % ที่ $1.3 U_{mf}$	31
5.15 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 25 % ผสมกับแบบ หมุนควง ที่ 75 % ที่ $1.5 U_{mf}$	31
5.16 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 25% ผสมกับแบบ หมุนควง ที่ 75% ที่ $1.7 U_{mf}$	32
5.17 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 100% ที่ 100°C	33
5.18 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะแบบหมุนควง 100% ที่ 100°C	33
5.19 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 75% และแบบ หมุนควง 25 % ที่ 100°C	34
5.20 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 25% และแบบ หมุนควง 75 % ที่ 100°C	34
5.21 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์เบค 50 % และแบบ หมุนควง 50 % ที่ 100°C	35
5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วลม $1.3 U_{mf}$ 100°C	35
5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วลม $1.5 U_{mf}$ 100°C	36
5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วลม $1.7 U_{mf}$ 100°C	36

สัญลักษณ์

ตัวอักษร

A	=	พื้นที่หน้าตัดของฟลูอิดไดซ์เบค (ตารางเมตร)
d_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม (เมตร)
g	=	ค่าอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรง
H	=	ความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิดไดซ์เบค (เมตร)
H_o	=	ความสูงของเบคเริ่มต้น (เมตร)
ΔP	=	ค่าความดันตกในคอลัมน์ของฟลูอิดไดซ์เบค (มิลลิเมตรปรอท)
u_{mf}	=	ความเร็วต่ำสุดของการเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน (เมตร/วินาที)
u_t	=	ความเร็วลมหลุดลอย (เมตร/วินาที)
W	=	น้ำหนักของชั้นวัสดุ (กิโลกรัม)
X	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ของวัสดุอบ

ตัวอักษรกรีก

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

บทที่ 1

บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย โดยทั่วไปจะอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุ และการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน และความชื้นจะช้าหรือเร็วเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาวัสดุไว้ได้นาน และเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุ เนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์

1.1 สถานภาพและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ที่ทำรายได้ให้ประเทศคิดเป็นมูลค่าประมาณปีละ 10,000 ล้านบาท โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดประมาณปีละ 11-12 ล้านไร่ ผลผลิตประมาณปีละ 4-5 ล้านตัน ประมาณ 65% ของผลผลิตใช้บริโภคภายในประเทศในรูปแบบที่เป็นวัตถุดิบให้แก่โรงงานอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปแบบของเมล็ดข้าวโพด ข้าวโพดบด และแป้งข้าวโพด การบริโภคภายในประเทศได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการผลิตข้าวโพด จึง ไม่มีปัญหาเรื่องตลาดรองรับ เพราะเป็นที่ต้องการทั้งภายในและต่างประเทศ

แหล่งที่ปลูกข้าวโพดที่สำคัญอยู่ในภาคเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกถึงกว่าครึ่งหนึ่งของทั้งประเทศ ส่วนที่เหลือกระจายปลูกในทุกภาคของประเทศ จังหวัดที่ปลูกข้าวโพดที่สำคัญได้แก่เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ลพบุรี และนครสวรรค์ ข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายและเหมาะสมกับดินฟ้าอากาศของประเทศไทย นอกจากนี้แล้วการเก็บเกี่ยวผลผลิตก็จะกระทำได้ในช่วงระยะเวลาสั้นประมาณ 90-120 วัน หรือ มีอายุนับจากวันออกไหม ประมาณ 60-65 วัน ซึ่งจะพบว่าข้าวโพดเมื่อเก็บมาไม่ว่าจะมีความชื้นค่อนข้างสูงประมาณ 20-30% มาตรฐานเปียก ความชื้นดังกล่าวจะมีผลต่อการหายใจของเมล็ด และมักจะทำให้คุณภาพของข้าวโพดต่ำลง เนื่องจากมักเกิดเชื้อราต่าง ๆ ได้ง่าย ซึ่งเป็นผลมาจากสารแอลฟาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งเป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา แอสเพอร์กิลลัส ฟลาวัส (Aspergillus Flavus) และ แอสเพอร์กิลลัส พาราซิติกัส (Aspergillus Paraciticus) ซึ่งเป็นอันตรายต่อคน และสัตว์ที่บริโภคเข้าไป

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับการเกิดสารแอลฟาทอกซิน มีหลายสาเหตุด้วยกันเช่น ชนิดของเชื้อรา ชนิดของอาหาร และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการสร้างแอลฟาทอกซิน ซึ่งอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสร้างแอลฟาทอกซิน ได้แก่

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง

“การอบแห้งคือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย สิ่งสำคัญในการอบแห้งคือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ

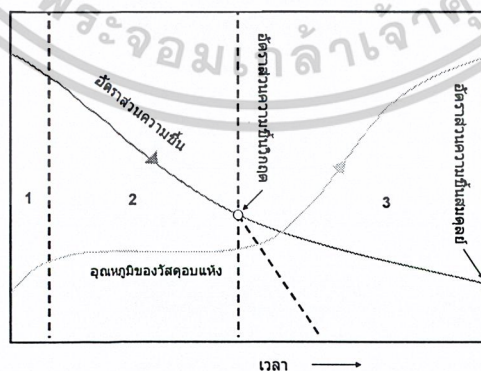
โดยทั่วไปแล้วปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง มักจะถูกนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดนั้นคือ ใช้มวลของวัสดุชิ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น แต่ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชิ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานการคำนวณความชื้นแทน” [3]

โดยกำหนดให้ X เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุอบแห้ง

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

2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

เมื่อมีการอบแห้งวัสดุที่เปียกขึ้นภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ เช่น กรณีที่วางวัสดุเปียกขึ้นภายในกระแสมปริมาณมากที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งนี้กับเวลา จะได้เส้นกราฟคล้ายคลึงกับรูปที่ 2.1 ซึ่งเรียกว่าเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve) [3]



รูปที่ 2.1 การอบแห้งกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

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

โดยทั่วไปความชื้นที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้นจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้านำวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้คือ ช่วงที่ 1 ในรูปที่ 2.1 ส่วนช่วงที่ 2 อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณอุณหภูมิกระเปาะเปียก คราบไค่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูปอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วงที่ 2 นี้ ดังนั้นความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ ในช่วงที่ 3 ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุ เกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น

สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลง เพราะนอกจากปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับจะลดลงแล้ว ยังต้องใช้ความร้อนนี้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วยการอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จะต่อระหว่างช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 เรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤตผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยใด ๆ และอัตราส่วนความชื้นวิกฤตเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระซึ่งได้แก่ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุที่มีช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ยาวนานมาก จะไม่คำนึงถึงผลช่วงที่ 1 ก็ได้ ส่วนในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้นหรือในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะบางชนิดอาจไม่มีช่วงที่ 2 เลยก็ได้

เงื่อนไขของการอบแห้งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้งและเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีการจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายในได้แก่ องค์ประกอบ รูปทรงอัตราส่วนความชื้นและอัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุอบแห้ง เป็นต้น

2.3 ฟลูอิดไดเซชันและฟลูอิดไดซ์เบด

ฟลูอิดไดเซชันเป็นปรากฏการณ์แบบหนึ่งทำให้อนุภาคของแข็งที่บรรจุอยู่ภายในคอลัมน์และวางอยู่บนตะแกรง เปลี่ยนสถานะจากอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่งเป็นอนุภาคของแข็งที่มีสถานะคล้ายของไหล เมื่อมีของไหลไหลสัมผัสผ่านอนุภาคของแข็งในคอลัมน์ บริเวณที่อนุภาคของแข็งที่อยู่ภายในคอลัมน์นี้ตั้งแต่แผ่นกระจายของไหลนิยมเรียกว่า เบด ถ้าอนุภาคของแข็งอยู่นิ่งจะเรียกว่าเบดนิ่ง (fixed bed) ถ้าอนุภาคของแข็งทั้งหมดมีพฤติกรรมคล้ายของไหลเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบด กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของอนุภาคของแข็งภายในเบดหรือคอลัมน์ตลอด ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้โดยการค่อคของไหลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านตะแกรงในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง และไหลผ่านอนุภาคของแข็งในเบคนั้น ของไหลนี้อาจเป็นของเหลว ก๊าซ หรือของเหลวผสมกับก๊าซก็ได้ เมื่อเพิ่มความเร็วให้กับของไหลมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดอนุภาคของแข็งขยับตัวและลอยขึ้นเป็นอิสระต่อกัน เกิดเป็นปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันขึ้น การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันนั้นต้องอาศัยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น คอลลิมน์ แผ่นกระจายของไหล และอนุภาคของแข็งที่ใช้เป็นเบค เป็นต้น

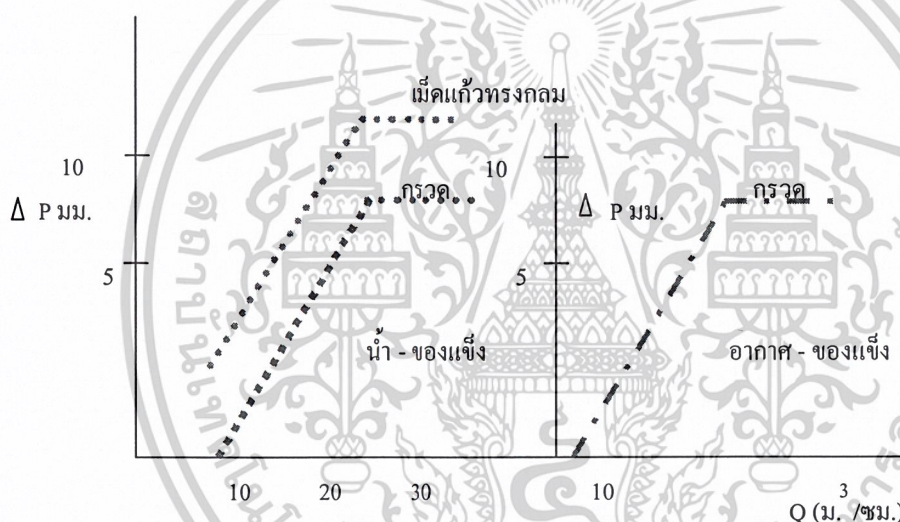
2.4 ทฤษฎีปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบค และลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เป็นต้น เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ความดันลดในเบคเปลี่ยนแปลงด้วย ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้คือ [3]

1. เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำ ๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบคลักษณะนี้เรียกว่า เบคนิ่ง
2. เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้น อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน เบคลักษณะนี้เรียกว่า เบคขยายตัว (expanded bed)
3. เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และแรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไป อนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบคจะลอยตัวเป็นอิสระ แรงกระทำเนื่องจากความดันลดในพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ของเบคจะเท่ากับน้ำหนักของของไหลและอนุภาคของแข็งระหว่างหน้าตัดนั้น ๆ เบคในภาพเช่นนี้เป็นเบคที่เริ่มฟลูอิดไดซ์ เรียกเบคในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไดซ์เบค (incipiently fluidized bed) หรือเบคที่มีสภาพฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด (minimum fluidization)
4. เมื่อของไหลมีความเร็วมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนตัวห่างจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล และเริ่มเกิดฟองก๊าซเกิดขึ้น อนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งรุนแรงยิ่งขึ้น เบคในลักษณะนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบค (bubbling fluidized bed) ส่วนของเบคที่ไม่รวมฟองเรียกว่า อิมัลชันเฟส (emulsion phase)
5. ฟลูอิดไดซ์เบคที่สามารถบ่งบอกระดับเบคได้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบคแบบหนาแน่น (dense-phase fluidized bed) และเมื่อความเร็วของของไหลมากกว่าความเร็วขณะหลุดลอย อนุภาคของแข็งจะหลุดลอยไปกับกระแสการไหลของของไหลสถานะเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบคแบบเจือจาง (lean-phase fluidized bed) หรือการขนถ่ายด้วยของไหล

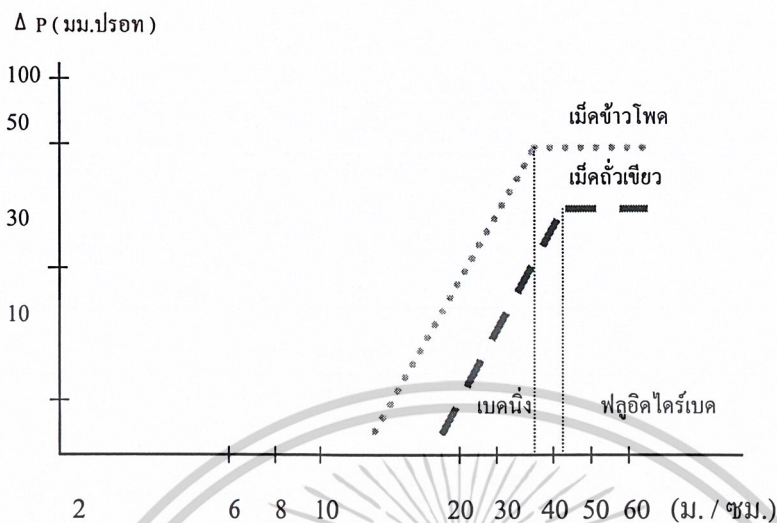
2.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบด

การเกิดฟลูอิดไดซ์เบดอาศัยแฟกเตอร์หลายอย่างมาผสมผสานกันให้เกิดความพอเหมาะขึ้นในเบด เบดนั้นจึงจะเกิดคุณสมบัติคล้ายของไหลได้ แฟกเตอร์หรือตัวแปรที่สำคัญในลำดับแรกคือความเร็วของของไหล ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่า ความเร็วของของไหลที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยนั้นในระยะแรกเบดยังคงอยู่นิ่ง ความดันลดลงค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นไปพร้อมกับความเร็วของของไหล จนถึงระดับหนึ่งเมื่อเม็ดของแข็งเริ่มขยับและแยกตัวเป็นอิสระ ความดันลดของเบดก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ไม่ว่าเราเพิ่มความเร็วให้กับของไหลเท่าไรก็ตาม เบดในช่วงนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบด ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยใช้กรวดหินและลูกแก้วทรงกลมขนาดต่าง ๆ กันเป็นเบด มีน้ำและอากาศเป็นของไหลทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด



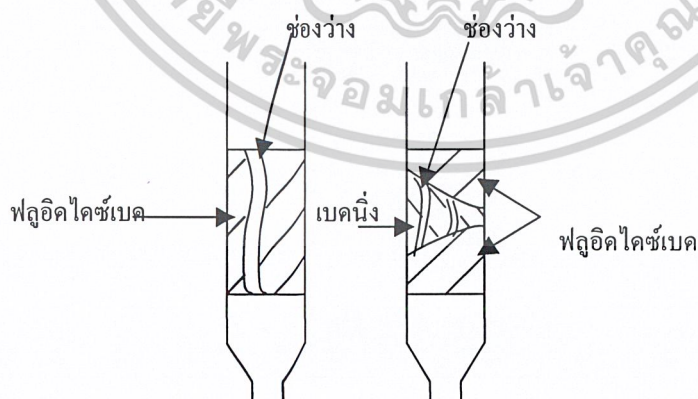
รูปที่ 2.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับฟลูอิดไดซ์เบด

แม้ว่าวัสดุที่ใช้เป็นเบดจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ลักษณะของเบดหรือความสัมพันธ์ของความดันลดของเบดกับความเร็วที่มีผลเหมือนกันคือ ในช่วงที่เป็นฟลูอิดไดซ์เบด จะมีค่าของความดันลดลงที่ เพราะว่าความดันลดในขณะนั้นจะมีตัวเลขใกล้เคียงกับอัตราส่วนของน้ำหนักของเม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ต่อพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อทดลอง ผลการทดลองที่ใช้ข้าวโพดแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลการทดลองที่ใช้เม็คข้าวโพด

ขณะที่เบคเริ่มเกิดเป็นฟลูอิดโครเบค เม็คของแข็งก็เริ่มขยับตัวจัดระเบียบของตัวเองให้อยู่ในแนวเดียวกัน หรือจัดเรียงเม็คต่อเม็คอย่างสวยงาม จากนั้นแต่ละเม็คก็ค่อย ๆ แยกห่างกันออกไปเป็นอิสระตามความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของของไหลที่ทำให้เบคเริ่มขยับตัวหรือเริ่มจัดตัวเองนี้ (ในขณะเดียวกันความดันลดเริ่มคงที่) เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดโครเบคชั้น ดังตัวอย่างของการทดลองกับเม็คถั่วเขียวที่มีความชื้นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเร็วต่ำสุดของอากาศมีค่าประมาณ 41.7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในทำนองเดียวกันจะทำให้ข้าวโพดที่มีความชื้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ตอนอากาศจะเริ่มเป็นฟลูอิดโครเบคเมื่อความเร็วของอากาศเป็น 36.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง [4]



ช่องว่างตลอดความสูงของเบค

รูปที่ 2.4 การเกิดช่องว่างในขณะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดโครเบคชั้นในคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ฟลูอิดไดเซชันความเร็วของไหลต่ำสุด

หมายถึงฟลูอิดไดเซชันในช่วงความเร็วของไหลแคบมาก ๆ คือ ช่วงระหว่างความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด และความเร็วที่สูงกว่าเล็กน้อย ลักษณะของเบดที่เกิดมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งเบด ผิวหน้าของเบดราบเรียบไม่ว่าของไหลนั้นจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ เม็ดของแข็งเริ่มลอยอยู่ในกระแสน้ำของไหลระยะห่างระหว่างเม็ดน้อยมาก เม็ดต่อเม็ดเกือบติดกัน การเคลื่อนไหวก็น้อยมากเพราะอยู่ในวงจำกัด ในทางปฏิบัติมักใช้ความเร็วของไหลสูงกว่าความเร็วต่ำสุดอย่างน้อย 1.5 เท่า

2.6.2 ฟลูอิดไดเซชันแบบเรียบและแบบขุมน

WILHELM และ KWAUK [4] ได้อธิบายไว้ว่า ฟลูอิดไดเซชันแบบเบดเรียบมีลักษณะคือ เม็ดของแข็งแยกจากกันโดยอิสระระยะห่างระหว่างเม็ดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ระยะห่างนี้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วของของไหล เบดมีเนื้อสม่ำเสมอหรือกล่าวอีกประการหนึ่งคือ มีความหนาแน่นของเม็ดของแข็งสม่ำเสมอ ลักษณะเช่นนี้มักเกิดขึ้นในฟลูอิดไดเซชันของเหลวส่วนใหญ่ ฟลูอิดไดซ์เบดเกิดขึ้นยาก นอกจากเบดที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็วต่ำสุดเล็กน้อย ส่วนเบดขุมน เม็ดของแข็งไม่ได้เคลื่อนที่อย่างอิสระมันมีแนวโน้มที่จะรวมอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ ๆ การเคลื่อนไหวของกลุ่มเป็นไปอย่างขุมน นอกจากนี้บางส่วนของของไหลก่อตัวเป็นฟองที่ส่วนล่างของเบดแล้วฟองนี้จะชักนำให้เม็ดของแข็งลอยตามขึ้นไปจนถึงเบด ถ้าของไหลเป็นของเหลวการก่อตัวเป็นฟองมีส่วนคล้ายกับการเกิดฟองของก๊าซ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นเบดจึงมีลักษณะเหมือนกับของเหลวกำลังเดือด เบดจึงไม่สม่ำเสมอ ภายใต้อุณหภูมิที่คงที่ประกอบไปด้วยสถานะ 2 สถานะ คือ เบดหนาแน่นและเบดเจือจางอยู่พร้อมกัน

ถ้าพิจารณาถึงการปฏิบัติ ฟลูอิดไดเซชันแบบเบดขุมนเกิดขึ้นได้ก็ต้องใช้เม็ดของแข็งและของไหล ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันมาก ๆ ซึ่งก็ได้แก่ ก๊าซกับของแข็ง เป็นต้น

2.6.3 การเกิดฟองก๊าซและชั้นสลับของของไหลกับเม็ดของแข็ง

ลักษณะของเบดทั้งสองเกิดขึ้นเฉพาะในเบดขุมนเท่านั้น ฟองที่เกิดขึ้นคล้ายกับเกิดจากก๊าซเริ่มแรกเกิดขึ้นที่ส่วนกลางเหนือแผ่นกระจาย หลังจากนั้นก็หลุดลอยผายขึ้นเบดขึ้นไปจนถึงผิวหน้าของเบด แล้วก็แตกกระจายออก

ชั้นสลับเกิดขึ้นได้เมื่อฟองก๊าซหลาย ๆ ฟองมารวมกันแล้วเป็นฟองขนาดใหญ่จนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด ฟองก๊าซก็แยกของแข็งออกเป็นชั้น ๆ ให้เห็นชัดเจน การเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เม็ดของแข็งเคลื่อนที่จนถึงความสูงระดับหนึ่ง ก็แยกออกตกกลับลงในเบดเหมือนกับฝนตก แล้วก่อตัวเป็นเบดขุมนใหม่ เบดชนิดนี้เกิดขึ้นง่ายกับเบดที่มีความสูงมาก และเบดที่มีความเร็วของก๊าซมากด้วย

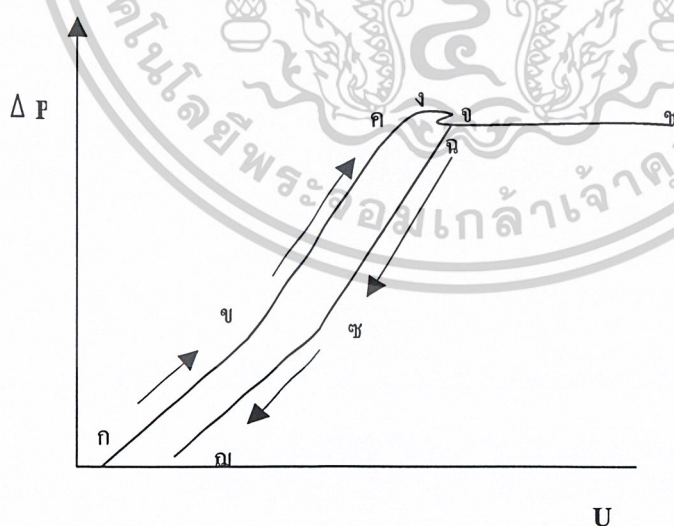
2.7 สถานะของฟลูอิดไอเซชัน

เมื่อกองแข็งที่บรรจุลงไปนั้นจะเป็นการบรรจุแบบไม่เป็นระเบียบ (แบบสุ่ม) เมื่อกองแข็งจะก่อกันอยู่ทำให้เกิดช่องว่างมากกว่าช่องว่างต่ำสุดที่เป็นเบคนึ่ง เมื่อผ่านของไหลเข้าไปในเบคสถานะของเบคจะเปลี่ยนตามความเร็วของของไหล ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของความดันตกกับความเร็วดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ [4]

เมื่อผ่านของไหลเข้าไปในเบคขณะที่ยังเป็นเบคนึ่งความดันตกของเบคที่วัดได้จะดำเนินตามเส้น ก-ข ขณะที่ความเร็วต่ำๆ ความชันจะมีค่าเท่ากับ 1 และไปตามเส้น ข-ค เมื่อความเร็วสูงขึ้นความชันจะมีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ ERGUN ที่จุดนั้นความเร็วของไหลใกล้เคียงกับความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไอเซชันเมื่อกองแข็งเริ่มขยับตัวจัดตัวเองให้เข้าระเบียบภายในเบค ความดันตกขณะนั้นจะมากที่สุดคือ ช่วง ค-ง เมื่อเรียงตัวเรียบร้อยแล้วความดันตกจะลดลงมาอยู่ที่ จ ซึ่งต่ำกว่าความดันตกที่จะเกิดฟลูอิดไอเซชัน จากนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนถึงจุด ฉ แล้วจะคงที่ไปจนถึงจุด ช

เมื่อลดความเร็วของไหลจนถึงจุด ฉ ความดันยังคงที่อยู่ แต่จากจุด ฉ ความดันตกของเบคจะลดลงตามเส้น ฉ-ข และ ข-ฉ ตามลำดับ ถ้าเราทำการทดลองใหม่จากเบคเดิมนี้ ความดันตกจะเป็นไปตามเส้น ฉ-ข และ ข-ฉ เหมือนเดิม เพราะเบคขณะที่เปลี่ยนจากฟลูอิดไอเซชันเบคเข้าสู่เบคนึ่งเมื่อกองแข็งเริ่มจัดระเบียบตัวเองแล้ว เมื่อทำการทดลองใหม่จึงไม่ต้องเสียพลังงานในการจัดระเบียบอีกจึงเดินตามเส้น ฉ-ฉ ที่จุด ฉ นี้เราเรียกว่า จุดความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไอเซชัน

การที่ความดันตกของเบคเริ่มแรกสูงกว่าความดันตกในขณะที่เบคเป็นระเบียบ เพราะช่องว่างภายในเบคจัดไม่เป็นระเบียบการไหลจึงเกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าปกติ จากการทดลองพบว่าความดันตกในครั้งแรกมากกว่าความดันตกในเบคที่เป็นระเบียบประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลต่างของความดันกับความเร็วมในเบค

บทที่ 3

หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ในฟลูอิดไดซ์เบดวัสดุถูกกวน และผสมอย่างรุนแรงในทิศแนวดิ่งโดยกระแสลมร้อนที่ไหลผ่านชั้นวัสดุ ดังนั้น จึงถือว่าเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ในแนวดิ่ง และไม่ต้องคำนึงถึงการกระจายของอัตราส่วนความชื้น หรือการกระจายของอุณหภูมิของวัสดุในชั้นวัสดุ ส่วนการไหลของอากาศอาจถือได้ว่าเป็นการไหลแบบผสมอย่างสมบูรณ์กับวัสดุที่กำลังถูกฟลูอิดไดซ์ ในขณะที่เกี่ยวกับที่ถูกปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง

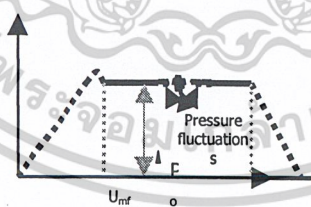
3.1.1 การประมาณกระบวนการอบแห้ง

เนื่องจากการกวนในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดรุนแรงมาก ดังนั้นเราสามารถถือว่าปริมาณความชื้นของวัสดุทั้งหมดถูกระเหยไปในช่วงของการระเหยจากผิววัสดุ ส่วนช่วงที่อัตราการอบแห้งช้าลง มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของวัสดุที่ทางออกเท่านั้น

ในช่วงการระเหยจากผิววัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะยังคงเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน

3.1.2 ผลของความดันตกในฟลูอิดไดซ์เบด

เนื่องจากน้ำหนักของชั้นวัสดุถูกค้ำจุน โดยก๊าซที่ไหลผ่านฟลูอิดไดซ์เบด ผลความดันตกที่ความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วต่ำสุดที่เริ่มก่อให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดจะมีความคงที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของความดันตกกับความเร็วของก๊าซในฟลูอิดไดซ์เบด

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าเม็ดของแข็งอยู่ในสถานะของแรง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็งคือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหลเขียนเป็นสมการได้ว่า

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

เนื่องจาก

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

น้ำหนักของเม็ดของแข็ง = (ปริมาตรของเบด)(ส่วนของของแข็งในเบด)(ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง)

$$= (AH_o)(1 - \varepsilon_o)(\rho_s - \rho_f)g$$

จะได้ว่า

$$\Delta P x A = (AH_o)(1 - \varepsilon_o)(\rho_s - \rho_f)g \quad (3.2)$$

ดังนั้น สามารถที่จะหาค่าความดันลดในคอลัมน์ของฟลูอิดไคเซเบด ได้จาก

$$\Delta P \cong (\rho_s - \rho_f)(1 - \varepsilon_o)H_o g \quad (3.3)$$

เพราะว่า $\rho_s \gg \rho_f$ โดยปกติ ΔP มีค่าประมาณ 3-300 มิลลิเมตรน้ำ แต่อาจมีค่าสูงถึง 1000 มิลลิเมตรน้ำในบางครั้ง และเพื่อให้เกิดฟลูอิดไคเซชันอย่างสม่ำเสมอ โดยปกติแล้วจะออกแบบให้ความต้านทานต่อการไหลผ่านรูพรุนที่รองรับชั้นวัสดุมีค่า 50~100 มิลลิเมตรน้ำ เพราะฉะนั้นผลความดันลด คือ

$$\Delta P \cong (\rho_s)(1 - \varepsilon_o)H_o g = \rho_b H_o g \quad (3.4)$$

ปริมาณช่องว่างในเบดต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้น จะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบดเล็กน้อย ในขณะที่เบดยังอยู่ในลักษณะของค่าต่ำสุดของฟลูอิดไคเซชันนั้นสมการของความดันลดยังสามารถนำมาประยุกต์ได้ เมื่อแทนค่าความดันลดในสมการของ ERGUN จะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ความเร็วของก๊าซที่ทางเข้าฟลูอิดไคซ์เบด

ความเร็วของก๊าซที่ไหลเข้าฐานล่างของฟลูอิดไคซ์เบด จะต้องมากกว่าความเร็วของการเริ่มเกิดฟลูอิดไคเซชันของอนุภาคแต่น้อยกว่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาค

LEVA [4] พบว่าค่าของ u_{mf} สำหรับอนุภาคทรงกลมคำนวณได้จาก

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

BAERG, KLASSEN และ GISHLER [4] ได้ศึกษาถึงไฮโดรไดนามิกของเบดพบว่า

$$u_{mf} = 180 \times 10^2 (D_p \ell_b)^{1.23} \quad (3.7)$$

ส่วนค่าของ u_i คำนวณได้จาก

$$u_i = g(\ell_s - \ell_f) d_p^3 / 18 \mu_f \quad \text{ถ้า } (d_p u_i \ell_f / \mu_f) = \text{Re}_p < 2 \quad (3.8)$$

$$u_i = [(4/55)(\ell_s - \ell_f)^2 g^2 / \mu_f \ell_f]^{1/3} d_p \quad \text{ถ้า } 2 < \text{Re}_p < 500 \quad (3.9)$$

$$u_i = [3g(\ell_s - \ell_f) d_p / \ell_f]^{1/2} \quad \text{ถ้า } \text{Re}_p > 500 \quad (3.10)$$

โดยทั่วไป u_{mf} มีค่าประมาณ $(0.06 \sim 0.12) u_i$ เนื่องจาก u มักถูกเลือกให้เท่ากับ $(3 \sim 8) u_{mf}$ จึงมีค่าประมาณ $(0.2 \sim 0.6) u_i$ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าสูง และเกิดการรวมตัวของอนุภาควัสดุอย่างมากฟลูอิดไคเซชัน อาจไม่เกิดขึ้นที่ค่าความเร็วที่คำนวณได้จากกรณีของอนุภาคทรงกลมเดี่ยว ด้วยเหตุนี้เรามักจะใช้เครื่องมือกลอย่างง่ายช่วยกวนให้เกิดฟลูอิดไคเซชัน

3.2 การหาความสูงของคอลัมน์แบบฟลูอิดไคซ์เบด

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

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

บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัยและการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

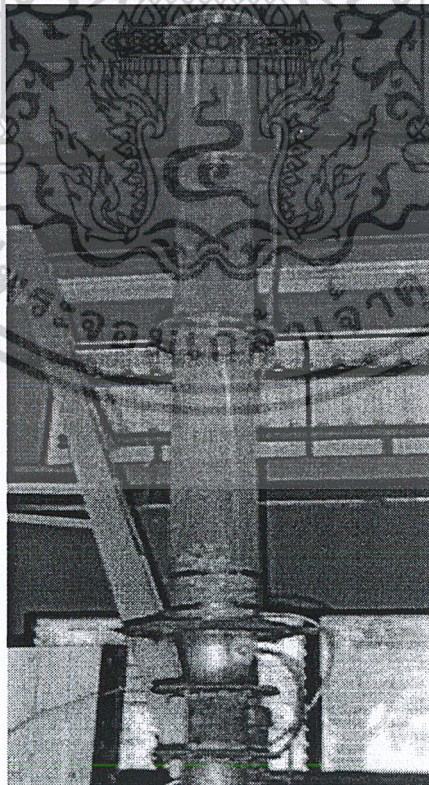
1. การทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุด (U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด
2. การทดลองหาค่าความชันเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด
3. การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดที่ได้หลังการอบกับความเร็วมที่ใช้ในการอบแห้ง

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงซึ่งแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

4.1.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

หอตกลงที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอะคิลิกใส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 13 ซม. และมีความสูง 2 เมตร ดังรูปที่ 4.1



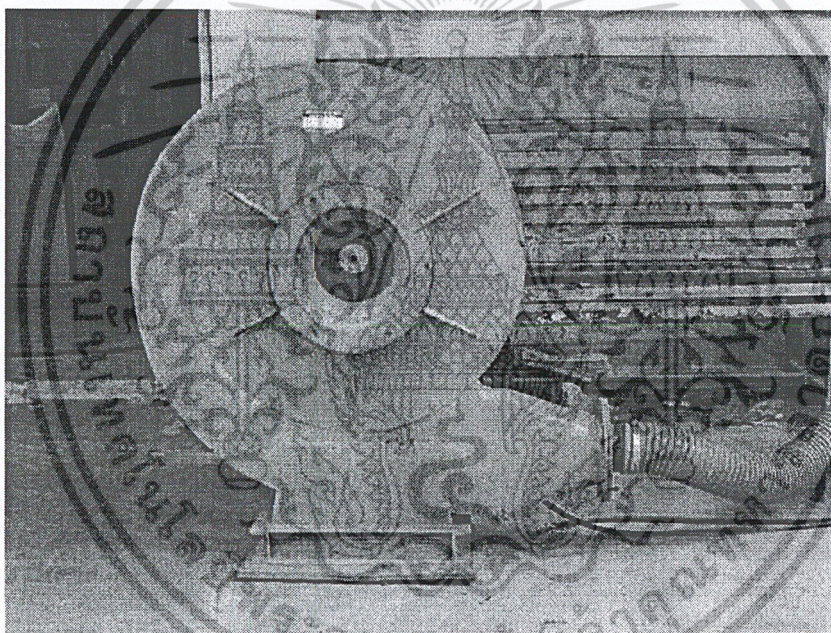
รูปที่ 4.1 หอตกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีชุดอากาศหมุนควงและชุดอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งชุดอากาศแบบหมุนควงจะใช้เทอร์โบ ในการทำให้อากาศเกิดการหมุนวนซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างอะคิลิกโดยมีท่อที่ให้อากาศผ่านเพื่อทำให้เกิดอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ด้านล่างของตัวเทอร์โบ ซึ่งในรูปได้แสดงการทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% จึงทำการถอดชุดอากาศหมุนควงออกและให้อากาศผ่านด้านล่างเพียงอย่างเดียว ซึ่งท่อจะเป็นท่อเหล็กขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร และท่อนี้จะต่อออกมาจากฮีตเตอร์

4.1.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)

ชุดป้อนอากาศนั้นได้ใช้Blower ซึ่งใช้มอเตอร์ขนาด 10 Hp และใบพัดเป็นแบบ Centrifugal ดังแสดงในรูปที่ 4.2

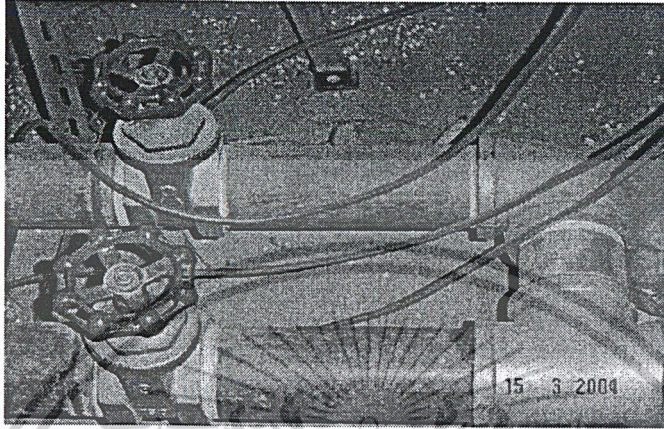


รูปที่ 4.2 ชุดป้อนอากาศ (Blower)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ชุดแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

ชุดแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควงจะประกอบด้วยท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควงที่ต่อผ่านชุดป้อนอากาศดังรูปที่ 4.3

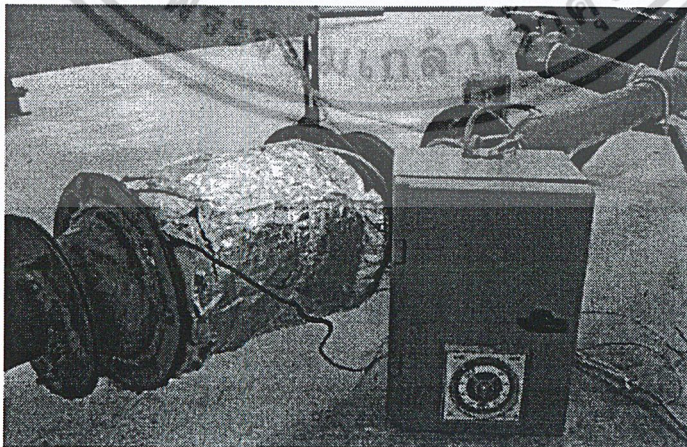


รูปที่ 4.3 ท่อแยกอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

โดยจะใช้เหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร และมีแผ่นออริฟิสถูกประกอบอยู่ด้านหน้าแปลน เป็นตัวขวางการไหลของอากาศเพื่ออ่านค่ามานอมิเตอร์ซึ่งได้ติดตั้งไว้หลังวาล์วซึ่งวาล์วทั้งสองตัวมีไว้เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนควง

4.1.4 ระบบให้ความร้อน (Heater)

ระบบให้ความร้อนนั้น ได้เลือกใช้Heater ซึ่งใช้ขดลวดให้ความร้อน ขดอยู่ภายในท่อ โดยมีตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในการปรับตั้งอุณหภูมิดังรูปที่ 4.4

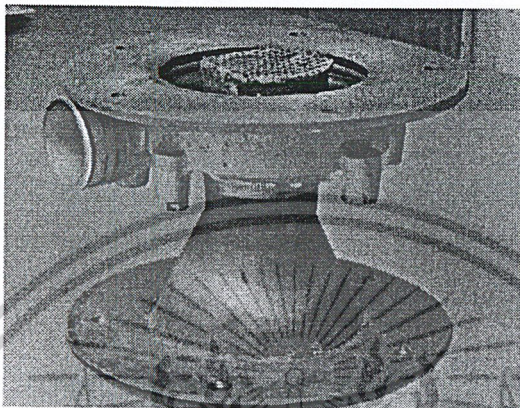


รูปที่ 4.4 ระบบให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ชุดอากาศหมุนควง

ชุดอากาศหมุนควงได้ใช้เทอร์โบซึ่งทำให้อากาศเกิดการหมุนควง ซึ่งด้านบนจะต่อกับอะคีลิก และด้านล่างจะต่อกับท่ออากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และที่ปากของเทอร์โบจะต่อกับท่ออากาศแบบหมุนควงดังรูปที่ 4.5

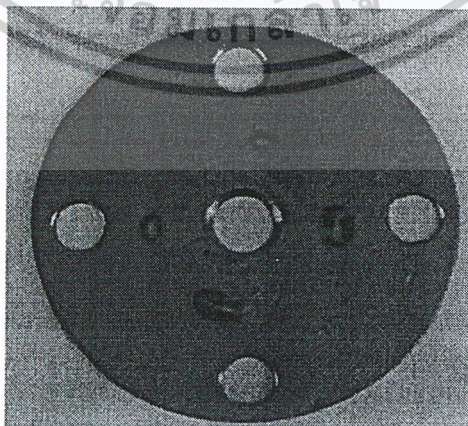


รูปที่ 4.5 ชุดอากาศหมุนควง

4.1.6 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และอากาศแบบหมุนควงจะใช้ออริฟิส (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออริฟิสสามารถอ่านค่าโดยใช้มานิเตอร์ (Manometer) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

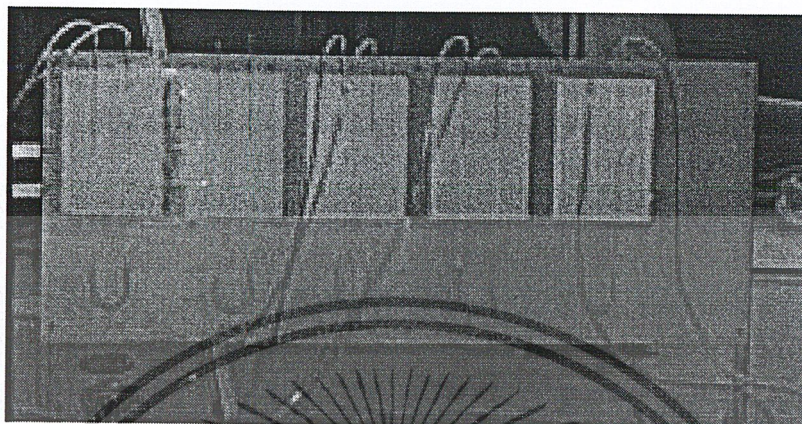
แผ่นออริฟิส (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ออริฟิส 1 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และออริฟิส 2 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบหมุนควง ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

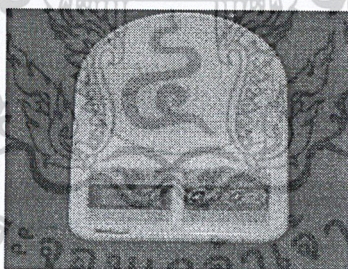
การสร้างออร์ฟิสมิเตอร์ใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530) และมาโนมิเตอร์ (Manometer) ซึ่งใช้น้ำเป็นของเหลวภายใน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 มาโนมิเตอร์

4.1.7 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด

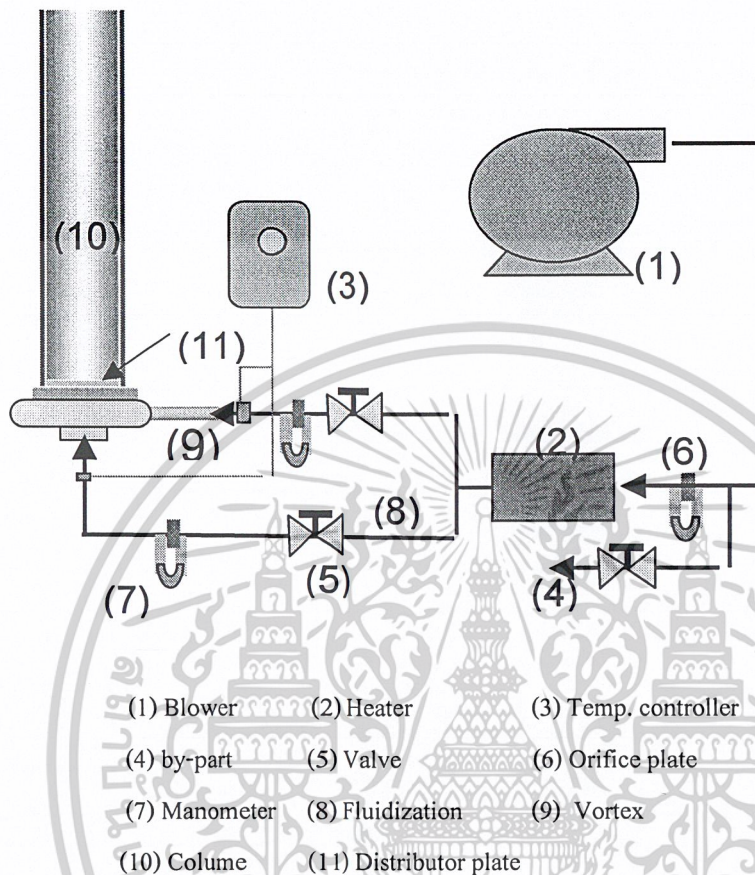
อุปกรณ์วัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเป็นตาชั่งดิจิตอล แสดงผลเป็นแบบดิจิตอลซึ่งค่าอยู่ในช่วง 0 – 2000 กรัม ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ตาชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง



รูปที่ 4.9 ผังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบหอททดลองที่ทำจากอะลูมิเนียมเข้าด้วยกัน (10) กับแผ่นกระจาย (11) ซึ่งวางอยู่ด้านล่างของหอททดลอง และจะมีเทอร์โม (9) รองรับทั้งตัวหอททดลอง กับแผ่นกระจายเข้าด้วยกันดังรูปที่ 4.9 ซึ่งอากาศที่เข้าหอททดลองมีด้วยกันสองทาง คือส่วนแรกเข้าทาง ด้านล่างของเทอร์โม โดยจะผ่านออริฟิสซึ่งใช้วัดความดันโดยมานอมิเตอร์ (7) และอัตราการไหลของ อากาศถูกควบคุมโดยวาล์ว (5) และส่วนที่สองเข้าทางด้านข้าง เพื่อทำให้อากาศเกิดการหมุนควงโดยผ่าน วาล์วเช่นเดียวกันอากาศทั้งสองส่วนได้มาจากแหล่งต้นกำลังแหล่งเดียวกัน คือ Blower (1) และอากาศ ร้อนจากฮีตเตอร์ (2) จะติดตั้งหลังออริฟิส (6) และต่อเข้ากับท่อก่อนที่ท่อจะแยกเป็นสองชุด (8) และ (9) คือ ชุดที่ทำให้เกิดอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด และชุดที่ทำให้เกิดหมุนควง

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1 การทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุด (U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไลซ์เบด

- 1) เปิดสวิตช์เดินเครื่อง Blower ให้อากาศไหลผ่านเข้าไปยังระบบของเครื่องอบแห้ง
- 2) นำข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นใส่เข้าไปในหอตกลงให้เบด (เมล็ดข้าวโพด) มีความสูง 10

เซนติเมตร

- 3) ทำการเพิ่มความเร็วไปเรื่อยๆ พร้อมกับบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองจนถึงค่าหนึ่ง
- 4) เปลี่ยนความสูงของเบดมาเป็น 15 เซนติเมตร แล้วทำการทดลองตามข้อ 3
- 5) เปลี่ยนความสูงของเบดมาเป็น 20 เซนติเมตร แล้วทำการทดลองตามข้อ 3 จดบันทึกค่าทั้งหมด
- 6) นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟเพื่อหาค่าความเร็วต่ำสุด (U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไลซ์

เบด

4.3.2 การทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด

- 1) นำเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง มาชั่งน้ำหนักก่อนนำเมล็ดข้าวโพดเข้าตู้อบและบันทึกค่า
- 2) นำเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองไปเข้าตู้อบไฟฟ้าทำการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISTA [10]
- 3) นำเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการอบ ไปชั่งน้ำหนัก
- 4) นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าความชื้นเริ่มต้น (ภาคผนวก ก)

4.3.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดวัสดุอบที่ได้หลังการอบ กับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง

- 1) เปิดสวิตช์เดินเครื่อง Blower ให้อากาศไหลผ่านเข้าไปยังระบบของเครื่องอบแห้ง
- 2) นำข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้น ที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ใส่เข้าเครื่องอบแห้งที่มีอุณหภูมิอากาศปกติ
- 3) วัดความเร็วของอากาศในท่อแบบฟลูอิดไลซ์เบด ด้วย Hot-wire anemometer ให้ได้ความเร็วของอากาศในหอตกลงเท่ากับ $1.3 U_{mf}$
- 4) นำข้าวโพดนี้ออกจากหอตกลง และเปิดเครื่องให้ความร้อนและปรับตัวควบคุมอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิของอากาศร้อน 50 องศาเซลเซียส
- 5) ป้อนข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้น เข้าเครื่องอบแห้ง ให้ได้น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด 1 กิโลกรัมอีกครั้ง
- 6) นำข้าวโพดออกมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่หายไป บันทึกน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด ในเวลาที่ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที ตามลำดับ
- 7) เปลี่ยนความเร็วลมเป็น 1.3, 1.5 และ 1.7 U_{mf} ตามลำดับ และดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-7 ตามลำดับ
- 8) เปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็น 75 และ 100 องศาเซลเซียส และดำเนินการซ้ำตามขั้นตอน

ที่ 2-8 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) เปลี่ยนทิศทางอัตราการไหลของอากาศร้อนจาก ฟลูอิดไดซ์เบด มาเป็นแบบ หมุนควง และ
ดำเนินการ ทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 - 9 ตามลำดับ

10) เปลี่ยนทิศทางอัตราการไหลของอากาศร้อนจากฟลูอิดไดซ์เบด กับแบบ หมุนควง มาเป็นการ
ไหลแบบผสม ดังนี้

แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแบบหมุนควง 50 เปอร์เซ็นต์

แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแบบหมุนควง 25 เปอร์เซ็นต์

แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับแบบหมุนควง 75 เปอร์เซ็นต์ และดำเนินการทดลอง
ซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 - 9 ตามลำดับ

11) นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบและสรุปผล



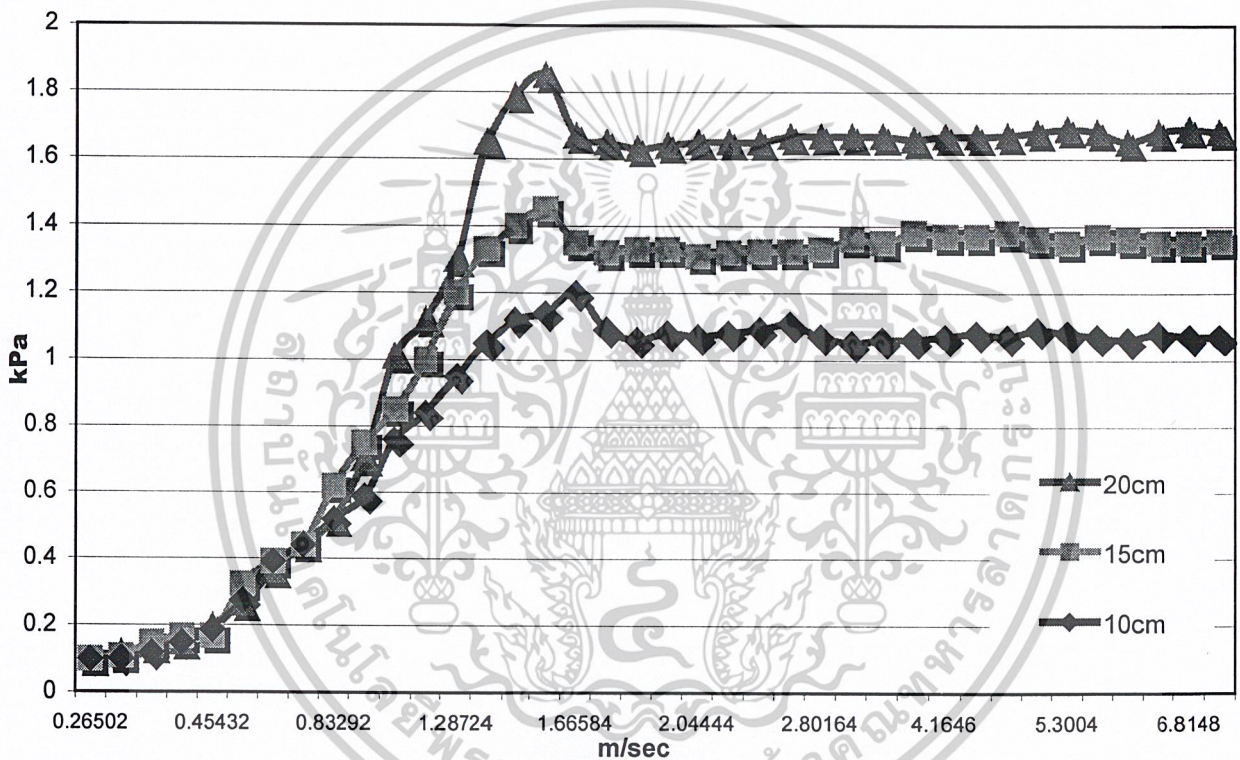
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (U_{mf})

จากผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (U_{mf}) ซึ่งผลการทดลอง ได้แสดงเป็นตารางไว้ที่ภาคผนวก ข แล้ว จากข้อมูลในภาคผนวกดังกล่าวสามารถนำมาสร้างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของความดันกับความเร็วดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็ว

จากกราฟรูปที่ 5.1 เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในเบดนั้น มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด (ความสูงของเบด) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมจะพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ค่าความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกันจนที่ความเร็วประมาณ 1.6 m/s ทุกๆ ความสูงของเบดที่ทดลอง ค่าความดันตกคร่อมจะลดลงเนื่องจากการหลุดลอยได้เกิดขึ้นภายในหอตกลงแล้วและเมื่อเมล็ดข้าวโพดเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันทั่วทั้งเบดแล้วค่าความดันตกคร่อมก็จะเริ่มคงที่ไปเรื่อยๆ ดังกราฟที่ได้แสดงไว้

5.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด

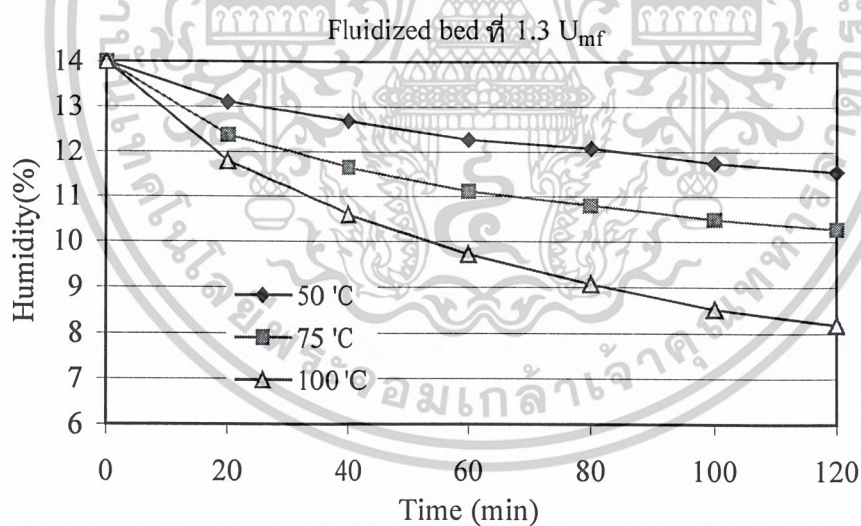
การทดลองนั้นได้ทดลอง 3 ครั้งด้วยกันซึ่งแสดงเป็นตารางไว้ดังนี้

เมล็ดก่อนการอบ (กรัม)	เมล็ดหลังการอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้
5.0	4.3	14
5.1	4.4	13.72
5.1	4.4	13.72

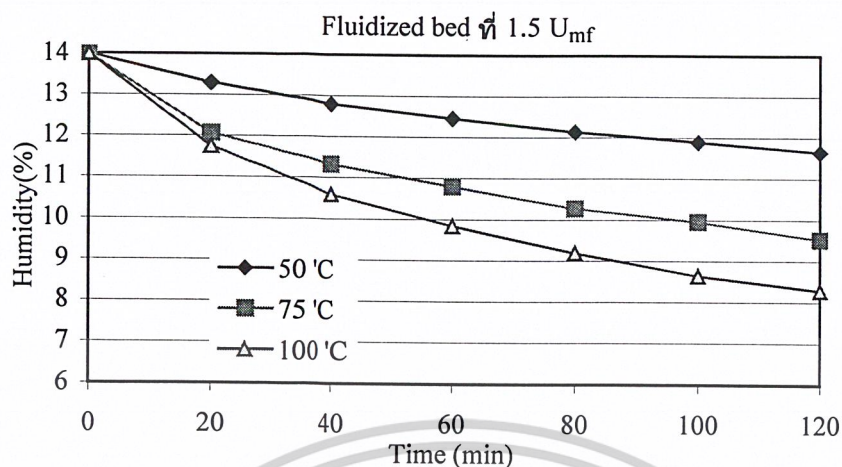
ค่าความชื้นที่ใช้ในการทดลองเลือกใช้ ค่าความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์

5.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพด

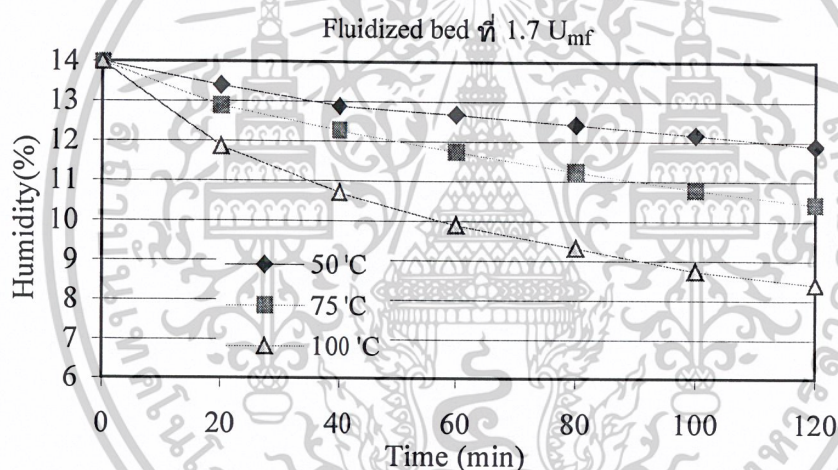
จากผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงของเมล็ดข้าวโพดของแต่ละความเร็วลม และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ เมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งจะได้แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้ ทั้งนี้ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิ ในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ $1.3 U_{mf}$



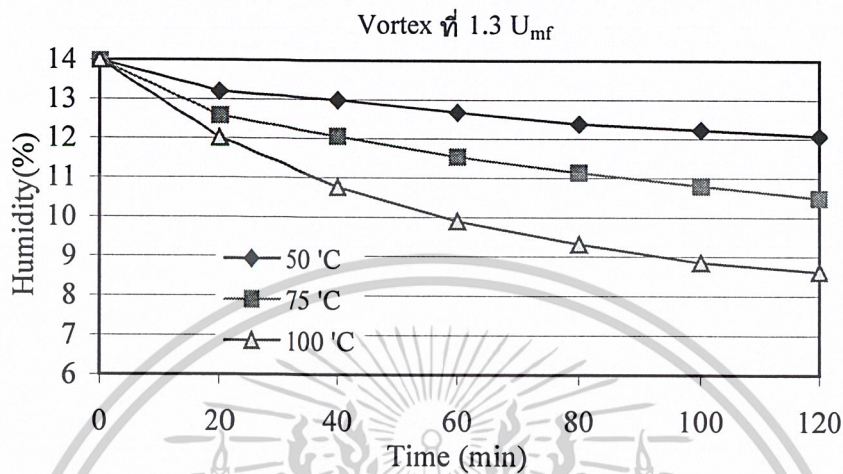
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ 1.5 U_{mf}



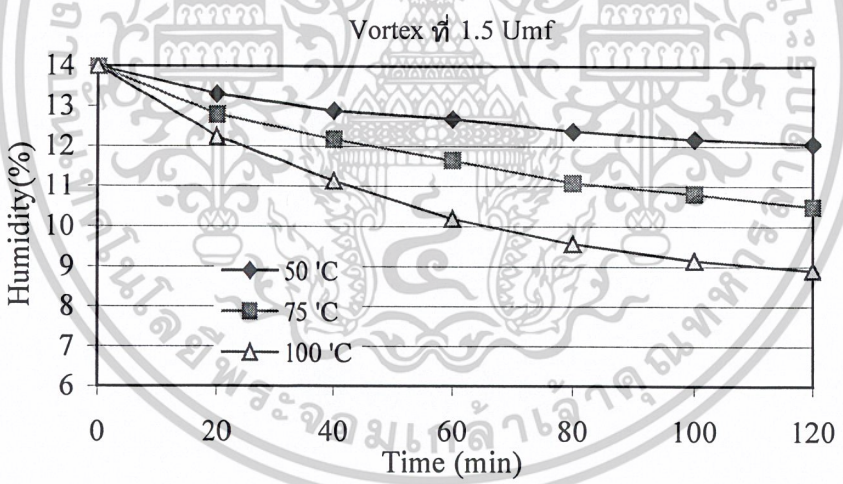
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ 1.7 U_{mf}

กราฟรูปที่ 5.2, 5.3 และ 5.4 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ได้ติดตั้งชุดอากาศหมุนวนเข้าไป ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียสและที่ความเร็ว 1.3 U_{mf} นั้น ดูรูปที่ 6.2 เส้นกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงมากที่สุดคือที่ 8.18 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเร็ว 1.5 U_{mf} จะอยู่ที่ 8.27 และ 8.4 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็ว 1.7 U_{mf}

กราฟรูปที่ 5.5 , 5.6 และ 5.7 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะ อากาศแบบหมุนควงที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ทำการติดตั้งชุดอากาศหมุนควงที่ใช้เทอร์โบเข้าไปเพื่อสร้างอากาศหมุนวน

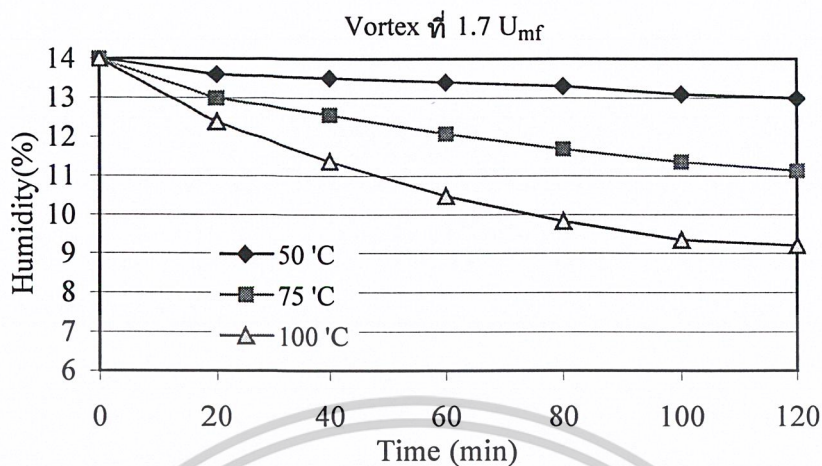


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ 1.3 U_{mf}



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ 1.5 U_{mf}

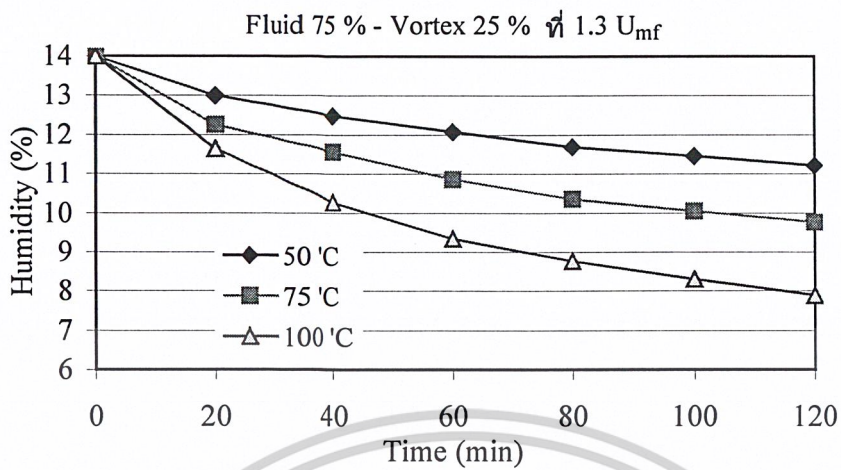
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



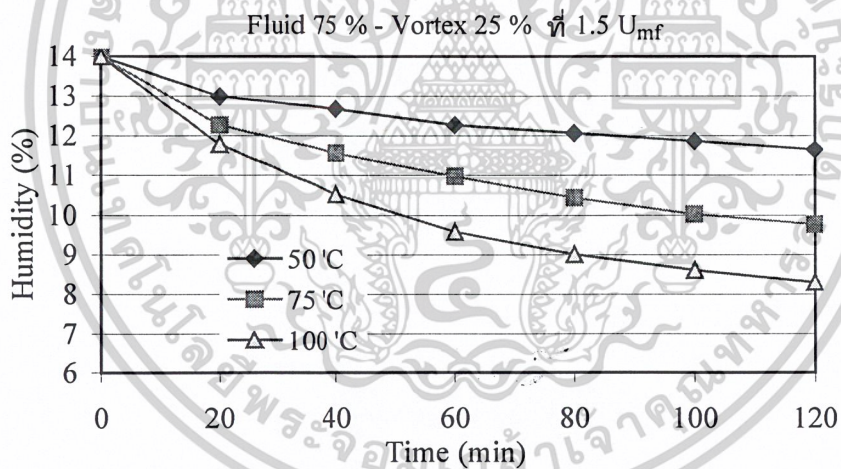
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ $1.7 U_{mf}$.

ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียสและที่ความเร็ว $1.3 U_{mf}$ นั้น (ดูรูปที่ 5.5) เส้นกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นลดลงมากที่สุดคือที่ 8.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเร็ว $1.5 U_{mf}$ จะอยู่ที่ 8.89 และ 9.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็ว $1.7 U_{mf}$ ความชื้นที่ลดลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมินั้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อดูค่าความชื้นที่ได้แล้วการรอบที่ฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากกว่าแบบหมุนควง

กราฟรูปที่ 5.8 , 5.9 และ 5.10 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบผสมกัน ในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับอากาศแบบหมุนควงที่ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยการติดตั้งชุดอากาศหมุนควงเข้าไปเพื่อสร้างอากาศหมุนวนและทำให้เกิดความปั่นป่วนเพื่อให้อากาศร้อนนั้นได้สัมผัสกับเมล็ดข้าวโพดนานกว่าแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียวหรือแบบหมุนควงเพียงอย่างเดียว ซึ่งเส้นกราฟในแต่ละกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียสและที่ความเร็ว $1.3 U_{mf}$ นั้น (ดูรูปที่ 5.8) เส้นกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นลดลงมากที่สุดความชื้นที่ลดลงมากกว่าแบบหมุนควงและแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียวโดยหนึ่งและความชื้นที่ลดลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมินั้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียว หรือแบบหมุนควงเพียงอย่างเดียว

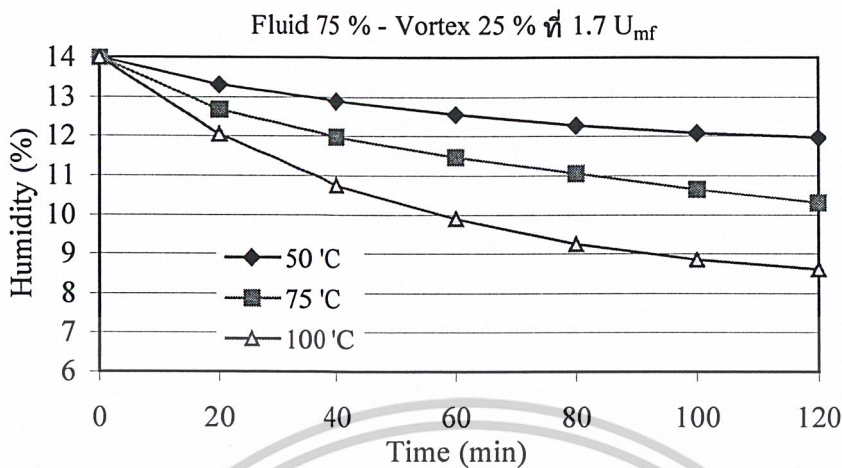


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบอากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.3 U_{mf}$



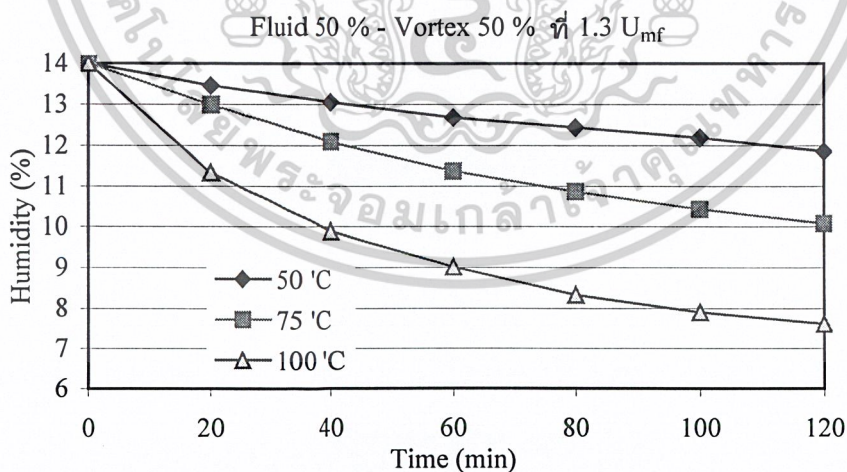
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบอากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.5 U_{mf}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



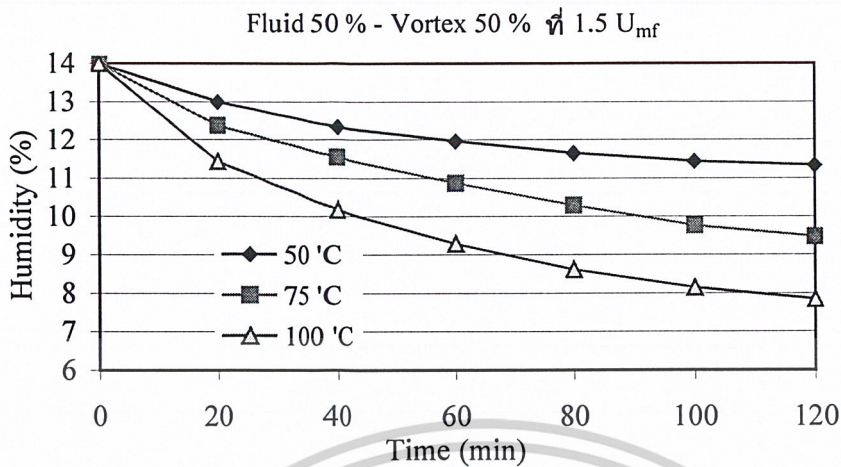
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ 75% ผสมกับแบบ
อากาศหมุนควงที่ 25% ที่ความเร็วลม $1.7 U_{mf}$

กราฟในรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 ที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบผสมกันในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับอากาศแบบหมุนควง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยการติดตั้งชุดอากาศหมุนควงเข้าไปเพื่อสร้างอากาศหมุนวนและทำให้เกิดความปั่นป่วนเพื่อให้อากาศร้อนนั้นได้สัมผัสกับเมล็ดข้าวโพดนานกว่าแบบฟลูอิดไคซ์เบดเพียงอย่างเดียวหรือแบบหมุนควงเพียงอย่างเดียวโดยกราฟได้แสดงดังต่อไปนี้

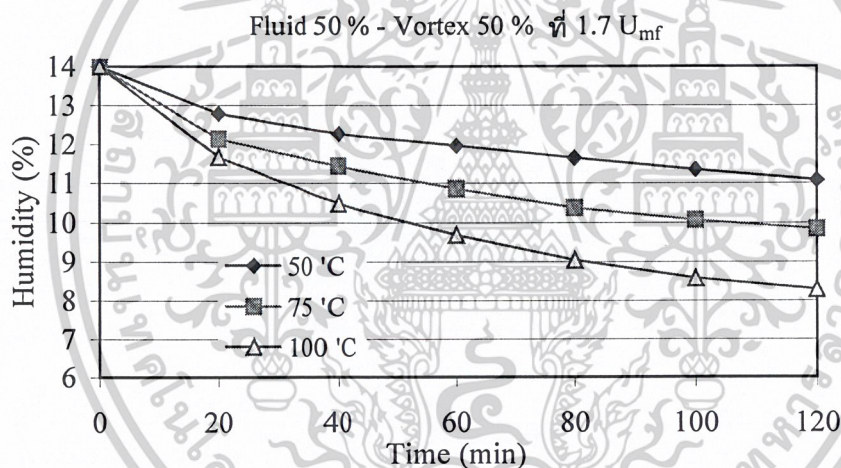


รูปที่ 5.11 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 50 % ผสมกับแบบหมุน
ควง ที่ 50 % ที่ $1.3 U_{mf}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

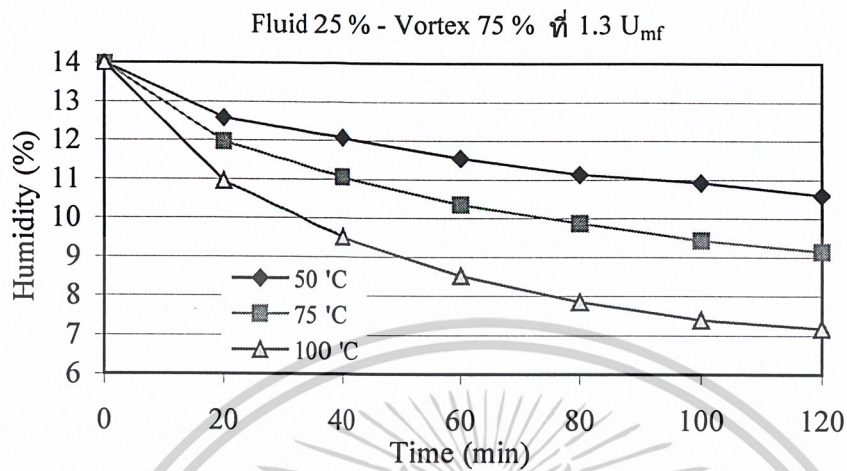


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 50 % ผสมกับแบบหมุนควง ที่ 50 % ที่ $1.5 U_{mf}$

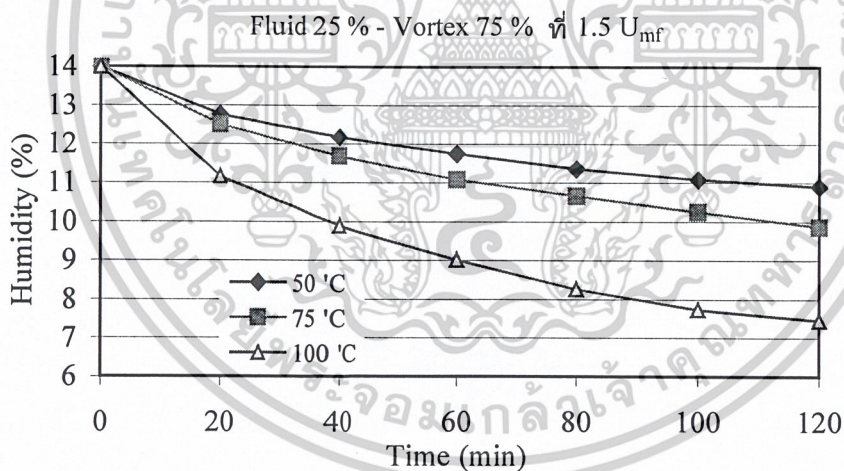


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 50 % ผสมกับแบบหมุนควง ที่ 50 % ที่ $1.7 U_{mf}$

โดยเส้นกราฟในแต่ละกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียสและที่ความเร็ว $1.3 U_{mf}$ นั้น (ดูรูปที่ 5.11) เส้นกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นลดลงมากที่สุดคือที่ 7.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเร็ว $1.5 U_{mf}$ จะอยู่ที่ 7.84 และ 8.28 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็ว $1.7 U_{mf}$ ความชื้นที่ลดลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมินั้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา

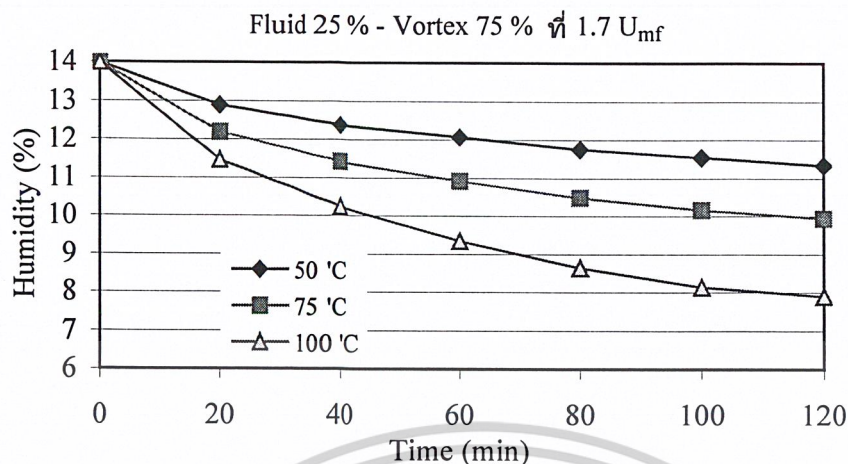


รูปที่ 5.14 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 25 % ผสมกับแบบหมุนควง ที่ 75 % ที่ $1.3 U_{mf}$



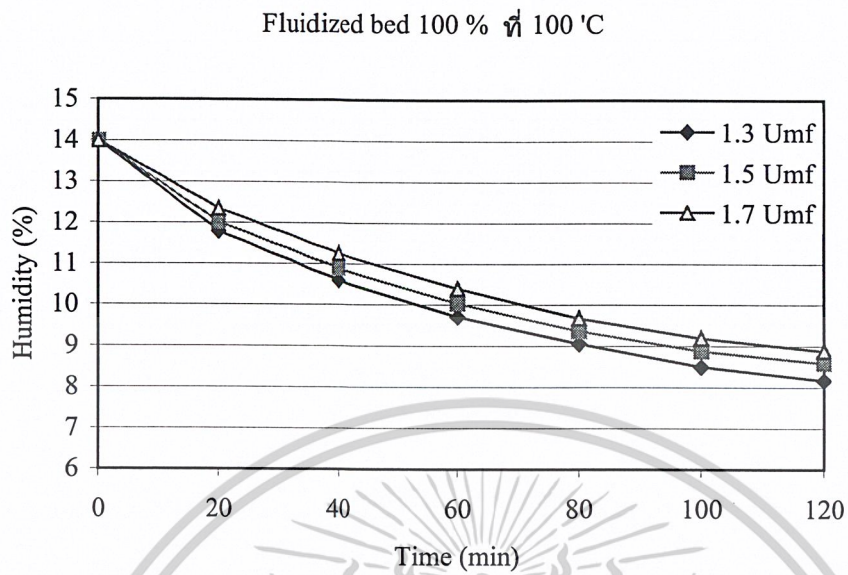
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 25 % ผสมกับแบบหมุนควง ที่ 75 % ที่ $1.5 U_{mf}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

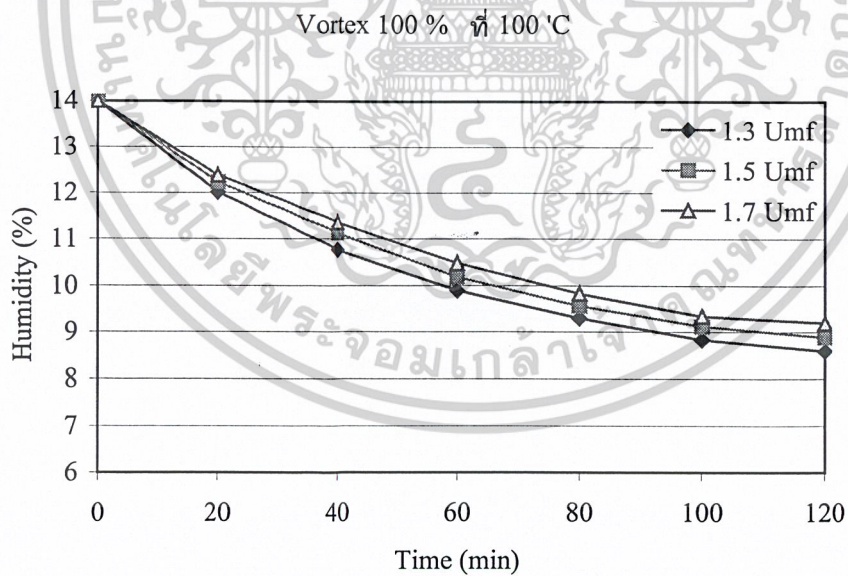


รูปที่ 5.16 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะลมแบบฟลูอิดไคซ์เบด 25 % ผสมกับแบบหมุนควง ที่ 75 % ที่ $1.7 U_{mf}$

กราฟในรูปที่ 5.14 , 5.15 และ 5.16 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะอากาศแบบผสมกันในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไคซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับอากาศแบบหมุนควง 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเส้นกราฟในแต่ละกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิอื่นๆ และที่ความเร็ว $1.3 U_{mf}$ นั้น (ดูรูปที่ 5.14) เส้นกราฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วลมที่ $1.5 U_{mf}$ และที่ความเร็ว $1.7 U_{mf}$ ความชื้นที่ลดลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมินั้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา แต่เมื่อดูค่าความชื้นที่ได้แล้วการออกแบบการผสมกันระหว่างอากาศแบบผสมกันในลักษณะอากาศแบบฟลูอิดไคซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับอากาศแบบหมุนควง 75 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นลดลงมากที่สุดคือที่ 7.16 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ความเร็ว $1.5 U_{mf}$ จะอยู่ที่ 7.46 และ 7.89 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็ว $1.7 U_{mf}$



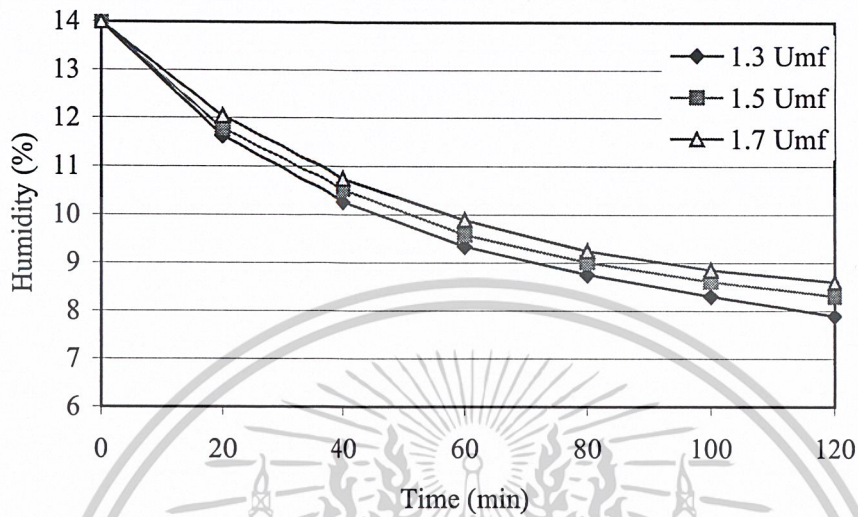
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100% ที่ 100 °C



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะลมแบบหมุนควง 100% ที่ 100 °C

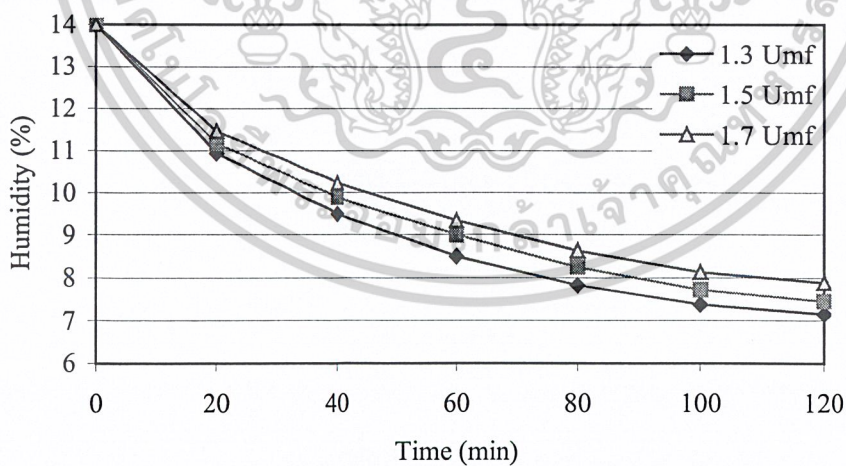
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fluid 75 % - Vortex 25 % ที่ 100 °C



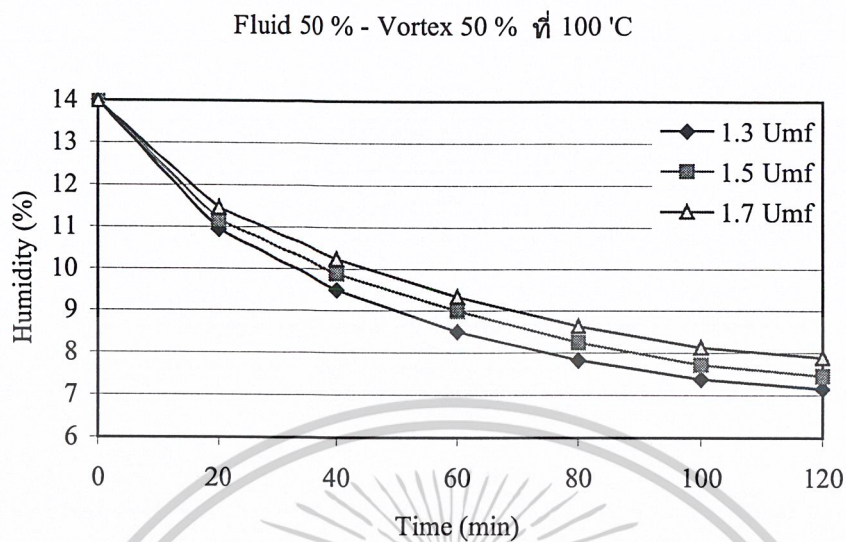
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะลมแบบฟลูอิดโคจร์เบด 75 % และแบบ หมุนควง 25 % ที่ 100 °C

Fluid 25 % - Vortex 75 % ที่ 100 °C

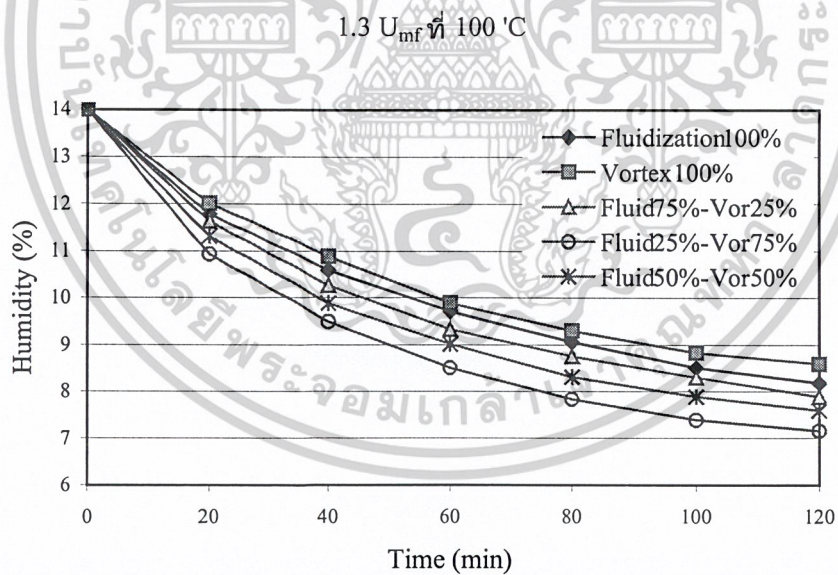


รูปที่ 5.20 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วลมในลักษณะลมแบบฟลูอิดโคจร์เบด 25 % และแบบ หมุนควง 75 % ที่ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

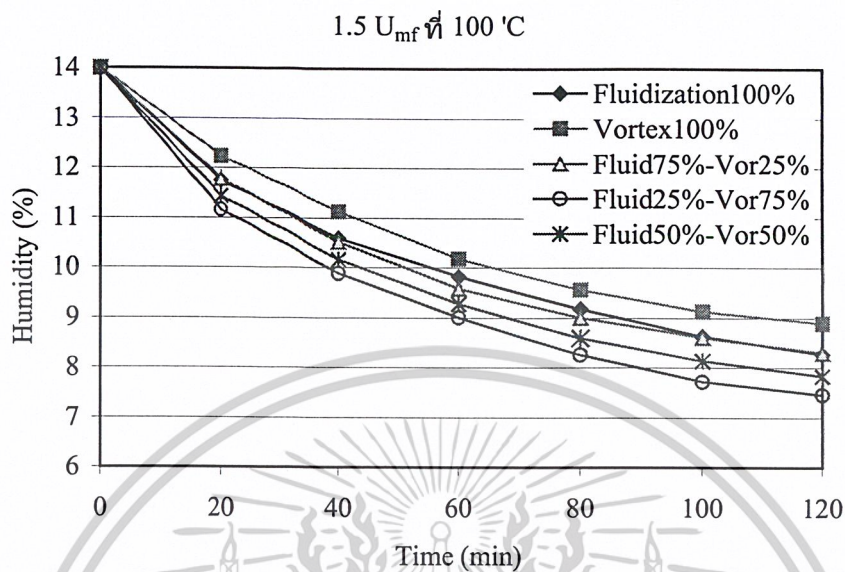


รูปที่ 5.21 กราฟแสดงอิทธิพลของความเร็วมวลในลักษณะลมแบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 % และแบบหมุนควง 50 % ที่ 100 °C

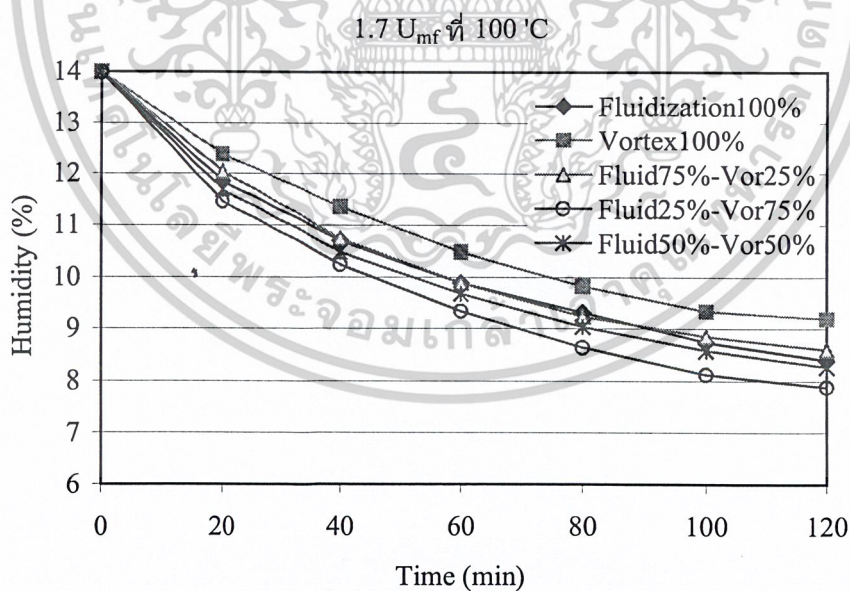


รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะลมต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วมวล 1.3 U_{mf} 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะลมต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วลม $1.5 U_{mf}$ 100°C



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะลมต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วลม $1.7 U_{mf}$ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟในรูปที่ 5.22 , 5.23 และ 5.24 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของลักษณะอากาศต่างๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้งสามกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการผสมกันระหว่างอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 25 เปอร์เซ็นต์กับแบบอากาศแบบหมุนควงที่ 75 เปอร์เซ็นต์นั้นความขึ้นที่ลดลงที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น จากกราฟทั้งสามรูปจะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบของอากาศที่ผสมกันระหว่างอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดกับแบบอากาศหมุนควงนั้นจะน้อยกว่าแบบที่ไม่ได้ผสมกันยกตัวอย่างเช่น กราฟในรูปที่ 5.22 การผสมกันของอากาศระหว่างอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ 25 เปอร์เซ็นต์กับแบบอากาศแบบหมุนควงที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาเมื่อเทียบกับอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียวและแบบอากาศหมุนควงเพียงอย่างเดียวสามารถประหยัดระยะเวลาในการอบได้ถึง 62 และ 52 นาทีตามลำดับเลขที่เดียว เพราะว่าการอบแบบผสมกันของอากาศทั้งสองส่วนนั้นสามารถลดความขึ้นได้ดีกว่าแบบที่ไม่ได้มีการผสมกันของอากาศทั้งสองส่วน

5.4 ผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และลักษณะการไหลของอากาศ ซึ่งถ้าดูจากกราฟรูปที่ 5.2 — 5.16 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นนั้นลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ 50 และ 75 องศาเซลเซียส และจากรูปที่ 5.17 — 5.21 ทุกรูปที่ความเร็ว 1.3 U_{mf} จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความขึ้นนั้นลดลงได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็ว 1.5 U_{mf} และ 1.7 U_{mf} ซึ่งผลมาจากค่าสัดส่วนช่องว่างภายในเบด(ϵ) มากขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 5.22 ที่การผสมกันของลมร้อนนั้นดีกว่าแบบ ฟลูอิดไดซ์เบด ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และ หมุนควง ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะที่การผสมกันระหว่างฟลูอิดไดซ์เบด ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ และ หมุนควง ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลที่ดีที่สุด ซึ่งอัตราการลดลงของความขึ้นที่การผสมกันระหว่างอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซ็นต์และแบบอากาศหมุนควง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับอากาศแบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์ และ แบบอากาศหมุนควง 100 เปอร์เซ็นต์ คือ 17.53 และ 26.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการทดลองและศึกษาการไหลของอากาศร้อนที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนควง โดยมีชุดสร้างอากาศหมุนควงผสมกับอากาศที่ไหลเข้าทางด้านล่างของเครื่อง ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ถึงปัญหาและสรุปผลการทดลองที่ได้เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปโดยมีดังต่อไปนี้

1. ในการทดลองหาความเร็วต่ำสุด(U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความสูงของเบดไม่ส่งผลต่อความเร็วต่ำสุด(U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดที่เกิดขึ้นที่ความเร็วประมาณ 1.6 m/s

2. จากการทดลองพบว่าแฟกเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าหอดทดลองของเครื่องอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศร้อน และลักษณะการไหลของอากาศซึ่งมีทั้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงและแบบผสมกันของทั้งสองแบบ

การเปลี่ยนแปลงความชื้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันที่ทุกๆอุณหภูมิ และความแตกต่างที่เห็นผลได้ชัด คือที่อุณหภูมิสูงความชื้นจะลดลงได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำในส่วนของอิทธิพลของความเร็วและลักษณะการไหลของอากาศร้อนพบว่าที่ความเร็วต่ำ $1.3 U_{mf}$ จะทำให้การลดลงของความชื้นดีกว่าที่ความเร็วสูงๆ เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่งขึ้นภายในเบดมีน้อยทำให้อากาศร้อนที่มาประทะกับเมล็ดข้าวโพดดีกว่า และในกรณีของการผสมกัน ระหว่างอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดกับอากาศที่ทำให้เกิดหมุนควงจะให้ผลที่ดีกว่าการใช้อากาศอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว

3. ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหอดทดลองของเครื่องอบแห้ง

3.1 เมื่อนำลมร้อนเป่าผ่านเมล็ดข้าวโพดด้วยความเร็วลมค่าหนึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวโพดเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

3.2 เมล็ดข้าวโพดจะเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เบดได้เมื่อความเร็วลมมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าค่าความเร็วต่ำสุด(U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด แต่มีค่าน้อยกว่า U_c โดยเมื่อลมร้อนมีความเร็วเท่ากับ U_{mf} เมล็ดข้าวโพดจะเริ่มเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เบด และเมื่อลมร้อนมีความเร็วลมเท่ากับหรือมากกว่า U_c เมล็ดข้าวโพดจะเกิดการหลุดลอย

3.3 ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เบด ความดันลดของลมร้อนเกิดเนื่องจากเมล็ดข้าวโพดภายในหอดทดลองเป็นตัวกีดขวางทางผ่านของลมร้อน จะมีค่าน้อยจนถึงว่าคงที่ได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อจำกัดในการทดลอง

1. ข้อจำกัดในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุด(U_{mf}) ของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากในระหว่างการเป่าลมเพื่อสังเกตการหลุดลอยของเมล็ดข้าวโพดนั้น ถึงแม้ว่ายังจะไม่มีลมพัดผ่านลมร้อนเข้ากับแหล่งให้ความร้อนก็ตาม แต่กระแสลมที่ผ่านเมล็ดวัสดุอบก็ทำให้เมล็ดข้าวโพดนั้นมีความชื้นลดน้อยลงไป และเมื่อทำการทดลองไปเรื่อยๆ ลมที่ใช้ในการทดลองจะเกิดร้อนขึ้นเอง ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนกว่าความเป็นจริง

2. ข้อจำกัดในการทดลองหาน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดที่นำมาใช้เป็นเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นไม่มากนักจึงทำให้การลดลงของความชื้นค่อนข้างน้อย

3. ข้อจำกัดในการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเมล็ดข้าวโพดที่ได้หลังจากที่ทำการอบกับอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองอบแห้ง ในการทดลองเมื่อนำเมล็ดข้าวโพดออกจากหอตกลงอาจมีเมล็ดบางส่วนตกลงไปบ้าง ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

6.2.2 ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนวงพร้อมทั้งแนวทางแก้ไข

1. ข้อจำกัดในเรื่องท่อลมของอากาศส่วนที่สอง ซึ่งเป็นท่อสามทางแบบตัวที่ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียสูงกว่าแบบตัววาย แนวทางการแก้ไข ทำการเปลี่ยนแปลงท่อสามทางตัวที่เป็นสามทางตัววาย เพื่อการลดลงของความสูญเสียที่เกิดขึ้น

2. ข้อจำกัดในเรื่องการนำเมล็ดข้าวโพดออกมาจากหอตกลงเพื่อที่จะนำเมล็ดดังกล่าวมาชั่ง ซึ่งมีความยากลำบากเล็กน้อยในการนำเมล็ดออกมา ควรที่จะปรับปรุงการนำเอาเมล็ดออกมาชั่งเพื่อความสะดวก และลดความผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนักหลังจาก การอบแห้ง

3. ข้อจำกัดในเรื่องแหล่งพลังงานความร้อน ซึ่งฮีตเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ไม่สามารถให้ความร้อนสูงได้ที่ความเร็วลมสูงๆ ซึ่งทางผู้จัดทำได้ใช้เตาแก๊สในการช่วยให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง การทำเช่นนี้ค่อนข้างจะอันตรายและไม่ปลอดภัยกับการทดลอง สำหรับแนวทางการแก้ไขก็คือ ใช้ฮีตเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมที่สามารถให้ความร้อนได้สูงๆ ที่ความเร็วลมสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเหมาะสำหรับการอบวัสดุที่มีลักษณะรูปร่างทรงกลม ดังนั้นในการออกแบบจึงใช้คุณสมบัติของเม็ดทรงกลมเป็นวัสดุพื้นฐานในการทดลอง

1 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์

จากสมการของ Ergun

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1-\epsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \epsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}$$

เขียนในรูปกลุ่มไร้มิติ

$$k_1 R_{ep, mf}^2 + k_2 R_{ep, mf} = Ar$$

$$k_1 = \frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3}, \quad k_2 = \frac{150(1-\epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s^2}$$

กรณียังไม่ทราบค่าของ ϵ_{mf} และ ϕ_s จากการศึกษาพบว่าค่า k_1 และ k_2 มีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับอนุภาคต่างๆ ในช่วง Re_p ตั้งแต่ 0.01 – 40000 โดย Wen และ Yu(1996) แนะนำค่า k_1 และ k_2 ดังนี้

$$\frac{k_2}{2k_1} = 33.7 \quad \text{และ} \quad \frac{1}{k_1} = 0.0408$$

จากสมการ k_1 :

$$\phi_s = \frac{0.0714}{\epsilon_{mf}^3}$$

จากสมการ k_2 :

$$1651.96 = \frac{150(1-\epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3 \left(\frac{0.0714}{\epsilon_{mf}^3} \right)^2}$$

$$11.013 \epsilon_{mf}^3 = \frac{\epsilon_{mf}^6 - \epsilon_{mf}^7}{0.00509}$$

$$\epsilon_{mf}^4 - \epsilon_{mf}^3 + 0.05607 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแก้สมการจะได้ $\epsilon_{mf} = 0.474$

$$\therefore \phi_s = \frac{0.0714}{0.474^3} = 0.6704$$

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

$$\rho_s = 1.260 \text{ g/cm}^3 [5]$$

$$D_p = 0.645 \text{ cm} [5]$$

$$\rho_g = 1.001 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 [\text{at } 75^\circ \text{C}]$$

$$\mu = 2.0725 \times 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{sec} [\text{at } 75^\circ \text{C}]$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการของ Ergun

$$\begin{aligned} 24.5098 \left[\frac{(0.645)(1.001 \times 10^{-3})U_{mf}}{2.0725 \times 10^{-4}} \right]^2 + \frac{(1652.071)(0.645)(1.001 \times 10^{-3})U_{mf}}{(2.0725 \times 10^{-4})} \\ = \frac{(0.645)^3 (1.001 \times 10^{-3})(1.260 - 1.001 \times 10^{-3})U_{mf}}{(2.0725 \times 10^{-4})^2} \\ 237.869 \cdot U_{mf}^2 + 5146.689 \cdot U_{mf} = 7723522.764 \\ U_{mf} = 169.69 \text{ cm/s} \\ U_{mf} = 1.6969 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. การคำนวณความเร็วสุดท้ายของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด

$$\phi_s = 0.6704$$

$$\rho_s = 1.260 \text{ g/cm}^3$$

$$dp = 0.645 \text{ cm}$$

$$\rho_g = 1.001 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 2.0725 \times 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 dp^* &= \frac{dp [\rho_g (\rho_s - \rho_g) g]^{1/3}}{\mu^{2/3}} \\
 &= \frac{0.645 [1.001 \times 10^{-3} (1.260 - 1.001 \times 10^{-3}) (981)]^{1/3}}{(2.0725 \times 10^{-4})^{2/3}} \\
 &= 197.6694 \\
 U_T^* &= \left[\frac{18}{dp^{*2}} + \left[\frac{2.335 - 1.744 \phi_s}{dp^{*0.5}} \right] \right]^{-1} \\
 &= \left[\frac{18}{197.6694^2} + \left[\frac{2.335 - 1.744 (0.6704)}{197.6694^{0.5}} \right] \right]^{-1} = 11.993 \\
 U_T &= U_T^* \left[\frac{\mu (\rho_s - \rho_g) g}{\rho_g^2} \right]^{1/3} \\
 &= 11.993 \left[\frac{2.0725 \times 10^{-4} (1.260 - 1.001 \times 10^{-3}) (981)}{(1.001 \times 10^{-3})^2} \right]^{1/3} \\
 &= 760.97 \text{ cm/s} \\
 &= 7.609 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3. คำนวณหาความสูงของหอคดลอง

เส้นผ่านศูนย์กลางของหอคดลอง 13 cm

ความสูงของเบคนี้้ง (L_0) 10 cm

สัดส่วนช่องว่างของอากาศ (ϵ_0) จะแปรผันตามความชื้นดังสมการ

$$\epsilon_0 = a + bM(\%) \quad [5]$$

M = ความชื้นของข้าวโพด, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

a, b = ค่าคงที่สำหรับข้าวโพด 43 และ -4.43

$$\epsilon_0 = 43 + \frac{(-4.43)(14)}{100}$$

$$= 42.37 (0.423)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } \frac{L_o}{L_s} = (1 - \epsilon_{mf}) / (1 - \epsilon_o)$$

$$L_{mf} = 0.1(1 - 0.423) / (1 - 0.474)$$

$$L_{mf} = 0.1096 \text{ m}$$

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ > 2.5 นิ้ว จะเป็นไปดังสมการ (หน่วยอังกฤษ)

$$\frac{L_f}{L_{mf}} = \frac{10.978(U_f - U_{mf})^{0.738} \cdot dp^{1.006} \cdot \rho_s^{0.376}}{U_{mf}^{0.137} \cdot \rho_g^{0.126}} + 1$$

$$\rho_g = 1.001 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 = 0.0623 \text{ lb/ft}^3$$

$$U_{mf} = 162.36 \text{ cm/s} = 5.655 \text{ ft/s}$$

$$\rho_s = 1.260 \text{ g/cm}^3 = 78.64 \text{ lb/ft}^3$$

$$dp = 0.645 \text{ cm} = 0.021 \text{ ft}$$

$$U_f = 1.3U_{mf} = 7.351 \text{ ft/s}$$

$$\frac{L_f}{L_{mf}} = \frac{10.978(7.351 - 5.655)^{0.738} (0.021)^{1.006} (78.64)^{0.376}}{((5.655)^{0.137} (0.0623)^{0.126})} + 1$$

$$L_f = L_{mf} (2.9211)$$

$$L_f = 0.32 \text{ m}$$

4. ความสูงหลุดลอยส่งผ่าน (Transport Disegaging Height , TDH)

$$TDH \geq 3 L_f$$

$$TDH = 3(0.32)$$

$$= 0.96 \text{ m}$$

5. ความสูงทั้งหมดของหอตดลองฟลูอิดไดซ์เบด (Total Confusion Height)

$$TCH \geq TDH + L_f$$

$$= 0.96 + 0.32$$

$$= 1.28 \text{ m}$$

∴ ในการออกแบบสร้างที่ความสูง 2 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณค่าความดันลดคร่อมเบด (ΔP_b)

$$\begin{aligned}\Delta P_b &= L_{mf} (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) g / g_c \\ &= 0.1096 (1 - 0.474) (1260 - 1.001) (9.81) \\ &= 712.017 \text{ kPa}\end{aligned}$$

7. การคำนวณค่าความดันตกคร่อมในแผ่นกระจายลม (ΔP_d)

ปกติความดันตกในแผ่นกระจายลมจะมีค่าดังสมการ

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= (0.2 \text{ ถึง } 0.4) \Delta P_b \\ \Delta P_d &= 0.3 (712.017) \\ \Delta P_d &= 213.605 \text{ kPa}\end{aligned}$$

8. การคำนวณขนาดแผ่นกระจายลม

$$U_{or} = C_d \left(\frac{2gc \times \Delta P_d}{\rho_g} \right)^{1/2}$$

$$\frac{U_o}{U_{or}} = \text{สัดส่วนของพื้นที่รูต่อพื้นที่ทั้งหมด}$$

$$\frac{U_o}{U_{or}} = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 N_{or}$$

$$R_e = \frac{d_T \rho_g U_o}{\mu}$$

$$= \frac{0.13 (1.001) (2.2)}{207.25 \times 10^{-7}}$$

$$= 13813.55$$

จากกราฟจะได้ $Cd \approx 0.6$

$$U_{or} = 0.6 \left[\frac{(2(9.81)(213.605))}{1.001} \right]^{1/2} = 38.823 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{U_o}{U_{or}} = \frac{2.2}{38.823} = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 N_{or}$$

$$0.0566 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 N_{or}$$

$$N_{or} = \frac{0.0721}{d_{or}^2}$$

จากวิธี trial and error จะได้

$d_{or} (cm)$	0.1	0.2	0.3	0.4
$N_{or} (\text{จำนวนรูป}/cm^2)$	7.21	1.8025	0.8011	0.45

ในการเลือก Blower ต้องสร้างแรงดันได้

$$\begin{aligned}
 &= \Delta P_b + \Delta P_d \\
 &= 712.017 + 213.605 \\
 &= 925.622 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

สร้างมาตรสร้างอัตราการไหลของอากาศ

$$\begin{aligned}
 &= 1.7 U_{mf} = 1.7(1.6969) \\
 &= 2.884 \text{ m/s} \\
 \dot{m} &= \rho_g AV = 1.001 \left(\frac{\pi}{4} \times 0.13^2 \right) (2.884) \\
 &= 0.0383 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

9. การคำนวณหาความชื้นของเมล็ดข้าวโพด

$$\text{ความชื้นของเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การทดลองครั้งที่ 1 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 50° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	991	13.1	20	993	13.3	20	994	13.4
40	986	12.68	40	988	12.79	40	989	12.89
60	983	12.27	60	984	12.46	60	967	12.68
80	981	12.07	80	981	12.14	80	985	12.42
100	978	11.74	100	979	11.89	100	982	12.16
120	976	11.54	120	976	11.64	120	979	11.89

ตารางที่ ข.2 การทดลองครั้งที่ 2 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 75° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	984	12.37	20	980	12.06	20	989	12.89
40	977	11.65	40	974	11.33	40	983	12.27
60	972	11.12	60	968	10.8	60	978	11.74
80	969	10.8	80	964	10.27	80	973	11.24
100	966	10.48	100	961	9.94	100	968	10.78
120	964	10.27	120	957	9.51	120	965	10.42

ตารางที่ ข.3 การทดลองครั้งที่ 3 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	978	11.78	20	978	11.75	20	978	11.85
40	967	10.6	40	967	10.59	40	968	10.7
60	958	9.72	60	960	9.83	60	960	9.89
80	953	9.07	80	954	9.18	80	955	9.32
100	948	8.51	100	950	8.63	100	950	8.74
120	945	8.18	120	945	8.27	120	946	8.4

ตารางที่ ข.4 การทดลองครั้งที่ 4 แบบหมุนควง 100 เปอร์เซนต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 50° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	992	13.19	20	993	13.3	20	996	13.6
40	990	12.99	40	989	12.89	40	995	13.5
60	986	12.68	60	986	12.68	60	994	13.4
80	984	12.38	80	984	12.37	80	993	13.3
100	982	12.23	100	982	12.17	100	991	13.09
120	981	12.07	120	981	12.06	120	990	12.99

ตารางที่ ข.5 การทดลองครั้งที่ 5 แบบหมุนควง 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 75° C

อุณหภูมิห้อง 32° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	985	12.58	20	988	12.79	20	990	12.99
40	980	12.06	40	982	12.17	40	985	12.56
60	975	11.54	60	977	11.65	60	981	12.07
80	972	11.13	80	971	11.08	80	977	11.68
100	968	10.8	100	968	10.8	100	974	11.34
120	965	10.48	120	966	10.48	120	972	11.12

ตารางที่ ข.6 การทดลองครั้งที่ 6 แบบหมุนควง 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

อุณหภูมิห้อง 32° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	980	12.01	20	982	12.23	20	984	12.38
40	968	10.76	40	972	11.13	40	974	11.36
60	961	9.89	60	963	10.18	60	966	10.48
80	955	9.3	80	957	9.56	80	960	9.83
100	951	8.84	100	953	9.13	100	955	9.34
120	948	8.6	120	951	8.89	120	954	9.2

ตารางที่ ข.7 การทดลองครั้งที่ 7 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 25 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 50° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	990	12.99	20	990	12.99	20	993	13.3
40	985	12.48	40	986	12.68	40	989	12.89
60	981	12.07	60	982	12.27	60	986	12.56
80	977	11.69	80	981	12.06	80	983	12.27
100	975	11.45	100	978	11.85	100	981	12.08
120	973	11.21	120	977	11.65	120	980	11.96

ตารางที่ ข.8 การทดลองครั้งที่ 8 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 25 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 75°C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32°C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	982	12.24	20	983	12.27	20	987	12.67
40	976	11.56	40	976	11.56	40	980	11.98
60	970	10.86	60	971	10.98	60	975	11.46
80	965	10.36	80	965	10.43	80	971	11.05
100	962	10.04	100	962	10.02	100	967	10.64
120	960	9.76	120	960	9.76	120	964	10.3

ตารางที่ ข.9 การทดลองครั้งที่ 9 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 75 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 25 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 %RH

อุณหภูมิห้อง 32°C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	976	11.63	20	978	11.78	20	980	12.04
40	964	10.27	40	966	10.52	40	968	10.74
60	955	9.34	60	957	9.58	60	960	9.89
80	950	8.76	80	952	9.01	80	954	9.24
100	946	8.3	100	948	8.61	100	951	8.85
120	942	7.89	120	946	8.3	120	948	8.6

ตารางที่ ข.10 การทดลองครั้งที่ 10 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 50 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 50° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	994	13.46	20	990	12.99	20	988	12.79
40	990	13.05	40	983	12.34	40	982	12.27
60	986	12.67	60	980	11.96	60	980	11.96
80	984	12.43	80	977	11.65	80	977	11.65
100	982	12.18	100	975	11.44	100	974	11.34
120	979	11.86	120	973	11.33	120	971	11.08

ตารางที่ ข.11 การทดลองครั้งที่ 11 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 50 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 75° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32° C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	990	12.99	20	983	12.37	20	981	12.14
40	981	12.08	40	976	11.54	40	975	11.44
60	974	11.36	60	969	10.86	60	969	10.86
80	969	10.86	80	964	10.28	80	964	10.37
100	965	10.43	100	959	9.76	100	962	10.06
120	962	10.08	120	956	9.46	120	959	9.83

ตารางที่ ข.12 การทดลองครั้งที่ 12 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 50 เปอร์เซ็นต์ผสมกับแบบหมุนควง 50 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100°C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

อุณหภูมิห้อง 32°C

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U_{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U_{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U_{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	973	11.32	20	974	11.43	20	977	11.68
40	960	9.89	40	963	10.16	40	966	10.48
60	952	9.02	60	954	9.28	60	958	9.68
80	946	8.32	80	948	8.6	80	952	9.04
100	942	7.89	100	944	8.14	100	948	8.56
120	939	7.6	120	941	7.84	120	945	8.28

ตารางที่ ข.13 การทดลองครั้งที่ 13 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซนต์ผสมกับแบบหมุนควง 75 เปอร์เซนต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 50° C

อุณหภูมิห้อง 32° C

เปอร์เซนต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	986	12.58	20	987	12.76	20	989	12.89
40	980	12.06	40	982	12.17	40	983	12.37
60	976	11.54	60	978	11.75	60	980	12.06
80	972	11.12	80	974	11.36	80	978	11.75
100	970	10.91	100	971	11.08	100	975	11.54
120	967	10.59	120	969	10.89	120	973	11.33

ตารางที่ ข.14 การทดลองครั้งที่ 14 แบบฟลูอิดไดซ์เบค 25 เปอร์เซนต์ผสมกับแบบหมุนควง 75 เปอร์เซนต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 75° C

อุณหภูมิห้อง 32° C

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	980	11.96	20	985	12.5	20	982	12.19
40	971	11.05	40	977	11.68	40	975	11.42
60	964	10.34	60	971	11.08	60	970	10.91
80	960	9.87	80	967	10.65	80	966	10.48
100	956	9.42	100	963	10.24	100	963	10.16
120	953	9.14	120	960	9.86	120	960	9.94

ตารางที่ ข.15 การทดลองครั้งที่ 15 แบบฟลูอิดไดซ์เบด 25 เปอร์เซนต์ผสมกับแบบหมุนควง 75 เปอร์เซนต์

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 100° C

อุณหภูมิห้อง 32° C

เปอร์เซนต์ความชื้นในอากาศ 52 % RH

น้ำหนักแห้งสุทธิ 1000 กรัม

ที่ความเร็วลม 1.3 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.5 U _{mf}			ที่ความเร็วลม 1.7 U _{mf}		
เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %	เวลา (นาท)	น้ำหนักหลังจากการอบ (กรัม)	ความชื้นที่เหลือ %
20	970	10.94	20	972	11.16	20	975	11.46
40	956	9.5	40	960	9.89	40	963	10.24
60	947	8.51	60	952	9.01	60	955	9.34
80	942	7.84	80	945	8.26	80	949	8.64
100	937	7.39	100	940	7.73	100	944	8.13
120	935	7.16	120	938	7.46	120	942	7.89

ตารางที่ ข.16 แสดงตารางที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด

H(mm น้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 10cm	H(mm น้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 15cm	H(mm น้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 20cm
10	0.09810	10	0.09810	10	0.09810
13	0.12753	11	0.10791	12	0.11772
14	0.13734	15	0.14715	14	0.13734
18	0.17658	17	0.16677	15	0.14715
16	0.15696	17	0.16677	20	0.19620
34	0.33354	33	0.32373	27	0.26487
42	0.41202	40	0.39240	37	0.36297
50	0.4905	47	0.46107	45	0.44145
56	0.54936	55	0.53955	53	0.51993
70	0.68670	65	0.63765	57	0.55917
75	0.73575	78	0.76518	75	0.73575
85	0.83385	88	0.86328	87	0.85347
95	0.93195	97	0.95157	100	0.9810
104	1.02024	100	0.9810	107	1.04967
113	1.10853	110	1.07910	114	1.11834
119	1.16739	120	1.17720	123	1.20663
124	1.21644	126	1.23606	140	1.37340
130	1.2753	128	1.25568	145	1.42245
132	1.29492	130	1.27530	151	1.48131
140	1.3734	130	1.27530	160	1.56960
143	1.40283	130	1.27530	162	1.58922
145	1.42245	132	1.29492	162	1.58922

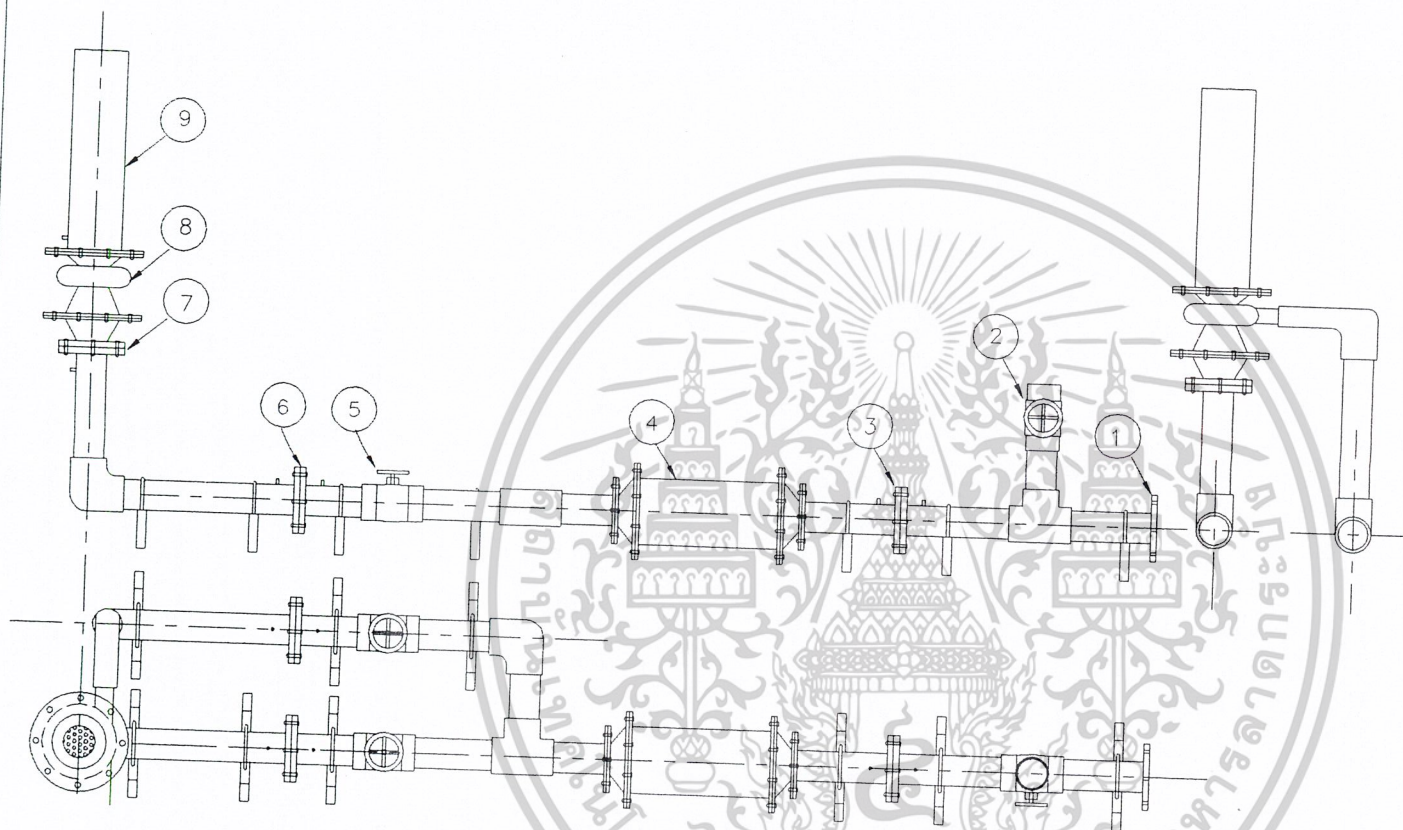
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H(mmน้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 10cm	v(mmน้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 15cm	H(mmน้ำ)	Pb(kPa) ที่ความสูงเบด 20cm
147	1.44207	135	1.32435	163	1.59903
142	1.39302	135	1.32435	165	1.61865
148	1.45188	140	1.37340	165	1.61865
149	1.46169	145	1.42245	165	1.61865
152	1.49112	145	1.42245	170	1.66770
157	1.54017	145	1.42245	165	1.61865
160	1.56960	145	1.42245	170	1.66770
164	1.60884	150	1.47150	170	1.66770
167	1.63827	152	1.49112	173	1.69713
165	1.61865	160	1.56960	176	1.72656
168	1.64808	164	1.62123	180	1.76580
170	1.6677	168	1.6875	185	1.81485
175	1.71675	170	1.7250	200	1.96200
178	1.74618	178	1.7952	205	2.01105
179	1.75599	180	1.8521	215	2.10915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



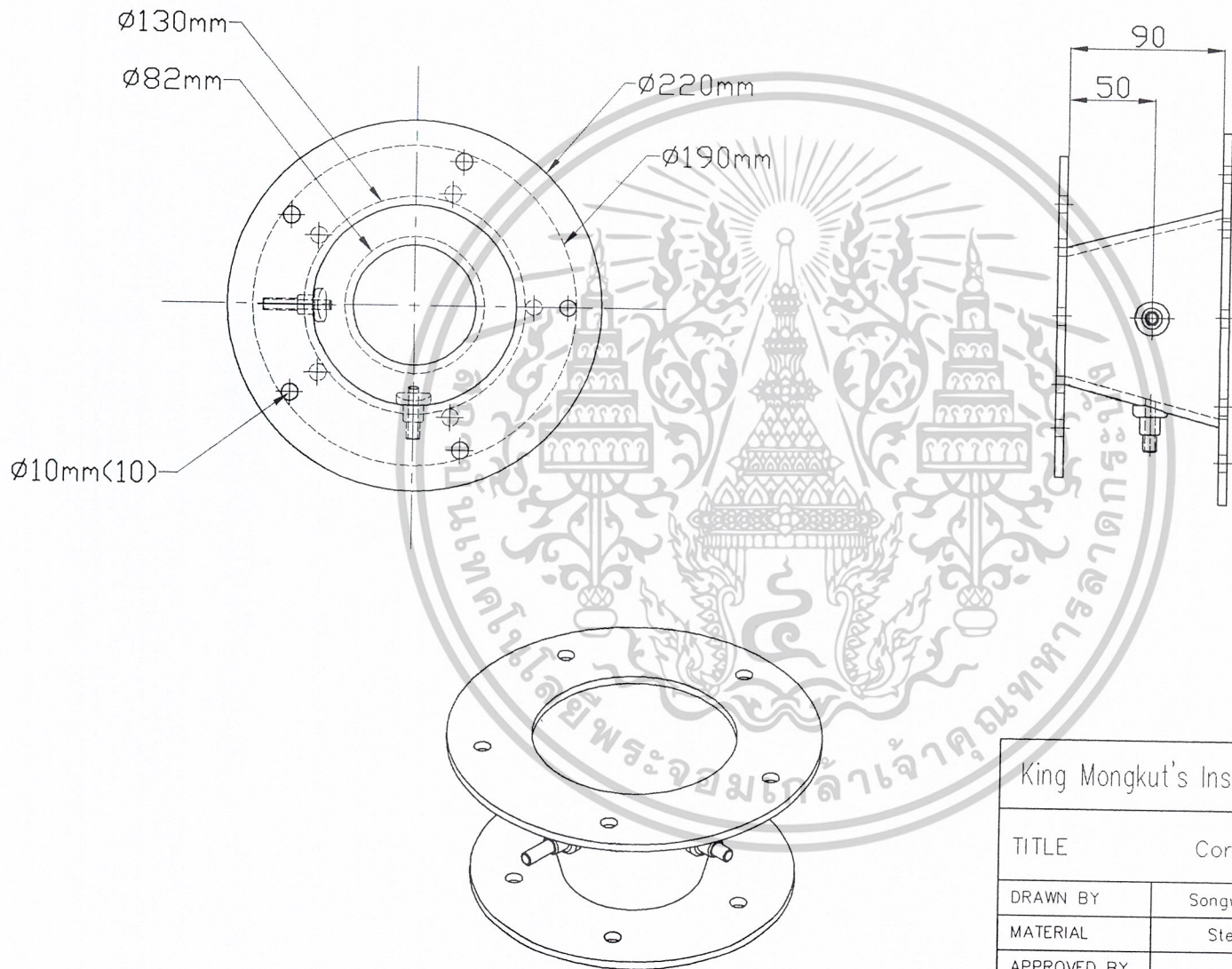
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



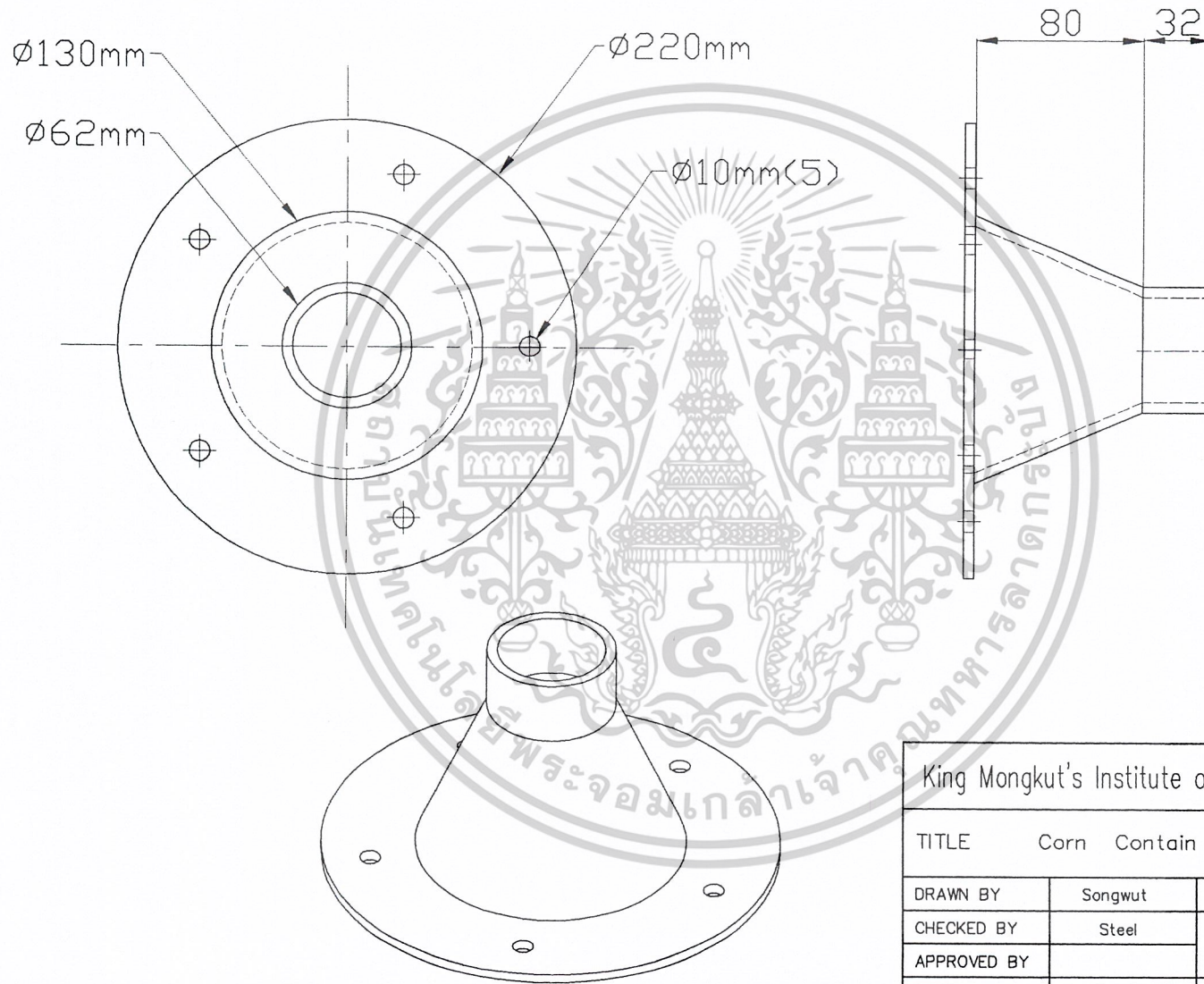
1	Joint Blower
2	By - Part Valve
3	Orifice plate
4	Heater
5	Valve
6	Orifice plate
7	Orifice plate
8	Turbo
9	Colume

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE			
Corn Drying			
DRAWN BY	Songwut	UNITS	min
MATERIAL		SCALE	QUANTITY
APPROVED BY		1 : 8	1
DATE	1/05/47	DRAWING NO.	



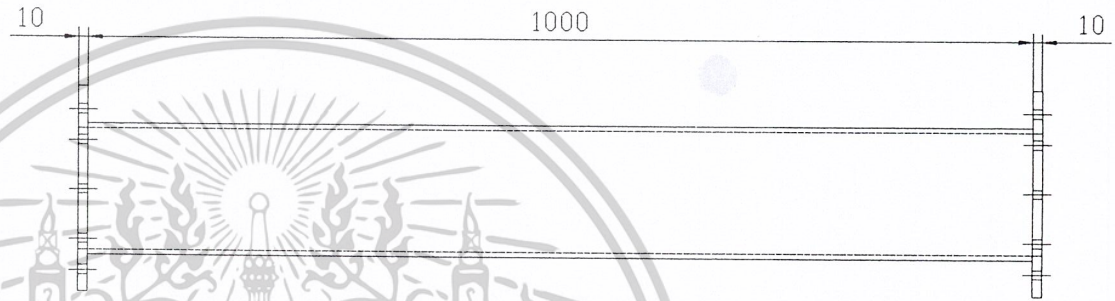
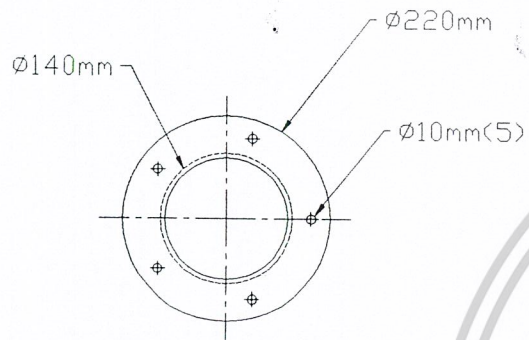
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
TITLE Corn Contain Bed			
DRAWN BY	Songwut	UNITS	mim
MATERIAL	Steel	SCALE	QUANTITY
APPROVED BY		1 : 5	1
DATE	1/05/47	DRAWING NO.	1



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE Corn Contain Turbo

DRAWN BY	Songwut	UNITS	min
CHECKED BY	Steel	SCALE	QUANTITY
APPROVED BY		1 : 5	1
DATE	1/05/47	DRAWING NO.	2



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

TITLE Acrelic pipe

DRAWN BY	Songwut	UNITS	min
CHECKED BY	Acrelic	SCALE	QUANTITY
APPROVED BY		1 : 7	2
DATE	1/05/47	DRAWING NO.	3