

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด
DRYING OF CHILLIES USING FLUIDIZED BED
TECHNIQUE



T119483



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 119483
วัน,เดือน,ปี..... 8 S.A. 2554

b. 119483
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRYING OF CHILLIES USING FLUIDIZED BED TECHNIQUE



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

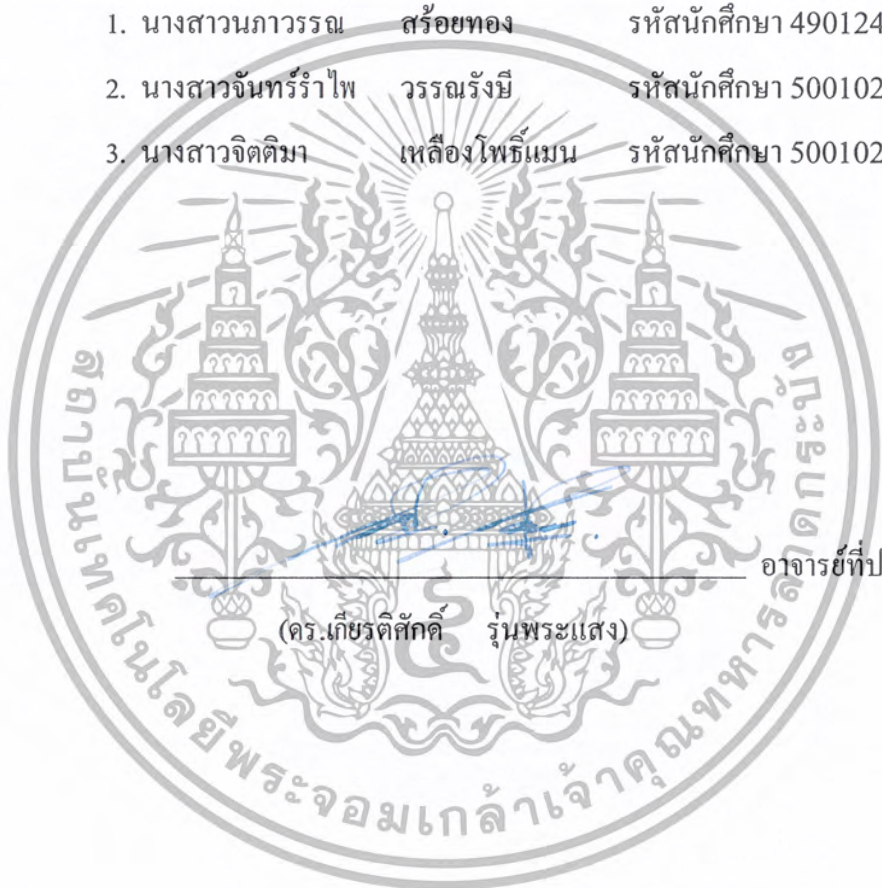
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

1. นางสาวนภาพรรณ สร้อยทอง รหัสนักศึกษา 49012418
2. นางสาวจันทร์รำไพ วรรณรังษี รหัสนักศึกษา 50010208
3. นางสาวจิตติมา เหลืองโพธิ์แมน รหัสนักศึกษา 50010223



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

การอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

นางสาวนภาพรรณ ฝร็อยทอง
นางสาวจันทร์รำไพ วรรณรังษี
นางสาวจิตติมา เหลืองโพธิ์แมน

ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยให้เกิดการอบแห้งแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นวิธีที่มีความเร็วสูงสามารถลดความชื้นได้ภายในเวลาอันสั้น จากการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้งพบว่ามีความยาว ความกว้าง และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 6.787, 1.037 และ 0.140 cm ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางและความเป็นทรงกลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.325, 0.047 ตามลำดับ ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยเท่ากับ 91.36 kg/m^3 และพบว่าความชื้นของพริกแห้งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 12.81 %wb จากเครื่องต้นแบบได้ทำการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกการทดลองหาศักยภาพการทำความร้อนจากเครื่องทำความร้อน โดยพบว่าปริมาณความร้อนที่ได้สูงสุดเท่ากับ 27.25 kW แต่กำลังความร้อนสูงสุดที่เครื่องทำความร้อนทำงานได้จริงขณะใช้งานอยู่ที่ 30.03 kW ตอนที่ 2 การหาความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของพริกแห้งซึ่งมีค่าที่ 6 m/s ความเร็วลมที่ได้จากการคำนวณนั้นอยู่ที่ 6.19 m/s และตอนที่ 3 การทดลองหาเวลาที่ใช้ในการอบพริกแห้ง โดยแบ่งอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 80, 90 และ 100 °C พบว่า สามารถทำให้พริกแห้งมีความชื้นลดลงได้ถึงระดับที่ต้องการในช่วงเวลา 20-30 นาทีความชื้นจะสามารถลดลงได้เหลือ 5 % และจะเริ่มคงที่ผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์แบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS พิจารณาเลือกรูปแบบสมการที่ดีที่สุดโดยสมการที่ดีที่สุดของการทดลองคือสมการของ Overhults (Jayashree, E. et al.2008.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่นแล้วพบว่าสมการได้ค่า R^2 สูงที่สุดและค่า X^2 และค่า RMSE ต่ำสุด ซึ่งเหมาะต่อการนำไปคำนวณหาเวลาการอบแห้งจากการทดลอง ซึ่งจากการทดลองการอบพริกแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบดพบว่าพริกแห้งไม่เหมาะต่อการอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบดเนื่องจากพริกแห้งมีรูปทรงเชิงเรขาคณิตที่ไม่เหมาะสมทำให้การลอยตัวของพริกแห้งไม่เกิดเป็นปรากฏการณ์ฟลูอิด ไดซ์เซชัน โดยที่พริกแห้งเกิดการสานกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้ไม่เกิดการลอยตัวได้อย่างอิสระ

คำสำคัญ : การอบแห้ง ,พริกแห้ง ,ฟลูอิด ไดซ์เซชัน

DRYING OF CHILLIES USING FLUIDIZED BED TECHNIQUE

Ms.Napawan	Soythong	49012418
Ms.Chunrumpai	Wannarungsri	50010208
Ms.Jittima	Luengpoman	50010223

Abstract

This research aims to study the drying behavior of chillies by using Fluidized Bed Drying Technique, which process continuously and faster with rapid moisture reduction. The dry chillies had an average length, width and thickness of 6.787, 1.037 and 0.140 cm respectively. It has a diameter of 0.325 cm, average sphericity of 0.047 and bulk density is 91.36. kg/m³. The average moisture content was 12.81% wb which was a result from physical properties experiments. The experiment of the fluidized bed drying chamber was divided into three parts. First one was the experiment of heat requirement at heater. It has result as a maximum of 27.25 kW heat. However, it was installed the 30.03 kW heater in actual. The second part was determination of the lowest airflow which would produce fluidization of the chillies. This result was 6 m/s against a calculated value of 6.19 m/s. The last one was experiment of the requirement of time for the drying process. Three different temperature levels were used: 80, 90 and 100 ° C. The result showed that the chillies could be dried to a steady moisture level of 5% within 20-30 minutes. The results of this experiment were analyzed with drying kinetics principle and an SPSS programs to select the best configuration. After comparison, Overhults (Jayashree , E. et al.2008.) was found as the best experimental equation. It has the greatest R² value and the lowest X² and RMSE value which can be used as empirical calculation of drying times. The results from experiment showed that the fluidization drying technique not suitable for the chillies drying because of geometry of the chillies has not match. The chillies went to clump together instead of the floating freely.

Keyword : Drying, Chillies , Fluidization

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางการปรับปรุง ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดี

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ คุณอำนาจ กูตะคุ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกเรื่องการใช้สถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ระหว่างการทดลอง และให้คำแนะนำเรื่องการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องทดลอง

นางสาวนภาพรรณ

สร้อยทอง

นางสาวจันทร์รำไพ

วรรณรังษี

นางสาวจิตติมา

เหลืองโพธิ์แมน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานเอกสารข้อมูล	4
2.1 ข้อมูลของพริก	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก	5
2.1.2 พันธุ์พริก	7
2.1.3 ราคาพริก	8
2.1.4 พันธุ์พริกที่นำมาผลิต	8
2.1.5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์	9
2.2 งานวิจัยการอบแห้งพริก	10
2.3 งานวิจัยการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน	12
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
3.1 ฟลูอิดไดเซชัน	16
3.1.1 นิยามของฟลูอิดไดเซชัน	16
3.1.2 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน	16
3.1.3 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 การได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดเซชัน	18
3.1.5 คุณสมบัติทางกายภาพของฟลูอิดไดซ์เบด	19
3.1.6 ฟลูอิดไดเซชันความเร็วของไหลต่ำสุด	20
3.1.7 ฟลูอิดไดเซชันแบบเรียบ (เป็นระเบียบ) และแบบขุลมุน	21
3.1.8 การเกิดฟองก๊าซและชั้นสลับของไหลกับเม็ดของแข็ง	21
3.1.9 การผสมของเม็ดของแข็งในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (Solid Mixing in Gas Fluidized Bed)	21
3.1.10 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของของไหล ที่ทำให้เบดเกิดฟลูอิดไดเซชัน	22
3.2 การอบแห้ง	25
3.2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการอบแห้ง	25
3.2.2 พื้นฐานการอบแห้ง	25
3.2.3 จุดประสงค์ในการทำแห้ง	26
3.2.3.1 ประโยชน์ของการอบแห้ง	26
3.2.4 การถ่ายเทความร้อนและมวล	26
3.2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	26
3.2.5.1 สมการของ Newton	27
3.2.5.2 สมการของ Page	27
3.2.5.3 สมการของ Henderson	27
3.2.5.4 สมการของ Overhults	27
3.3 สมบัติเชิงเรขาคณิตของวัสดุเกษตร	28
3.3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter, GMD)	28
3.3.2 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor, ϕ)	29
3.3.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)	29
3.4 ฮีตเตอร์ (Heater)	29
3.4.1 ฮีตเตอร์ชนิดต่างๆ	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 การคำนวณหาขนาดฮีตเตอร์	31
3.4.3 วิธีการยืดอายุการใช้งานของฮีตเตอร์	32
3.5 พัดลม (Fans)	33
3.5.1 สมรรถนะของพัดลม (Fan Performance)	35
3.5.2 กฎของพัดลม (Fan Laws)	35
3.5.3 กราฟสมรรถนะการทำงานของพัดลม (Fan Curve)	37
3.5.4 เสียงและการป้องกันการสั่นสะเทือนของพัดลม	38
3.5.5 การเลือกพัดลม	38
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง	39
4.1 การทดลองเบื้องต้น	39
4.1.1 การหาคูสมบัตินทางกายภาพของพริกแห้ง	39
4.1.2 การหาความเร็วเบื้องต้นในการเกิดฟลูอิดไดเซชันของพริกแห้ง	43
4.2 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเซชัน	53
4.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน	54
4.3 การทดลองการกระจายลมในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน	55
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	57
5.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลม ความเร็วลม และปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ในการทดลอง	57
5.2 การหาความเร็วลมที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันของพริกแห้ง	60
5.3 การหาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	65
บทที่ 6 บทสรุป และวิจารณ์	70
6.1 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง	70
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	74

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารของพริก	6
2.2 ราคาพริกชนิดต่างๆ	8
4.1 น้ำหนักก่อนและหลังอบของพริกแห้ง	40
5.1 สมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง	69



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังกระบวนการผลิตพริกอบแห้ง	2
2.1 พริกชนิดต่างๆ	4
2.2 พริกชี้ฟ้าแดง	9
3.1 พฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดเซชัน	18
3.2 ลักษณะต่างๆ ของฟลูอิดไดเซชันที่เกิดขึ้นเมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น	20
3.3 สัดส่วนของฟอง cloud และ wake	22
3.4 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด a, b และ c	28
3.5 ประเภทของพัคลม	33
3.6 ใบพัดโค้งหน้า ใบพัดตรงและใบพัดโค้งหลัง	34
3.7 ลักษณะกราฟของระบบการทำงานของพัคลม	37
4.1 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้าน a, b และ c	41
4.2 Bulk Density	42
4.3 ชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน	43
4.4 แผ่นกระจายอากาศ ขนาดรูตะแกรงต่างๆ	44
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของพริกแห้ง ที่ น้ำหนัก 150 และ 300 กรัม	45
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของเม็ดพลาสติก ที่ น้ำหนัก 150 และ 300 กรัม	46
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของเม็ดพลาสติกและพริกแห้ง ที่ น้ำหนัก 300 กรัม	46
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของเม็ดพลาสติกและพริกแห้ง ที่ น้ำหนัก 150 กรัม	47
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนัก พริกแห้ง 50 กรัม	48
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 100 กรัม	48

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของ ตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 150 กรัม	49
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของ ตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 200 กรัม	49
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของ ตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 250 กรัม	50
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด ที่น้ำหนักต่างๆกันของตะแกรงที่ 1 รูเปิด 29.00%	51
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด ที่น้ำหนักต่างๆกันของตะแกรงที่ 2 รูเปิด 86.26 %	51
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด ที่น้ำหนักต่างๆกันของ ตะแกรงที่ 3 รูเปิด 36.95 %	52
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด ที่น้ำหนักต่างๆกันของตะแกรงที่ 4 รูเปิด 22.75 %	52
4.18 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	53
4.19 แสดงการวัดความเร็วลมแต่ละจุดภายในเบด	55
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดกับความเร็วลมของท่อลม โดยมีตัวจัดลมเข้าภายในเป็นแบบตัววีคริสเปิด	56
5.1 ชุดท่อลมและออริฟิต	58
5.2 การวัดความดัน	58
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลเชิงมวล ที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตร	59
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลมกับปริมาณความร้อน ที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตร	59
5.5 แสดงชุดการทดลองในการอบแห้งฟลูอิด ไคซ์เบด	61
5.6 แสดงการวัดความดันในแต่ละจุดในชุดทดลองการอบแห้ง	61
5.7 แสดงการวัดความเร็วลมในแต่ละจุด	62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วลม ของพริกแห้งปริมาณ 1000 กรัม	63
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วลม ของพริกแห้ง ปริมาณ 1500 กรัม	63
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วลม ของพริกแห้ง ปริมาณ 2000 กรัม	64
5.11 การเก็บตัวอย่างพริกแห้งในแต่ละจุด	66
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลา ที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบคที่อุณหภูมิ 80 °C	66
5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลา ที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบคที่อุณหภูมิ 90 °C	67
5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลา ที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบคที่อุณหภูมิ 100 °C	67
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิในห้องอบ 80,90 และ 100 C	68
6.1 สายพานติดครีป	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

พริกหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Capsicum annuum* Linn เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Solanaceae เชื่อกันว่ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาได้ก่อนมีการเผยแพร่ไปตามส่วนต่างๆของทวีปยุโรปและเอเชีย พริกยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ได้ เช่น ซอสพริก น้ำจิ้มไก่ น้ำพริก พริกแกง เป็นต้น จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2545 – 2546 มีพื้นที่ปลูกพริกใหญ่ (พริกชี้ฟ้า) กระจายอยู่ทั่วประเทศไทย 105,731 ไร่ เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว 90,608 ไร่ มีผลผลิต 113,022 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร 2545 – 2546) แหล่งปลูกพริกที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เชียงใหม่ ลำพูน อุตรดิตถ์ เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ ของแก่น ชัยภูมิ เลย มุกดาหาร อุบลราชธานี และนครราชสีมา

พริกเป็นพืชผักที่อยู่คู่สังคมไทยมายาวนาน คนไทยรู้จักปลูกพริกและนิยมใช้พริกเป็นเครื่องปรุงแต่งรสชาติอาหารโดยมีวิธีบริโภคพริกหลายรูปแบบ ทั้งในลักษณะสดแห้ง คอง เผา และแกง และมักแบ่งพริกออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เผ็ดมาก ซึ่งได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้ฟ้าไทย และพริกเหลือง และกลุ่มที่เผ็ดน้อย ซึ่งได้แก่ พริกหยวก พริกชี้ฟ้า และพริกฝรั่ง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางการแพทย์และวงการเภสัชกรรม โดยสารให้ความเผ็ดในพริกที่เรียกว่า แคปไซซิน (capsaicin) สารดังกล่าวจะออกฤทธิ์ต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย เช่น ระบบทางเดินอาหาร ระบบไหลเวียนเลือด ระบบประสาท และระบบทางเดินหายใจ สารแคปไซซินจึงมีความสำคัญในวงการแพทย์และเภสัชกรรม พริกเป็นผักที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปีแต่จะให้ผลผลิตมากที่สุดในช่วงตั้งแต่ เดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้เกิดปัญหาพริกล้นตลาด เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมที่จะนำมาแปรรูปพริกจำหน่ายเป็นพริกแห้งมากกว่าพริกสดเพราะได้ราคาที่สูงกว่า ซึ่งกระบวนการผลิตพริกแห้งของแต่ละท้องถิ่นก็มีกรรมวิธีที่แตกต่างกันส่วนใหญ่จะใช้การตากแดดให้แห้ง เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายและสะดวกแต่ก็ใช้เวลาในการทำแห้งหลายวันขึ้นอยู่กับสภาพอากาศทำให้คุณภาพของพริกแห้งไม่สม่ำเสมอ แต่ในปัจจุบันก็ได้มีทางเลือกมากมายสำหรับอุตสาหกรรมในการแปรรูปพริก เช่น การใช้ตู้อบลมร้อน การใช้เตาอบ ในการทำพริกแห้งแต่ก็ต้องใช้เวลามากทำให้เสียเวลาในการผลิตและใช้พลังงานมากทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

โดยการศึกษาวิธีทำพริกแห้งเพื่อการเก็บรักษาในระยะเวลาที่ยาวนานแล้วนั้น บางครั้งมีการนำผลิตภัณฑ์พริกแห้งไปแปรรูปอีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ เช่น การนำไปคั่วเพื่อทำพริกป่น เป็นต้น ซึ่งลักษณะนี้จะต้องมีการให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง โดยที่หลังการให้ความร้อนนี้จะทำให้พริกแห้งมีการพองตัวและเปราะ ง่ายต่อการนำไปแปรเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป และยังเป็น การลดความชื้นที่มีอยู่ในพริกแห้งให้ได้มาตรฐาน ป้องกันการเกิดเชื้อรา และยังให้กลิ่นที่หอมขึ้นอีกด้วย

จากการวิเคราะห์ถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้นำมาเป็นแนวทางในการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการอบแห้งอาหารแบบต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยให้เกิดการอบแห้งแบบต่อเนื่องเพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมต่อไป ซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากวัสดุที่จะอบแห้งมีการเคลื่อนที่ในกระแสมร้อน ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวล ความชื้น ระหว่างกระแสมร้อนและเนื้อวัสดุสูง สามารถลดความชื้นลงได้ภายในเวลาสั้นเมื่อเทียบกับ การอบแห้งวิธีอื่น โดยที่คุณสมบัติทางกายภาพของผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่าง



รูปที่ 1.1 แผนผังกระบวนการผลิตพริกอบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และทดสอบผลของการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับการอบแห้งพริกแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เครื่องต้นแบบในภาควิชาจำลองลักษณะการอบแห้ง

1.3.2 ศึกษาผลของการอบพริกแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อให้ได้ความชื้นและลักษณะทางกายภาพตามมาตรฐาน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้งพริกแห้ง

1.4.2 ช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรมผลิตพริกแห้ง สามารถหาแนวทางสำหรับพัฒนากระบวนการอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและมีปริมาณการผลิตที่มากขึ้น มีคุณภาพที่สูงพอต่อการแข่งขันทางการตลาด และยังทำให้สามารถรับซื้อพริกแห้งในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลดีต่อเกษตรกรที่ทำการปลูกพริก

1.4.3 เพื่อให้ นักศึกษา ได้มีโอกาสฝึกฝน และมีประสบการณ์ในการทำวิจัยสามารถที่จะนำความรู้มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังเป็นการเผยแพร่ความรู้ใหม่ให้กับผู้ประกอบการให้เข้าใจในแนวทางการใช้ความรู้เชิงวิชาการมาประยุกต์ใช้กับงานภาคปฏิบัติ อีกทั้งเป็นการเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่ๆ ของการอบแห้งเพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ของการอบแห้งด้วยวิธีที่เหมาะสมทั้งต่อคุณภาพการผลิต และการประหยัดพลังงาน

บทที่ 2

งานเอกสารข้อมูล

พริก เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก และเป็นพืชเศรษฐกิจของหลายประเทศ เช่น จีน สหรัฐอเมริกา โบลิเวีย รวมทั้งประเทศไทยด้วย นอกจากนี้ใช้ประโยชน์ในการปรุงรสอาหารเพื่อช่วยเพิ่มกลิ่นและรสชาติในอาหารแล้ว ยังมีการศึกษาพบว่าพริกมีคุณสมบัติเป็นยารักษาโรคและมีสรรพคุณเป็นอาหารเสริมสุขภาพด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากพริกสดมีข้อจำกัด เช่น การเกิดการเน่าเสีย คุณภาพของพริกมีความไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ผู้บริโภคหันไปนิยมใช้พริกแห้งมากขึ้น ทั้งนี้การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถเก็บรักษาผลผลิตพริกให้มีอายุที่ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังสามารถรักษาคุณภาพด้านต่างๆ ไว้ได้อีกด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการใช้วิธีการอบแห้งนี้ ได้แก่ ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของพริก ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการอบแห้งพริกต่างๆ ที่ผ่านมา และข้อมูลการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการศึกษา วิจัย วิเคราะห์ และหาแนวทางในการดำเนินกระบวนการอบแห้งพริกที่เหมาะสม

2.1 ข้อมูลของพริก

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพริก เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษานี้ ซึ่ง ได้แก่ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก ชนิดพันธุ์ของพริก ราคาของพริกแต่ละพันธุ์ในตลาด และพันธุ์พริกที่นิยมใช้ในการผลิตพริกแห้ง แสดงดังรูปที่ 2.1 ดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2.1 พริกชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก

พริก เป็นพืชในตระกูล Solanaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* L. ชื่อภาษาอังกฤษว่า Chilli peppers ,chili ,chile หรือ chilli มาจากคำภาษาสเปนว่า chile โดยส่วนมากแล้ว ชื่อเหล่านี้มักหมายถึงพริกที่มีขนาดเล็ก ส่วนพริกที่มีขนาดใหญ่ที่มีรสอ่อนกว่าจะเรียกว่า Bell Pepper ในสหรัฐอเมริกา Pepper ในประเทศอังกฤษและไอร์แลนด์ capsicum ในประเทศอินเดียกับออสเตรเลีย และ Paprika ในประเทศทวีปยุโรปหลายประเทศ พริกชนิดต่างๆ มีต้นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกา ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้ปลูกกันหลายประเทศทั่วโลก เพราะพริกเป็นเครื่องเทศที่สำคัญชนิดหนึ่ง และยังมีคุณสมบัติเป็นยาสมุนไพรด้วยเช่นกัน

ชนิดของพริก

พริกมีหลายชนิด เช่น พริกขี้หนู พริกไทย พริกหยวก พริกเหลือง พริกชี้ฟ้า พริกหนุ่ม พริกกะเหรี่ยง ประเทศไทยนั้นมักนิยมปลูกพริกอยู่ 2 ชนิด ซึ่งได้แก่

1. พริกหวาน พริกหยวก พริกชี้ฟ้า (ในกลุ่ม *C. annum*)
2. พริกเผ็ด ได้แก่ พริกขี้หนูสวน พริกขี้หนูใหญ่ (ในกลุ่ม *C. frutescens*)

พริกเป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดในอเมริกาเขตร้อน ซึ่งเป็นพืชในเขตร้อนหรือกึ่งร้อนที่ทนความแห้งแล้งได้ดีพอสมควร สามารถปลูกได้ดีในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมที่สุด คือ ดินร่วนปนทราย อีกทั้งเป็นพืชที่ปลูกได้ตลอดปี แต่ช่วงที่ได้ผลดีที่สุดคือ ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะเฉพาะของพริกดังที่ได้กล่าวมาจะพิจารณาได้จากพฤกษศาสตร์ในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

ลำต้น พริกเป็นพืชไม้พุ่ม ลำต้นตรง สูงประมาณ 1-2.5 ฟุต แตกกิ่งก้านสาขาแบบรัศมี และกิ่งแขนงแตกสาขาแบบทวิคูณ คือ จาก 2 กิ่ง เป็น 4 กิ่ง และ 8 กิ่ง เป็นต้น บ่อยครั้งมีกิ่งแขนงแตกจากระดับดิน คล้ายเป็นต้นใหม่อยู่รวมกันเป็นกระจุก ทั้งลำต้นและกิ่งนั้นในระยะแรกจะเป็นไม้เนื้ออ่อน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้น กิ่งก็จะแข็งมาก แต่ก็ยังคงเปราะและแตกง่าย ต้นมีขนาดพุ่มลักษณะต่างๆ กัน เช่น พุ่มเตี้ย และพุ่มสูง

ใบ เป็นใบเลี้ยงคู่โดยที่มีลักษณะของใบเดี่ยวที่มีขนาดต่างๆ กัน ก้านและใบมีความยาวประมาณ 0.5 – 2.5 ซม. ใบกว้างมีรูปไข่ ขอบใบเรียบ ปลายใบแหลม ใบบางมีขนเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่ไม่มีขน

ราก มีระบบรากแก้วที่แข็งแรง แต่มักจะชะงักการเจริญเนื่องจากการย้ายกล้า มีรากแขนงแตกมากมาย และมีความยาวถึง 1 – 1.5 เมตร รากฝอยพบมากบริเวณรอบๆ ต้นใต้ผิวดินลึกประมาณ 60 ซม. โดยที่เมื่อต้นพริกโตเต็มที่รากฝอยจะแผ่ออกไปด้านข้างในรัศมีเกินกว่า 1 เมตร

ดอก ลักษณะของดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ คือมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน โดยปกติมักพบเป็นดอกเดี่ยว เกิดที่ข้อ อาจมีหลายดอกเกิดที่ข้อติดๆ กันจนคล้ายเป็นดอก

ช่อ กลีบเลี้ยงสั้น 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ โดยที่กลีบดอกมีสีขาวหรือสีเขียวยอ่อน หรือสีม่วง เกสร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวผู้อยู่ที่ฐานของดอก อับละอองเกสรมีสีฟ้าหรือสีน้ำเงินอ่อน ก้านชูเกสรตัวเมียมีสีขาวหรือสีม่วง โดยจากการศึกษาพบว่าพริกเป็นพืชที่ตอบสนองต่อช่วงกลางวัน ซึ่งจะออกดอกและติดผลในสภาพวันสั้น โดยที่พริกต้องการอากาศเย็นในการติดดอกและออกผล

ผล มีทั้งผลเดี่ยวและผลกลุ่ม ผลพริกเป็นประเภท berry ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะมีฐานขั้ว ผลสั้นและหนา โดยปกติผลอ่อนมักชี้ขึ้น เมื่อผลแก่พันธุ์ที่มีลักษณะขั้วผลอ่อน ให้ผลห้อยลง แต่บางพันธุ์ทั้งผลอ่อนและผลแก่จะชี้ขึ้น ผลมีลักษณะทั้งแบนๆ กลมยาว จนถึงพองอ้วนสั้น ขนาดของผลมีตั้งแต่ขนาดผลเล็กๆ ไปจนกระทั่งมีผลขนาดใหญ่ ผนังผลมีตั้งแต่บางจนถึงหนาขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลอ่อนมีทั้งสีเหลืองอ่อน สีเขียวอ่อน สีเขียวเข้ม และสีม่วง เมื่อผลสุกอาจเปลี่ยนเป็นสีแดง ส้ม เหลือง น้ำตาล ขาวนวลหรือสีม่วงพร้อมๆ กันกับการแก่ของเมล็ดในผลควบคู่กันไป บางพันธุ์เผือกจัด บางพันธุ์ไม่เผือกเลยหรือเผือกน้อย ในระหว่างการเจริญเติบโตของผลหากอุณหภูมิในเวลากลางวันสูงและความชื้นในบรรยากาศต่ำ จะทำให้ผลพริกมีการเจริญเติบโตผิดปกติ มีรูปร่างบิดเบี้ยวและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้การติดเมล็ดต่ำกว่าปกติอีกด้วย

เมล็ด มีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเมล็ดมะเขือเทศแต่มีรูปร่างคล้ายๆ กันคือ มีรูปร่างกลมแบน มีสีเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาล ผิวเรียบ

สารเคมีต่างๆ ในพริก

ในพริกนั้นมีสารที่สำคัญคือ Capsaicin นอกจากนั้นยังมีสารอื่นๆ ที่ให้ความเผ็ดอีก คือ Dihydrocapsaicin ,Nordihydrocapsaicin ,Homodihydrocapsaicin ,และ Homocapsaicin ทำให้เจริญอาหาร ช่วยระบบย่อยอาหารให้ดีขึ้น แก้อาการปวด ช่วยสูบลม ช่วยสูบลม โลหิต ช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบและ บำรุงธาตุ โดยคุณค่าทางอาหารของพริกแสดงด้วยตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางอาหารของพริก

คุณค่าทางอาหาร		
ส่วนประกอบ	พริกหวาน	พริกเผ็ด
พลังงาน (Kcal)	26.0	116.0
โปรตีน (g)	1.3	6.3
เส้นใย (g)	1.4	15.0
แคลเซียม (g)	12.0	86.0
เหล็ก (g)	0.9	3.6
แคโรทีน (g)	1.8	6.6
ไทอามีน (g)	0.07	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณค่าทางอาหาร		
ส่วนประกอบ	พริกหวาน	พริกเผ็ด
โรโบเฟรวิน (g)	0.08	0.51
ไนอาซีน (g)	0.8	2.5
วิตามินซี (g)	103.0	96.0

2.1.2 พันธุ์พริก

พริกพันธุ์ปลูก แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ *Capsicumbaccatum* และ *C.pubescens* R. and P. ซึ่งแยกจากกัน ได้ชัดเจนโดยลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และอีกกลุ่มหนึ่งที่รวมๆ กันอยู่ โดยที่ปัจจุบันยอมรับให้แยกเป็นอีก 3 ชนิด ได้แก่ *C.annuum* L., *C.frutescens* L. และ *C.chinense* Jacq. โดยที่ในประเทศไทยพันธุ์ที่มีการปลูกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ แล้วมีอยู่ด้วยกัน 2 พันธุ์ ได้แก่

Capsicumannuum L. เป็นพริกที่ปลูกมากและมีความสำคัญมากที่สุดเมื่อเทียบกับพริกชนิดอื่นๆ มีแหล่งดั้งเดิมอยู่ในอเมริกากลาง ได้แก่ ประเทศเม็กซิโกและประเทศใกล้เคียง พริกชนิดนี้จะแตกต่างจากชนิดอื่น ได้แก่ การที่มีดอกเดี่ยวและผลเดี่ยวๆ และมีกลีบดอกสีขาว จากการสำรวจในประเทศไทยพบว่า พริก *C.annuum* ที่ใช้เป็นพันธุ์ปลูกมีมากสายพันธุ์ที่สุดเมื่อเทียบกับพริกอื่นๆ รวบรวมได้ 31 สายพันธุ์ ชื่อสายพันธุ์ที่เรียกตามพื้นเมือง ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้ฟ้าใหญ่ พริกจินดา พริกแดง พริกฟักทอง พริกขี้หนู พริกขี้หนูชี้ฟ้า พริกขี้หนูจินดา พริกหวาน และพริกยักษ์ เป็นต้น

Capsicumfrutescens L. ถิ่นกำเนิดของพริกชนิดนี้อยู่ในอเมริกาใต้ โดยในอเมริกาปลูกแบบพันธุ์โตที่เรียกว่า Tabasco pepper แต่พันธุ์ที่นิยมในทวีปเอเชียเป็นพริกผลเล็ก มีความเผ็ดมาก โดยที่ในประเทศไทยมีรายงานว่าพริกชนิดนี้ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกเกษตร และพริกขาว พริกชนิดนี้มีลักษณะเด่นที่มีดอกเดี่ยว ดอกมีสีเขียวอ่อน มีรสเผ็ด

นอกจากนี้ยังมีพันธุ์พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทย ดังนี้

พันธุ์ห้วยสีทน 1 ทรงต้นตั้งเป็นพุ่มรูปตัววี สูงประมาณ 1 เมตร เมื่อเริ่มให้ผล สูงประมาณ 150 – 160 เซนติเมตร ผลชี้ขึ้น ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีแดงจัด ยาวประมาณ 4 เซนติเมตร โคนผลจะใหญ่และเรียวที่ปลาย ผลค่อนข้างอ้วนปานกลาง รสชาติเผ็ดจัดทั้งผลสดและผลแห้ง

พันธุ์ห้วยสีทนศรีสะเกษ ต้นตั้งตรง มีทรงพุ่มเป็นรูปตัววี สูงประมาณ 80 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างประมาณ 70 เซนติเมตร ผลมีลักษณะเรียวชี้ขึ้น ผลดิบสีเขียวอ่อน ผลสุกผิวแดงเข้มเรียบ เป็นมันเมื่อแห้ง

พันธุ์พิจิตร 1 ลำต้นสีเขียวสูง 117 เซนติเมตร ทรงพุ่มรูปตัววี ใบสีเขียว ดอกสีเขียว ผลอ่อนสีเขียว ผลดก เก็บเกี่ยวได้เร็ว

พันธุ์จินดา ลูกผสมพันธุ์ซูเปอร์ฮ็อต ทรงต้นตั้งเป็นพุ่มเป็นรูปตัววี สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร ผลชี้ขึ้น ผลอ่อนสีเขียวผลแก่สีแดงสด ยาวประมาณ 5-10 ซม. โคนผลจะใหญ่และจะเรียวไปหาปลาย ผลค่อนข้างอ้วนปานกลาง รสชาติเผ็ดทั้งผลสดและผลแห้ง

โดยพันธุ์พริกที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนี้เป็นพันธุ์พริกที่นิยมนำมาทำพริกแห้ง และได้ผลิตภัณฑ์พริกแห้งที่มีลักษณะตามที่ตลาดต้องการ

2.1.3 ราคาพริก

จากการศึกษาพริกชนิดต่างๆที่มีการเพาะปลูกและจำหน่ายในประเทศไทย จะทราบถึงราคาขายของพริกพันธุ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

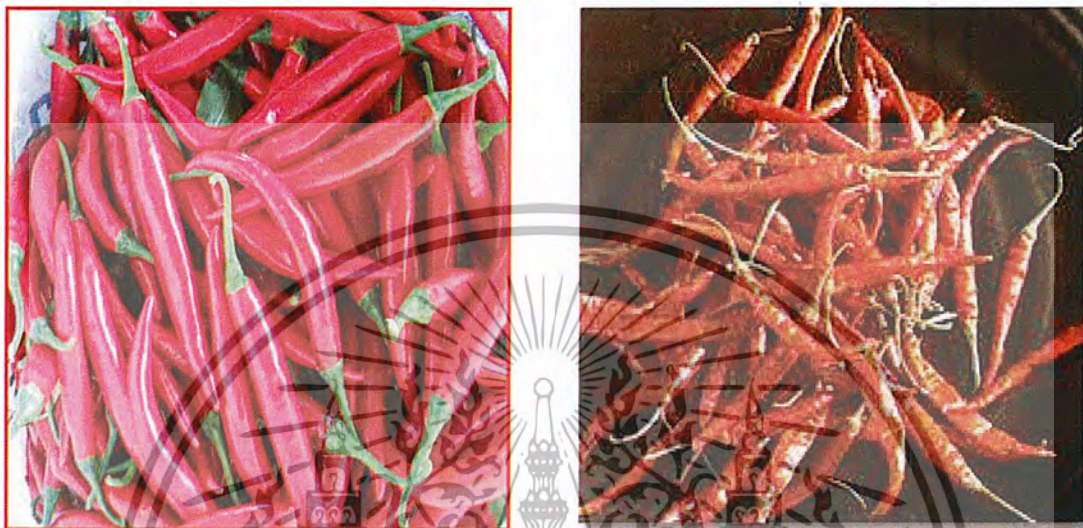
ตารางที่ 2.2 แสดงราคาพริกชนิดต่างๆ

ชื่อพันธุ์	ราคา (บาท/กก.)
พริกชี้ฟ้าแดง	35-67
พริกเหลือง	170-190
พริกชี้หนุสวนใหญ่	48-60
พริกชี้หนุแดง(จินดา)	35-65
พริกชี้หนุเขียว(จินดา)	40-65
พริกชี้หนุแดง(ซูเปอร์ฮ็อต)	70-80
พริกชี้หนุแห้ง(จินดา)	75-80
พริกชี้หนุยอดสนแห้ง	110-130
พริกชี้ฟ้าแห้ง	80-90

(ที่มา : ข้อมูลจากตลาดไทและตลาดสี่มุมเมือง)

2.1.4 พันธุ์พริกที่นำมาผลิต

จากการศึกษาหาข้อมูลของพริกพันธุ์ต่างๆ แล้ว ทำให้ทราบว่าพริกชี้ฟ้าเป็นพันธุ์ที่นำมาผลิตเป็นพริกแห้งมากที่สุด เนื่องจากเมื่อพริกชนิดนี้นำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วจะได้ลักษณะของพริกแห้งที่มีผิวค่อนข้างเรียบและเป็นมัน



รูปที่ 2.2 พริกชี้ฟ้าแดง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Capsicum annuum* Linn. Var *acuminatum* Fingerh.

ชื่ออังกฤษ Cayenne pepper, chili spur pepper, long fed pepper, spur pepper

ชื่อพื้นเมือง พริกชี้ฟ้า พริกเคี้ยวไก่ พริกบางช้าง พริกหนุ่ม (ภาคเหนือ) พริกมัน(กรุงเทพฯ) พริกแล้ง (เชียงใหม่) พริกซ่อม พริกขี้หนู พริกนก พริกเต้ (เหนือ) พริกขี้นก ตีปลีขี้ขึ้น(ใต้) ตีปลี (ปัตตานี) ปะแกว (นครราชสีมา) หมักเพ็ด พริกแกว (อีสาน) พริกยักษ์ พริกหวาน พริกฝรั่ง พริกหลวง พริกแมว พริกกะเหรี่ยง พริกหัวเรือ พริกหัวสี่ทอน พริกสันป่าตอง พริกภูเรือ พริกจิน พริกเจแปน พริกคัม และพริกแจว เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.2

ลักษณะของเม็ดพริกผิวเป็นมันสีเขียว เมื่อสุกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีแดง มีเมล็ดแบนจำนวนมาก

2.1.5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากพริกที่นำมาใช้ในการผลิตนั้นเป็นพริกแห้งอยู่แล้ว โดยมีความชื้นอยู่ที่ 13% ซึ่งจะนำมาเข้าเครื่องฟลูอิดไรเซอร์เพื่อที่จะทำแห้งเพิ่มเติมให้ได้ตามมาตรฐานการทำพริกป่นต่อไป

1. สี ต้องได้สีแดงเข้ม เป็นมัน
2. ความชื้น ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไม่เกิน 5 %

3. กักขนาดตามเกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยการอบแห้งพริก

พัฒนาภรณ์ ใจอุดม (2542) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการอบพริกชี้หนูด้วยเครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการอบพริกสดที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน และหาผลกระทบของการลวกพริกในน้ำเดือดก่อนอบต่อกระบวนการอบแห้ง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการสลับลมร้อนเข้าด้านบนและด้านล่างของเตาอบ และหาผลกระทบของการลวกพริกก่อนอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า การสลับลมร้อนทุก 7 ชั่วโมง มีความเหมาะสม เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาและแรงงานในการสลับลมมากครั้ง และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่หลังอบของการสลับลมร้อนทุกวิธี โดยการสลับลมร้อนทุก 7 ชั่วโมงจะใช้เวลาทั้งหมด 14 ชั่วโมง ในการอบพริกแห้งจากความชื้นเริ่มต้น 74.91% (wb) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 12.42% (wb) สำหรับผลการทดลองหาผลกระทบของการลวกพริกในน้ำเดือด ต่อกระบวนการอบแห้งพบว่า การลวกไม่มีผลต่ออัตราการลดความชื้น เนื่องจากในการทดลองนี้วิธีการลวกยังไม่ดีพอ แต่ในด้านคุณภาพของสี พบว่าการลวกจะทำให้คุณภาพสีของพริกแห้งหลังอบมีคุณภาพดีกว่า ขั้นตอนที่ 2 ทดลองเปรียบเทียบการอบ โดยการสลับลมร้อน และสลับลวกพริกในระหว่างอบทุก 7 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การอบพริกโดยวิธีการสลับลมร้อนมีแนวโน้มการลดความชื้นสูงกว่า เนื่องจากการสลับลมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายลมร้อนภายในเตาอบ และคุณภาพสีของพริกแห้งหลังอบที่อบโดยการสลับลม มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าพริกแห้งที่อบโดยวิธีสลับลวก

วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด (2545) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมเพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยเครื่องอบแห้งที่มีระบบดูดความชื้นเป็นเครื่องอบแห้งที่ทำการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง จากการทดลองอบแห้งพริกภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 60 °C และอัตราการไหลของอากาศ 0.08 กิโลกรัม/วินาที ทำการอบแห้งพริกจำนวน 8 กิโลกรัม จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 82 % (wb) ให้เหลือ 13 % (wb) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ อบแห้งพริกโดยมีระบบดูดความชื้น และอบโดยไม่มีระบบดูดความชื้น จากการทดลองพบว่า การอบแห้งพริกที่มีระบบดูดความชื้นใช้เวลาในการอบแห้งลดลงร้อยละ 20.83 เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีระบบดูดความชื้น เมื่อพิจารณาคุณภาพของพริกแห้งที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองระบบ พบว่าคุณภาพของพริกไม่แตกต่างกัน จากการคำนวณการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบดูดความชื้นพบว่า สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ร้อยละ 51.05 เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ใช้พลังงานจากเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และสามารถประหยัดพลังงานในการอบแห้งครั้งละ 17.28 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือปีละ 5,391.36 กิโลวัตต์ชั่วโมง (ทำการอบแห้ง 6 วัน/สัปดาห์) หรือสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 51.84 บาท หรือปีละ 16,174 บาท หรือสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจากการอบแห้งโดยไม่มีระบบดูดความชื้น 150,490 บาท ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง (10 ปี)

สุขฤดี นาดกรณกุล (2546) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งระบบพลังงานชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดล Sorption Isotherm ของพริกจินดา โมเดลอบแห้งของพริกจินดาและประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งพริกจินดาด้วยพลังงานชีวมวลร่วมกับแสงอาทิตย์ โดยใช้ขังข้าว โปดเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบตัวรับรังสีระหว่างเวลา 9.00 น. -16.00 น. โดยรังสีอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 726.8 W/m^2 ที่อัตราการไหลอากาศเฉลี่ย 0.022 kg/m^3 ในขณะที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่า 34.6°C พบว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่า 38.6 % ผลการทดสอบเพื่อพัฒนาโมเดล Sorption Isotherm ที่อุณหภูมิ 32.2°C , 48.9°C และ 68.3°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 11.1 % -96.5 % โมเดล Modified Halsey มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้อธิบายความชื้นสมดุลของพริกจินดา สำหรับการผลิตแก๊สชีวมวลพบว่า เต่าเผาชีวมวลชนิดไหลลงขนาด 0.374 m^3 สามารถผลิตแก๊ส ชีวมวลได้ 39.25 MJ/h และจากการทดสอบการอบแห้งพริกจินดา พบว่า ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของระบบอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 32.5 % สิ้นเปลืองเวลาในการอบแห้งแต่ละชุด โดยเฉลี่ย 25 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นของพริกจินดาได้เป็น 8.0 % db โดยเฉลี่ย และสีของพริกจินดาอบแห้งที่ได้เป็นไปตามความต้องการของตลาด

วิริยา (2552) ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทาง โครงสร้างของพริกแห้งที่ผ่านการแช่สารเคมี และทำการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ แล้วศึกษาค่าทางกายภาพของพริกสดและพริกขณะการอบแห้ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางกายภาพ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในพริกขณะอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับพริกที่ทำแห้งด้วยวิธีผึ่งแดดรวมทั้งเปรียบเทียบกับพริกที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวก ก่อนการหาสมการที่เหมาะสมในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกขณะการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน จากการศึกษาพบว่า การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ สามารถคงสีของพริกแห้งไว้ได้มากที่สุด ส่วนการใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และแคลเซียมคลอไรด์ สามารถรักษาสีของพริกไว้ได้มากที่สุดที่อุณหภูมิการทำแห้งแบบ 2 ระยะ คือที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่พริกในสารละลายก่อนการทำแห้งจะทำให้ มีการคั่งน้ำออกจากพริกได้ดีกว่าไม่ใช้สารละลาย และพบว่าใช้เวลาในการทำแห้งลดลง สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่สูงที่สุด โดยจะพบในพริกที่ผ่านการแช่สารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์กับแคลเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

มนตรี หวังจิ, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ สมบูรณ์ เวชกามา (2540) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งถั่วเหลืองโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางขั้นต้นสำหรับการดำเนินการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์แบบต่อเนื่อง ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาตามสภาวะเงื่อนไขการอบแห้งที่อัตราการกำลังผลิต 2.9 tons / h อัตราการไหลอากาศอบแห้ง $3.6 \text{ m}^3 / \text{s}$ (3.3 kg/s) ความเร็วอากาศอบแห้ง 2.9 m/s ความสูงของชั้น (Bed) เมล็ดถั่วเหลือง 15 cm ระยะเวลาที่เมล็ดถั่วเหลืองอยู่ในห้องอบแห้ง 2.35 นาที อัตราการเวียนคืนอากาศอบแห้งประมาณ 83 % โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 110 , 120, 130 และ 140 °C ซึ่งสามารถลดความชื้นที่เริ่มต้นโดยเฉลี่ย 20.2 , 22.9 , 25.2 และ 28.2% มาตรฐานเปียก เหลือความชื้นสุดท้ายโดยเฉลี่ย 16.8 , 18.0 , 18.6 และ 19.0% มาตรฐานเปียก ตามลำดับ ความสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิโดยเฉลี่ย 4.62 MJ / kg - water และจากการทดลองพบว่า พลังงานปฏุมภูมิจะลดลงตามความชื้นเริ่มต้นเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์เมล็ดร้าวจะเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง

กรกช ภูไพบูลย์ (2545) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไดซ์เบด โดยการประเมินสมรรถนะ วิเคราะห์การใช้พลังงาน ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง และทดสอบคุณภาพข้าว รวมทั้งเปรียบเทียบ ผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิด ไดซ์เบดกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิด ไดซ์เบดจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีเงื่อนไขการทดลองคืออุณหภูมิอบแห้ง 144-154 °C ความสูงเบด 11.6-12.3 cm. และความเร็วของอากาศเข้าห้องอบแห้ง 1.6-1.8 m/s ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิด ไดซ์เบดสามารถอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 29% (db) เหลือประมาณ 24% d.b. โดยคุณภาพข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกเฉลี่ย 0.53 Baht/kg-water evap. ใช้พลังงานความร้อนจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.23-9.37 MJ/kg-water evap. และใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.18-0.25MJ/kg-water evap. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิด ไดซ์เบดจะมีปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะเฉลี่ยใกล้เคียงกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยน้อยกว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

วรเมธ ทัดทอง , สมิทธิ เอี่ยมสะอาด และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดให้มีคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น เทคนิคนี้จะช่วยลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาการอบแห้งของเมล็ดกาแฟสดลงจากปกติ 2 อาทิตย์เหลือเพียง 5 ชั่วโมง ในชุดการทดลองหอทดลองฟลูอิดไดซ์เบดทำจากท่ออะคริลิกใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 140 มิลลิเมตร และมีความสูง 1,000 มิลลิเมตร ขณะที่แผ่นการกระจายอากาศจะถูกวางไว้ที่ปลายทางเข้าของหอทดลองฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีสัดส่วนพื้นที่ว่างของลมที่ออกจากแผ่นกระจายอากาศเป็น 60 % ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของแผ่นการกระจายอากาศ ในการทดลองจะทำการอบที่ความจุ 0.6 ถึง 1.2 กิโลกรัมของเมล็ดกาแฟสด ซึ่งอากาศที่เข้าสู่ชุดฟลูอิดไดซ์เบดจะถูกให้ความร้อนจากชุดฮีตเตอร์ขนาด 3 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งได้อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าได้ตามความต้องการ ในการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ไว้ที่ 50 ถึง 90 องศาเซลเซียส, ค่าอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ และความเร็วลมที่ทางเข้าสู่ชุดฟลูอิดไดซ์เบด 2 ถึง 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งตัวแปรทั้งหมดได้ถูกนำมาศึกษาผลกระทบต่ออัตราการลดลงของความชื้นของเมล็ดกาแฟสด จากผลการทดลองสามารถที่จะลดความชื้นของเมล็ดกาแฟสดจาก 68 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 14 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 5 ถึง 7 ชั่วโมง และพบว่าในช่วง 1 ถึง 2 ชั่วโมงแรกจะเกิดการลดลงของความชื้นของเมล็ดกาแฟอย่างมาก

อิทธิพล แก่งตันเตี้ยะ, อำนาจ บุญลอย, ประสิทธิ์ คำพันธ์ และพงษ์เจต พรหมวงศ์ (2550) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งพริกไทยในหอบมีลักษณะแบบฟลูอิดไดซ์หมุนควง โดยจากการทดลองพบว่าความเร็วลมมีผลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยและช่วยให้ความชื้นของเมล็ดพริกไทยออกได้เร็วขึ้นเนื่องจากติดครีบทําให้เมล็ดพริกไทยมีการสั่น และการไหลอย่างปั่นป่วนของลมร้อนช่วยให้เกิดการกระจายตัวของเมล็ดพริกไทยในหอทดลองเพิ่มมากขึ้น ทําให้เพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำให้การอบแห้งเร็วขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 เทคนิคระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา กับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงซึ่งได้ผลว่าแบบหมุนควงที่มีการติดครีบทําได้ผลที่ดีกว่า โดยในการอบแห้งนั้นมีความชื้นเริ่มต้น 400% มาตรฐานแห้งอุณหภูมิอากาศ 80 และ 100 องศาเซลเซียส และความเร็วลมสัมพัทธ์ของอากาศที่ 67-70% มวลพริกไทยที่ใช้ในการอบแห้ง 200 กรัม ความเร็วของอากาศภายในหอทดลอง $1.0U_{mf}$, $1.2U_{mf}$ และ $1.5U_{mf}$ ใช้เวลาในการทดลองแต่ละกรณี 100 นาที และวัดความชื้นของเมล็ดพริกไทยทุกๆ 10 นาที

ศุภฤกษ์ ขามงคลประดิษฐ์, เทิดทิว อ้วนศรี, นิพนธ์ มหาพรหม และ นันทวัฒน์ พลายนเมือง (2550) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่อง โดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเร็วลมร้อนความชื้นที่เวลาระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่อง โดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเร็วลมร้อน ความชื้นและเวลาที่ระดับต่างๆ ที่เหมาะสม ในการอบแห้งพริก โดยทดสอบในห้องอบกว้าง 0.3 เมตร ยาว 1.0 เมตร สูง 0.5 เมตร ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมร้อน 4.0, 5.0 และ 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตรต่อวินาทีตามลำดับ จากการทดสอบอบแห้งพริกแบบต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด พบว่าน้ำหนักของพริกจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะเวลาของการอบแห้งพริกเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมินั้นจะมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและความชื้นของพริกที่หายไปและมีผลต่อสีของเม็ดพริกมากกว่าความเร็วลมร้อน โดยที่ความเร็วลมร้อนจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของเม็ดพริกและยังมีผลต่อผิวของเม็ดพริกอีกด้วย โดยพริกจะมีการเคลื่อนตัวของแบบฟลูอิด ไคซ์เบด จะต้องมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 45–60% (wb) และมีความเร็วเริ่มต้นในการเกิดการเคลื่อนที่แบบฟลูอิด ไคซ์เบดเท่ากับ 6.38 เมตรต่อวินาที ส่วนพริกจะมีการเคลื่อนตัวออกจากห้องอบจะต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 10–45% (wb) ในการทดสอบนี้จะได้จุดที่เหมาะสม ในการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด คือ ที่อุณหภูมิ 90 C ความเร็ว ลมร้อน 5.0 เมตรต่อวินาที โดยมีน้ำหนักเริ่มต้น 0.5 กิโลกรัม และน้ำหนักสุดท้าย 0.14 กิโลกรัม พริกจะมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12.16% มาตรฐานเปียก และ 13.84% มาตรฐานแห้ง มีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.14 และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งพริก 2 ชั่วโมง 45 นาที

วัชรินทร์ ดงบัง , วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย (2552) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งผักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด โดยนำเสนอผลการศึกษารอบแห้งเมล็ดพืชด้วยเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด โดยทำการทดลองอบแห้งผักถั่วลิสง อบแบบเป็นงวด 5 kg มีการหมุนเวียนลมร้อนกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 80% อุณหภูมิที่ศึกษาแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ความสูงเบด 10 cm ความเร็วลมร้อนประมาณ 9 m/s ผักถั่วลิสงมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 38%wb ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15%wb ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูงกว่าจะช่วยลดระยะเวลาให้สั้นลงได้ กล่าวคือใช้เวลาในการอบแห้ง 8.8, 6.8 และ 5.5 ชั่วโมงตามลำดับ และลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในทางพาณิชย์ อัตราส่วนความชื้นถูกพืดเข้ากับ แบบจำลองการอบแห้งต่างๆ 6 แบบจำลอง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พบว่าแบบจำลอง Modified Henderson and Pabis แบบจำลอง Verma et al. และแบบจำลอง Two-term exponential มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด นอกจากนี้แล้ว ยังได้พัฒนาการทดลองเพื่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผักถั่วลิสงด้วย

จากการศึกษางานวิจัยและการทดลองต่างๆ เหล่านี้ ทำให้เราสามารถนำมาเป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับโครงการนี้ได้ เนื่องจากการศึกษาการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดนั้น ได้มีผู้ศึกษาอยู่มากโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา แต่ยังไม่มีการวิจัยถึงการอบแห้งพริกจนถึงระดับที่สามารถนำไปทำพริกป่นได้ จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะศึกษาการอบพริกแห้ง

แบบฟลูอิด ไคซ์เบคเพื่อให้ได้ความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเพื่อเป็นการรองรับความต้องการ
ทางการตลาดของผู้ผลิตและผู้บริโภคอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ฟลูอิดไดเซชัน

3.1.1 นิยามของฟลูอิดไดเซชัน

คำว่าฟลูอิดไดเซชันเป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับของไหล ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดหรือชิ้นของแข็งดังกล่าว แรกทีเดียวถูกวางไว้บนตะแกรงในหอทดลองที่มักจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกปัจจุบันนี้ตัดแปลงให้อยู่ในรูปร่างแนวนอนก็มี ของไหลที่ใช้ก็มีก๊าซ หรือของเหลว ปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงหรือรับเม็ดของแข็งของไหลก็จะไหลผ่านชั้นเม็ดของแข็ง แล้วไหลออกทางด้านบนของหอทดลอง เพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งขยับตัว และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือมีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในเบดหรือภายในหอทดลอง หรือระหว่างเบดต่อบีได้ เราจึงเรียกของแข็งในลักษณะนี้ว่า ฟลูอิดไดเซชัน

3.1.2 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน

งานของฟลูอิดไดเซชัน ตั้งแต่เริ่มจนถึงปัจจุบันพอที่จะสรุปประเภทของงานได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ

1. ฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ (Two – phase Fluidization) หมายความว่าในหอทดลองหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยของสองสถานะ คือของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดเซชันสองสถานะจึงแบ่งได้อีก 2 ประเภท

1.1 ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (Gas Fluidization)

1.2 ฟลูอิดไดเซชันของเหลว (Liquid Fluidization)

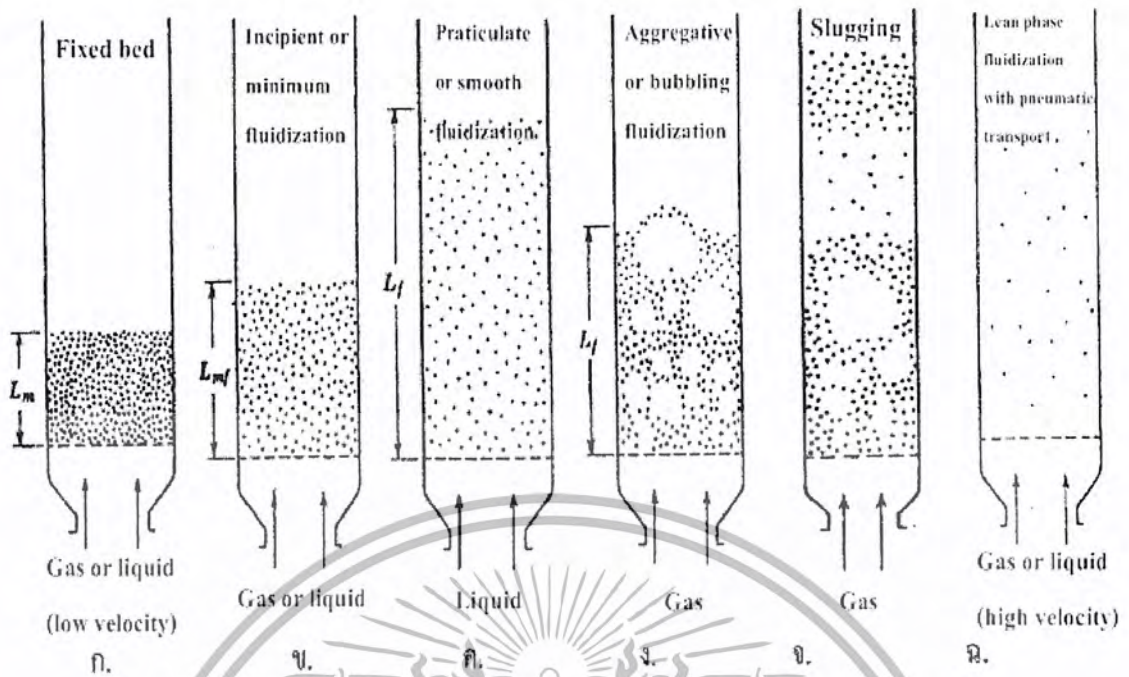
2. ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ (Three – phase Fluidization) หมายความว่าในหอทดลองหรือเบดจะประกอบไปด้วยของสามสถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สำหรับฟลูอิดไดเซชันสามสถานะนั้นเป็นกระบวนการที่พัฒนาไปจากฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ หอทดลองที่เป็นฟอง (bubble column) และหอทดลองที่บรรจุด้วยของแข็ง (Packed bed) ดังนั้นจึงมีกลไกที่ซับซ้อนมากการคำนวณต้องใช้หลักคณิตศาสตร์ขั้นสูง

3.1.3 ลักษณะของฟลูอิดไดเบดซ์

คำว่า เบด (Bed) หมายถึง อาณาเขตในหอทดลองที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอทดลองจะมีระดับตั้งแต่แผ่น โลหะทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหล (distributor) จนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของเม็ดของแข็งที่อยู่ในหอทดลอง

เมื่อบรรจุเม็ดของแข็งในหอทดลองเรียบร้อยแล้ว เริ่มปล่อยของไหลเข้าทางด้านล่างของหอทดลองอย่างช้าๆ ขณะที่ของไหลความเร็วยังน้อยอยู่ เม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของเบดเช่นนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed) เราค่อยๆ เพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวและจับตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเม็ดของแข็งจะหลุดออกจากกันลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะนี้เรียกว่า จุดเริ่มฟลูอิดไดเซชัน (incipiently fluidized bed) หลังจากจุดนี้ไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้เบดขยายตัวขึ้นตามความเร็วของของไหล เม็ดของแข็งยังอยู่ชิดกันมาก ดูเหมือนว่าเม็ดของแข็งยังจับกันเป็นกลุ่มก้อน เบดลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (dense-phase fluidized bed) ถ้าความเร็วของไหลมากขึ้นอีกของไหลก็เกือบจะพาเอาเม็ดของแข็งออกไปจากหอทดลองอยู่แล้ว เบดลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดเจือจาง (diluted-phase fluidized bed) หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วของไหลอีกเล็กน้อยเม็ดของแข็งก็หลุดออกจากหอทดลองไปซึ่งในลักษณะนี้เราใช้เป็นการขนส่งของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ถ้าใช้อากาศ ก็เป็นการขนส่งด้วยอากาศ (Pneumatics transport) เช่นการลำเลียงผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ เป็นต้น ถ้าเป็นของเหลวก็เรียกว่าขนส่งด้วยของเหลว (Hydraulics transport) ตัวอย่างเช่นการขนส่งเม็ดแร่

ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและหมุนรอบตัวเองของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เราเรียกเบดนี้ว่า เบดสม่ำเสมอ หรือเบดที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Particulated bed of Homogeneously bed or smoothly fluidized bed or liquid fluidized bed) ดังรูปที่ 3.1 ก. ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นก๊าซ ลักษณะของเบดจะแตกต่างจากที่ใช้ของเหลวมาก เพราะเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดแล้ว ก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซก็จะแทรกตัวเองขึ้นมายังบนผิวหน้าของเบดและแตกตัวเองในที่สุด ขณะที่ฟองก๊าซลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งไหลจากส่วนหลังคาของฟองก๊าซลงมายังส่วนล่าง พร้อมกันนั้นยังมีบางส่วนของเม็ดของแข็งลอยติดตามฟองก๊าซขึ้นไปด้วย ภายในเบดจะเห็นว่าการเคลื่อนของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างซุกมุ่นวุ่นวายเบดชนิดนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดวุ่นวาย หรือเรียกสั้นๆ ว่า เบดวุ่นวาย ดังรูปที่ 3.1 ง.



รูปที่ 3.1 พฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดเซชัน (Daizo Kunii 1991)

3.1.4 การได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดเซชัน

ข้อเปรียบเทียบการได้เปรียบและการเสียเปรียบระหว่างการใช้นิวเคลียสฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคอื่นๆ ดังมีรายละเอียดพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ข้อได้เปรียบ

1.1 เนื่องจากเม็ดของแข็งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอดซึ่งต่างจากเบดนิ่งหรือเบดบรรจุ อุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด

1.2 มีการจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง เม็ดที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน เม็ดที่มีน้ำหนักมากจะอยู่ส่วนล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้แยกขนาดของเม็ดของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานจากการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก

1.3 จากคุณสมบัติที่คล้ายกับของไหล จึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเต็มเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย

1.4 การที่เม็ดของแข็งไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบด เม็ดของแข็งนี้สามารถที่จะเป็นตัวทำความร้อนจากผนังแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า เพราะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วของไหลอันเดียวกัน ฟลูอิดไดซ์เบดจึงเหมาะสมกับขบวนการที่มีปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนหรือดูดความร้อนจำนวนมากๆ

1.5 พื้นที่สัมผัสระหว่างเม็ดยางของแข็งกับของไหลจะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเบดนิ่งที่ใช้จำพวกเม็ดยางของแข็งเท่ากันจึงมีประโยชน์ในการขยายงานที่มีทั้งการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร

1.6 การทำงานด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะเสียพลังงานน้อยกว่าเพราะแรงเสียดทานและความดันตกของเบดน้อยกว่าในแบบบรรจุมาก

1.7 สามารถกำจัดขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องทำงาน

1.8 สามารถใช้ในการขนส่งเม็ดยางของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

2. ข้อเสียเปรียบ

2.1 เวลาของของไหลสัมผัสกับเม็ดยางของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบดสูงๆ หรือเบดหลายชั้นเปลืองเงินลงทุนมาก

2.2 มักเกิดฟองก๊าซในเบดเมื่อทำงานกับก๊าซ ทำให้การสัมผัสไม่ดีเป็นการสูญเสีย ถ้ายังเป็นขบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง

2.3 เนื่องจากเกิดการผสมอย่างรวดเร็วบางครั้งเม็ดยางของแข็ง มีช่วงเวลาอยู่ในเบดสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องทำให้ผลิตภัณฑ์ลดลง หรือเม็ดยางของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด

2.4 การทำงานมีข้อจำกัดเพราะถ้าให้ความเร็วของของไหลสูงเกินไปเม็ดยางของแข็งก็จะออกจากเบดไปพร้อมกับของไหล

2.5 ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง เราต้องคอยปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวไป ทำให้ได้ผลผลิตน้อยลง

2.6 เกิดการสันดาปของของไหลที่ตกค้าง หรือเกิดการกัดกร่อน เนื่องจากเม็ดยางของแข็งมากระทบกับผนังของของไหลที่ตกค้าง

2.7 ใช้กับเม็ดยางของแข็งที่เปื่อยหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบด

3.1.5 คุณสมบัติทางกายภาพของฟลูอิดไดซ์เบด

ความเร็วของไหลเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด ดังในรูปที่ 3.2 จะอธิบายถึงลักษณะของเบดที่พบเห็นบ่อยๆ ในการทำงาน โดยจะเขียนแยกเป็นชนิดๆ ไป

มาก เม็ดต่อเม็ดเกือบติดกัน การเคลื่อนไหวก็น้อยมาก มักใช้ความเร็วของไหลสูงกว่าความเร็วต่ำสุดอย่างน้อย 1.5 เท่า

3.1.7 ฟลูอิดไดเซชันแบบเรียบ (เป็นระเบียบ) และแบบขุลงมุน

WILHELM และ KWAUK (1948) ได้อธิบายไว้ว่า ฟลูอิดไดเซชันแบบเบ็ดเรียบ มีลักษณะดังนี้ เม็ดของแข็งแยกจากกัน โดยอิสระระยะห่างระหว่างเม็ดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ระยะห่างนี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเร็วของของไหล เบ็ดมีเนื้อสม่ำเสมอหรือกล่าวอีกประการหนึ่งคือ มีความหนาแน่นของเม็ดของแข็งสม่ำเสมอ ลักษณะเช่นนี้ มักเกิดขึ้นในฟลูอิดไดเซชันของเหลว ในก๊าซ ฟลูอิดไดเซชันเบ็ดเกิดขึ้นยากนอกจากเบ็ดที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็วต่ำสุดเล็กน้อย

ส่วนเบ็ดขุลงมุนเม็ดของแข็งไม่ได้เคลื่อนที่อย่างอิสระมันมีแนวโน้มที่จะรวมอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ๆ การเคลื่อนไหวของกลุ่มเป็นไปอย่างขุลงมุน นอกจากนี้บางส่วนของของไหลก่อตัวเป็นฟองก๊าซที่ส่วนล่างของเบ็ดแล้วฟองนี้จะชักนำให้เม็ดของแข็งลอยตามขึ้นไปจนถึงเบ็ด ถ้าของไหลเป็นของเหลวการก่อตัวเป็นฟองมีส่วนคล้ายกับการเกิดฟองของก๊าซ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นเบ็ดจึงมีลักษณะเหมือนกับของเหลวกำลังเดือด เบ็ดจึงไม่สม่ำเสมอ ภายในเบ็ดจึงประกอบไปด้วย สถานะสองสถานะ คือ เบ็ดหนาแน่นและเบ็ดเจือจางอยู่พร้อมกัน มองในแง่ปฏิบัติ ฟลูอิดไดเซชันแบบเบ็ดขุลงมุนเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อใช้เม็ดของแข็งและของไหล ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันมากๆ ซึ่งก็ได้แก่ ก๊าซกับของแข็งเป็นต้น

3.1.8 การเกิดฟองก๊าซและชั้นสลับของไหลกับเม็ดของแข็ง

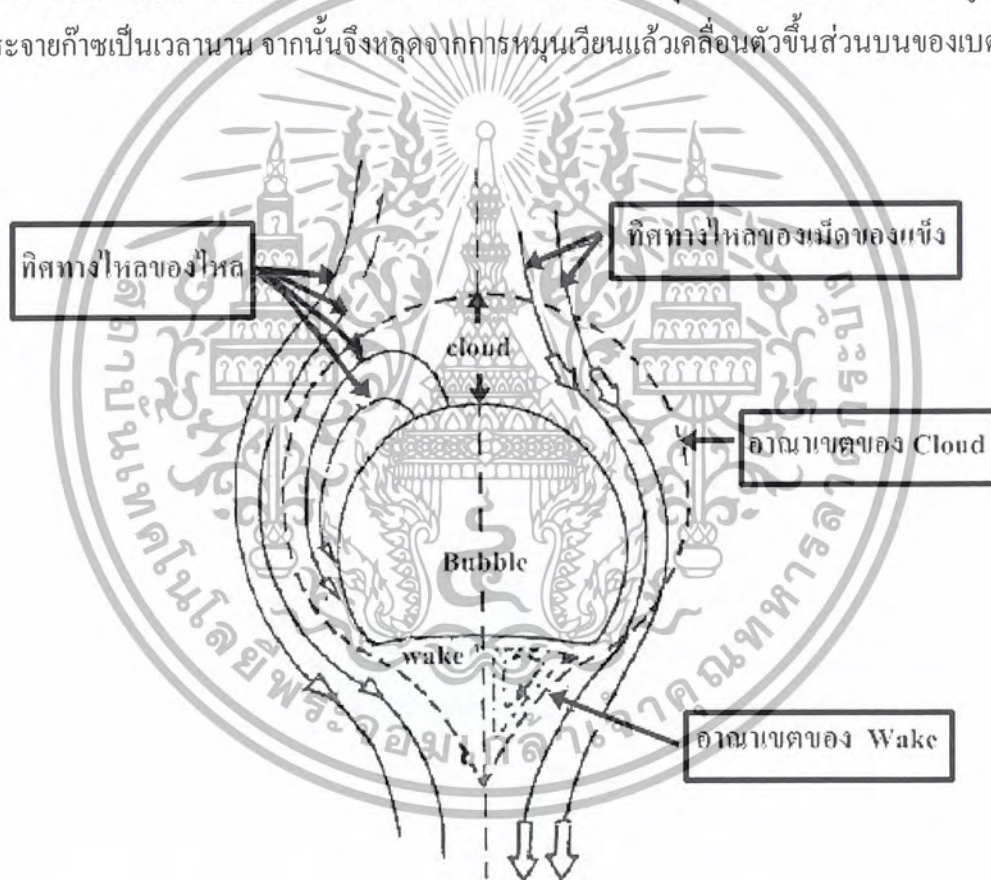
ลักษณะของเบ็ดทั้งสองเกิดขึ้นเฉพาะในเบ็ดขุลงมุนเท่านั้น ฟองที่เกิดขึ้นคล้ายกับเกิดจากก๊าซเริ่มแรกเกิดขึ้นที่ส่วนกลางเหนือแผ่นกระจาย หลังจากนั้นก็หลุดลอยออกจากชั้นเบ็ดขึ้นไปจนถึงผิวหน้าของเบ็ดแล้วก็แตกกระจายออก ชั้นสลับเกิดขึ้นได้เมื่อฟองก๊าซหลายๆ ฟองมารวมกันแล้วเกิดเป็นฟองขนาดใหญ่จนเส้นผ่านศูนย์กลางโตเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเบ็ด ฟองก๊าซก็แยกของแข็งออกเป็นชั้นๆ ให้เห็นชัดเจน การเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เม็ดของแข็งเคลื่อนที่จนถึงความสูงระดับหนึ่ง ก็แยกออกตกกลับลงในเบ็ดเหมือนกับฝนตก แล้วก่อตัวเป็นเบ็ดขุลงมุนใหม่ เบ็ดชนิดนี้เกิดขึ้นได้ง่ายๆ กับเบ็ดที่มีความสูงมากๆ และหรือความเร็วของก๊าซก็มากด้วย

3.1.9 การผสมของเม็ดของแข็งในการเกิดฟลูอิดไดเซชันเบ็ด (Solid Mixing in Gas Fluidized Bed)

ขณะที่ฟองก๊าซลอยผ่านขึ้นมาในเบ็ดนั้น จะทำให้เม็ดของแข็งเคลื่อนตกลงทางด้านข้างของฟองก๊าซคล้ายกับของไหลที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะทรงกลม ดังในรูปที่ 3.3 ทางส่วนล่างของฟองก๊าซก็จะมีเม็ดของแข็งถูกฟองก๊าซดูดให้ลอยตามขึ้นไปพร้อมกับฟองก๊าซ ดังนั้น

เม็ดของแข็งที่เคลื่อนที่ลงตามด้านข้างบางส่วนมี โอกาสเคลื่อนเข้าไปกับกลุ่มเม็ดของแข็งรวมเข้าทางส่วนท้ายของฟองก๊าซด้วยเหมือนกัน ส่วนที่เหลือก็จะตกลงไปยังด้านล่างของเบค ดังนั้นเม็ดของแข็งจึงมี โอกาสเดินท่องเที่ยวไปทุกหนทุกแห่งในเบคได้เสมอ

จากเหตุการณ์ที่ว่าเม็ดของแข็งสามารถอยู่ได้ทุกแห่งในเบคเช่นนี้ Kondukov,S.et.al. (1964) จึงได้ศึกษาการเดินทางของเม็ดของแข็งภายในเบคว่ามีการเดินทางเป็นอย่างไร โดยเขาทำการย้อมสีเม็ดของแข็งขึ้นหนึ่งเม็ดแล้วปล่อยให้ปะปนลงในเบคเขาได้ติดตามการเดินทางของเม็ดของแข็งเม็ดนี้ด้วยกล้องถ่ายภาพยนตร์ เบคที่ใช้ทำการศึกษาคือเป็นแบบสามมิติ เขาพบว่าการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็ง จะเป็นไปอย่างรวดเร็วขณะเคลื่อนตัวขึ้นด้านบนและจะวนเวียนอยู่ส่วนบนของเบคพักหนึ่งจากนั้น จึงจะตกสู่ด้านล่างของเบคด้วยอัตราความเร็วช้ากว่าตอนเคลื่อนตัวขึ้น ดังนั้น เม็ดของแข็งจะใช้เวลามากตอนขาลง แต่ถ้าตัวกระจายไม่ดีจะมีการหมุนเวียนของเม็ดของแข็งอยู่เหนือตัวกระจายก๊าซเป็นเวลานาน จากนั้นจึงหลุดจากการหมุนเวียนแล้วเคลื่อนตัวขึ้นส่วนบนของเบค



รูปที่ 3.3 แสดงสัดส่วนของฟอง cloud และ wake (สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ 2528)

3.1.10 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เบคเกิดฟลูอิดไดเซชัน

ขณะที่เม็ดของแข็งลอยตัวเป็นอิสระกล่าวได้ว่าสภาวะสมดุลของแรง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากของไหล หรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงดันของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงพวย (แรงเสียดทาน + แรงต้าน) = น้ำหนักของเม็ดของแข็ง

หรือ

$$(ความดันตกในพื้นที่ภาคตัดขวางของเบด) \times (พื้นที่ภาคตัดขวางของหอคดลอง) = (ปริมาตรของเบด) \times (ส่วนของของแข็งในเบด) \times (ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง)$$

ซึ่งเขียนใหม่ได้

$$\Delta p \cdot A = W = (A \times L_{mf}) (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g_c}{g} \quad (3.1)$$

$$\text{จัดรูปใหม่} \quad \frac{\Delta p}{L_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g_c}{g} \quad (3.2)$$

ปริมาณช่องว่างต่ำสุดในเบดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบดนี้เล็กน้อย ในขณะที่เบดยังอยู่ในลักษณะของค่าต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชันนั้น สมการของความดันตกยังสามารถเอามาประยุกต์ได้เมื่อแทนค่าความดันตกในสมการของ Ergun (1952) จะได้

$$\frac{1.75 (D_p U_{mf} \rho_g)^2}{\phi_s \epsilon_{mf}^3 \mu} + \frac{150 (1 - \epsilon_{mf}) (D_p U_{mf} \rho_g)}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^2 \mu} = \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g_c}{\mu^2} \quad (3.3)$$

ในกรณีที่ของแข็งภายในเบดมีขนาดเล็ก สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันได้ ดังนั้นความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชันสามารถคำนวณได้จาก

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s D_p)^2}{150} \frac{\rho_s - \rho_g}{\mu} \frac{g_c (\epsilon_{mf}^3)}{1 - \epsilon_{mf}} \quad \text{เมื่อ } Re < 20 \quad (3.4)$$

และหากของแข็งภายในเบดเป็นของแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้ความเร็วของของไหลสูงมากๆ จึงจะทำให้เม็ดของแข็งลอยเป็นอิสระได้นั้น ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันคำนวณได้จาก

$$U_{mf}^2 = \frac{\phi_s D_p}{1.75} \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_g} g_c \epsilon_{mf}^3 \quad \text{เมื่อ } Re > 1000 \quad (3.5)$$

บางครั้งการหาค่าของแฟคเตอร์รูปร่าง (ϕ_s) และค่าของสัดส่วนช่องว่างต่ำสุดนั้นทำได้ยากมาก จึงได้มีการหลีกเลี่ยงที่จะใช้ค่าทั้งสองนี้ โดยพยายามทำให้อยู่ในเทอมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง ซึ่ง WEN และ YU (1966) ได้เสนอผลคูณของช่องว่างต่ำสุดและแฟคเตอร์รูปร่างมีค่าคงที่ และอาจสังเกตได้จากการทดลองของเขาโดยใช้วัตถุนิตต่างๆ บรรจูลงในเบคแล้วสรุปว่าวัตถุอย่างหนึ่งก็จะมีสัดส่วนช่องว่างอันหนึ่ง

$$\mathcal{E}_{mf} = \left(\frac{0.071}{\phi_s} \right)^{1/3} \quad (3.6)$$

ดังนั้นสมการของ Ergun (1952) จึงเปลี่ยนไป และเบคที่มีเม็ดของแข็งขนาดเล็ก ความเร็วต่ำสุดคำนวณได้ใหม่เป็น

$$U_{mf}^2 = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho_f) g_c}{1650 \mu} \quad \text{เมื่อ } Re < 20 \quad (3.7)$$

และสำหรับเบคที่มีเม็ดของแข็งขนาดใหญ่ ความเร็วต่ำสุดคำนวณได้ใหม่เป็น

$$U_{mf}^2 = \frac{D_p (\rho_s - \rho_f) g_c}{24.5 \rho_f} \quad \text{เมื่อ } Re > 1000 \quad (3.8)$$

โดยค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ทำได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho_g U_{mf} d_p}{\mu} \quad (3.9)$$

เมื่อ Re คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน (ไม่มีหน่วย)

โดย U_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไลเซชัน, เมตร/วินาที

d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง, เมตร

g คือ อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก, เมตร/ชม²

Δp คือ ความดันต่างของเบค, นิวตัน/เมตร²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ	คือ ความหนืดของของไหล, กิโลกรัม-เมตร/วินาที
ρ_g	คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, กิโลกรัม/เมตร ³
ρ_s	คือ ความหนาแน่นของของแข็ง, กิโลกรัม/เมตร ³

3.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหยน้ำ โดยอาศัยความร้อนแฝงของการระเหย ซึ่งอาหารแห้งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณ 2-3 % ทำให้ลดค่า a_w ในอาหารได้น้อยลงด้วย จึงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และ activity ของเอนไซม์ได้

3.2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการอบแห้ง

กระบวนการการอบแห้งส่วนมากใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผลิตภัณฑ์และการถ่ายเทมวลความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ความร้อนจากอากาศที่ผลิตภัณฑ์ได้รับส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีชีวิต เช่น เมล็ดพืช ส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะรูพรุน เมื่อถูกทำให้แห้งในลักษณะของชั้นบางที่สภาวะอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศ) อัตราการระเหยของน้ำ หรือ อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะลดลง โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ จะสัมพันธ์กับสภาวะอากาศที่ใช้ในการอบแห้งในรูปของสมการอบแห้ง

3.2.2 พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วการลดความชื้นลงต่ำกว่า 10% จะเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และถ้าลดลงต่ำกว่า 5% ก็จะสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการและกลิ่นของอาหารไว้ได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จำเป็นจะต้องไปถึงพื้นฐานการอบแห้งเป็นอย่างดี

เพื่อประโยชน์ทางทฤษฎี นิยมแบ่งการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ที่ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ซึ่งที่ผิววัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น ที่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือน้ำ

และน้ำที่ผิวจึงระเหยไปในอากาศ เมื่อความชื้นลดต่ำลงมากแล้วน้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำระเหยไปยังอากาศ

3.2.3 จุดประสงค์ในการทำให้แห้ง

1. เพื่อต้องการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหาร เนื่องจากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรระเหยน้ำออกจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการขนส่ง การบรรจุและการขนส่งจะสะดวกและประหยัด

3.2.3.1 ประโยชน์ของการอบแห้ง

1. เพื่อถนอมอาหาร และเพิ่มอายุการเก็บรักษา
2. ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น
3. เพื่อลดปริมาณน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง

3.2.4 การถ่ายเทความร้อนและมวล

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ คือ

1. การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อน โมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียงสภาพนำความร้อนเป็นคุณสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุซึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน สภาพนำความร้อนของน้ำจะมีความมากกว่าค่าของวัสดุแห้งที่เป็นอาหาร ซึ่งจะเกิดกับอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง

2. การพาความร้อน จะเกิดกับอาหารที่เป็นของเหลว โดยกระแสความร้อนจะถูกพาผ่านช่องว่างที่เป็นอากาศหรือก๊าซจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง

3. การแผ่รังสี เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนไปยังอาหารซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบอาหารในสุญญากาศและการอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารที่นำไปอบแห้ง

3.2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พิจารณาเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการจาก 3 สมการ คือ

3.2.5.1 สมการของ Newton

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-k_1 t) \quad (3.10)$$

3.2.5.2 สมการของ Page

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-k_2 t^n) \quad (3.11)$$

3.2.5.3 สมการของ Henderson

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = a \cdot \exp(-k_3 t^n) \quad (3.12)$$

3.2.5.3 สมการของ Overhults

$$MR = \frac{M - M_e}{M_b - M_e} = \exp(-(kt)^n) \quad (3.13)$$

เมื่อค่า k_1, k_2, k_3, a และ n คือ ค่าคงที่ของสมการที่หาได้ในสมการของ Newton, Page และ Henderson ตามลำดับ

เมื่อ MR = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น
 M = ความชื้น (%db)
 M_e, M_o = ความชื้นสมดุล (%db), ความชื้นเริ่มต้น (%db)

โดยพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมต่ออัตราการแห้งจากค่า X^2 , RMSE และค่า R^2 สำหรับแบบจำลองที่เหมาะสมจะมีค่า X^2 , RMSE ที่ต่ำ และค่า R^2 สูง ซึ่งค่า X^2 , RMSE สามารถคำนวณได้จาก

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{per},i})}{N - 2} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สมบัติเชิงเรขาคณิตของวัสดุเกษตร

3.3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter, GMD)

หากวัสดุมีรูปร่างเป็นทรงกลมกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางได้เลย หากมีรูปร่างคล้ายทรงกลมหรือไม่เป็นทรงกลม สามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ซึ่งพิจารณาจากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (a) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a (b) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b (c) ดังรูปที่ 3.4 นั่นคือ a , b และ c ไม่จำเป็นต้องตัดกันที่จุดเดียวกัน การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ทำได้โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์หรือไมโครมิเตอร์แล้วนำมาคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$\text{GMD} = (abc)^{1/3} \quad (3.15)$$



รูปที่ 3.4 แสดงการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด a, b และ c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor, ϕ)

การบ่งชี้รูปร่างของวัสดุอาจจะระบุโดยแฟกเตอร์รูปร่าง เช่น ค่าความเป็นทรงกลม (Sphericity) นับเป็นแฟกเตอร์รูปร่างชนิดหนึ่ง ค่าความเป็นทรงกลมคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความเป็นทรงกลม} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด}} = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \quad (3.16)$$

3.3.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นรวม หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล โดยคำนวณจากมวลของวัสดุหารด้วยปริมาตรรวมของวัสดุ ซึ่งปริมาตรรวมนั้นรวมปริมาตรของช่องว่างระหว่างวัสดุเอง และวัสดุกับภาชนะที่บรรจุ

$$\text{Bulk Density} = \frac{\text{มวลของวัสดุ}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}} \quad (3.17)$$

3.4 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ การนำพาความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง โดยอาศัยตัวกลาง เช่น น้ำ หรืออากาศ เมื่อกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ ที่มีค่าความต้านทานสูงลวดตัวนำก็จะร้อนขึ้น ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์ (Heater) จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง

3.4.1 ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

1. ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)

ลักษณะการใช้งานทั่วไปของ Cartridge Heater คือ ใส่ไว้ในช่องบนของวัตถุ ความร้อนจะถูกส่งผ่านจากฮีตเตอร์ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน เหมาะสำหรับใช้ให้ความร้อนกับโมลโลหะหรือวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ เหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมประเภทงานบรรจุหีบห่อ งานฉีดพลาสติก เป็นต้น Cartridge Heater แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ High Density และ Low Density

2. ฮีตเตอร์ครีป (Finned Heater)

ฮีตเตอร์ครีปทำจาก Tubular Heater ที่ตัดเป็นรูปต่างๆ และเพิ่มแผ่นครีปม้วนติดกับท่อฮีตเตอร์อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกปลายด้านหนึ่ง ส่วนของแผ่นครีปที่เพิ่มขึ้นมาจะ

ทำให้ฮีตเตอร์สามารถถ่ายเทความร้อน ได้เร็วขึ้น เหมาะสำหรับใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ใช้ในเตาอบ ใช้กับเครื่องปรับอากาศ และใช้ในท่อ DUCT เป็นต้น การติดตั้งสามารถทำได้สองวิธีคือ ติดตั้งแบบให้ความร้อนโดยตรง และแบบส่งผ่านความร้อนจากห้องเผาไปยังห้องอบโดยใช้ลมร้อน ไม่สามารถถ่ายเทได้ ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียน ควรเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำฮีตเตอร์เป็นอิน โคลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อน ได้ดีและทนอุณหภูมิได้สูงกว่าชนิดอื่น

3. ฮีตเตอร์แบบจุ่ม สำหรับของเหลว (Immerstion Heater)

Immerstion Heater ทำจาก Tubular Heater ที่ตัดเป็นรูปตัวยูและเชื่อมติดกับเกลียวซึ่งขนาดเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีตเตอร์ ซึ่งมีตั้งแต่ 1U, 2U, 3U และ 6U ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์และความยาวของตัวฮีตเตอร์ เหมาะสำหรับใช้กับของเหลวทุกชนิด เช่น คัมน์น้ำ หรืออุณหภูมิ น้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไป ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลวเนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไปทำให้อายุการใช้งานสั้นและเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวทั่วถึงควรติดตั้งใบพัดคววนของเหลวด้วย

4. ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี (เหมือนกับที่ดวงอาทิตย์ส่งความร้อนมายังโลก) จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30 – 50% สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1 – 10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพา และการนำความร้อนจะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิวแล้วค่อยๆ ซึมเข้าไปเนื้อในจึงใช้เวลานาน) มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบต่างๆ ไปทำให้ประหยัดเนื้อที่การติดตั้งและการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงก็ง่าย มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูงไฟไม่รั่ว รังสีช่วง 3 – 10 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น ออบพลาสติก ให้อ่อนตัวก่อนนำไปเข้าเครื่องเป่า ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ออบขนมปัง และเบเกอรี่ ใช้ในวงการแพทย์ เช่น การอบฆ่าเชื้อ และห้องอบเด็กทารก ใช้กับอุตสาหกรรมเคลือบผิวต่างๆ เช่น เคลือบสีผิว เซรามิก และมีรามีน เป็นต้น ข้อควรระวังคือ การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ตัววัตถุจะดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้น วัตถุบางชนิดที่ผิวมันวาวหรือมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี จะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้ และถ้าหากต้องการควบคุมอุณหภูมิพยายามวางหัววัตถุอุณหภูมิให้ใกล้วัตถุมากที่สุดหรือใช้หัววัตถุอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

5. ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)

ได้ออกแบบให้ใช้สำหรับของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจากแผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบนจึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาด 25 มิลลิเมตร หรืออาจใหญ่ถึง 600 มิลลิเมตร ก็ได้ ส่วนความกว้างอยู่

ระหว่าง 20 – 300 มิลลิเมตร ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลสเหมาะสำหรับให้ความร้อนกับเครื่องฉีดพลาสติก เป็นต้น

6. ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater)

โครงสร้างจะเป็นแบบเดียวกับฮีตเตอร์รัดท่อ แต่รูปทรงจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหมาะสำหรับใช้ให้ความร้อนแนบกับวัตถุโดยตรง เช่น ให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ เป็นต้น

7. ฮีตเตอร์บอบบิ้น (Bobbin Heater)

ใช้ทำความร้อนงานที่มีลักษณะเป็นของเหลวต่างๆ เช่น งานต้มหรืออุ่นน้ำมัน น้ำ หรือ สารเคมีต่างๆ สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ปลอกฮีตเตอร์สามารถเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานมีให้เลือกทั้ง สแตนเลส 304 สแตนเลส 316 และควอทซ์ โดยแบบสแตนเลสมีข้อดีคือ เมื่อฮีตเตอร์เสียสามารถซ่อมได้และแบบควอทซ์ใช้สำหรับงานชุบโดยใช้ไฟฟ้า แช่ในกรดหรือสาละลาย

3.4.2 การคำนวณหาขนาด heater

จาก

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (\text{kW}) \tag{3.18}$$

หา \dot{m} (air mass flow rate)

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p} \quad (\text{kJ/kg}) \tag{3.19}$$

หา Q จาก

$$Q = [C_o A_o \sqrt{\frac{2g(\rho_m)}{1-(D_o-D_1)^4}}] \times Y \times \sqrt{\Delta h} \tag{3.20}$$

โดย C_p = Specific heat

3.4.2 วิธีการยืดอายุการใช้งานของฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสม สามารถมีอายุการใช้งานเป็นปีๆ แต่บ่อยครั้งที่เราพบปัญหาอายุการใช้งานของฮีตเตอร์ที่สั้นผิดปกติ ปัญหาอาจเกิดขึ้นจากทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ แต่บางครั้งเราสามารถยืดอายุการใช้งานของฮีตเตอร์เพียงปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้

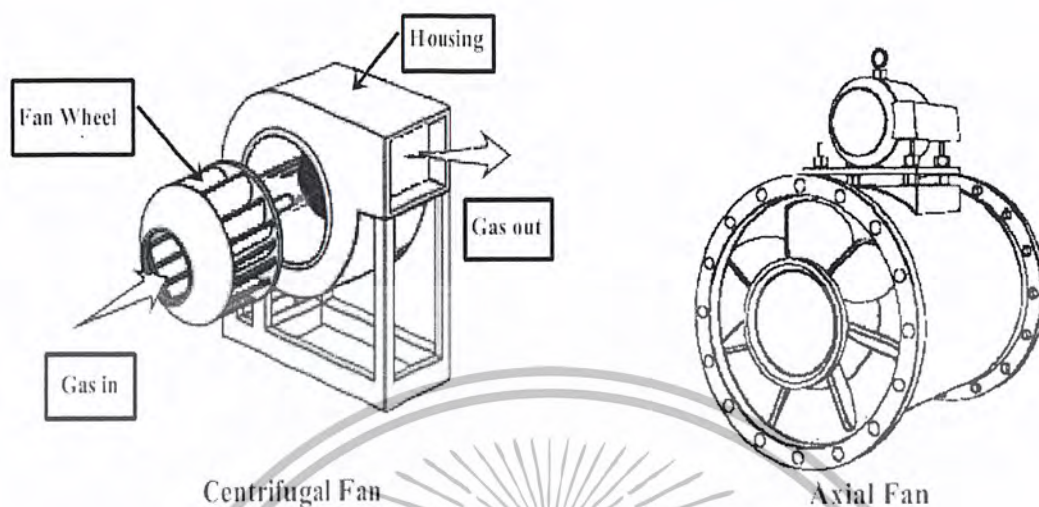
1. ใช้งานตามค่ากำหนดของฮีตเตอร์ เช่น การจ่ายไฟให้ฮีตเตอร์ควรตรงตามค่าแรงดันไฟที่ระบุไว้
2. หากในชุดฮีตเตอร์มีเส้นฮีตเตอร์มากกว่า 1 เส้นขึ้นไป ควรตรวจสอบการต่อขั้วไฟหรือการต่อสะพานไฟของฮีตเตอร์ให้ถูกต้อง การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการต่อสะพานไฟ เช่น เปลี่ยนจากการต่อแบบสตาร์ (Y) เป็นเดลต้า อาจส่งผลให้ชุดฮีตเตอร์ทำงานเกินขีดจำกัดของตัวเองได้
3. ดูแลรักษาขั้วไฟของฮีตเตอร์ให้สะอาดอยู่เสมอ
4. ฮีตเตอร์แต่ละชนิดมีความแตกต่างในสถานะการใช้งาน เช่น ฮีตเตอร์บางชนิดควรใช้ในอากาศ หรือบางชนิดควรใช้ในของเหลว เพราะฉะนั้นไม่ควรสลับเปลี่ยนสถานะการใช้งานของฮีตเตอร์
5. ต่อเนื่องจากข้อที่ 4 หากฮีตเตอร์ทำงานอยู่ในสถานะใด ควรคงสภาพนั้นให้ต่อเนื่องที่สุด เช่น หากใช้งานในอากาศต้องมีลมถ่ายเทออกอยู่ตลอดเวลาหรือใช้งานในของเหลวก็ไม่ควรปล่อยให้ของเหลวแห้งขอด เพราะหลักการทำงานของฮีตเตอร์คือ การนำพาความร้อนจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง โดยอาศัยตัวกลาง เช่น น้ำ หรือ อากาศ
6. หากมีตัวควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เป็นปกติ มิฉะนั้นหากตัวควบคุมอุณหภูมิเสีย จะทำให้ฮีตเตอร์ทำงานหนักเกินขีดจำกัด
7. บ่อยครั้งที่ตัวฮีตเตอร์มีคราบสกปรก หรือมีตะกอนเกาะอยู่ ทำให้ความร้อนถ่ายเทออกจากฮีตเตอร์ไม่ดี เมื่อมีความร้อนสะสมที่จุดนั้น อาจทำให้ตัวฮีตเตอร์เสียหาย เช่น มีรอยร้าว แตกปริ ส่งผลให้ลดความร้อนที่อยู่ภายในขาคันที่สุด
8. หากเป็นฮีตเตอร์ที่ตัวฮีตเตอร์ต้องแนบติดกับชิ้นงานหรือใส่ลงไปในช่วงชิ้นงานควรเลือกฮีตเตอร์ให้มีขนาดเหมาะสม และแนบกับชิ้นงานให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปแล้วความร้อนจะถ่ายเทได้ดีที่สุดกับของแข็ง ตามด้วยของเหลวและอากาศ หากมีช่องว่างระหว่างฮีตเตอร์กับชิ้นงานมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนลดลง

3.5 พัดลม (Fans)

ในระบบการอบแห้งพัดลมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อทำหน้าที่พัดพาความร้อนเข้ากองเมล็ดพืช รวมทั้งใช้ในระบอบระบายอากาศ การทำความร้อน การทำความเย็นและการขนถ่ายวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ผู้ออกแบบระบบต้องพิจารณาในการเลือกนอกจากขนาดและชนิดแล้ว ราคาของพัดลมก็มีส่วนอย่างมาก



รูปที่ 3.5 ประเภทของพัดลม

พัดลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท จากรูปที่ 3.4 ดังนี้

1. พัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Fan) พัดลมประเภทนี้จะทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดให้ปะทะกับมวลของอากาศ ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวรัศมีของใบพัดได้ โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานจลน์และความดันสถิตย์ได้ในที่สุดซึ่งจากลักษณะดังกล่าวนี้เอง ทำให้พัดลมประเภทนี้สามารถใช้งานได้ดีในระบบที่ต้องการความดันสถิตย์สูงๆ โดยทั่วไปพัดลมประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3.5

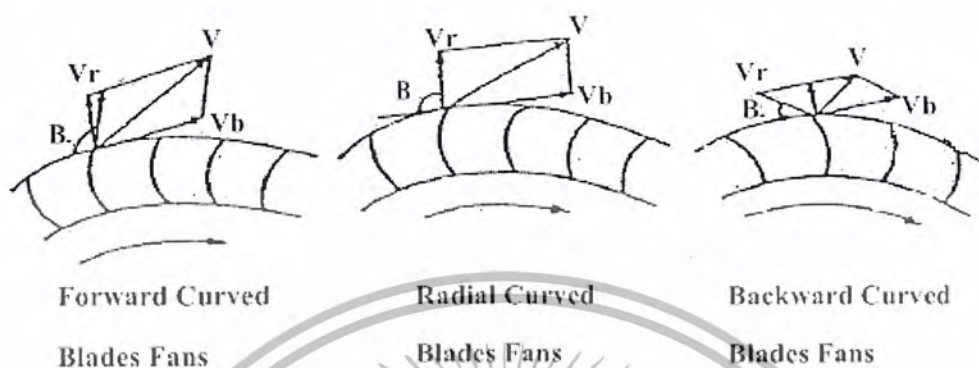
1.1 ใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved Blade Fans) ลักษณะใบพัดโค้งไปข้างหน้าตามทิศทางการหมุนของใบพัดและมุมใบพัดมากกว่า 90 องศา จำนวนใบพัดมากสามารถผลิตลมได้ในปริมาณมากขณะที่ความดันสถิตย์ของระบบมีค่าต่ำ มีราคาที่ถูก ช่วงการใช้งานกว้าง ต้นทุนค่าดำเนินการต่ำ (เพลลาและแบร์ริงมีขนาดเล็ก) ไม่เหมาะสำหรับใช้งานในระบบที่มีค่าความดันสถิตย์สูงเกินไป มอเตอร์เกิดการ Overload ได้ง่ายเมื่อความดันสถิตย์ในระบบต่ำเกินไป การใช้งานเหมาะกับลมที่สะอาดไม่มีฝุ่น

1.2 ใบพัดตรง (Radial Bladed Fans) ลักษณะใบพัดตรงออกจากแกน จำนวนใบพัดน้อยสามารถผลิตลมได้ในปริมาณน้อยขณะที่ความดันสถิตย์ของระบบมีค่าสูง ไม่เกิดการ Surge ขณะใช้งาน ขนาดแรงม้าของพัดลมเป็นสัดส่วนเชิงเส้นโดยตรงกับปริมาณลม แต่มีราคาที่สูง ประสิทธิภาพการใช้งานก็ต่ำ การใช้งานเหมาะกับลมที่มีฝุ่นผง

1.3 ใบพัดโค้งหลัง (Blackward Curved Blade Fans) ลักษณะใบพัดโค้งเอียงไปทิศตรงข้ามกับการหมุน มุม B มากกว่า 90 องศา ทำงานที่ความเร็วรอบได้สูงกว่าแบบ Forward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curved Blade Fans และมีประสิทธิภาพสูงกว่าด้วย เหมาะสำหรับระบบที่มีค่าความดันสถิตสูงกว่าแบบ Forward Curved Blade Fans และไม่มี Overload เหมือนแบบ Forward Curved Blade Fans อีกด้วย พัดลมแบบนี้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 3.6 ใบพัดโค้งหน้า ใบพัดตรงและใบพัดโค้งหลัง ตามลำดับ

2. พัดลมไหลตามแกน (Axial Flow Fans) สำหรับพัดลมประเภทนี้โดยลักษณะแล้วจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานดีกว่าแบบแรงเหวี่ยง แต่อย่างไรก็ตามสำหรับระบบปรับอากาศส่วนใหญ่ก็ยังนิยมใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูกและติดตั้งใช้งานง่ายกว่า ลักษณะการทำงานคือ ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ได้ในทิศทางตามแนวแกนของพัดลมด้วยการเพิ่มความเร็วของอากาศจากการหมุนของใบพัด และเหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาช่วย ด้วยลักษณะดังกล่าวนี้เองทำให้ความดันสถิตยที่ได้จากพัดลมประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าแบบแรงเหวี่ยงที่ปริมาณลมเท่าๆ กัน โดยพัดลมประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

2.1 Propeller พัดลมชนิดนี้สามารถผลิตลมได้ในปริมาณมาก โดยที่ความดันสถิตยของระบบมีค่าต่ำ นิยมใช้ในงานที่ไม่ต้องมีระบบท่อส่งลม มีราคาถูกและขนาดเล็ก แต่ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ การเพิ่มความดันสถิตยของระบบแม้เพียงเล็กน้อยจะทำให้ปริมาณลมที่จ่ายออกมาลดลงอย่างมาก

2.2 Tube Axial ใช้กับงานที่มีท่อส่งลม ใช้งานที่ความดันสถิตยของระบบปานกลาง มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าแบบ Propeller ลักษณะของลมที่จ่ายออกมาจะเป็นเกลียวและปั่นป่วน ทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในท่อส่ง และระบบค่อนข้างสูง

2.3 Vane Axial ลักษณะเหมือน Tube Axial เพียงแต่มีการติดตั้งใบนำทางลมเพิ่มเติมเข้ามา ใช้งานที่ความดันสถิตยของระบบสูง มีขนาดเล็ก สามารถปรับตั้งระยะ Pitch ของ

ใบพัดได้ เพื่อปรับเปลี่ยนปริมาณลมที่จ่ายออกมาได้ตามต้องการ ประสิทธิภาพการใช้งานจะลดลง สัมพันธ์กับความดันสถิตย์ของระบบที่มากขึ้น

3.5.1 สมรรถนะของพัดลม (Fan Performance)

คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับพัดลมมีดังนี้

ความดันลมทั้งหมดของพัดลม (Fan total pressure) P_t คือความดันแตกต่างระหว่างความดันที่ปากทางออกกับปากทางเข้าพัดลม

ความดันลมสถิตย์ของพัดลม (Fan static pressure) P_s คือความดันแตกต่างระหว่างความดันลมทั้งหมดกับความดันลมเนื่องจากความเร็ว

ความดันเนื่องจากความเร็วของพัดลม (Fan velocity pressure) คือความดันที่เกิดเนื่องจากความเร็วเฉลี่ยที่ปากทางออกจากพัดลม

กำลังลม (Air Power) W คือกำลังงานที่ใช้ในการพัดพาลมให้เคลื่อนที่หาได้จากสมการ

$$\text{กำลังลม} = \text{ความดัน} \times \text{ปริมาณลม}$$

$$W = P \text{ (Pa)} \times Q \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3.21)$$

ประสิทธิภาพของพัดลม (Fan Efficiency) คือ อัตราส่วนของกำลังงานที่ออกจากพัดลมต่อ กำลังงานที่ให้กับพัดลม โดยทั่วไป ค่าประสิทธิภาพมักแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพัดลม} = \frac{\text{กำลังลม}}{\text{กำลังงานที่ให้กับพัดลม}} \times 100 \quad (3.22)$$

3.5.2 กฎของพัดลม (Fan Laws)

การทำงานของพัดลมทุกประเภทจะเป็นไปตามกฎทางฟิสิกส์ที่เราเรียกว่า กฎของพัดลม (Fan Laws) ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของพัดลม ได้แก่ ความเร็วรอบ ความดันสถิตย์ อัตราการไหลของลม และแรงม้าของพัดลม โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตัวหนึ่งที่มีต่อตัวแปรตัวอื่นๆ ที่เหลือว่าจะเปลี่ยนไปอย่างไร โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกฎของพัดลมนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะคือ

อัตราการไหลของลม	\propto	ความเร็วรอบ
ความดันสถิตย์	\propto	(ความเร็วรอบ) ²
แรงม้าของพัดลม	\propto	(ความเร็วรอบ) ³

หากกำหนดให้พัดลมมีขนาดใบพัดเท่ากัน และให้ความหนาแน่นของอากาศมีค่าคงที่แล้วจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของลมและความเร็วรอบที่สภาวะต่าง ๆ กันเป็นดังนี้

$$\frac{CFM_1}{CFM_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2} \quad (3.23)$$

โดยที่ CFM_1 = อัตราการไหลของลมที่สภาวะเริ่มต้น

CFM_2 = อัตราการไหลของลมที่สภาวะสุดท้าย

RPM_1 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะเริ่มต้น

RPM_2 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะสุดท้าย

จากสมการที่ 3.23 แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการเพิ่มอัตราการไหลของลมให้สูงขึ้นเราสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมได้โดยตรงในสัดส่วนเดียวกัน ขณะเดียวกันผลที่ได้ตามมาก็คือเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความดันสถิตยของระบบและแรงม้าของพัดลมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

2. ความสัมพันธ์ของความดันสถิตยของระบบและความเร็วรอบที่สภาวะต่าง ๆ กันเป็นดังนี้

$$\frac{SP_1}{SP_2} = \left[\frac{RPM_1}{RPM_2} \right]^2 \quad (3.24)$$

โดยที่ SP_1 = ความดันสถิตยของระบบที่สภาวะเริ่มต้น

SP_2 = ความดันสถิตยของระบบที่สภาวะสุดท้าย

RPM_1 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะเริ่มต้น

RPM_2 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะสุดท้าย

3. ความสัมพันธ์ของแรงม้าของพัดลมและความเร็วรอบที่สภาวะต่าง ๆ กันเป็นดังนี้

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left[\frac{RPM_1}{RPM_2} \right]^3 \quad (3.25)$$

โดยที่ BHP_1 = แรงม้าของพัดลมที่สภาวะเริ่มต้น

BHP_2 = แรงม้าของพัดลมที่สภาวะสุดท้าย

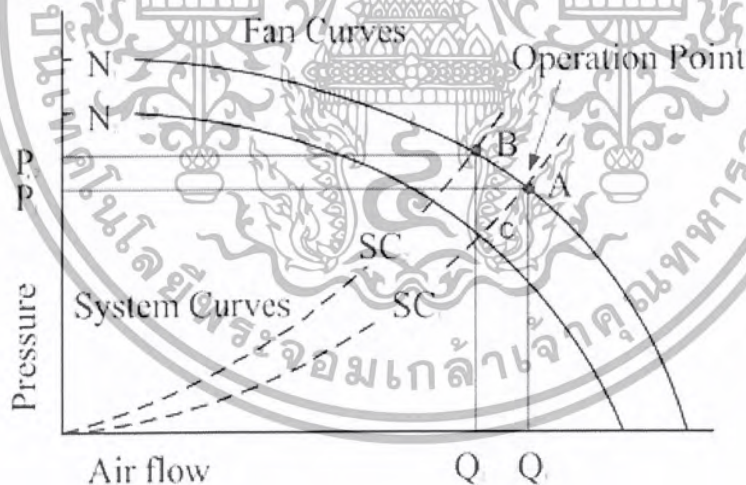
RPM_1 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะเริ่มต้น

RPM_2 = ความเร็วรอบของพัดลมที่สภาวะสุดท้าย

จากสมการที่ 3.24 และ 3.25 แสดงให้เห็นว่าถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ความดันสถิตยในระบบ และแรงม้าของพัดลมเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสัดส่วนยกกำลังสอง และกำลังสามตามลำดับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งหากเราต้องการเพิ่มปริมาณลมโดยการปรับเพิ่มความเร็ว ควรจะต้องตรวจสอบด้วยว่า มอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลมนั้นมีการเผื่อขนาดไว้เพื่อรองรับด้วยหรือไม่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินพิกัดมอเตอร์ (Overloaded Current)

3.5.3 กราฟสมรรถนะการทำงานของพัดลม (Fan Curve)

กราฟสมรรถนะของพัดลมจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสถิตยของระบบ ประสิทธิภาพของพัดลม แรงม้าพัดลมและอัตราการไหลของลมที่ทำได้โดยปกติลักษณะของกราฟนี้จะมีลักษณะและรายละเอียดที่เฉพาะสำหรับพัดลมแต่ละตัวตามรุ่น ชนิด ขนาดใบพัด และผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ความดันสถิตยของระบบจะแทนด้วยเส้นกราฟของระบบ (System Curve) ค่าความดันในระบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณลมที่จ่ายออกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และพัดลมจะต้องทำงานที่อัตราการไหลค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดความดันทางด้านจ่ายของพัดลมเท่ากับ ความดันสถิตยของระบบตามเส้นกราฟสมรรถนะการทำงานของพัดลม (Fan Curve) โดยจุดตัดของเส้นกราฟทั้งสองนี้เราเรียกว่าจุดทำงานของพัดลม (Operating Point) นั่นเอง



รูปที่ 3.7 ลักษณะกราฟของระบบการทำงานของพัดลม (System Curve)

3.5.4 เสียงและการป้องกันการสั่นสะเทือนของพัดลม

1. เสียงของพัดลมขึ้นอยู่กับการออกแบบพัดลม อัตราการไหลเชิงปริมาตร ความดันทั้งหมดและประสิทธิภาพ
2. ช่วงของการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับพัดลมแต่ละชนิดมักจะเป็นช่วงการทำงานที่เงียบที่สุดของพัดลมด้วยความเร็วต่ำบริเวณขาออกไม่แน่นเสมอไปที่จะให้การทำงานที่เงียบ
3. พื้นฐานที่ถูกต้องในการเปรียบเทียบก็คือ ระดับกำลังเสียงที่แท้จริง (Sound Power Levels) ที่เกิดขึ้นจากพัดลมหลายๆ ชนิด เมื่อพัดลมเหล่านั้นมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรและความดันทั้งหมดที่เท่ากัน
4. การป้องกันการสั่นสะเทือนของพัดลมที่ต่อท่อลมในระบบปรับอากาศ จะกระทำโดยการติดตั้งผ้าใบหรือวัสดุยืดหยุ่นอื่นๆ ระหว่างพัดลมกับท่อลม
5. การติดตั้งพัดลมต้องมีแท่นเครื่องเพื่อป้องกันการส่งผ่านการสั่นสะเทือนจากพื้นไปยังโครงสร้างของอาคาร

3.5.5 การเลือกพัดลม

1. การเลือกพัดลมจะขึ้นอยู่กับค่าความดันรวมซึ่งรวมถึงความดันสูญเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ
2. โดยทั่วไปเราสามารถเลือกพัดลมได้หลายๆ ขนาดสำหรับจุดทำงานของพัดลมที่ต้องการ ณ จุดเดียวกัน
3. ถ้าพัดลมที่เลือกมีขนาดเล็ก จุดทำงานจะอยู่เลยไปทางขวาของจุดทำงานที่เหมาะสมส่งผลให้พัดลมนั้นทำงาน ณ จุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ
4. ถ้าเราเลือกพัดลมที่มีขนาดใหญ่ จุดทำงานจะอยู่ไกลไปทางซ้ายของแผนภูมิสมรรถนะพัดลมจะทำงาน ณ จุดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า
5. ถ้าเรามองที่จุดนี้ จะเห็นว่าต้นทุนที่สูงกว่าของพัดลมที่มีขนาดใหญ่กว่าจะถูกหักลบโดยค่าดำเนินงานของพัดลมที่ต่ำกว่านั่นเอง

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้าง

4.1 การทดลองเบื้องต้น

ในการออกแบบ และสร้างเครื่องอบพริกแห้งแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการทดลองเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบ โดยได้ทำการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง และหาความเร็วเบื้องต้นในการเกิดฟลูอิดไดเซชันของพริกแห้งโดยใช้ชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันที่น้ำหนักและรูตะแกรงแบบต่าง ๆ เพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดดังนี้

การทดลองที่ 4.1.1

การหาคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง

จุดประสงค์

: เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความเป็นทรงกลม ความหนาแน่นรวม และความชื้นของพริกแห้งก่อนกระบวนการอบแห้ง

อุปกรณ์

1. พริกแห้ง
2. เวอร์เนียคาลิเปอร์
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
4. ตู้อบลมร้อนแบบ (OVEN)
5. ภาชนะทรงกระบอกที่ทราบปริมาตรแน่นอน

ความชื้น (Moisture) หาความชื้นของพริกแห้งโดยทำการชั่งน้ำหนักพริกแห้ง ปริมาณ 3 กรัม จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักพริกแห้งหลังจากออกจากตู้อบ

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักก่อนและหลังอบของพริกแห้ง

น้ำหนักพริกก่อนอบ(g)	น้ำหนักพริกหลังอบ (g)
3.031	2.643
3.087	2.687
3.188	2.784
น้ำหนักเฉลี่ยก่อนอบ	น้ำหนักเฉลี่ยหลังอบ
3.102	2.704

การคำนวณหาปริมาณความชื้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้น} &= \frac{(\text{น้ำหนักพริกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักพริกหลังอบ})}{\text{น้ำหนักพริกก่อนอบ}} \times 100 \\ &= \frac{(3.1022 - 2.704)}{3.1022} \times 100 \\ &= 12.83 \% \end{aligned} \quad (4.1)$$

ขนาด (size) พริกเป็นวัสดุที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต นิยมบอกขนาดด้วยค่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต(GMD) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

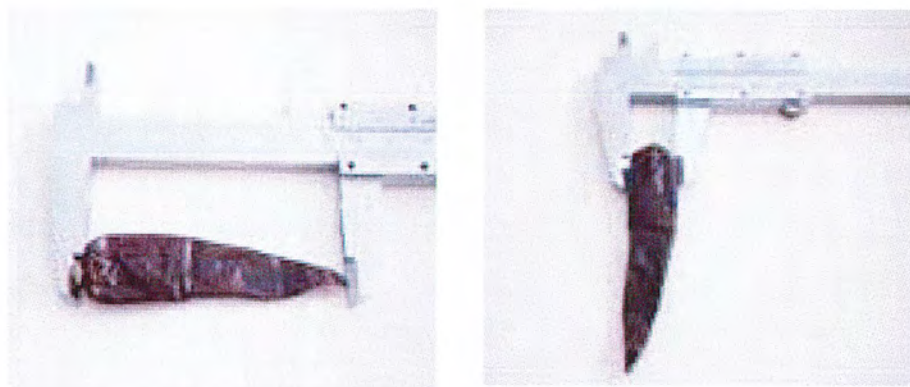
$$GMD = (abc)^{1/3} \quad (4.2)$$

โดยที่ a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด

b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a

c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b

ทำการวัดขนาดเมล็ดพริกแห้งจำนวน 100 เมล็ด โดยวัดค่าความกว้าง ความยาว และความหนา โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ในการวัด ซึ่งข้อมูลสามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ก. ตาราง ก-1



(a)

(b)

(c)

รูปที่ 4.1 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้าน a, b และ c

ความเป็นทรงกลม (Sphericity) เป็นการพิจารณาในรูปแบบ 3 มิติ เป็นค่าที่ใช้บอกความใกล้เคียงกับความเป็นทรงกลมของวัสดุซึ่งวัสดุที่เป็นทรงกลมสมบูรณ์มีค่าความกลมเท่ากับ 1 สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเป็นทรงกลม} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด}} = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \quad (4.2)$$

การหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) โดยการเทพริกแห้งลงในกระบอกที่ทราบปริมาตรที่แน่นอนแล้วทำการปาดบริเวณผิวหน้าในส่วนที่ล้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนักจำนวน 3 ช้ำ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล} = \frac{\text{มวลของวัสดุ}}{\text{ปริมาตรของวัสดุ}} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาตรกระป๋อง

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางกระป๋อง} = 0.105 \text{ เมตร}$$

$$\text{กระป๋องสูง} = 0.108 \text{ เมตร}$$

สามารถคำนวณได้จาก

$$\pi \times D \times L$$

(4.4)

$$= 3.14 \times 0.105 \times 0.108$$

$$= 9.338 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

ความหนาแน่นรวม

$$= \frac{0.08531}{9.338 \times 10^{-4}}$$

$$= 91.36 \text{ kg/m}^3$$



รูปที่ 4.2 Bulk Density

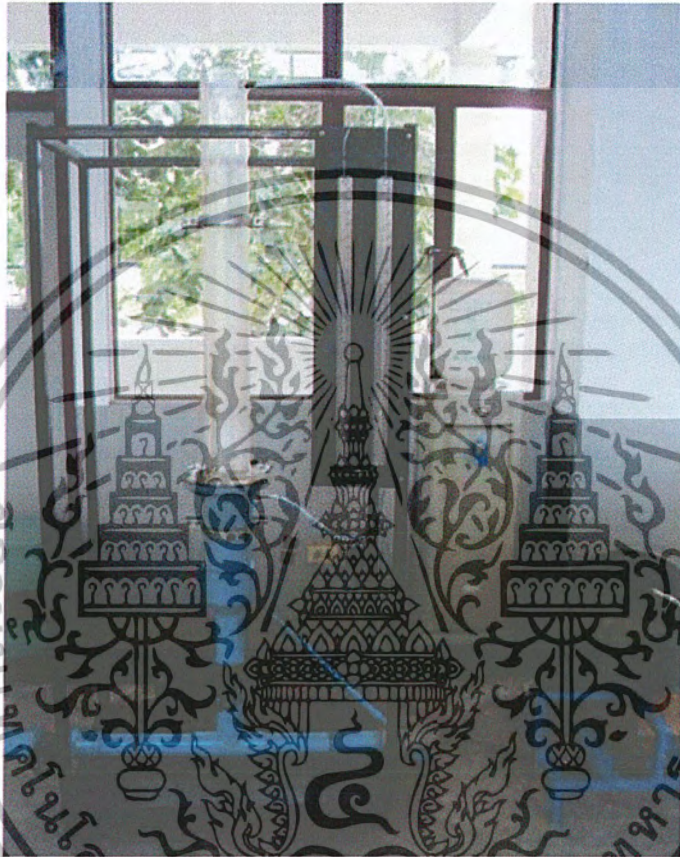
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง 4.1.2

การหาความเร็วเบื้องต้นในการเกิดฟลูอิดไดเซชันของพริกแห้ง

จุดประสงค์

เพื่อทำการศึกษาหาความเร็วเริ่มต้นของพริกแห้งที่เกิดการฟลูอิดไดเซชัน โดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดรูตะแกรงต่างกัน



รูปที่ 4.3 ชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดซ์เซชัน ประกอบด้วย
 - คอลัมน์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm
 - แผ่นกระจายอากาศ ขนาดรูตะแกรงต่างกัน
- แบบที่ 1 ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %
 แบบที่ 2 ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%
 แบบที่ 3 ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %
 แบบที่ 4 ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

2. เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เวอร์เนียคาลิเปอร์
5. เม็ดพลาสติก
6. ฟริกแห้ง

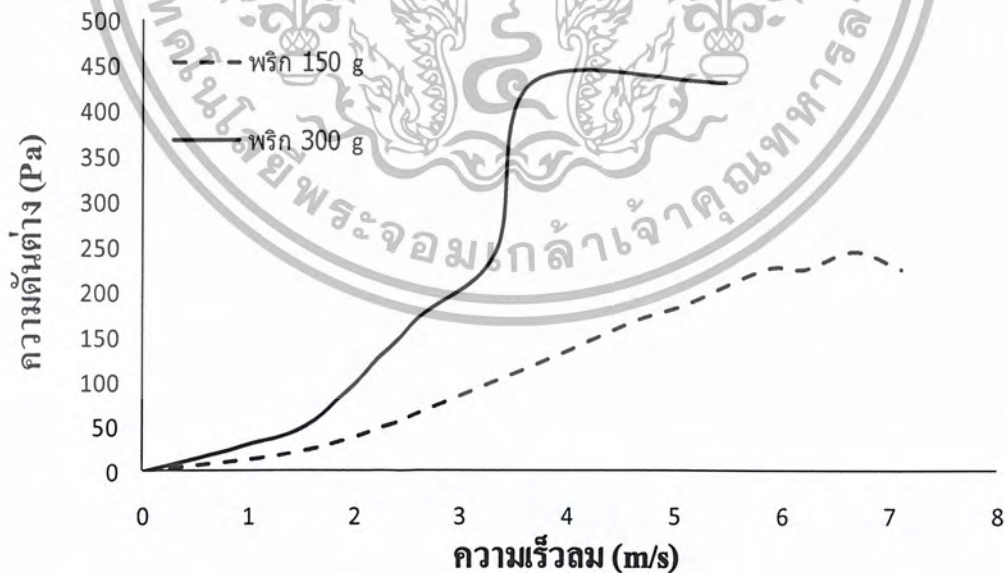


รูปที่ 4.4 แผ่นกระจายอากาศ ขนาดรูตะแกรงต่างกัน

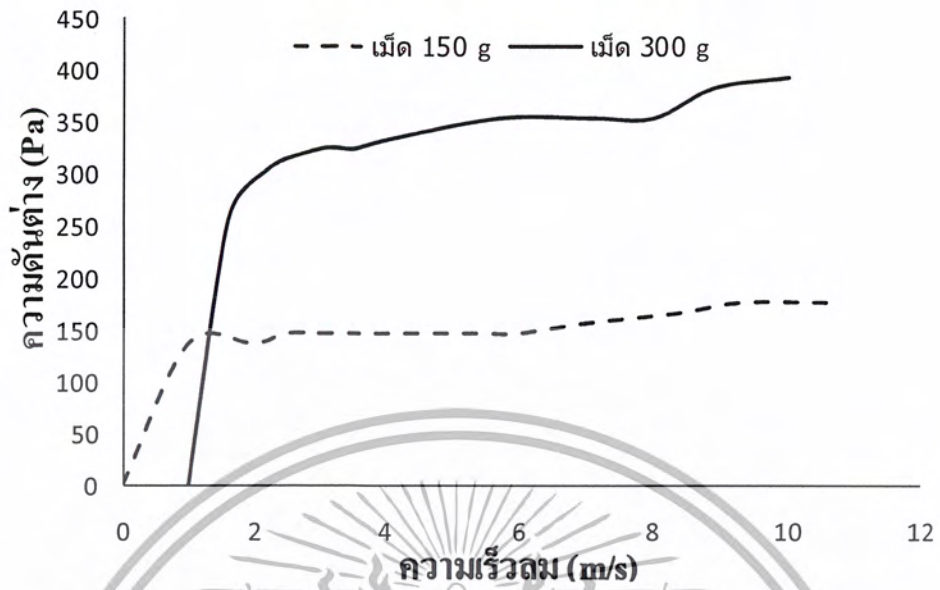
ขั้นตอนการทดลอง

1. ใ้ฟริกปริมาณ 50 กรัม ลงในเบด ของตะแกรงแบบที่ 1 พร้อมทั้งบันทึกค่าความสูงเริ่มต้นของฟริกที่อยู่ในเบด
2. ทำการปรับความเร็วลมโดยการเปิดปิดวาล์ว
 - อ่านและบันทึกค่าความสูงของฟริกในเบด
 - สังเกตและทำการบันทึกค่าความดันลม ที่ manometer
 - สังเกตและบันทึกค่าความเร็วลมที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลม
3. ปรับความเร็วลมที่ไหลผ่านเบดให้สูงขึ้นแล้วสังเกตการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของฟริกแห้ง ที่ปริมาณต่างๆ ดังนี้ ฟริกปริมาณ 50 ,100,150,200 และ 250 กรัม
4. เมื่อฟริกลอยออกนอกเบดให้ทำการเปลี่ยนแบบรูตะแกรง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 1 ใหม่จนครบจำนวนแบบรูตะแกรง
5. ทำการทดลองเปรียบเทียบการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันระหว่างฟริกแห้งกับเม็ดพลาสติก ที่ปริมาณ 150 และ 300 กรัม

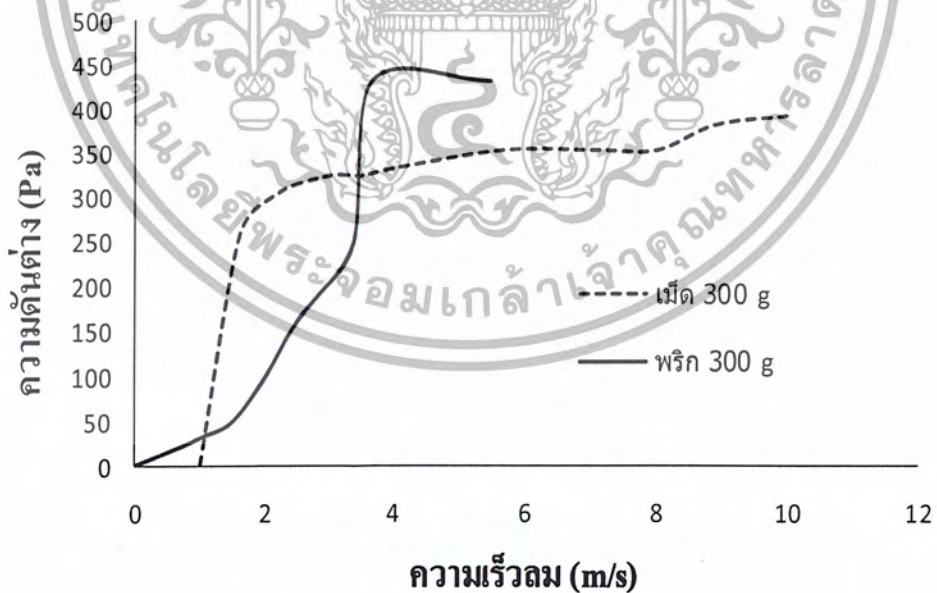
สรุปผลการทดลอง



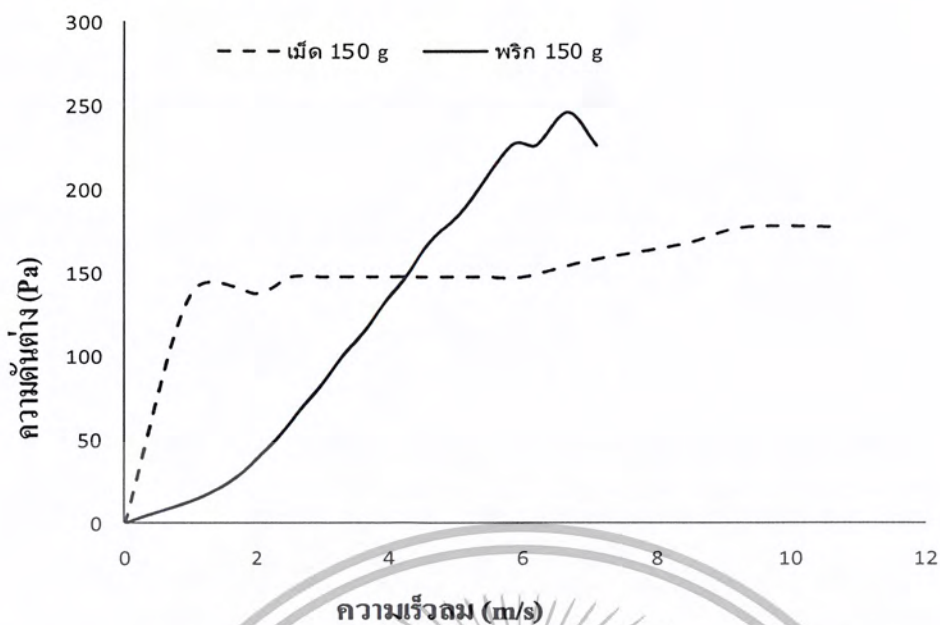
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันตกต่างภายในเบด ของฟริกแห้ง ที่ น้ำหนัก 150 และ 300 กรัม



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของเม็ดพลาสติกที่น้ำหนัก 150 และ 300 กรัม



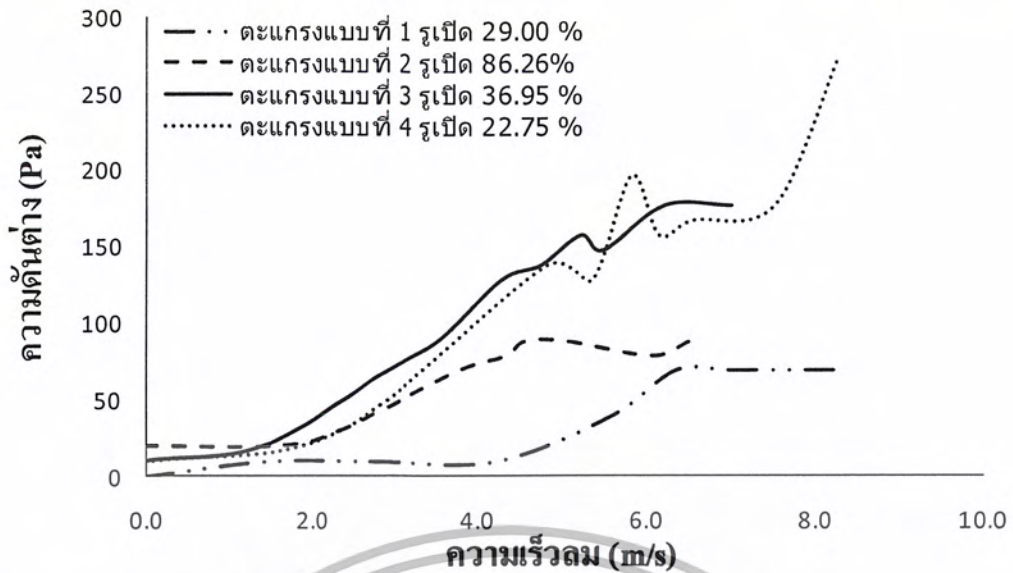
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดของเม็ดพลาสติกและพริกแห้งที่น้ำหนัก 300 กรัม



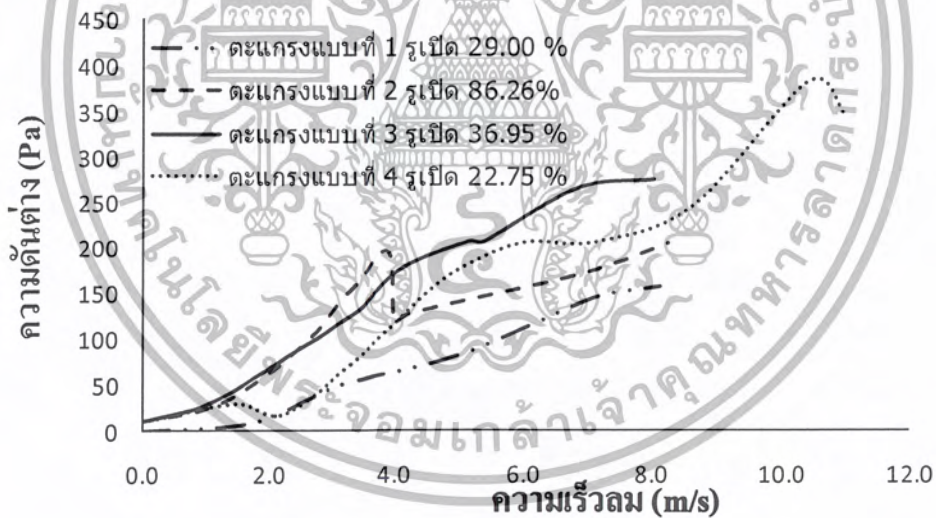
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด ของเม็ดพลาสติกและพริกแห้ง ที่ น้ำหนัก 150 กรัม

จากผลการทดลองพบว่า

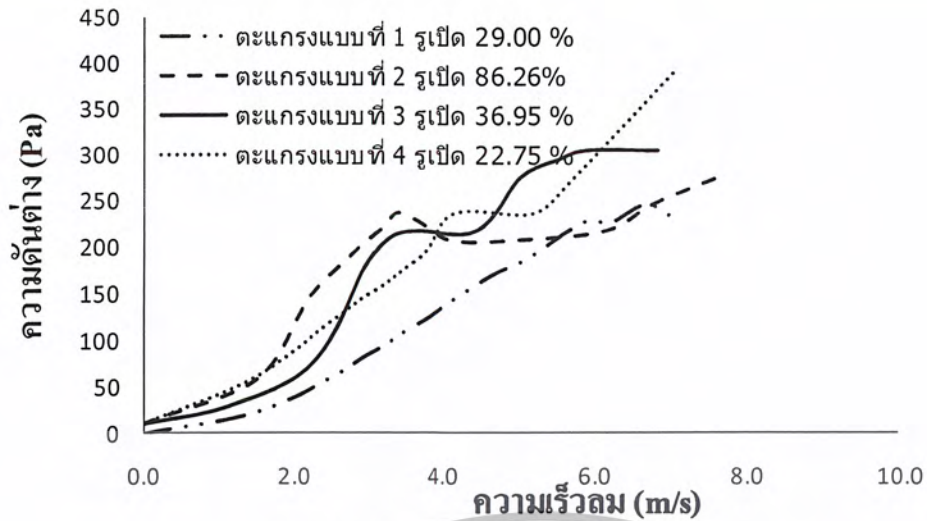
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เกิดฟลูอิดไดเซชันระหว่างเม็ดพลาสติก กับพริกแห้งแสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.8 โดยการใช้การลอยตัวของเม็ดพลาสติกเป็นแบบอ้างอิงถึงการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน พบว่าพริกแห้งเกิดการลอยตัวแบบฟลูอิดไดเซชันน้อยกว่า และความดันที่เกิดขึ้นไม่คงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาด รูปร่าง รูปทรงที่ไม่สม่ำเสมอ และไม่คงที่เหมือนเม็ดพลาสติก ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก-42 ถึง ก-45



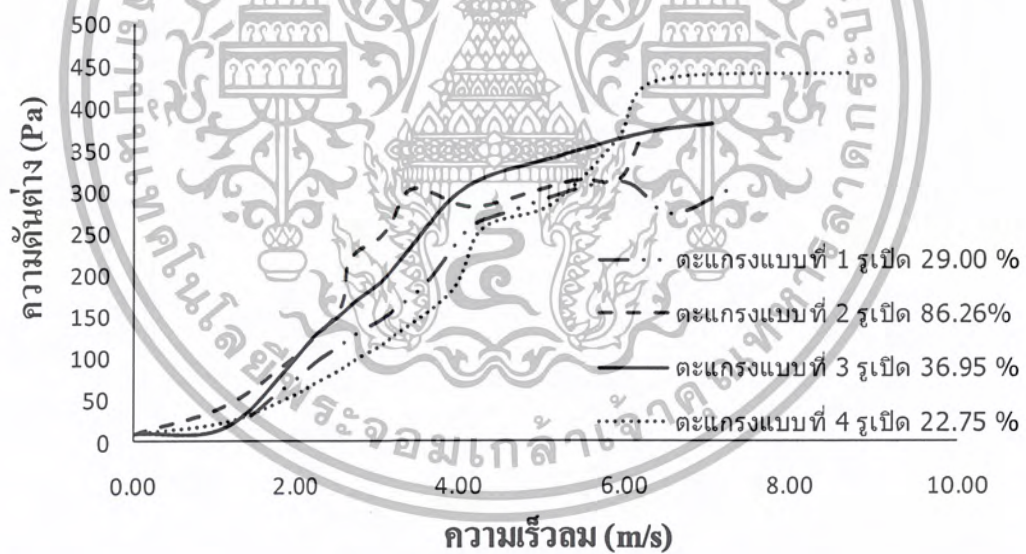
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 50 กรัม



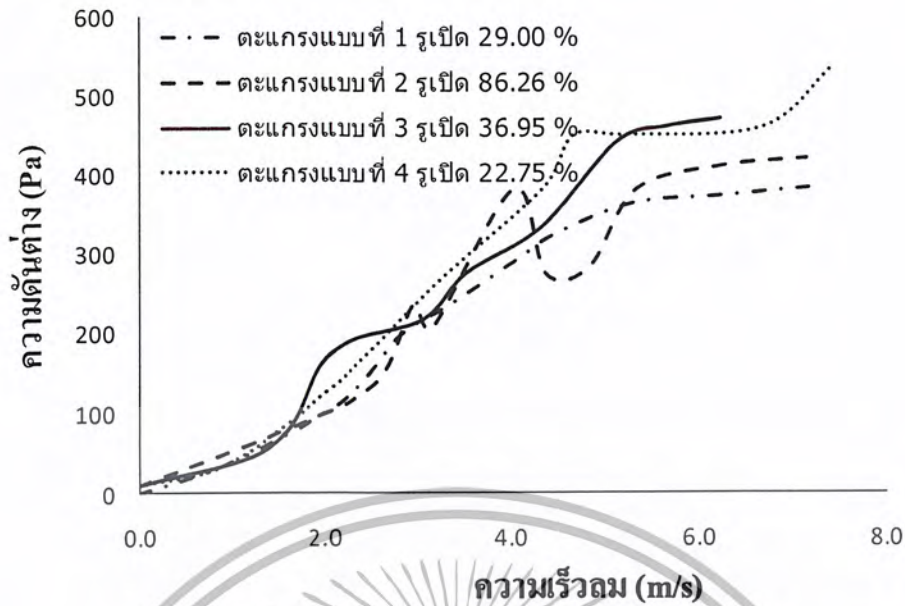
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 100 กรัม



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 150 กรัม



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 200 กรัม



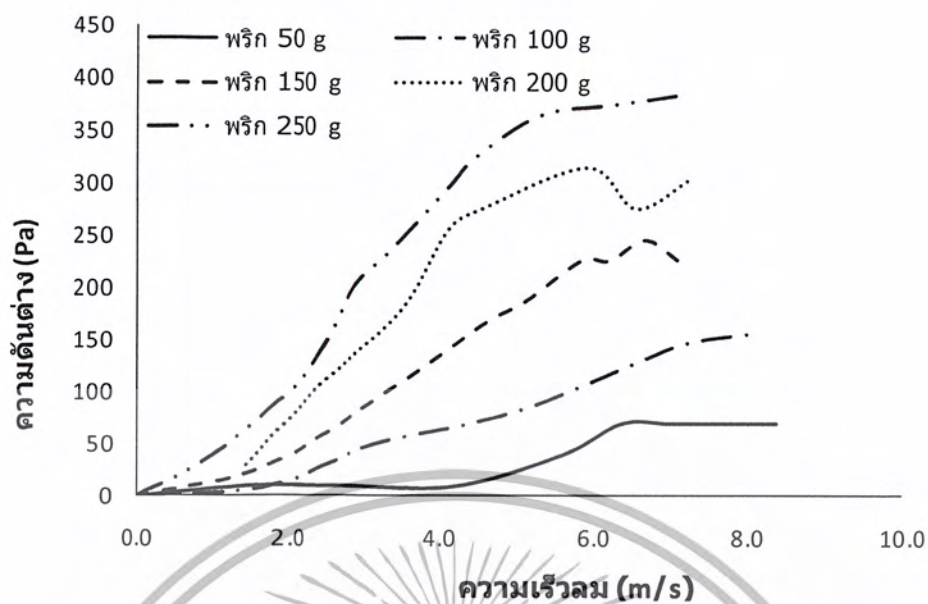
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างของตะแกรงแต่ละแบบที่น้ำหนักพริกแห้ง 250 กรัม

จากผลการทดลองพบว่า

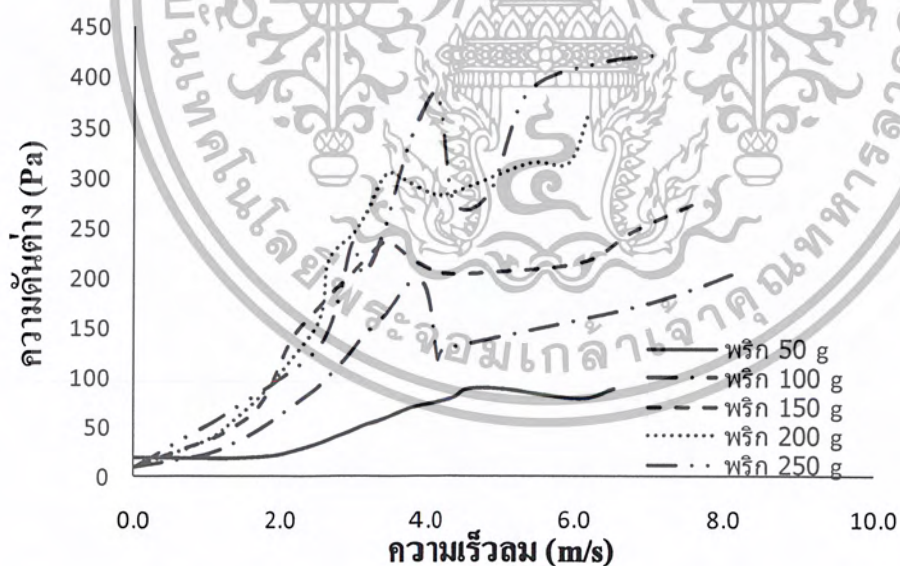
ตะแกรงแบบที่ 2 มีช่วงความเร็วลมในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันซึ่งจะมีแนวโน้มของความดันตกคร่อมเบดที่เริ่มจะคงที่ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟจะตรงตามทฤษฎีการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน

ตะแกรงแบบที่ 3 และ 4 มีช่วงความเร็วลมในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันและความดันที่ตกคร่อมเบดสูงจนเกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำไปทดสอบกับเครื่องต้นแบบ

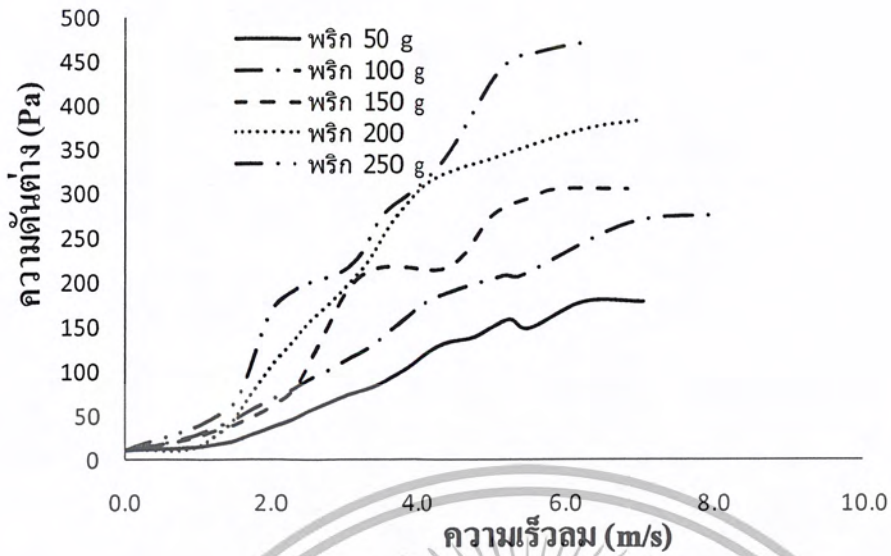
เมื่อเปรียบเทียบกับตะแกรงแบบที่ 2 และ 1 แล้วพบว่าตะแกรงแบบที่ 2 มีแนวโน้มในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันได้เร็วกว่าเนื่องจากใช้ความเร็วลมน้อยกว่า ตะแกรงแบบที่ 1 เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องต้นแบบจะทำให้ใช้ขนาดพัคลมและความเร็วรอบไม่สูงเกินไป ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-22 ถึง ตาราง ก-41



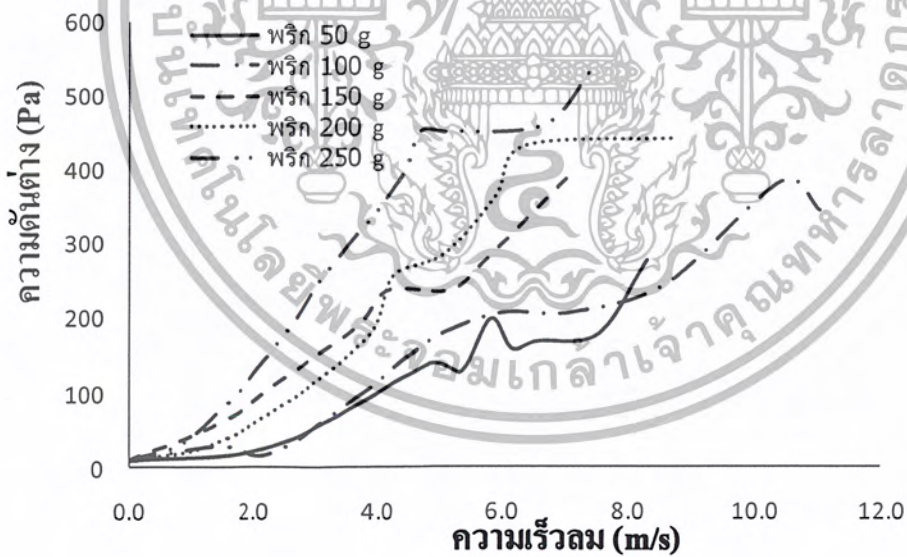
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดที่น้ำหนักต่างๆกันของ ตะแกรงที่ 1 รูเปิด 29.00%



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดที่น้ำหนักต่างๆกันของ ตะแกรงที่ 2 รูเปิด 86.26 %



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดที่น้ำหนักต่างๆกันของ ตะแกรงที่ 3 รูเปิด 36.95 %



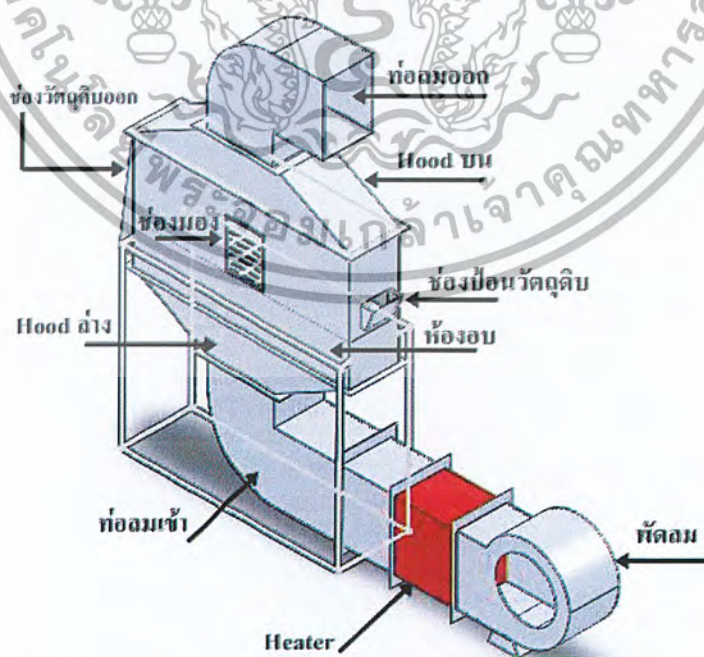
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดที่น้ำหนักต่างๆกันของ ตะแกรงที่ 4 รูเปิด 22.75 %

จากผลการทดลองพบว่า

เมื่อปริมาณพริกเพิ่มขึ้นจะสังเกตได้ว่าความดันตกคร่อมเบดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแต่ในกราฟมีความดันตกคร่อมเบดที่ไม่คงที่อาจเนื่องจาก พริกมีลักษณะที่ยาว รี เวลาที่เคลื่อนที่จะเกิดการพลิกคว่ำและเกิดการทับและสานกัน ไปทำให้พริกไม่สามารถลอยตัวได้อย่างอิสระ แนวทางในการแก้ไข เพิ่มพื้นที่ให้มากขึ้นเพื่อให้พริกสามารถลอยตัวได้อย่างอิสระมากขึ้น ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-2 ถึง ตาราง ก-21

4.2 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

หลักการทำงานของเครื่องอบพริกแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน ในขั้นแรกคือการป้อนพริกแห้งลงในเบดซึ่งมีขนาดความกว้าง 0.155 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 0.6 เมตร ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นที่ 12.81 % ปรับความเร็วลมเพื่อให้เกิดการฟลูอิดไดซ์โดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ อากาศที่เข้าเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดจะถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดความร้อนขนาด 27 กิโลวัตต์พร้อมด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้ง ส่วนบริเวณเบดนั้นจะถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนซึ่งจะมีอุณหภูมิของลมร้อนสูงสุดถึง 150 C โดยลมร้อนที่เข้าไปยังเบดนั้นจะอยู่ในช่วง 80 - 100 C จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างพริกแห้งหลังการอบในแต่ละช่วงเวลาเพื่อนำไปหาปริมาณความชื้นที่หายไปจนกระทั่งความชื้นคงที่



รูปที่ 4.18 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด มีดังนี้

1. พัดลม พัดลมมีขนาด 2 แรงม้า ลักษณะใบพัดเป็นแบบโค้งหน้า

2. เครื่องทำความร้อนชนิดคอยล์เปลี่ยน เครื่องทำความร้อนชนิดคอยล์เปลี่ยนใช้ความร้อน 27.25 กิโลวัตต์

3. ท่อลมขาเข้าและขาออก ท่อลมขาเข้าอยู่ส่วนล่างของเครื่องอบแห้งพาลมร้อนที่ได้จากเครื่องทำความร้อนเข้าไปยังห้องอบ

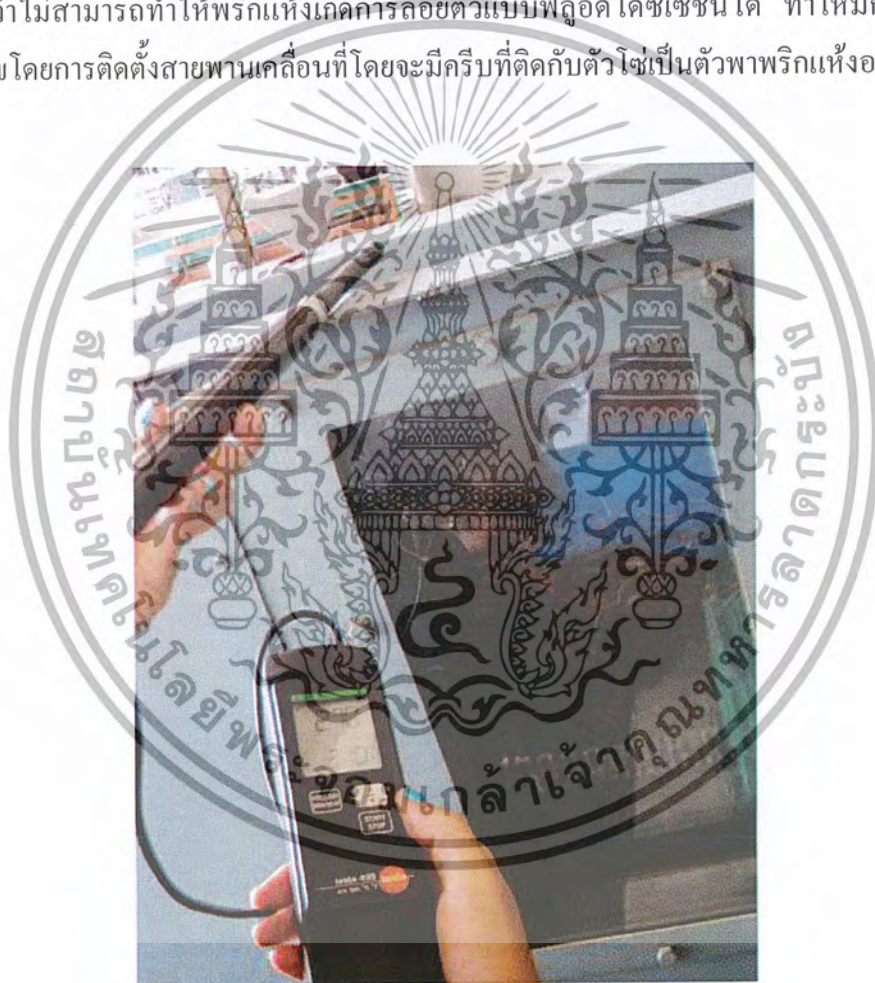
4. ห้องอบแห้ง เป็นพื้นที่ที่ใช้ในการอบแห้งขนาดของเบดสำหรับบรรจุพริกแห้งมีขนาด 0.15x1x0.4 เมตร ภายในห้องอบแห้งสามารถบรรจุพริกแห้งได้ 5.48 กิโลกรัม

5. ช่องป้อนวัตถุดิบ ช่องสำหรับป้อนวัตถุดิบมีขนาด 0.12x0.126 เมตร เพื่อให้พริกแห้งไหลลงไปบนเบด สามารถดูรายละเอียดเครื่องได้ที่ภาคผนวก ข. รูปที่ ข-1 ถึง รูปที่ ข-4

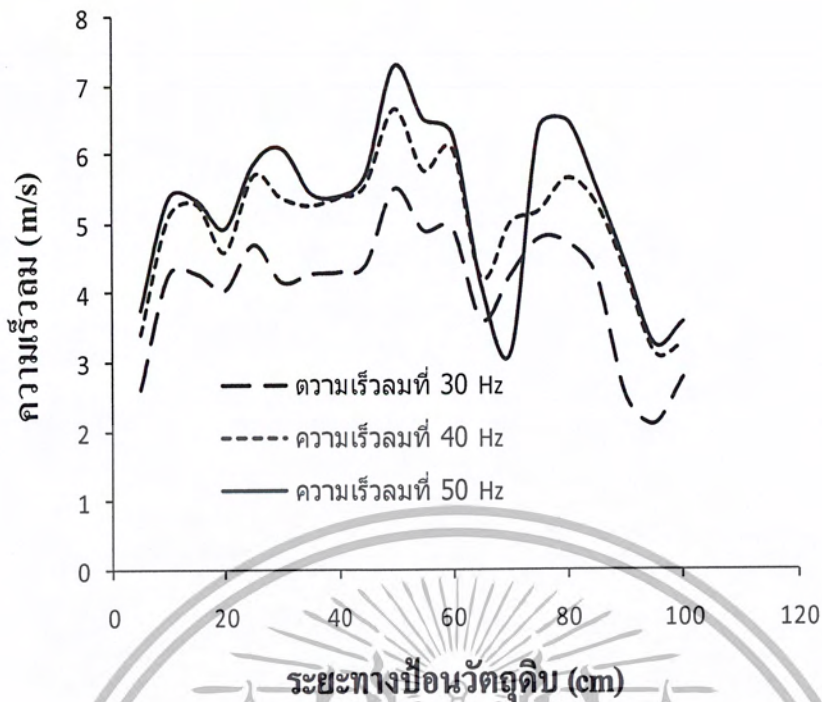


4.3 การทดลองการกระจายลมในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดกับความเร็วลมของท่อลมโดยมีตัวจัดลมเข้าภายในเป็นแบบตัววีคريبเปิด พบว่าการกระจายตัวของลมในแต่ละจุดตามแนวตะแกรงมีค่าต่างกันมาก โดยพบว่าบริเวณด้านหัว-ท้ายของตะแกรงปริมาณลมจะน้อยกว่าตรงกลางเป็นอย่างมากทำให้พริกที่ถูกลมตีจากตรงกลางลอยกองออกมาด้านข้างทั้งสองด้าน จึงได้ทำการปรับแต่งตัวจัดลมแบบตัววีคريبเปิดใหม่ พบว่า การกระจายลมในแต่ละจุดตามแนวตะแกรงจากจุดป้อนจนถึงทางออกค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.20 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบด้วยพริกแห้งพบว่าไม่สามารถทำให้พริกแห้งเกิดการลอยตัวแบบฟลูอิดไดซ์เซชันได้ ทำให้มีการหาแนวทางแก้ไข โดยการติดตั้งสายพานเคลื่อนที่โดยจะมีกริปที่ติดกับตัวโฉบเป็นตัวพาพริกแห้งออกจากเบด



รูปที่ 4.19 แสดงการวัดความเร็วลมแต่ละจุดภายในเบด



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดกับความเร็วมของท่อลม โดยมีตัววัดลมเข้าภายในเป็นแบบตัววีคريبเปิด
ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-46

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องอบพริกแห้งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลม ความเร็วลม และปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ในการทดลอง การทดลองหาความเร็วลมที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของเมล็ดพริก และการทดลองการหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพริก

การทดลองที่ 5.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลม ความเร็วลม และปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ในการทดลอง

จุดประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณลม ความเร็วลม และปริมาณความร้อนที่ได้เพื่อนำไปทดลองการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

วัสดุอุปกรณ์

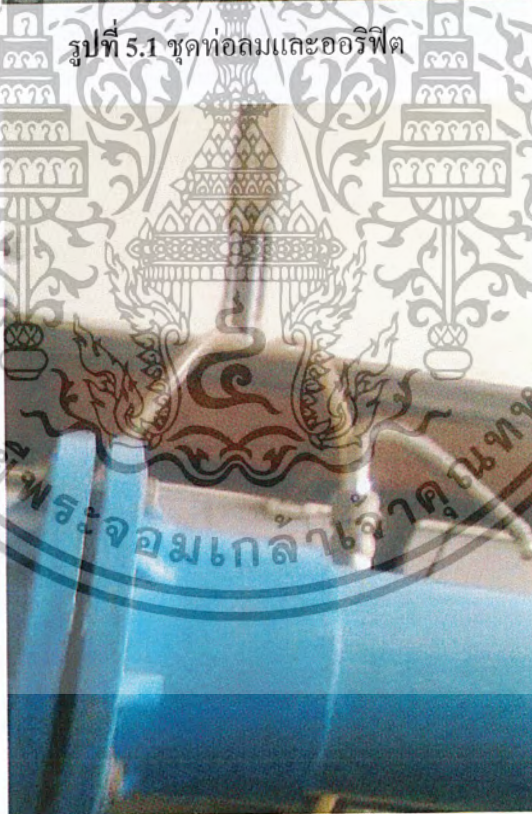
1. พัดลมขนาด 2 HP
2. Inverter สำหรับปรับรอบพัดลม
3. ชุดท่อลมและออริฟิต
4. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Techonometer)
5. มานอมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ทำการปรับความดันสถิตในท่อลมให้เป็นศูนย์ (ไม่มีแรงดันในท่อลม)
2. ทำการปรับ inverter เริ่มต้นความถี่ที่ 10 Hz
3. วัดความดันแตกต่างที่ออริฟิตและบันทึกผล
4. วัดความเร็วรอบโดยใช้ Techonometer
5. ทำการทดลองซ้ำโดยปรับความถี่ตั้งแต่ 15 ถึง 50 Hz

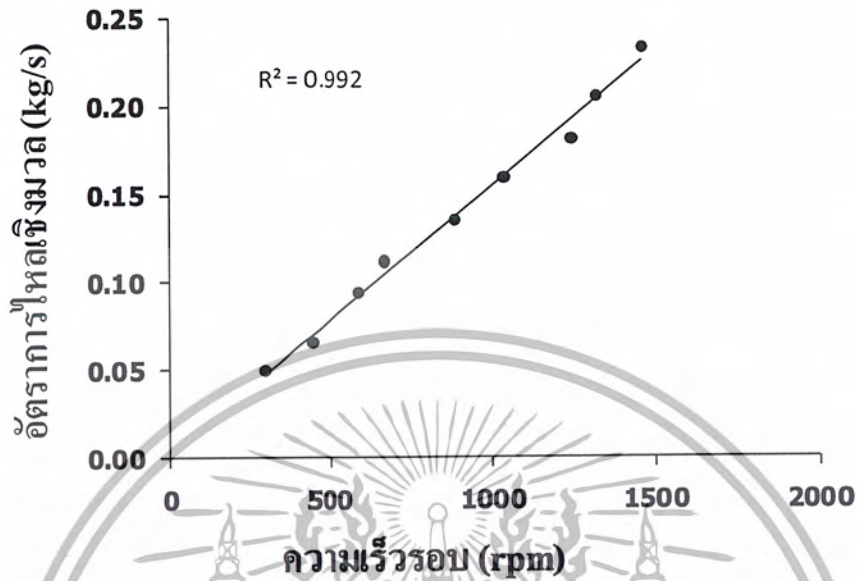


รูปที่ 5.1 ชุดท่อลมและออร์ฟิต

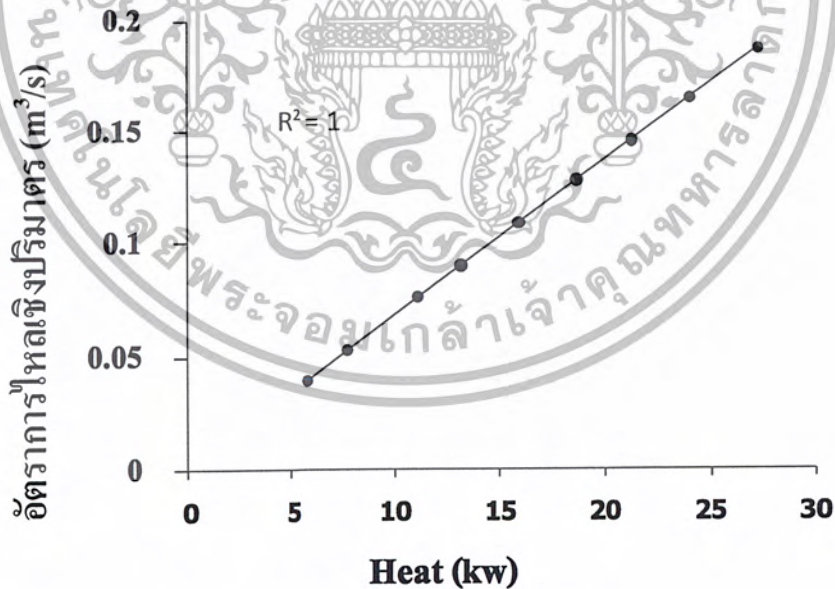


รูปที่ 5.2 การวัดความดัน

ผลการทดลอง



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลเชิงมวลที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตร



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลมกับปริมาณความร้อนที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตร

สรุปผลการทดลองที่ 5.1

1. จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลเชิงมวลที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.3 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบโดยการปรับอินเวอร์เตอร์จะมีผลให้อัตราการไหลเชิงมวลนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งค่าสูงสุดของอัตราการไหลเชิงมวลอยู่ที่ 0.232 kg/s มีความเร็วรอบ 1459 rpm

2. จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลมกับปริมาณความร้อนที่ระยะเปิด 9 เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 5.4 พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลเชิงมวลแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศที่สถานะใดๆ ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลแปรผันตรงกับปริมาณลมจึงเป็นผลให้ปริมาณความร้อนมีค่าแปรผันตรง ปริมาณความร้อนที่ได้สูงสุดคือ 27.25 กิโลวัตต์

ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-47 ถึง ตาราง ก-50

การทดลองที่ 5.2 การทดลองหาความเร็วลมที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของพริกแห้ง

จุดประสงค์

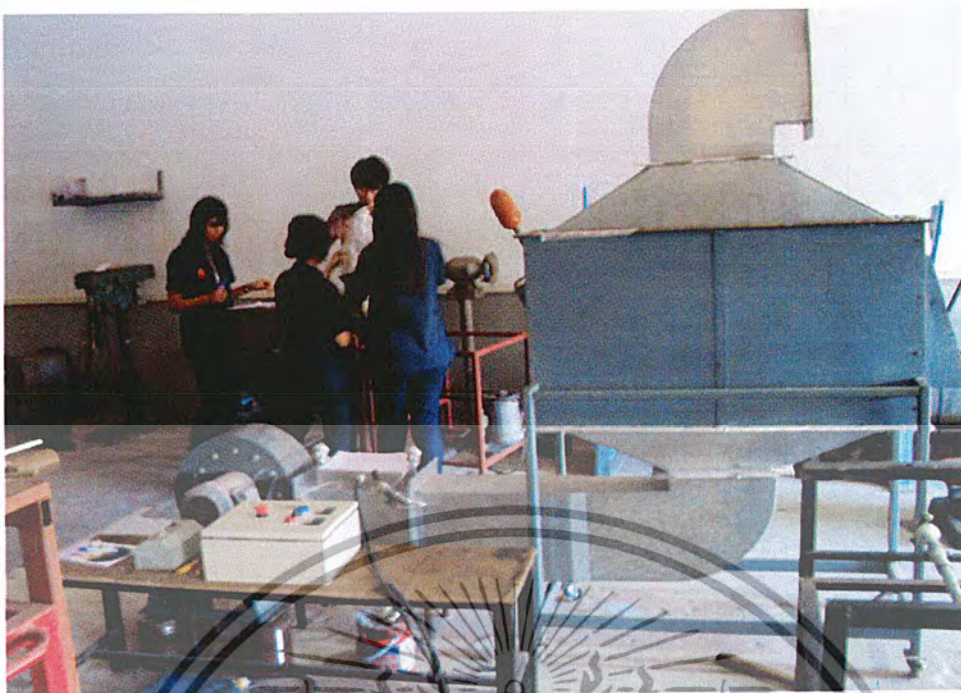
1. เพื่อหาความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดซ์เซชัน

วัสดุอุปกรณ์

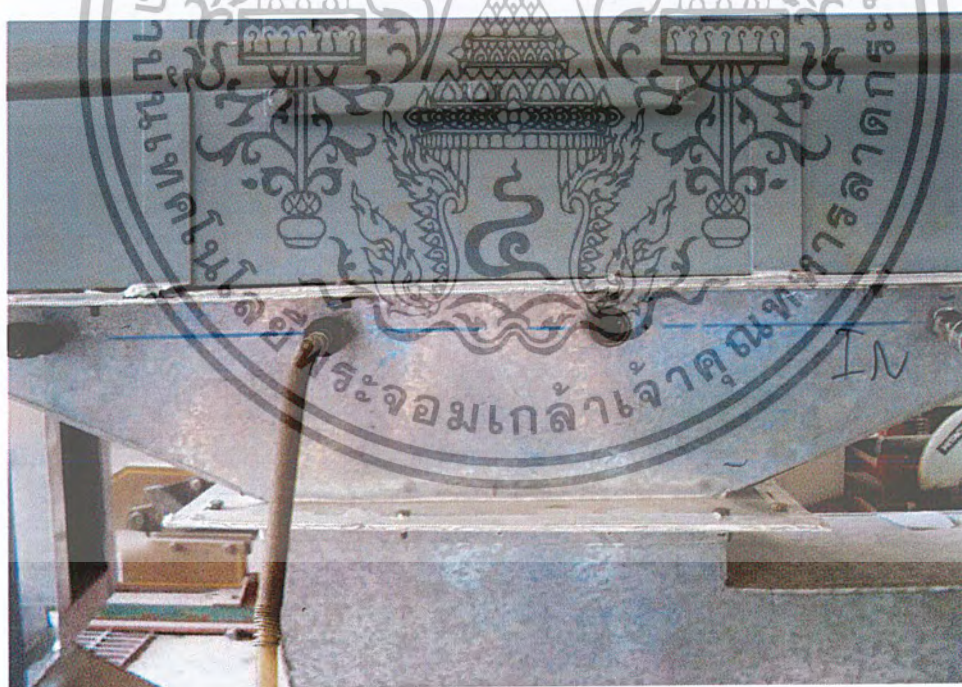
1. พัดลมขนาด 2 HP
2. Inverter สำหรับปรับรอบพัดลม
3. พริกแห้ง
4. อุปกรณ์วัดความเร็วลม
5. มานอมิเตอร์
6. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ออกแบบ

วิธีการทดลอง

1. ใส่พริกแห้งลงในเบดและวัดความเร็วลมที่จุดต่างๆ บันทึกค่าความดันภายในเบดจากมานอมิเตอร์
2. ปรับความเร็วลมให้เพิ่มขึ้น ทำการทดลองจนพริกแห้งเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชัน

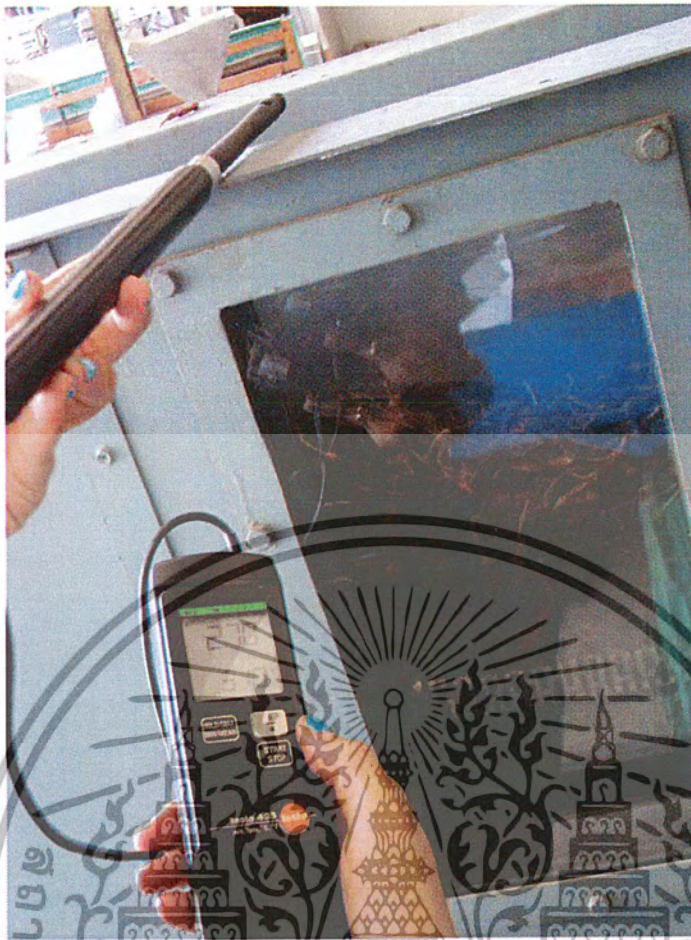


รูปที่ 5.5 แสดงชุดการทดลองในการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด



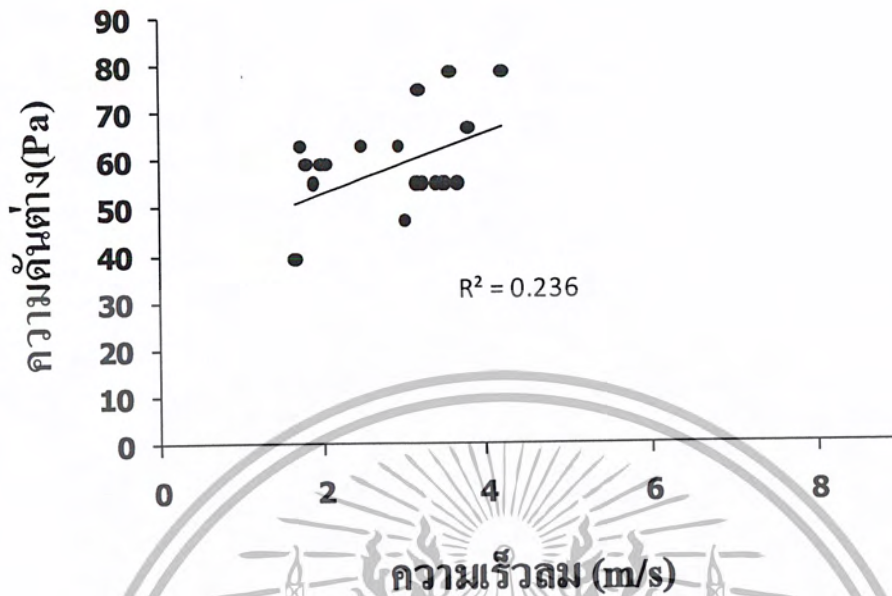
รูปที่ 5.6 แสดงการวัดความดันในแต่ละจุดในชุดทดลองการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

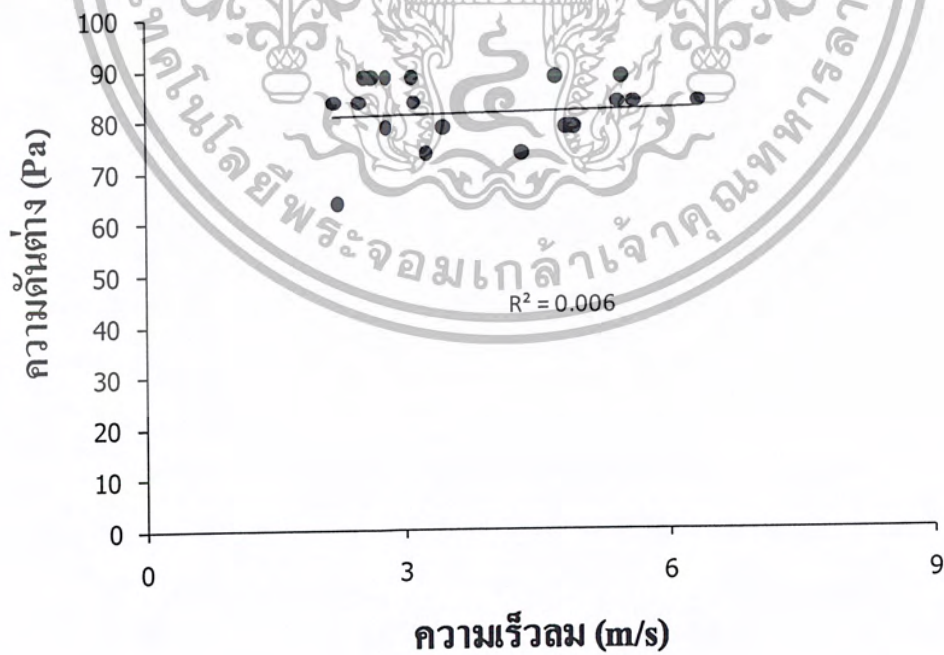


รูปที่ 5.7 แสดงการวัดความเร็วลมในแต่ละจุด

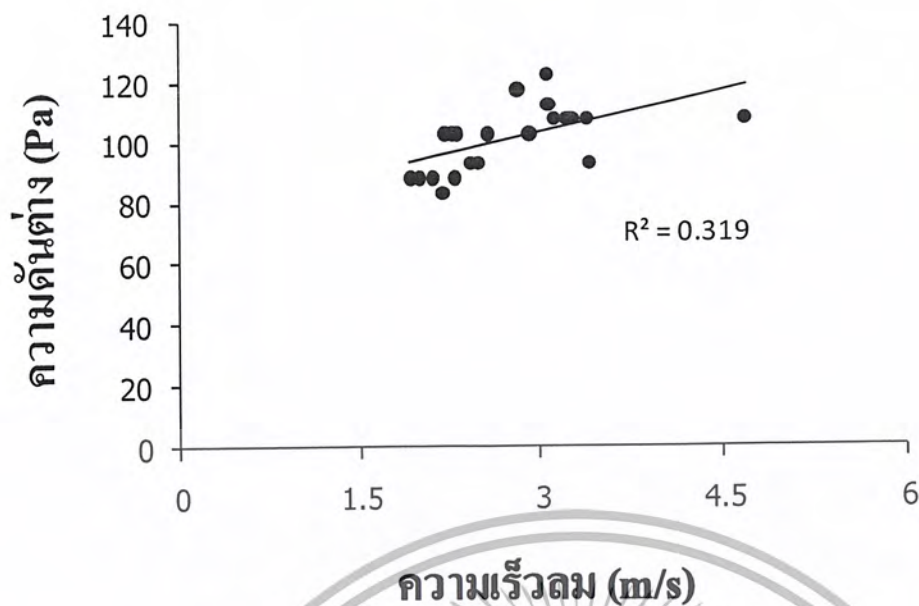
ผลการทดลอง



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และ ความเร็วลม ของพริกแห้ง ปริมาณ 1000 กรัม



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และ ความเร็วลม ของพริกแห้ง ปริมาณ 1500 กรัม



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และ ความเร็วลม ของพริกแห้ง ปริมาณ 2000 กรัม

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันต่างและความเร็วลมดังแสดงในรูปที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 พบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้นทำให้ความดันตกคร่อมจะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากน้ำหนักและรูปทรงทางเรขาคณิตของพริกแห้งจึงทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่ไม่ต่างกันมากนัก และมีความดันบางจุดที่ไม่คงที่เนื่องจากลักษณะการลอยของพริกที่ลอยติดกันเป็นแพ ช่วงความเร็วที่ทำให้พริกแห้งเริ่มลอยแบบฟลูอิดไดซ์นั้นอยู่ที่ 6 m/s แต่เนื่องจากการทดลองมีความดันที่ไม่คงที่จึงทำการหาความเร็วลมที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์จากการใช้สมการได้ความเร็วลมที่ 6.19 m/s

ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-51 ถึง ตาราง ก-53

การทดลองที่ 5.3 การทดลองหาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จุดประสงค์

1. เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นถึงที่ต้องการ

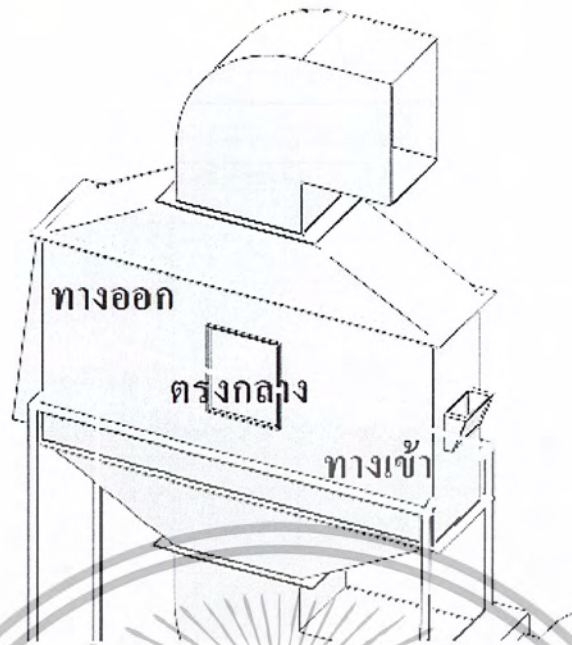
วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่ออกแบบ
2. พริกแห้ง
3. พัดลมขนาด 2 HP
4. Inverter สำหรับปรับรอบพัดลม
5. เครื่องทำความร้อนขนาด 27 กิโลวัตต์
6. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

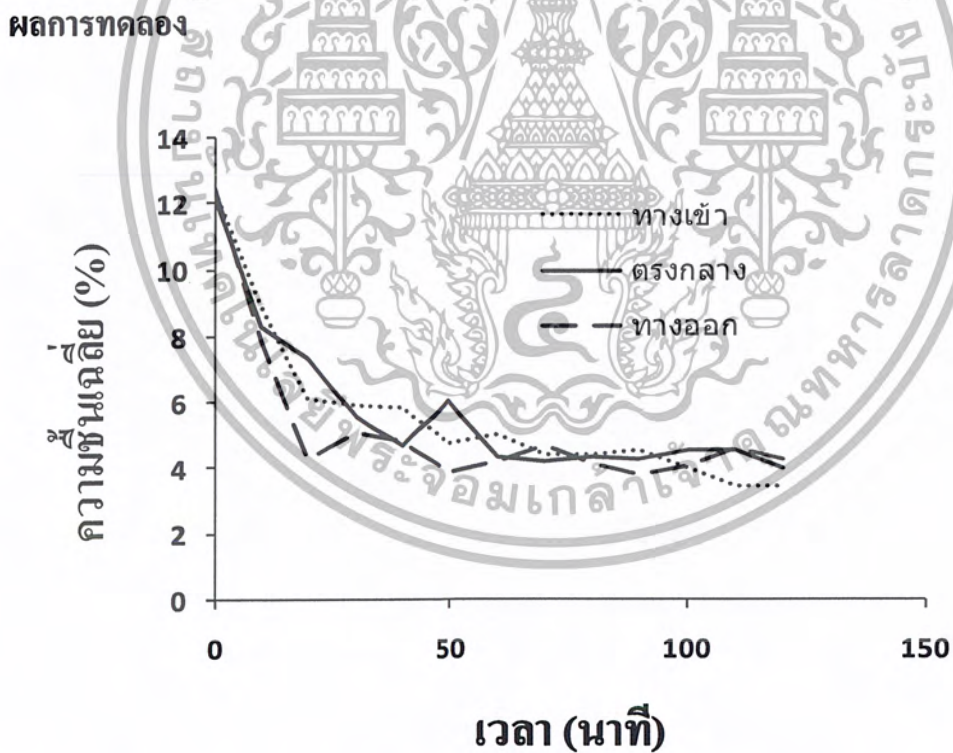
วิธีการทดลอง

1. ทำการใส่พริกแห้งปริมาณ 1 kg ลงในเบคของเครื่องฟลูอิด ไคซ์เบด
2. ปรับความเร็วลมโดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ให้อยู่ในช่วงที่ทำให้พริกแห้งเริ่ม
3. ปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 80, 90 และ 100 °C
4. เก็บตัวอย่างพริกแห้งทุก 10 นาที เพื่อนำไปหาความชื้นที่หายไปของแต่ละช่วงเวลา
5. ชั่งน้ำหนักพริกก่อนนำเข้าตู้อบ ปริมาณ 2-3 กรัม คำนวณน้ำหนักที่ได้เป็นค่าน้ำหนักพริกก่อน
6. เปิดตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบ 8 ชั่วโมง
7. หลังจากอบพริกเสร็จ เอาพริกออกจากตู้อบและชั่งน้ำหนักพริกอีกครั้ง จะได้ค่าน้ำหนัก

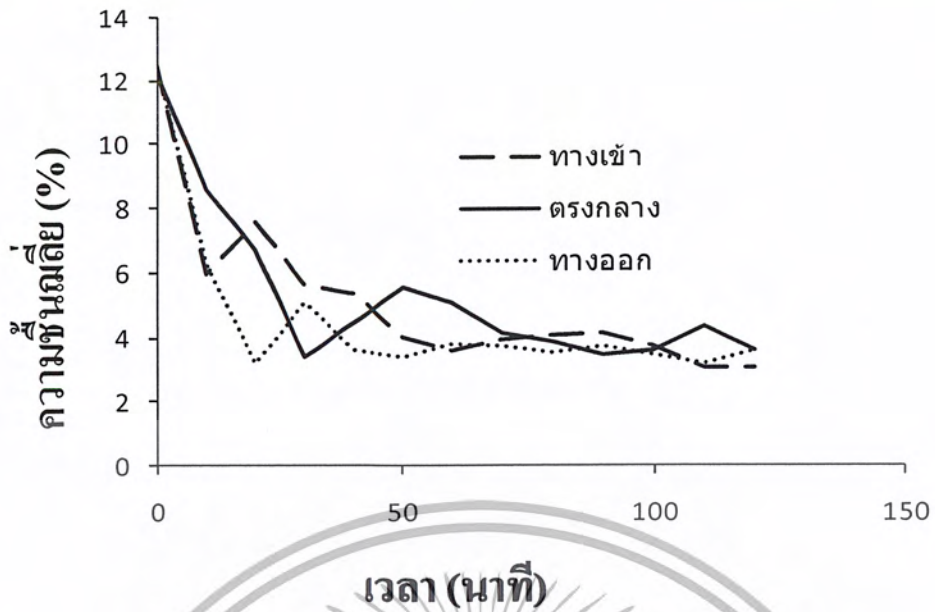
พริกหลังอบ



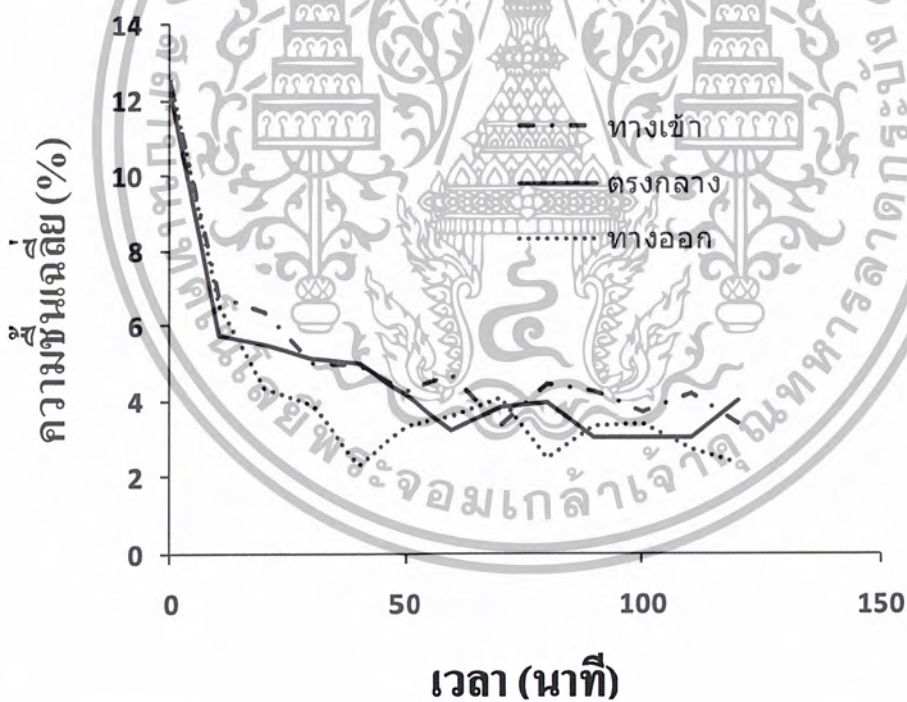
รูปที่ 5.11 การเก็บตัวอย่างพริกแห้งในแต่ละจุด



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลาที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบดที่อุณหภูมิ 80 °C

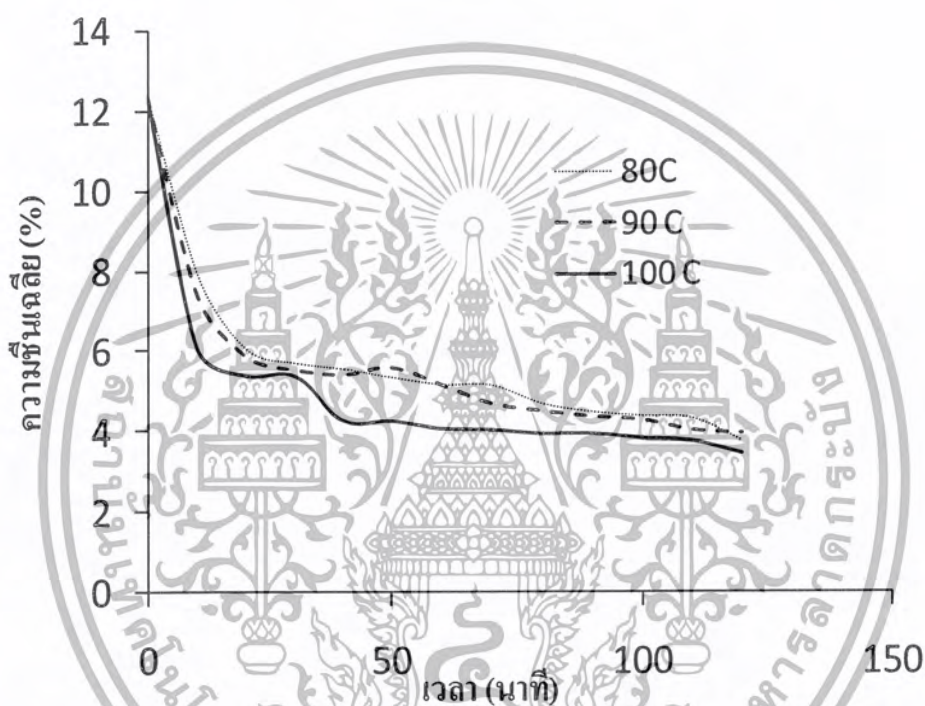


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลาที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบดที่อุณหภูมิ 90 °C



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลาที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบดที่อุณหภูมิ 100 °C

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและเวลาที่จุดทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบดที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100°C ดังแสดงในรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 พบว่าการลดความชื้นในแต่ละจุดจะใช้เวลาไม่เท่ากันเนื่องจากลมไม่สามารถที่จะไหลผ่านได้อย่างสะดวกซึ่งอาจจะเกิดการลอยและสานติดกันเป็นแพของพริกแห้งทำให้ลมไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระ ข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-54 ถึง ตาราง ก-62



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ ในห้องอบ 80,90 และ 100 °C

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิในห้องอบ 80, 90 และ 100 °C ดังแสดงในรูปที่ 5.14 พบว่าอากาศจากพัดลมจะถูกผ่านเครื่องทำความร้อนเพื่อให้ความร้อนกับพริกแห้งในห้องอบซึ่งพริกแห้งก่อนเข้าอบนั้นมีความชื้นที่ 11-12% wb ซึ่งจากกราฟพบว่าอุณหภูมิของลมร้อนมีผลต่อระยะเวลาในการอบพริกแห้ง โดยอุณหภูมิในห้องอบอยู่ที่ 80, 90 และ 100 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 120 นาที และใช้ความเร็วลมคงที่ที่ 6 m/s และพบว่าในช่วง 20-30 นาทีแรกนั้นความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งจะสามารถลดลงได้ถึง 5 % wb และที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100 °C ความชื้นจะสามารถลดได้ต่ำถึง 3.76%, 3.95% และ

3.48 % ตามลำดับภายในระยะเวลา 120 นาที และผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์แบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ดังนี้

ทำการวิเคราะห์สมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง จากตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อนำไปหาสมการที่เหมาะสมในการคำนวณหาเวลาในการอบแห้ง

ตารางที่ 1 สมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง (Jayashree, E. et al.2008.)

ชื่อสมการ	รูปแบบสมการ
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Overhulrs	$MR = \exp(-(kt)^n)$

จากการวิเคราะห์แบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง จากตารางที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100 °C พบว่าสมการที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือสมการของ Overhulrs ซึ่งเป็นค่าที่ได้ R² สูงที่สุดและค่า Xⁱ และค่า RMSE ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการทั้งสามสมการที่เหลือ โดยค่าคงที่ที่ได้จะสามารถนำไปคำนวณหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ข้อมูลสามารถรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก. ตาราง ก-63

บทที่ 6

บทสรุป และวิจารณ์

จากการทดลองเครื่องต้นแบบเครื่องอบพริกแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เซชันที่มีขนาดห้องอบ $0.15 \times 1 \times 0.4$ เมตร ซึ่งสามารถบรรจุพริกได้ 5.5 กิโลกรัม พบว่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง อยู่ที่ 27.25 กิโลวัตต์ โดยที่เครื่องทำความร้อนเป็นลักษณะคอยล์เปลือย

จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของพริกแห้งในเครื่องต้นแบบที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่าความเร็วลมร้อนที่ทำให้เกิดการฟลูอิดไดซ์เซชันซึ่งวัดได้จาก เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) มีค่า 6 m/s ซึ่งคลาดเคลื่อนจากผลการคำนวณ โดยใช้สมการ ซึ่งคำนวณได้ 6.19 m/s เนื่องจากมอเตอร์ของพัดลมที่ใช้ทำการทดลองมีความเร็วรอบคงที่ จึงไม่สามารถปรับความเร็วรอบ เพื่อให้ได้ความเร็วลมตามที่คำนวณไว้ ส่วนความดันที่ตกคร่อมเบดมีค่าใกล้เคียงกันตลอดเนื่องจากพริกมีลักษณะยาวรีทำให้เวลาลอยตัวเกิดการสานกันเป็นแพ

จากการทดลองหาระยะเวลาในการอบแห้ง โดยอุณหภูมิในห้องอบอยู่ที่ 80, 90 และ 100°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 120 นาที และพบว่าในช่วง 20-30 นาทีแรกนั้นความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะสามารถลดลง ได้ถึง 5 % wb และที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100°C ความชื้นจะสามารถลดได้ต่ำ ถึง 3.76 % wb, 3.95 % wb และ 3.48 % wb ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 120 นาที ผลที่ได้จากการทดลอง (จากภาคผนวก ก. ตาราง ก-54 ถึง ตาราง ก-62) สามารถนำมาวิเคราะห์แบบจำลอง จลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบางโดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100°C พบว่าได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.987, 0.99 และ 0.994 ตามลำดับค่า X^2 เท่ากับ 0.00053, 0.00039 และ 0.00027 ตามลำดับ และค่า RMSE เท่ากับ 0.0213, 0.0181 และ 0.0151 ตามลำดับ ทำให้พบว่า สมการที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือสมการของ Overhults ซึ่งเป็นค่าที่ได้ R^2 สูงที่สุดและค่า X^2 และค่า RMSE ต่ำสุดโดยค่าคงที่ที่ได้จะสามารถนำไปคำนวณหาระยะเวลาในการอบแห้งสำหรับการทดลองการอบพริกแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

6.1 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเบื้องต้นสำหรับชิ้นส่วนกลไกทุกๆส่วนและได้ติดตั้งเครื่องทำความร้อน เพื่อให้สามารถทำการอบแห้งอย่างเต็มระบบได้ แต่ด้วยเวลาการทำโครงการทางวิศวกรรมของนักศึกษาระดับปริญญาตรีมีจำกัดทำให้ไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างเต็มระบบ แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบกับเครื่องต้นแบบแล้วพบว่าพริกแห้งเกิดการสานกันเป็นแพทำให้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะลอกตัวแบบฟลูอิดไดซ์เซชันทำให้ความดันมีค่าใกล้เคียงจึงควรที่จะทำการแก้ไขโดยการติดตั้งสายพานติดครีบบเพื่อเป็นตัวช่วยในการทำให้พริกเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยที่ให้พริกลอยในลักษณะตามรูปแบบของพริกโดยที่ทำการดัดแปลงตัวเครื่องอบแห้ง ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งในความเป็นจริงอาจจะยุ่งยากและซับซ้อนมาก และอาจสรุปได้อีกทางว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์แบบไม่เหมาะสมกับการอบแห้งพริกแห้ง



รูปที่ 6.1 สายพานติดครีบบ

เอกสารอ้างอิง

การุณ เลาะมาน,มณฑา เทียมเมือง, ภูรินทร์ อัครกุลธร และ พงษ์เจต พรหมวงศ์(ม.ป.ป).การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เซชั่นและเทคนิคหมุนควง.ปริญญา นิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

กิตติ สิทธิประภาพร และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย(ม.ป.ป).คุณลักษณะการอบแห้งพริกด้วยเทคนิค ฟลูอิด ไคซ์เบด.วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กรกช ภูโพบูลย์(2545).การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพัลส์ฟลูอิดไคซ์เบด.

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะ พลังงานและ วัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพฯ

กรมส่งเสริมการเกษตร ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ 2545-2546

ธีรพล สวิง และ พิพัฒน์ ธนะสินธนา (2550).ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพน้ำพริกแกงแดง. ปริญญา นิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พัฒนาภรณ์ ใจอุตม์, (2542) .การอบพริกชี้หนูด้วยเครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน,

[online].Available : http://www.phtnet.org/research/vieabstract.asp?research_id=aa029

วัชรินทร์ ดงบัง, กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และ มานิต สุจำนงค์.(ม.ป.ป).การศึกษาการอบแห้งเมล็ด ข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด.วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัชรินทร์ ดงบัง, วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย (ม.ป.ป).แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์การอบแห้งฝักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วิริยา พรหมกอง (2552).การศึกษาแบบจำลองการทำความชื้นและใช้พริกพันธุ์หัวเรียวทนทดสอบขณะ อบ[online] Available from : URL: <http://kaewpanya.rmutl.ac.th>

วรเมธ พัดทอง ,สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2547).การศึกษาคุณลักษณะการ อบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วรมช ทัดทอง,เมธิ์ ไบงาม และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (ม.ป.ป).*แบบจำลองการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล.
- ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์,เทิดทวี อ้วนสี,นิพนธ์ มหาพรหม และ นันทวัฒน์ พลายเมือง (2550).*การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด*.ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
- สุขฤดี นาถกรณกุล, 2546 ,การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งระบบพลังงานชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์, [online].Available : <http://www.eppo.go.th/encon/abstract/index.html>
- สมศักดิ์ ดำรงค์เรศ (2528). *ฟลูอิดไดเซชัน*. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- หลักการเบื้องต้นของการทำแห้ง,
[online].Available:http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/mass_transfer/basic_drying.htm
- อิทธิพล แก่งสันเทียะ, อำนาจ บุญลอย, ประสิทธิ์ คำพันธ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2550).*การอบแห้งพริกไทยในหอบมีกริบแบบฟลูอิดไดซ์หมุนควง*.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
- Jayashree, E. et al.(2008). *Thin layer modeling for drying of black pepper in agricultural waste fired reverse flow drier*. Retrieved February 2, 2011
- Kondukov, N.B., et al, Intern. Chem. Eng., 4, 43, 1964.
- Wilhelm, R.H. and Kwauk, M., Chem. Eng. Progr., 44, 201, 1948.
- Wen, C.Y. and YU, Y.H., A.I., Ch.E. Journal, 12, 610, 1966.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _a
1	6.135	1.200	0.290	2.135	1.288	0.210	5.206
2	6.900	1.080	0.260	1.938	1.247	0.181	4.880
3	7.140	1.270	0.360	3.264	1.483	0.208	6.910
4	8.510	1.200	0.270	2.757	1.402	0.165	6.174
5	6.315	1.000	0.270	1.705	1.195	0.189	4.481
6	7.550	1.100	0.220	1.827	1.223	0.162	4.693
7	7.120	1.030	0.265	1.943	1.248	0.175	4.890
8	6.955	0.930	0.210	1.358	1.107	0.159	3.851
9	7.370	0.950	0.260	1.820	1.221	0.166	4.681
10	7.50	1.075	0.280	2.258	1.312	0.175	5.404
11	7.130	1.050	0.210	1.572	1.163	0.163	4.245
12	7.660	1.180	0.215	1.943	1.248	0.163	4.890
13	7.525	1.000	0.230	1.731	1.201	0.160	4.526
14	6.145	1.145	0.305	2.146	1.290	0.210	5.224
15	7.955	1.215	0.615	5.944	1.811	0.228	10.304
16	7.950	1.085	0.335	2.890	1.424	0.179	6.370
17	6.855	1.150	0.245	1.931	1.245	0.182	4.870

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง (ต่อ)

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _s
18	7.645	1.000	0.200	1.529	1.152	0.151	4.167
19	6.590	1.025	0.180	1.216	1.067	0.162	3.577
20	6.950	1.145	0.290	2.308	1.321	0.190	5.483
21	8.430	1.160	0.195	1.907	1.240	0.147	4.828
22	7.510	1.060	0.330	2.627	1.380	0.184	5.978
23	7.136	1.200	0.266	2.278	1.316	0.184	5.436
24	7.852	1.160	0.290	2.641	1.382	0.176	6.000
25	7.096	0.986	0.174	1.217	1.068	0.150	3.580
26	7.240	1.214	0.260	2.285	1.317	0.182	5.448
27	6.664	0.970	0.236	1.526	1.151	0.173	4.161
28	7.740	0.888	0.332	2.282	1.317	0.170	5.442
29	7.800	0.922	0.250	1.798	1.216	0.156	4.643
30	6.874	1.000	0.280	1.925	1.244	0.181	4.859
31	6.970	1.160	0.290	2.345	1.329	0.191	5.542
32	6.740	0.932	0.266	1.671	1.187	0.176	4.421
33	6.320	0.950	0.324	1.945	1.248	0.198	4.893
34	7.824	1.136	0.256	2.275	1.315	0.168	5.432

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง (ต่อ)

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _s
35	6.752	0.940	0.220	1.396	1.118	0.166	3.923
36	7.314	1.030	0.370	2.787	1.407	0.192	6.219
37	6.660	1.010	0.290	1.951	1.249	0.188	4.902
38	7.214	1.050	0.222	1.682	1.189	0.165	4.440
39	8.800	1.158	0.370	3.770	1.556	0.177	7.607
40	8.132	1.210	0.325	3.198	1.473	0.181	6.816
41	7.645	1.150	0.315	2.769	1.404	0.184	6.192
42	6.625	1.155	0.350	2.678	1.389	0.210	6.056
43	6.305	1.060	0.270	1.804	1.217	0.193	4.654
44	6.850	1.215	0.315	2.622	1.379	0.201	5.970
45	7.535	0.860	0.455	2.948	1.434	0.190	6.456
46	6.880	0.915	0.235	1.479	1.139	0.166	4.077
47	7.635	1.000	0.330	2.520	1.361	0.178	5.814
48	7.715	1.025	0.215	1.700	1.194	0.155	4.473
49	7.075	1.085	0.240	1.842	1.226	0.173	4.719
50	6.150	1.060	0.355	2.314	1.323	0.215	5.494
51	8.095	1.035	0.340	2.849	1.418	0.175	6.310

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง (ต่อ)

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _a
52	6.965	0.960	0.325	2.173	1.295	0.186	5.268
53	7.358	0.990	0.280	2.040	1.268	0.172	5.050
54	6.160	0.975	0.225	1.351	1.106	0.179	3.838
55	7.910	1.230	0.270	2.627	1.380	0.174	5.978
56	6.805	1.065	0.245	1.776	1.211	0.178	4.604
57	8.465	1.160	0.275	2.700	1.393	0.165	6.089
58	7.045	1.050	0.375	2.774	1.405	0.199	6.199
59	7.810	1.050	0.250	2.050	1.270	0.163	5.067
60	6.930	1.060	0.260	1.910	1.241	0.179	4.834
61	6.725	1.080	0.235	1.707	1.195	0.178	4.485
62	7.150	1.245	0.340	3.027	1.446	0.202	6.570
63	7.50	1.075	0.350	2.822	1.413	0.188	6.270
64	6.550	1.000	0.200	1.310	1.094	0.167	3.759
65	8.132	1.113	0.212	1.919	1.243	0.153	4.849
66	5.696	1.114	0.243	1.542	1.155	0.203	4.191
67	8.074	1.052	0.224	1.903	1.239	0.153	4.821
68	6.160	0.823	0.198	1.004	1.001	0.163	3.148

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง (ต่อ)

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _a
69	5.790	0.997	0.160	0.924	0.974	0.168	2.978
70	6.332	0.870	0.112	0.617	0.851	0.134	2.276
71	8.150	0.998	0.232	1.887	1.236	0.152	4.795
72	9.132	1.298	0.142	1.683	1.190	0.130	4.443
73	7.634	1.040	0.110	0.873	0.956	0.125	2.869
74	8.425	0.950	0.240	1.921	1.243	0.148	4.852
75	8.890	1.060	0.185	1.743	1.204	0.135	4.548
76	8.160	0.945	0.175	1.349	1.105	0.135	3.834
77	7.715	0.920	0.160	1.136	1.043	0.135	3.418
78	6.720	1.015	0.190	1.296	1.090	0.162	3.732
79	7.810	1.065	0.165	1.372	1.111	0.142	3.878
80	7.240	0.995	0.170	1.225	1.070	0.148	3.594
81	8.675	0.895	0.145	1.126	1.040	0.120	3.398
82	6.985	0.935	0.195	1.274	1.084	0.155	3.689
83	7.890	1.070	0.175	1.477	1.139	0.144	4.073
84	6.510	0.925	0.195	1.174	1.055	0.162	3.495
85	7.495	1.065	0.210	1.676	1.188	0.158	4.431

ตาราง ก-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของพริกแห้ง (ต่อ)

เมล็ดที่	Length(a) cm.	Width(b) cm.	Thickness (c) cm.	ปริมาตร (cm ³)	GMD	Shape factor	พื้นที่ผิว, S _a
86	6.785	1.125	0.235	1.794	1.215	0.179	4.636
87	6.420	0.865	0.210	1.166	1.053	0.164	3.479
88	7.220	0.895	0.145	0.937	0.979	0.136	3.007
89	7.120	0.875	0.130	0.810	0.932	0.131	2.728
90	7.615	1.120	0.140	1.194	1.061	0.139	3.534
91	6.010	0.795	0.175	0.836	0.942	0.157	2.787
92	7.785	1.150	0.135	1.209	1.065	0.137	3.563
93	7.815	1.085	0.250	2.120	1.285	0.164	5.182
94	7.895	1.065	0.195	1.640	1.179	0.149	4.366
95	7.430	1.025	0.145	1.104	1.034	0.139	3.355
96	7.255	1.085	0.145	1.141	1.045	0.144	3.429
97	7.390	1.055	0.125	0.975	0.991	0.134	3.087
98	8.055	1.075	0.225	1.948	1.249	0.155	4.898
99	6.745	0.995	0.265	1.778	1.212	0.180	4.609
100	8.825	1.035	0.155	1.416	1.123	0.127	3.959
Average	7.308	1.049	0.246	1.907	1.221	0.168	4.756

ตาราง ก-2 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 ตะแกรงภาคเคมี รูเปิด 29.00%

น้ำหนัก พริกแห้ง 50 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
1.40	1.50	1.50	1.47	0.00	0.11	9.81
2.70	2.90	2.80	2.80	0.00	0.12	9.81
4.10	4.40	4.20	4.23	0.00	0.12	9.81
5.70	5.50	5.60	5.60	0.00	0.13	39.24
6.40	6.50	6.20	6.37	0.01	0.17	68.67
*6.90	7.20	7.00	7.03	0.01	0.34	68.67
8.00	8.10	8.10	8.07	0.01	0.39	68.67
8.30	8.50	8.30	8.37	0.01	0.97	68.67

ตาราง ก-3 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 ตะแกรงภาคเคมี รูเปิด 29.00%

น้ำหนัก พริกแห้ง 100 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
1.70	1.90	1.70	1.77	0.00	0.21	9.81
2.90	3.30	3.10	3.10	0.01	0.21	49.05
4.40	4.40	4.20	4.33	0.01	0.22	68.67
5.10	5.40	5.30	5.27	0.01	0.22	88.29
6.40	6.70	6.50	6.53	0.01	0.25	127.53
*7.10	7.40	7.20	7.23	0.02	0.30	147.15
8.30	8.00	8.10	8.13	0.02	0.74	156.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-4 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 ตะแกรงภาคเคมี รูเปิด 29.00%

น้ำหนัก พริกแห้ง 150 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
1.60	1.90	1.70	1.73	0.00	0.26	29.43
3.40	3.50	3.50	3.47	0.01	0.26	107.91
4.50	4.70	4.60	4.60	0.02	0.27	166.77
4.90	5.30	5.10	5.10	0.02	0.27	186.39
5.70	6.00	5.80	5.83	0.02	0.30	225.63
6.10	6.30	6.20	6.20	0.02	0.32	225.63
*6.50	6.90	6.60	6.67	0.03	0.46	245.25
7.30	7.00	7.00	7.10	0.02	0.97	225.63

ตาราง ก-5 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 ตะแกรงภาคเคมี รูเปิด 29.00%

น้ำหนัก พริกแห้ง 200 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
1.60	1.30	1.40	1.43	0.00	0.39	29.43
2.50	2.40	2.40	2.43	0.01	0.39	107.91
3.30	3.60	3.50	3.47	0.02	0.39	176.58
4.20	4.00	4.10	4.10	0.03	0.39	255.06
4.60	4.50	4.50	4.53	0.03	0.43	274.68
5.90	6.00	5.80	5.90	0.03	0.44	313.92
*6.40	6.70	6.50	6.53	0.03	0.57	274.68
7.10	7.40	7.30	7.27	0.03	0.97	304.11

ตาราง ก-6 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างกันในเขต เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 ตะแกรงภาคเคมี รูเปิด 29.00%

น้ำหนัก พริกแห้ง 250 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00
0.90	1.10	1.00	1.00	0.00	0.47	39.24
2.20	2.30	2.20	2.23	0.01	0.47	117.72
2.80	2.90	2.80	2.83	0.02	0.48	196.20
3.40	3.30	3.40	3.37	0.02	0.48	235.44
4.30	3.90	4.10	4.10	0.03	0.48	294.30
4.50	4.40	4.50	4.47	0.03	0.49	323.73
5.30	5.40	5.20	5.30	0.04	0.50	362.97
*6.20	6.40	6.20	6.27	0.04	0.67	372.78
7.40	7.00	7.10	7.17	0.04	0.99	382.59

ตาราง ก-7 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%

น้ำหนัก พริกแห้ง 50 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	19.62
1.50	1.60	1.60	1.57	0.00	0.10	19.62
2.40	2.30	2.30	2.33	0.00	0.10	29.43
3.80	3.70	3.80	3.77	0.01	0.11	68.67
4.40	4.30	4.30	4.33	0.01	0.12	78.48
4.70	4.50	4.50	4.57	0.01	0.15	88.29
5.00	5.10	5.00	5.03	0.01	0.16	88.29
*6.20	6.00	6.00	6.07	0.01	0.29	78.48
6.70	6.40	6.50	6.53	0.01	0.99	88.29

ตาราง ก-8 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%

น้ำหนัก พริกแห้ง 100 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันสถ (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	9.81
1.20	1.30	1.20	1.23	0.00	16.00	29.43
2.40	2.50	2.50	2.47	0.01	16.00	88.29
3.30	3.40	3.30	3.33	0.02	16.50	156.96
4.00	3.80	3.90	3.90	0.02	17.00	196.20
3.90	4.10	4.40	4.13	0.01	31.00	117.72
4.20	4.30	4.20	4.23	0.01	31.00	127.53
*6.50	6.80	6.60	6.63	0.02	36.00	166.77
7.50	7.60	7.50	7.53	0.02	0.45	186.39
8.10	8.40	8.20	8.23	0.02	0.99	206.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-9 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%

น้ำหนัก พริกแห้ง 150 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	9.81
1.60	1.40	1.60	1.53	0.01	0.26	๘8.86
2.20	2.30	2.20	2.23	0.02	0.27	147.15
3.00	3.30	3.10	3.13	0.02	0.27	215.82
3.50	3.40	3.40	3.43	0.02	0.27	235.44
4.00	4.20	4.10	4.10	0.02	0.38	206.01
4.90	5.10	5.00	5.00	0.02	0.40	206.01
6.20	6.00	6.20	6.13	0.02	0.63	215.82
6.70	6.90	6.70	6.77	0.03	0.70	245.25
7.60	7.70	7.60	7.63	0.03	0.99	274.68

ตาราง ก-10 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%

น้ำหนัก พริกแห้ง 200 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	9.81
1.10	1.40	1.20	1.23	0.01	0.34	49.05
2.40	2.50	2.40	2.43	0.02	0.35	147.15
2.70	2.60	2.60	2.63	0.02	0.35	215.82
2.90	3.10	3.00	3.00	0.03	0.35	245.25
3.10	3.20	3.20	3.17	0.03	0.35	264.87
3.50	3.40	3.40	3.43	0.03	0.35	304.11
3.90	4.10	4.00	4.00	0.03	0.42	284.49
4.30	4.40	4.30	4.33	0.03	0.48	284.49
5.30	5.50	5.30	5.37	0.03	0.48	313.92
5.90	5.90	5.90	5.90	0.03	0.59	313.92
6.30	6.10	6.10	6.17	0.04	0.99	362.97

ตาราง ก-11 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26%

น้ำหนัก พริกแห้ง 250 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00	9.81
1.50	1.70	1.50	1.57	0.01	42.50	78.48
2.70	2.50	2.50	2.57	0.01	43.00	137.34
2.90	3.00	3.00	2.97	0.02	43.50	235.44
3.10	3.30	3.10	3.17	0.02	43.50	206.01
4.00	4.10	4.00	4.03	0.04	44.00	382.59
4.40	4.30	4.40	4.37	0.03	56.00	274.68
4.80	4.90	4.80	4.83	0.03	56.50	284.49
5.20	5.50	5.30	5.33	0.04	83.00	382.59
6.30	6.20	6.20	6.23	0.04	64.00	412.02
7.20	7.10	7.10	7.13	0.04	0.99	421.83

ตาราง ก-12 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 50 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	9.81
1.40	1.50	1.40	1.43	0.00	0.10	19.62
3.00	2.90	2.90	2.93	0.01	0.11	68.67
3.60	3.60	3.50	3.57	0.01	0.11	88.29
4.20	4.40	4.30	4.30	0.01	0.11	127.53
4.70	4.80	4.80	4.77	0.01	0.12	137.34
5.20	5.30	5.20	5.23	0.02	0.14	156.96
*5.50	5.60	5.40	5.50	0.02	0.24	147.15
6.20	6.30	6.20	6.23	0.02	0.66	176.58
7.20	6.90	7.00	7.03	0.02	0.99	176.58

ตาราง ก-13 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 100 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	9.81
1.30	0.90	1.00	1.07	0.00	0.18	29.43
2.40	2.20	2.20	2.27	0.01	0.18	78.48
3.30	3.50	3.30	3.37	0.01	0.19	127.53
4.30	4.10	4.00	4.13	0.02	0.20	176.58
*5.30	5.10	5.10	5.17	0.02	0.25	206.01
5.50	5.30	5.40	5.40	0.02	0.32	206.01
7.00	6.70	6.80	6.83	0.03	0.32	264.87
7.90	8.20	8.00	8.03	0.03	0.99	274.68

ตาราง ก-14 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 150 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันสถ (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	9.81
1.30	1.10	1.10	1.17	0.00	0.27	29.43
2.40	2.30	2.20	2.30	0.01	0.27	78.48
3.30	3.20	3.20	3.23	0.02	0.28	206.01
4.40	4.50	4.40	4.43	0.02	0.28	215.82
*4.80	5.30	5.00	5.03	0.03	0.32	274.68
5.60	5.50	5.50	5.53	0.03	0.39	294.30
5.90	6.00	5.80	5.90	0.03	0.67	304.11
6.90	6.80	6.80	6.83	0.03	0.99	304.11

ตาราง ก-15 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 200 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	9.81
1.30	1.10	1.10	1.17	0.00	0.35	19.62
2.40	2.10	2.20	2.23	0.01	0.35	127.53
3.20	3.20	3.10	3.17	0.02	0.36	206.01
4.20	3.90	4.00	4.03	0.03	0.38	304.11
*5.30	5.10	5.10	5.17	0.04	0.40	343.35
6.20	6.40	6.20	6.27	0.04	0.50	372.78
6.90	7.20	7.00	7.03	0.04	0.99	382.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-16 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 250 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	9.81
1.40	1.50	1.40	1.43	0.01	0.43	58.86
1.90	2.30	2.10	2.10	0.02	0.43	176.58
3.00	3.20	3.00	3.07	0.02	0.44	215.82
3.60	3.50	3.50	3.53	0.03	0.44	274.68
4.50	4.30	4.20	4.33	0.03	0.44	333.54
*5.20	5.10	5.10	5.13	0.05	0.59	441.45
5.60	5.80	5.60	5.67	0.05	0.70	461.07
6.20	6.30	6.20	6.23	0.05	0.99	470.88

ตาราง ก-17 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 50 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	9.81
2.40	2.30	2.30	2.33	0.00	0.10	29.43
4.90	4.80	4.80	4.83	0.01	0.13	137.34
5.40	5.40	5.30	5.37	0.01	0.14	127.53
5.80	5.90	5.80	5.83	0.02	0.14	196.20
6.20	6.10	6.20	6.17	0.02	0.15	156.96
*6.50	6.70	6.50	6.57	0.02	0.15	166.77
7.60	7.50	7.50	7.53	0.02	0.17	176.58
8.30	8.40	8.20	8.30	0.03	0.99	274.68

ตาราง ก-18 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 ฐเปิด 22.75 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 100 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	9.81
1.40	1.60	1.40	1.47	0.00	0.22	29.43
2.20	2.40	2.30	2.30	0.00	0.22	19.62
3.80	3.70	3.70	3.73	0.01	0.22	98.10
4.50	4.80	4.60	4.63	0.02	0.23	156.96
5.30	5.30	5.30	5.30	0.02	0.23	186.39
*6.00	6.20	6.00	6.07	0.02	0.24	206.01
7.30	7.10	7.00	7.13	0.02	0.30	206.01
8.60	8.70	8.60	8.63	0.03	0.31	245.25
10.40	10.50	10.40	10.43	0.04	0.33	382.59
11.20	10.90	11.00	11.03	0.04	0.99	343.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-19 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 150 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	9.81
1.50	1.40	1.50	1.47	0.01	0.26	58.86
2.70	2.60	2.60	2.63	0.01	0.26	127.53
3.70	3.60	3.70	3.67	0.02	0.26	186.39
4.30	4.10	4.10	4.17	0.02	0.26	235.44
5.00	5.40	5.20	5.20	0.02	0.36	235.44
*5.70	5.80	5.70	5.73	0.03	0.53	274.68
7.20	7.00	7.00	7.07	0.04	0.99	392.40

ตาราง ก-20 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 200 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	9.81
1.40	1.30	1.30	1.33	0.00	0.38	29.43
2.90	2.60	2.70	2.73	0.01	0.38	98.10
3.80	4.00	3.80	3.87	0.02	0.38	176.58
4.30	4.20	4.30	4.27	0.03	0.39	255.06
5.20	5.10	5.00	5.10	0.03	0.39	284.49
*6.00	5.80	5.90	5.90	0.04	0.43	362.97
6.30	6.50	6.30	6.37	0.04	0.59	431.64
8.90	8.70	8.60	8.73	0.05	0.99	441.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-21 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก

50,100,150,200 และ 250 กรัม ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

น้ำหนัก พริกแห้ง 250 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	9.31
0.90	1.10	1.00	1.00	0.00	0.44	39.24
2.40	2.20	2.10	2.23	0.02	0.44	147.15
3.20	3.30	3.20	3.23	0.03	0.44	264.87
4.40	4.30	4.30	4.33	0.04	0.45	382.59
4.70	4.60	4.70	4.67	0.05	0.47	451.26
*5.30	5.20	5.20	5.23	0.05	0.59	451.26
6.70	6.70	6.60	6.67	0.05	0.60	461.07
7.30	7.60	7.40	7.43	0.06	0.99	539.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-22 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %

ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
1.40	1.50	1.50	1.47	0.00	0.11	9.81
2.70	2.90	2.80	2.80	0.00	0.12	9.81
4.10	4.40	4.20	4.23	0.00	0.12	9.81
5.70	5.50	5.60	5.60	0.00	0.13	39.24
6.40	6.50	6.20	6.37	0.01	0.17	68.67
*6.90	7.20	7.00	7.03	0.01	0.34	68.67
8.00	8.10	8.10	8.07	0.01	0.39	68.67
8.30	8.50	8.30	8.37	0.01	0.97	68.67

ตาราง ก-23 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %

ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	19.62
1.50	1.60	1.60	1.57	0.00	0.10	19.62
2.40	2.30	2.30	2.33	0.00	0.10	29.43
3.80	3.70	3.80	3.77	0.01	0.11	68.67
4.40	4.30	4.30	4.33	0.01	0.12	78.48
4.70	4.50	4.50	4.57	0.01	0.15	88.29
5.00	5.10	5.00	5.03	0.01	0.16	88.29
*6.20	6.00	6.00	6.07	0.01	0.29	78.48
6.70	6.40	6.50	6.53	0.01	0.99	88.29

ตาราง ก-24 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม

ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	9.81
1.40	1.50	1.40	1.43	0.00	0.10	19.62
3.00	2.90	2.90	2.93	0.01	0.11	68.67
3.60	3.60	3.50	3.57	0.01	0.11	88.29
4.20	4.40	4.30	4.30	0.01	0.11	127.53
4.70	4.80	4.80	4.77	0.01	0.12	137.34
5.20	5.30	5.20	5.23	0.02	0.14	156.96
*5.50	5.60	5.40	5.50	0.02	0.24	147.15
6.20	6.30	6.20	6.23	0.02	0.66	176.58
7.20	6.90	7.00	7.03	0.02	0.99	176.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-25 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 50 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	9.81
2.40	2.30	2.30	2.33	0.00	0.10	29.43
4.90	4.80	4.80	4.83	0.01	0.13	137.34
5.40	5.40	5.30	5.37	0.01	0.14	127.53
5.80	5.90	5.80	5.83	0.02	0.14	196.20
6.20	6.10	6.20	6.17	0.02	0.15	156.96
*6.50	6.70	6.50	6.57	0.02	0.15	166.77
7.60	7.50	7.50	7.53	0.02	0.17	176.58
8.30	8.40	8.20	8.30	0.03	0.99	274.68

ตาราง ก-26 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %

ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
1.70	1.90	1.70	1.77	0.00	0.21	9.81
2.90	3.30	3.10	3.10	0.01	0.21	49.05
4.40	4.40	4.20	4.33	0.01	0.22	68.67
5.10	5.40	5.30	5.27	0.01	0.22	88.29
6.40	6.70	6.50	6.53	0.01	0.25	127.53
*7.10	7.40	7.20	7.23	0.02	0.30	147.15
8.30	8.00	8.10	8.13	0.02	0.74	156.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-27 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %

ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	9.81
1.20	1.30	1.20	1.23	0.00	16.00	29.43
2.40	2.50	2.50	2.47	0.01	16.00	88.29
3.30	3.40	3.30	3.33	0.02	16.50	156.96
4.00	3.80	3.90	3.90	0.02	17.00	196.20
3.90	4.10	4.00	4.00	0.01	31.00	117.72
4.20	4.30	4.20	4.23	0.01	31.00	127.53
6.50	6.80	6.60	6.63	0.02	36.00	166.77
*7.50	7.60	7.50	7.53	0.02	0.45	186.39
8.10	8.40	8.20	8.23	0.02	0.99	206.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-28 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันสถ (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	9.81
1.30	0.90	1.00	1.07	0.00	0.18	29.43
2.40	2.20	2.20	2.27	0.01	0.18	78.48
3.30	3.50	3.30	3.37	0.01	0.19	127.53
4.30	4.10	4.00	4.13	0.02	0.20	176.58
*5.30	5.10	5.10	5.17	0.02	0.25	206.01
5.50	5.30	5.40	5.40	0.02	0.32	206.01
7.00	6.70	6.80	6.83	0.03	0.32	264.87
7.90	8.20	8.00	8.03	0.03	0.99	274.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-29 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 100 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	9.81
1.40	1.60	1.40	1.47	0.00	0.22	29.43
2.20	2.40	2.30	2.30	0.00	0.22	19.62
3.80	3.70	3.70	3.73	0.01	0.22	98.10
4.50	4.80	4.60	4.63	0.02	0.23	156.96
5.30	5.30	5.30	5.30	0.02	0.23	186.39
6.00	6.20	6.00	6.07	0.02	0.24	206.01
*7.30	7.10	7.00	7.13	0.02	0.30	206.01
8.60	8.70	8.60	8.63	0.03	0.31	245.25
10.40	10.50	10.40	10.43	0.04	0.33	382.59

ตาราง ก-30 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %

ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
1.60	1.90	1.70	1.73	0.00	0.26	29.43
3.40	3.50	3.50	3.47	0.01	0.26	107.91
4.50	4.70	4.60	4.60	0.02	0.27	166.77
4.90	5.30	5.10	5.10	0.02	0.27	186.39
5.70	6.00	5.80	5.83	0.02	0.30	225.63
6.10	6.30	6.20	6.20	0.02	0.32	225.63
*6.50	6.90	6.60	6.67	0.03	0.46	245.25
7.30	7.00	7.00	7.10	0.02	0.97	225.63

ตาราง ก-31 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %

ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	9.81
1.60	1.40	1.60	1.53	0.01	0.26	58.86
2.20	2.30	2.20	2.23	0.02	0.27	147.15
3.00	3.30	3.10	3.13	0.02	0.27	215.82
3.50	3.40	3.40	3.43	0.02	0.27	235.44
4.00	4.20	4.10	4.10	0.02	0.38	206.01
4.90	5.10	5.00	5.00	0.02	0.40	206.01
6.20	6.00	6.20	6.13	0.02	0.63	215.82
*6.70	6.90	6.70	6.77	0.03	0.70	245.25
7.60	7.70	7.60	7.63	0.03	0.99	274.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-32 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	9.81
1.30	1.10	1.10	1.17	0.00	0.27	29.43
2.40	2.30	2.20	2.30	0.01	0.27	78.48
3.30	3.20	3.20	3.23	0.02	0.28	206.01
4.40	4.50	4.40	4.43	0.02	0.28	215.82
4.80	5.30	5.00	5.03	0.03	0.32	274.68
*5.60	5.50	5.50	5.53	0.03	0.39	294.30
5.90	6.00	5.80	5.90	0.03	0.67	304.11
6.90	6.80	6.80	6.83	0.03	0.99	304.11

ตาราง ก-33 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 150 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	9.81
1.50	1.40	1.50	1.47	0.01	0.26	58.86
2.70	2.60	2.60	2.63	0.01	0.26	127.53
3.70	3.60	3.70	3.67	0.02	0.26	186.39
4.30	4.10	4.10	4.17	0.02	0.26	235.44
*5.00	5.40	5.20	5.20	0.02	0.36	235.44
5.70	5.80	5.70	5.73	0.03	0.53	274.68
7.20	7.00	7.00	7.07	0.04	0.99	392.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-34 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %

ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันว่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
1.60	1.30	1.40	1.43	0.00	0.39	29.43
2.50	2.40	2.40	2.43	0.01	0.39	107.91
3.30	3.60	3.50	3.47	0.02	0.39	176.58
4.20	4.00	4.10	4.10	0.03	0.39	255.06
4.60	4.50	4.50	4.53	0.03	0.43	274.68
5.90	6.00	5.80	5.90	0.03	0.44	313.92
*6.40	6.70	6.50	6.53	0.03	0.57	274.68
7.10	7.40	7.30	7.27	0.03	0.97	304.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-35 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างกันในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %

ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	9.81
1.10	1.40	1.20	1.23	0.01	0.34	49.05
2.40	2.50	2.40	2.43	0.02	0.35	147.15
2.70	2.60	2.60	2.63	0.02	0.35	215.82
2.90	3.10	3.00	3.00	0.03	0.35	245.25
3.10	3.20	3.20	3.17	0.03	0.35	264.87
3.50	3.40	3.40	3.43	0.03	0.35	304.11
3.90	4.10	4.00	4.00	0.03	0.42	284.49
4.30	4.40	4.30	4.33	0.03	0.48	284.49
5.30	5.50	5.30	5.37	0.03	0.48	313.92
*5.90	5.90	5.90	5.90	0.03	0.59	313.92

ตาราง ก-36 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	9.81
1.30	1.10	1.10	1.17	0.00	0.35	19.62
2.40	2.10	2.20	2.23	0.01	0.35	127.53
3.20	3.20	3.10	3.17	0.02	0.36	206.01
4.20	3.90	4.00	4.03	0.03	0.38	304.11
5.30	5.10	5.10	5.17	0.04	0.40	343.35
*6.20	6.40	6.20	6.27	0.04	0.50	372.78
6.90	7.20	7.00	7.03	0.04	0.99	382.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-37 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างกันภายในเขต เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 200 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันสถิต (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	9.81
1.40	1.30	1.30	1.33	0.00	0.38	29.43
2.90	2.60	2.70	2.73	0.01	0.38	98.10
3.80	4.00	3.80	3.87	0.02	0.38	176.58
4.30	4.20	4.30	4.27	0.03	0.39	255.06
5.20	5.10	5.00	5.10	0.03	0.39	284.49
6.00	5.80	5.90	5.90	0.04	0.43	362.97
*6.30	6.50	6.30	6.37	0.04	0.59	431.64
8.90	8.70	8.60	8.73	0.05	0.99	441.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-38 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %

ตะแกรงแบบที่ 1 รูเปิด 29.00 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00
0.90	1.10	1.00	1.00	0.00	0.47	39.24
2.20	2.30	2.20	2.23	0.01	0.47	117.72
2.80	2.90	2.80	2.83	0.02	0.48	196.20
3.40	3.30	3.40	3.37	0.02	0.48	235.44
4.30	3.90	4.10	4.10	0.03	0.48	294.30
4.50	4.40	4.50	4.47	0.03	0.49	323.73
5.30	5.40	5.20	5.30	0.04	0.50	362.97
*6.20	6.40	6.20	6.27	0.04	0.67	372.78
7.40	7.00	7.10	7.17	0.04	0.99	382.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-39 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %

ตะแกรงแบบที่ 2 รูเปิด 86.26 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00	9.81
1.50	1.70	1.50	1.57	0.01	42.50	78.48
2.70	2.50	2.50	2.57	0.01	43.00	137.34
2.90	3.00	3.00	2.97	0.02	43.50	235.44
3.10	3.30	3.10	3.17	0.02	43.50	206.01
4.00	4.10	4.00	4.03	0.04	44.00	382.59
4.40	4.30	4.40	4.37	0.03	56.00	274.68
4.80	4.90	4.80	4.83	0.03	56.50	284.49
5.20	5.50	5.30	5.33	0.04	83.00	382.59
*6.30	6.20	6.20	6.23	0.04	64.00	412.02
7.20	7.10	7.10	7.13	0.04	0.99	421.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-40 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างกันในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %

ตะแกรงแบบที่ 3 รูเปิด 36.95 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	9.81
1.40	1.50	1.40	1.43	0.01	0.43	58.86
1.90	2.30	2.10	2.10	0.02	0.43	176.58
3.00	3.20	3.00	3.07	0.02	0.44	215.82
3.60	3.50	3.50	3.53	0.03	0.44	274.68
4.50	4.30	4.20	4.33	0.03	0.44	333.54
*5.20	5.10	5.10	5.13	0.05	0.59	441.45
5.60	5.80	5.60	5.67	0.05	0.70	461.07
6.20	6.30	6.20	6.23	0.05	0.99	470.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-41 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบด เมื่อใส่พริกแห้งน้ำหนัก 250 กรัม
ของตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %

ตะแกรงแบบที่ 4 รูเปิด 22.75 %						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูงเบด (m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	9.81
0.90	1.10	1.00	1.00	0.00	0.44	39.24
2.40	2.20	2.10	2.23	0.02	0.44	147.15
3.20	3.30	3.20	3.23	0.03	0.44	264.87
4.40	4.30	4.30	4.33	0.04	0.45	382.59
4.70	4.60	4.70	4.67	0.05	0.47	451.26
*5.30	5.20	5.20	5.23	0.05	0.59	451.26
6.70	6.70	6.60	6.67	0.05	0.60	461.07
7.30	7.60	7.40	7.43	0.06	0.99	539.55

ตาราง ก-42 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน
ของเม็ดพลาสติก น้ำหนัก 150 กรัม

ความเร็วลม (m/s)	Δh (mH ₂ O)	ความสูงเบด (m)	ความดันลด (ΔP)
0.00	0.00	0.03	0.00
1.00	0.01	0.03	137.34
2.00	0.01	0.04	137.34
2.50	0.02	0.07	147.15
3.00	0.02	0.08	147.15
3.50	0.02	0.09	147.15
3.80	0.02	0.11	147.15
4.20	0.02	0.12	147.15
4.70	0.02	0.13	147.15
4.80	0.02	0.14	147.15
5.20	0.02	0.14	147.15
5.50	0.02	0.14	147.15
6.00	0.02	0.16	147.15
7.00	0.02	0.21	156.96
8.40	0.02	0.27	166.77
9.30	0.02	0.43	176.58
10.70	0.02	0.91	176.58

ตาราง ก-43 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน
ของเม็ดพลาสติก น้ำหนัก 300 กรัม

ความเร็วลม (m/s)	Δh (mH ₂ O)	ความสูงเบด (m)	ความดันลด (ΔP)
1.00	0.00	0.06	0.00
1.60	0.03	0.06	255.06
2.20	0.03	0.10	304.11
3.00	0.03	0.13	323.73
3.50	0.03	0.16	323.73
4.10	0.03	0.18	333.54
5.70	0.04	0.22	353.16
7.10	0.04	0.36	353.16
8.00	0.04	0.40	353.16
8.90	0.04	0.66	382.59
10.00	0.04	0.99	392.40

ตาราง ก-44 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน
ของพริกแห้ง น้ำหนัก 150 กรัม

น้ำหนัก พริกแห้ง 150 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันลด (m)	ความสูง เบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0	0	0	0.000	0	0.26	0
1.6	1.9	1.7	1.733	0.003	0.26	29.43
3.4	3.5	3.5	3.467	0.011	0.26	107.91
4.5	4.7	4.6	4.600	0.017	0.27	166.77
4.9	5.3	5.1	5.100	0.019	0.27	186.39
5.7	6	5.8	5.833	0.023	0.3	225.63
6.1	6.3	6.2	6.200	0.023	0.32	225.63
6.5	6.9	6.6	6.667	0.025	0.46	245.25
7.3	7	7	7.100	0.023	0.97	225.63

ตาราง ก-45 แสดงความเร็วลมและความดันแตกต่างภายในเบดการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน
ของพริกแห้ง น้ำหนัก 300 กรัม

น้ำหนัก พริกแห้ง 300 กรัม						
ความเร็วลม(m/s)				ความดันสถ (m)	ความสูงเบด(m)	ความดันต่างในเบด (Pa)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
0	0	0	0.000	0	0.55	0
0.9	1.1	0.9	0.967	0.003	0.55	29.43
1.7	1.6	1.6	1.633	0.006	0.55	58.86
2.6	2.6	2.5	2.567	0.017	0.56	166.77
3.5	3.2	3.3	3.333	0.025	0.56	245.25
3.7	3.6	3.7	3.667	0.044	0.56	431.64
5.6	5.4	5.4	5.467	0.044	0.84	431.64

ตาราง ก-46 แสดงความเร็วลมที่วัดที่ตำแหน่งต่างๆจากจุดที่ป้อนวัตถุดิบจนถึงทางออกของเครื่องฟลูอิดไดซ์โดยที่ไม่มีเม็ดคอกู่ภายใน โดยปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์เป็น 30,40 และ 50 Hz

ระยะทางจากจุดป้อนวัตถุดิบ(cm)	ความเร็วลม(m/s)ที่ 30 Hz				ความเร็วลม(m/s)ที่ 40 Hz				ความเร็วลม(m/s)ที่ 50 Hz			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	2.43	2.62	2.76	2.60	3.41	3.34	3.51	3.42	3.77	3.84	3.67	3.76
10	4.27	4.21	4.31	4.26	5.1	4.94	5.32	5.12	5.34	5.45	5.33	5.37
15	4.35	4.18	4.29	4.27	5.28	5.18	5.43	5.30	5.23	5.45	5.34	5.34
20	4.12	4.02	3.98	4.04	4.62	4.55	4.66	4.61	4.89	5.01	4.91	4.94
25	5.01	4.63	4.43	4.69	5.73	5.53	5.87	5.71	5.98	5.74	5.88	5.87
30	4.27	4.17	4.02	4.15	5.33	5.21	5.62	5.39	6.02	6.12	6.12	6.09
35	4.19	4.27	4.34	4.27	5.2	5.28	5.34	5.27	5.36	5.55	5.45	5.45
40	4.28	4.13	4.47	4.29	5.36	5.314	5.49	5.39	5.24	5.56	5.38	5.39
45	4.36	4.37	4.46	4.40	5.5	5.67	5.54	5.57	5.63	5.78	5.71	5.71
50	5.58	5.36	5.54	5.49	6.71	6.87	6.45	6.68	7.12	7.54	7.2	7.29
55	4.76	4.9	5.01	4.89	5.7	5.74	5.89	5.78	6.67	6.34	6.52	6.51
60	4.86	4.91	4.98	4.92	6.1	6.03	6.15	6.09	6.12	6.43	6.32	6.29
65	3.32	3.62	3.87	3.60	4.2	4.18	4.32	4.23	4.12	4.09	4.1	4.10
70	4.14	4.25	4.34	4.24	5.07	4.87	5.12	5.02	3.23	3.08	3.12	3.14
75	4.88	4.75	4.68	4.77	5.13	5.12	5.32	5.19	6.34	6.45	6.3	6.36
80	4.65	4.7	4.77	4.71	5.63	5.78	5.57	5.66	6.67	6.34	6.43	6.48
85	4.12	4.2	4.35	4.22	5.26	5.45	5.15	5.29	5.67	5.32	5.57	5.52
90	2.45	2.5	2.57	2.51	4.38	4.26	4.28	4.31	4.32	4.54	4.4	4.42
95	1.97	2.1	2.23	2.10	3.1	3.09	3.24	3.14	3.12	3.45	3.22	3.26
100	2.83	2.7	2.78	2.77	3.2	3.37	3.25	3.27	3.77	3.36	3.62	3.58

ตาราง ก-47 แสดงความเร็รรอบ ความดันแตกต่าง ปริมาณลม และความเร็วลมที่ความถี่ต่างๆเพื่อทดลองหาสมรรถนะของพัดลม

ความถี่ (Hz)	ความเร็รรอบ (rpm)	ระยะเปิดปิดท่อ (cm)	Δh (mH ₂ O)	hs(mH ₂ O)	Q(m ³ /s)	V(m/s)	Pv(Pa)	Ps(Pa)	Pt(Pa)	P2/P1	Y
10	300	0	0	0.004	0	0	0	39.24	39.24	1	1
		3	0.005	0.004	0.045	2.106	2.572	39.24	41.812	0.99	0.998
		6	0.005	0.003	0.045	2.106	2.572	29.43	32.002	0.99	0.998
		9	0.004	0.004	0.04	1.872	2.033	39.24	41.273	0.99	0.998
15	447	0	0	0.007	0	0	0	68.67	68.67	1	1
		3	0.006	0.007	0.049	2.293	3.049	68.67	71.719	0.99	0.998
		6	0.008	0.006	0.057	2.667	4.125	58.86	62.985	0.99	0.998
		9	0.007	0.005	0.053	2.48	3.567	49.05	52.617	0.99	0.998
20	594	0	0	0.011	0	0	0	107.91	107.91	1	1
		3	0.011	0.01	0.067	3.135	5.7	98.1	103.8	0.99	0.998
		6	0.012	0.01	0.07	3.276	6.225	98.1	104.325	0.99	0.998
		9	0.014	0.011	0.076	3.556	7.334	98.1	105.434	0.99	0.998
25	673	0	0	0.02	0	0	0	196.2	196.2	1	1
		3	0.018	0.016	0.086	4.024	9.392	156.96	166.352	0.99	0.998
		6	0.02	0.017	0.09	4.252	10.289	166.77	177.059	0.99	0.998
		9	0.02	0.016	0.09	4.212	10.289	156.96	167.249	0.99	0.998
30	887	0	0	0.028	0	0	0	274.68	274.68	1	1
		3	0.022	0.023	0.094	4.399	11.224	225.63	236.854	0.99	0.998
		6	0.028	0.023	0.106	4.96	14.269	225.63	239.899	0.99	0.998
		9	0.029	0.023	0.109	5.101	15.092	225.63	240.722	0.99	0.998
35	1035	0	0	0.038	0	0	0	372.78	372.78	1	1
		3	0.033	0.031	0.116	5.428	17.089	304.11	321.199	0.99	0.998
		6	0.039	0.032	0.126	5.869	20.162	313.92	334.082	0.99	0.998
		9	0.04	0.032	0.128	5.99	20.81	313.92	334.73	0.99	0.998

ตาราง ก-48 แสดงความเร็รรอบ ความดันแตกต่าง ปริมาณลม และความเร็วลมที่ความถี่ต่างๆเพื่อทดลองหาสมรรถนะของพัดลม (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความเร็รรอบ (rpm)	ระยะเปิดปิดท่อ (cm)	Δh (mH ₂ O)	hs(mH ₂ O)	Q(m ³ /s)	V(m/s)	Pv(Pa)	Ps(Pa)	Pt(Pa)	P2/P1	Y
40	1243	0	0	0.049	0	0	0	480.69	480.69	1	1
		3	0.043	0.041	0.132	6.177	22.13	422.21	444.34	0.99	0.998
		6	0.051	0.041	0.143	6.692	25.974	422.21	448.184	0.99	0.998
		9	0.052	0.041	0.146	6.832	27.72	422.21	449.93	0.99	0.998
45	1321	0	0	0.065	0	0	0	637.65	637.65	1	1
		3	0.057	0.053	0.151	7.066	28.958	519.93	548.888	0.99	0.998
		6	0.065	0.052	0.163	7.627	33.739	510.12	543.859	0.99	0.998
		9	0.067	0.051	0.165	7.721	34.576	500.31	534.886	0.99	0.998
50	1459	0	0	0.08	0	0	0	784.8	784.8	1	1
		3	0.075	0.062	0.172	8.049	37.576	608.32	645.896	0.99	0.998
		6	0.081	0.063	0.182	8.517	42.073	618.03	660.103	0.99	0.998
		9	0.086	0.064	0.187	8.751	44.416	627.84	672.256	0.99	0.998

ตาราง ก-49 แสดงความเร็วรอบ ความดันแตกต่าง ปริมาณลม และความเร็วลมที่ความถี่ต่างๆเพื่อทดสอบหาสมรรถนะของพัดลม

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะเปิดปิดท่อ (cm)	Δh (mH ₂ O)	hs(mH ₂ O)	Q(m ³ /s)	V(m/s)	อัตราการไหลเชิงมวล(kg/s)	Heater (kw)
10	300	0	0	0.004	0	0	0.000	0.000
		3	0.005	0.004	0.045	2.106	0.056	6.558
		6	0.005	0.003	0.045	2.106	0.056	6.558
		9	0.004	0.004	0.04	1.872	0.050	5.829
15	447	0	0	0.007	0	0	0.000	0.000
		3	0.006	0.007	0.049	2.293	0.061	7.141
		6	0.008	0.006	0.057	2.667	0.071	8.306
		9	0.007	0.005	0.053	2.48	0.066	7.723
20	594	0	0	0.011	0	0	0.000	0.000
		3	0.011	0.01	0.067	3.135	0.083	9.764
		6	0.012	0.01	0.07	3.276	0.087	10.201
		9	0.014	0.011	0.076	3.556	0.094	11.075
25	673	0	0	0.02	0	0	0.000	0.000
		3	0.018	0.016	0.086	4.024	0.107	12.532
		6	0.02	0.017	0.09	4.252	0.112	13.115
		9	0.02	0.016	0.09	4.212	0.112	13.115
30	887	0	0	0.028	0	0	0.000	0.000
		3	0.022	0.023	0.094	4.399	0.117	13.698
		6	0.028	0.023	0.106	4.96	0.132	15.447
		9	0.029	0.023	0.109	5.101	0.135	15.884
35	1035	0	0	0.038	0	0	0.000	0.000
		3	0.033	0.031	0.116	5.428	0.144	16.904
		6	0.039	0.032	0.126	5.869	0.157	18.361
		9	0.04	0.032	0.128	5.99	0.159	18.653

ตาราง ก-50 แสดงความเร็รรอบ ความดันแตกต่าง ปริมาณลม และความเร็วลมที่ความถี่ต่างๆเพื่อทดลองหาสมรรถนะของพัดลม (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความเร็รรอบ (rpm)	ระยะเปิดปิดท่อ (cm)	Δh (mH ₂ O)	hs(mH ₂ O)	Q(m ³ /s)	V(m/s)	อัตราการไหลเชิงมวล(kg/s)	Heater (kw)
40	1243	0	0	0.049	0	0	0.000	0.000
		3	0.043	0.041	0.132	6.177	0.164	19.236
		6	0.051	0.041	0.143	6.692	0.178	20.839
		9	0.052	0.041	0.146	6.832	0.181	21.276
45	1321	0	0	0.065	0	0	0.000	0.000
		3	0.057	0.053	0.151	7.066	0.188	22.005
		6	0.065	0.052	0.163	7.627	0.203	23.753
		9	0.067	0.051	0.165	7.721	0.205	24.045
50	1459	0	0	0.08	0	0	0.000	0.000
		3	0.075	0.062	0.172	8.049	0.214	25.065
		6	0.081	0.063	0.182	8.517	0.226	26.522
		9	0.086	0.064	0.187	8.751	0.232	27.251

ตาราง ก-51 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบดของพริกแห้ง 1000 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20 ,30 และ 40 Hz

ความเร็ว (m/s)						Δh (mmH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
1.67	1.23	2.05	2.16	1.1	1.642	0.006	0.006	0.006	0.002	0.004	20	39.24
1.72	1.1	2.4	1.87	1.31	1.68	0.006	0.006	0.006	0.002	0.004	21	39.24
2.82	1.24	2.56	1.16	1.67	1.89	0.006	0.008	0.008	0.006	0.0056	22	54.936
2.19	1.32	2.6	2.39	1.76	2.052	0.006	0.01	0.01	0.004	0.006	23	58.86
2.39	1.21	2.67	1.33	2.33	1.986	0.006	0.01	0.01	0.004	0.006	24	58.86
2.53	1.14	2.23	1.3	1.76	1.792	0.006	0.01	0.01	0.004	0.006	25	58.86
1.67	1.28	1.45	2.4	1.85	1.73	0.006	0.01	0.01	0.006	0.0064	26	62.784
2.6	2.47	2.29	2.64	2.41	2.482	0.006	0.01	0.01	0.006	0.0064	27	62.784
3.34	3.36	3.04	2.59	2.43	2.952	0.006	0.01	0.01	0.006	0.0064	28	62.784
4.15	2.4	3.2	2.39	3.01	3.03	0.006	0.008	0.008	0.002	0.0048	29	47.088
3.2	3.08	3.63	2.96	3.36	3.246	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	30	54.936
3.83	3.03	3.49	3.82	3.28	3.49	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	31	54.936

ตาราง ก-51 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบดของพริกแห้ง 1000 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20 ,30 และ 40 Hz (ต่อ)

ความเร็ว (m/s)						Δh (mmH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
3.98	3.76	2.38	3	2.85	3.194	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	32	54.936
3.86	2.86	3.04	3.3	3.96	3.404	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	33	54.936
3.7	3.58	3.96	3.24	3.13	3.522	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	34	54.936
3.71	3.29	3.52	3.96	3.85	3.666	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	35	54.936
3.17	3.24	3.23	2.89	3.28	3.162	0.006	0.01	0.01	0.002	0.0056	36	54.936
3.83	4.98	2.98	3.09	4.12	3.8	0.006	0.012	0.014	0.002	0.0068	37	66.708
3.61	3.37	2.4	3.11	3.56	3.21	0.008	0.012	0.012	0.006	0.0076	38	74.556
3.26	5.49	3.32	2.76	3.11	3.588	0.008	0.014	0.012	0.006	0.008	39	78.48
4.98	4.39	4.07	4.31	3.28	4.206	0.006	0.014	0.012	0.008	0.008	40	78.48

ตาราง ก-52 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบคของพริกแห้ง 1500 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20 ,30 และ 40 Hz

ความเร็ว (m/s)						Δh (mH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่1	ระยะที่2	ระยะที่3	ระยะที่4	ระยะที่5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
3.29	1.87	1.86	2.59	1.42	2.206	0.006	0.01	0.008	0.002	0.0065	20	63.765
3.45	1.94	1.72	2.12	1.59	2.164	0.01	0.01	0.008	0.006	0.0085	21	83.385
3.9	2.28	1.97	2.23	1.97	2.47	0.008	0.01	0.01	0.006	0.0085	22	83.385
3.7	2.56	2.17	2.49	1.67	2.518	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	23	88.29
3.82	3.06	2.03	2.42	1.67	2.6	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	24	88.29
4.12	2.39	2.73	2.96	1.65	2.77	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	25	88.29
4.92	2.52	1.96	2.45	2.01	2.772	0.01	0.01	0.01	0.002	0.008	26	78.48
5.1	2.23	2.01	3.5	2.72	3.112	0.01	0.01	0.01	0.004	0.0085	27	83.385
4.86	2.03	2.27	3.42	2.86	3.088	0.01	0.014	0.01	0.002	0.009	28	88.29

ตาราง ก-52 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบดของพริกแห้ง 1500 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20, 30 และ 40 Hz Z (ต่อ)

ความเร็ว (m/s)						Δh (mH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่1	ระยะที่2	ระยะที่3	ระยะที่4	ระยะที่5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
4.47	3.26	3.29	2.52	3.67	3.442	0.008	0.012	0.01	0.002	0.008	29	78.48
4.35	3.35	3.52	1.72	3.32	3.252	0.008	0.01	0.01	0.002	0.0075	30	73.575
4.19	7.5	5.7	2.5	4.32	4.842	0.008	0.012	0.01	0.002	0.008	31	78.48
4.15	5.26	7.18	1.23	3.82	4.328	0.008	0.01	0.01	0.002	0.0075	32	73.575
3.82	6.59	7.8	1.23	4.71	4.83	0.008	0.012	0.01	0.002	0.008	33	78.48
4.41	9.81	8.14	1.44	3.33	5.426	0.008	0.012	0.012	0.002	0.0085	34	83.385
3.9	9.75	4.35	2.66	4.01	4.934	0.008	0.012	0.01	0.002	0.008	35	78.48
3.97	10.1	4.38	1.39	3.73	4.714	0.008	0.012	0.014	0.002	0.009	36	88.29
3.03	5.2	11	1.57	3.6	4.88	0.006	0.012	0.012	0.002	0.008	37	78.48
5.29	2.28	11.2	5.83	2.75	5.47	0.006	0.012	0.014	0.004	0.009	38	88.29
8.86	2.13	10.8	3.02	3.21	5.604	0.004	0.012	0.014	0.004	0.0085	39	83.385
8.76	5.4	9.64	5.3	2.61	6.342	0.004	0.012	0.014	0.004	0.0085	40	83.385

ตาราง ก-53 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบดของพริกแห้ง 2000 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20 ,30 และ 40 Hz Z

ความเร็ว (m/s)						Δh (mmH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
2.76	2.03	2.01	1.69	1.44	1.986	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	20	88.29
2.72	2.32	1.19	1.37	1.95	1.91	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	21	88.29
3.2	2.74	1.71	1.51	2.21	2.274	0.01	0.01	0.01	0.006	0.009	22	88.29
3.05	2.82	1.73	2.1	1.2	2.18	0.01	0.01	0.008	0.006	0.0085	23	83.385
3.5	2.74	1.8	2.01	2.05	2.42	0.01	0.01	0.01	0.008	0.0095	24	93.195
2.38	2.49	2.01	1.49	2.13	2.1	0.008	0.012	0.01	0.006	0.009	25	88.29
2.59	2.72	1.6	2.05	2.3	2.252	0.01	0.012	0.012	0.008	0.0105	26	103.005
2.26	2.62	1.39	2.1	2.59	2.192	0.01	0.012	0.012	0.008	0.0105	27	103.005
2.16	2.89	2.06	2.27	2.12	2.3	0.012	0.012	0.01	0.008	0.0105	28	103.005

ตาราง ก-53 แสดงความเร็วลมและความดันต่างภายในเบคของพริกแห้ง 2000 กรัม ที่ระยะต่างๆ ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 20 ,30 และ 40 Hz (ต่อ)

ความเร็ว (m/s)						Δh (mmH ₂ O)					ความถี่	ΔP
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	เฉลี่ย	(Hz)	(Pa)
2.89	5.3	2.6	1.6	2.13	2.904	0.01	0.012	0.012	0.008	0.0105	29	103.005
2.33	5.85	2.94	2.92	2.02	3.212	0.012	0.012	0.012	0.008	0.011	30	107.91
2.85	4.72	2.1	3.88	2.02	3.114	0.012	0.012	0.012	0.008	0.011	31	107.91
2.98	4.96	2.46	2.81	2.03	3.048	0.012	0.014	0.016	0.008	0.0125	32	122.625
3.12	5.06	2.82	3.28	1.98	3.252	0.008	0.014	0.014	0.008	0.011	33	107.91
3.45	4.52	2.13	3.32	1.87	3.058	0.012	0.014	0.014	0.006	0.0115	34	112.815
3.62	3.28	2.57	3.1	1.47	2.808	0.012	0.016	0.014	0.006	0.012	35	117.72
3.4	6.1	2.8	3.09	1.52	3.382	0.01	0.014	0.014	0.006	0.011	36	107.91
3.02	5.34	8.3	5.02	1.69	4.674	0.01	0.014	0.014	0.006	0.011	37	107.91
2.26	3.27	3.24	2.31	1.72	2.56	0.008	0.014	0.014	0.006	0.0105	38	103.005
2.86	3.19	2.59	2.48	1.34	2.492	0.008	0.014	0.014	0.002	0.0095	39	93.195
4.2	6.52	2.36	2.06	1.87	3.402	0.008	0.014	0.014	0.002	0.0095	40	93.195

ตาราง ก-54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบตครั้งที่ 1

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) mid	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	4.464	3.824	4.597	4.295	4.092	3.501	4.268	3.954	0.341	7.950
20	3.631	3.406	4.224	3.753	3.393	3.191	3.993	3.526	0.228	6.066
30	4.889	3.431	3.577	3.966	4.580	3.263	3.375	3.739	0.226	5.710
40	3.247	3.692	3.736	3.558	3.048	3.476	3.558	3.361	0.198	5.559
50	4.324	4.618	4.552	4.498	4.089	4.350	4.332	4.257	0.241	5.357
60	3.405	3.449	3.950	3.602	3.207	3.258	3.781	3.415	0.186	5.176
70	4.462	4.142	3.378	3.994	4.211	3.923	3.230	3.788	0.206	5.159
80	4.945	4.148	4.508	4.534	4.676	3.956	4.331	4.321	0.213	4.703
90	3.766	3.657	3.610	3.677	3.580	3.467	3.490	3.512	0.165	4.493
100	4.027	3.417	3.882	3.775	3.826	3.264	3.739	3.610	0.166	4.393
110	4.314	3.991	4.214	4.173	4.110	3.805	4.061	3.992	0.181	4.331
120	4.562	3.657	4.006	4.075	4.390	3.528	3.846	3.921	0.154	3.767

ตาราง ก-55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบด ครั้งที่ 2

เวลา อบแห้ง (นาทื)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.4934	2.4371	2.5212	2.4839	2.2590	2.2315	2.3086	2.2664	0.2175	8.76
20	2.3767	2.1511	2.6269	2.3849	2.2330	2.0209	2.5287	2.2609	0.1240	5.20
30	2.3368	2.0297	2.8123	2.3929	2.1815	1.9377	2.6885	2.2692	0.1237	5.17
40	2.2841	2.5368	2.6166	2.4792	2.1679	2.4368	2.4743	2.3597	0.1195	4.82
50	2.2475	2.4528	2.3852	2.3618	2.1336	2.3522	2.2852	2.2570	0.1048	4.44
60	2.9765	2.1145	2.5634	2.5515	2.8446	2.0391	2.4502	2.4446	0.1068	4.19
70	2.7541	2.5814	2.2643	2.5333	2.6621	2.4791	2.1411	2.4274	0.1058	4.18
80	2.9465	2.4397	2.7536	2.7133	2.8116	2.3264	2.6632	2.6004	0.1129	4.16
90	3.6845	2.5239	2.1428	2.7837	3.5266	2.4438	2.0363	2.6689	0.1148	4.13
100	3.6652	2.1747	2.3385	2.7261	3.5542	2.0431	2.2486	2.6153	0.1108	4.07
110	2.6412	3.8579	2.2743	2.9245	2.5646	3.7335	2.1235	2.8072	0.1173	4.01
120	3.5623	3.0561	3.3532	3.3239	3.4226	2.8926	3.2656	3.194	0.1303	3.92

ตาราง ก-56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบด ครั้งที่ 3

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.593	2.537	2.621	2.584	2.359	2.332	2.409	2.366	0.218	8.419
20	2.477	2.351	2.727	2.518	2.333	2.121	2.629	2.361	0.157	6.249
30	2.384	2.737	2.717	2.613	2.268	2.537	2.574	2.460	0.153	5.850
40	2.437	2.130	2.912	2.493	2.282	2.038	2.789	2.369	0.124	4.962
50	3.662	3.156	3.453	3.424	3.523	2.893	3.366	3.260	0.164	4.778
60	2.348	2.553	2.485	2.462	2.234	2.452	2.385	2.357	0.105	4.258
70	3.077	2.215	2.663	2.651	2.945	2.139	2.550	2.545	0.107	4.029
80	2.854	2.681	2.364	2.633	2.762	2.579	2.241	2.527	0.106	4.019
90	3.047	2.540	2.854	2.813	2.912	2.426	2.763	2.700	0.113	4.012
100	3.785	2.624	2.243	2.884	3.627	2.544	2.136	2.769	0.115	3.982
110	3.765	2.275	2.439	2.826	3.654	2.143	2.349	2.715	0.111	3.922
120	2.741	3.958	2.374	3.024	2.665	3.834	2.224	2.907	0.117	3.877

ตาราง ก-57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 90 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบต ครั้งที่ 1

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	3.971	3.800	3.740	3.837	3.691	3.480	3.483	3.552	0.285	7.437
20	4.845	4.229	3.874	4.316	4.631	3.990	3.567	4.063	0.253	5.873
30	3.928	3.861	4.206	3.998	3.633	3.729	3.971	3.777	0.221	5.519
40	4.175	5.234	4.974	4.794	3.910	4.983	4.713	4.535	0.259	5.402
50	4.399	6.102	4.747	5.083	4.195	5.663	4.540	4.799	0.284	5.580
60	4.271	5.652	5.426	5.116	4.051	5.350	5.157	4.853	0.264	5.152
70	6.018	5.664	4.166	5.283	5.670	5.422	4.014	5.035	0.248	4.686
80	5.205	5.002	4.898	5.035	4.958	4.712	4.756	4.809	0.227	4.500
90	5.487	4.377	3.370	4.411	5.300	4.177	3.180	4.219	0.192	4.361
100	5.350	4.692	5.329	5.124	5.098	4.509	5.108	4.905	0.219	4.274
110	3.586	3.908	3.595	3.696	3.410	3.734	3.498	3.548	0.149	4.022
120	4.027	2.964	3.526	3.506	3.835	2.837	3.431	3.367	0.138	3.947

ตาราง ก-58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 90 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบด ครึ่งที่ 2

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.048	2.460	2.413	2.307	1.936	2.243	2.311	2.163	0.144	6.230
20	2.566	2.726	2.412	2.568	2.330	2.526	2.392	2.416	0.152	5.926
30	2.719	2.454	2.138	2.437	2.565	2.359	2.076	2.333	0.104	4.265
40	3.462	2.956	3.253	3.224	3.323	2.813	3.166	3.100	0.124	3.834
50	2.638	2.536	2.425	2.533	2.552	2.415	2.352	2.440	0.093	3.688
60	2.833	2.365	2.625	2.608	2.765	2.237	2.536	2.513	0.095	3.644
70	2.663	2.423	2.405	2.497	2.565	2.351	2.305	2.407	0.090	3.590
80	2.441	2.936	2.752	2.709	2.349	2.846	2.655	2.617	0.092	3.412
90	2.487	2.395	2.948	2.610	2.374	2.323	2.864	2.521	0.089	3.414
100	2.363	2.627	2.441	2.477	2.286	2.533	2.365	2.395	0.082	3.319
110	2.413	2.244	2.653	2.436	2.362	2.145	2.561	2.356	0.081	3.309
120	2.626	2.425	2.363	2.471	2.568	2.345	2.265	2.393	0.078	3.160

ตาราง ก-59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 90 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบค ครั้งที่ 3

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.148	2.560	2.613	2.441	2.036	2.343	2.411	2.263	0.177	7.255
20	2.666	2.826	2.512	2.668	2.430	2.626	2.492	2.516	0.152	5.704
30	2.541	3.036	2.952	2.843	2.449	2.946	2.755	2.717	0.126	4.424
40	2.819	2.554	2.238	2.537	2.665	2.459	2.176	2.433	0.104	4.097
50	3.562	3.056	3.353	3.324	3.423	2.913	3.266	3.200	0.124	3.719
60	2.738	2.636	2.525	2.633	2.652	2.515	2.452	2.540	0.093	3.548
70	2.933	2.465	2.725	2.708	2.865	2.337	2.636	2.613	0.095	3.510
80	2.763	2.523	2.505	2.597	2.665	2.451	2.405	2.507	0.090	3.452
90	2.587	2.495	3.048	2.710	2.474	2.423	2.964	2.621	0.089	3.288
100	2.463	2.727	2.541	2.577	2.386	2.633	2.465	2.495	0.082	3.190
110	2.513	2.344	2.753	2.536	2.462	2.245	2.661	2.456	0.081	3.179
120	2.726	2.525	2.463	2.571	2.668	2.445	2.365	2.493	0.078	3.038

ตาราง ก-60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบค ครั้งที่ 1

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	3.431	3.824	3.427	3.561	3.193	3.604	3.231	3.343	0.218	6.123
20	4.076	3.848	3.572	3.832	3.808	3.645	3.422	3.625	0.207	5.395
30	3.379	3.488	3.856	3.574	3.144	3.302	3.699	3.382	0.193	5.388
40	3.548	3.509	3.654	3.570	3.389	3.327	3.538	3.418	0.153	4.272
50	3.550	3.523	3.595	3.556	3.393	3.338	3.482	3.404	0.152	4.271
60	3.554	3.233	3.218	3.335	3.387	3.090	3.120	3.199	0.136	4.082
70	3.256	3.292	3.305	3.284	3.150	3.145	3.159	3.151	0.133	4.049
80	3.163	3.260	3.271	3.232	2.993	3.145	3.173	3.104	0.128	3.956
90	3.402	3.574	3.057	3.344	3.249	3.439	2.958	3.215	0.129	3.855
100	3.402	3.378	3.892	3.557	3.246	3.242	3.774	3.421	0.137	3.845
110	3.379	3.466	3.394	3.413	3.238	3.308	3.306	3.284	0.129	3.777
120	3.448	3.534	3.263	3.415	3.321	3.397	3.170	3.296	0.119	3.481

ตาราง ก-61 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบค ครั้งที่ 2

เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.560	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.674	3.466	2.939	3.026	2.490	3.266	2.763	2.840	0.187	6.168
20	2.443	3.376	2.369	2.729	2.288	3.185	2.263	2.578	0.151	5.523
30	2.969	2.691	2.819	2.826	2.848	2.554	2.711	2.704	0.122	4.325
40	3.459	3.127	3.582	3.389	3.279	2.972	3.515	3.255	0.134	3.952
50	3.254	3.125	3.422	3.267	3.115	3.012	3.302	3.143	0.124	3.787
60	2.883	2.789	2.253	2.642	2.745	2.716	2.166	2.542	0.099	3.760
70	3.652	3.512	3.252	3.472	3.527	3.387	3.125	3.346	0.126	3.642
80	2.260	2.827	2.594	2.561	2.167	2.709	2.536	2.470	0.090	3.519
90	2.653	2.543	2.654	2.617	2.542	2.474	2.562	2.526	0.091	3.479
100	2.956	2.325	2.442	2.575	2.856	2.265	2.353	2.491	0.083	3.229
110	2.562	2.654	2.341	2.519	2.451	2.592	2.276	2.440	0.079	3.148
120	2.424	2.165	2.522	2.370	2.343	2.076	2.468	2.296	0.075	3.144

ตาราง ก-62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเฉลี่ยและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 C ที่บริเวณทางเข้า ตรงกลาง และทางออกของเบด ครั้งที่ 3

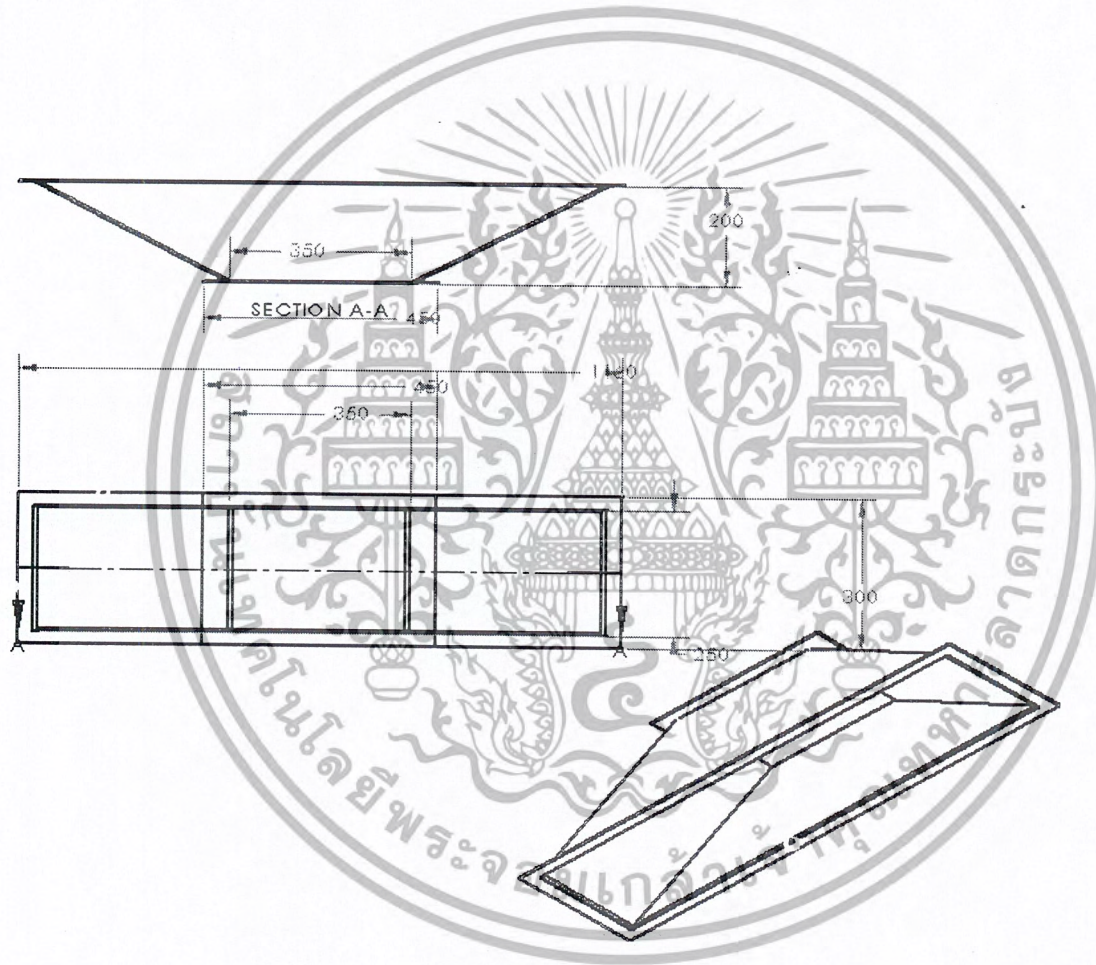
เวลา อบแห้ง (นาที)	น้ำหนัก ก่อนอบ (g) in	น้ำหนักก่อน อบ (g) mid	น้ำหนักก่อน อบ (g) exit	น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g) in	น้ำหนักหลัง อบ (g) mid	น้ำหนักหลัง อบ (g) exit	น้ำหนัก หลังอบ (g)	ผลต่าง น้ำหนัก (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
0	3.56	4.570	4.120	4.083	3.117	4.012	3.606	3.579	0.505	12.360
10	2.7741	3.566	3.139	3.160	2.590	3.366	2.893	2.950	0.210	6.646
20	2.5428	3.476	2.469	2.829	2.388	3.285	2.363	2.678	0.151	5.328
30	3.0690	2.791	2.919	2.926	2.948	2.654	2.811	2.804	0.122	4.177
40	3.5586	3.227	3.682	3.489	3.379	3.072	3.615	3.355	0.134	3.839
50	3.3541	3.225	3.522	3.367	3.215	3.112	3.402	3.243	0.124	3.675
60	2.9826	2.889	2.353	2.742	2.845	2.816	2.266	2.642	0.099	3.623
70	3.7524	3.612	3.352	3.572	3.627	3.487	3.225	3.446	0.126	3.540
80	2.3598	2.927	2.694	2.661	2.267	2.809	2.636	2.570	0.090	3.387
90	2.7532	2.643	2.754	2.717	2.642	2.574	2.662	2.626	0.091	3.351
100	3.0562	2.425	2.542	2.675	2.956	2.365	2.453	2.591	0.083	3.108
110	2.6623	2.754	2.441	2.619	2.551	2.692	2.376	2.540	0.079	3.028
120	2.5235	2.265	2.622	2.470	2.443	2.176	2.568	2.396	0.075	3.016

ตาราง ก-63 ค่าคงตัวของแบบจำลองจลนพลศาสตร์แบบชั้นบางของพริกแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย

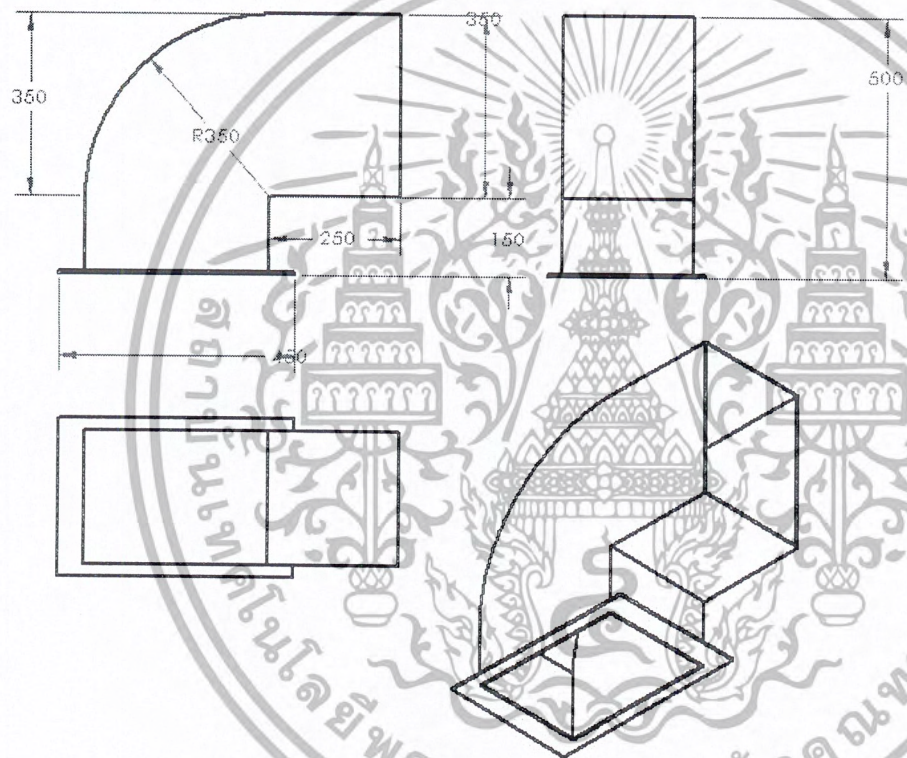
แบบจำลอง	ค่าคงที่	การทดลอง		
		80 C	90 C	100 C
Newton	k	0.016	0.017	0.021
	R ²	0.405	0.347	0.265
	RMSE	0.139	0.147	0.163
	X ²	0.021	0.023	0.029
Henderson and Pabis	a	0.744	0.728	0.69
	k	0.01	0.1	0.12
	R ²	0.697	0.67	0.594
	RMSE	0.101	0.103	0.121
	X ²	0.012	0.013	0.017
Page	n	0.308	0.28	0.222
	k	0.275	0.319	0.466
	R ²	0.987	0.99	0.994
	RMSE	0.0213	0.018	0.015
	X ²	0.00054	0.00039	0.00027
Overhults	n	0.308	0.28	0.222
	k	0.015	0.017	0.032
	R ²	0.987	0.99	0.994
	RMSE	0.0213	0.0181	0.0151
	X ²	0.00053	0.00039	0.00027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

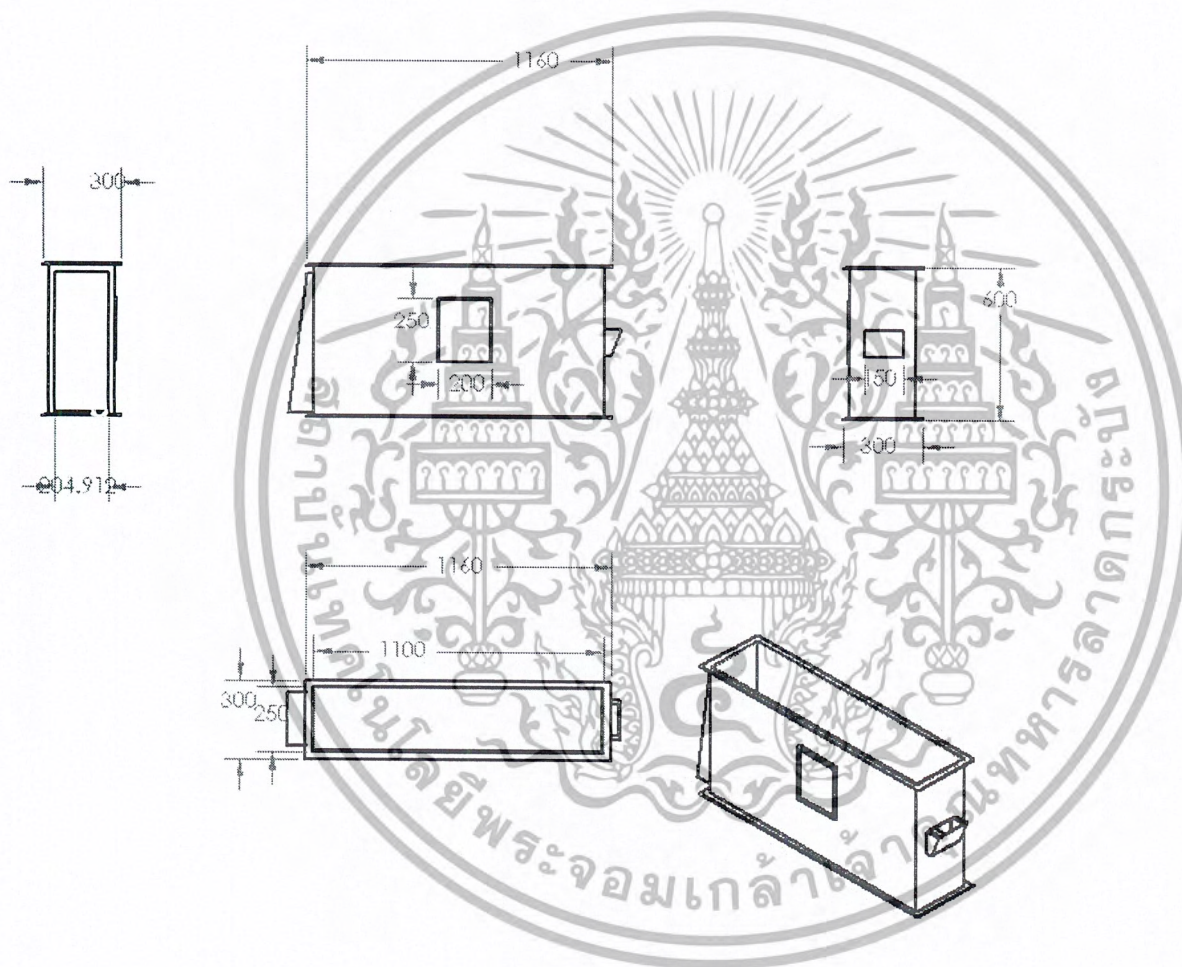
ภาคผนวก ข.



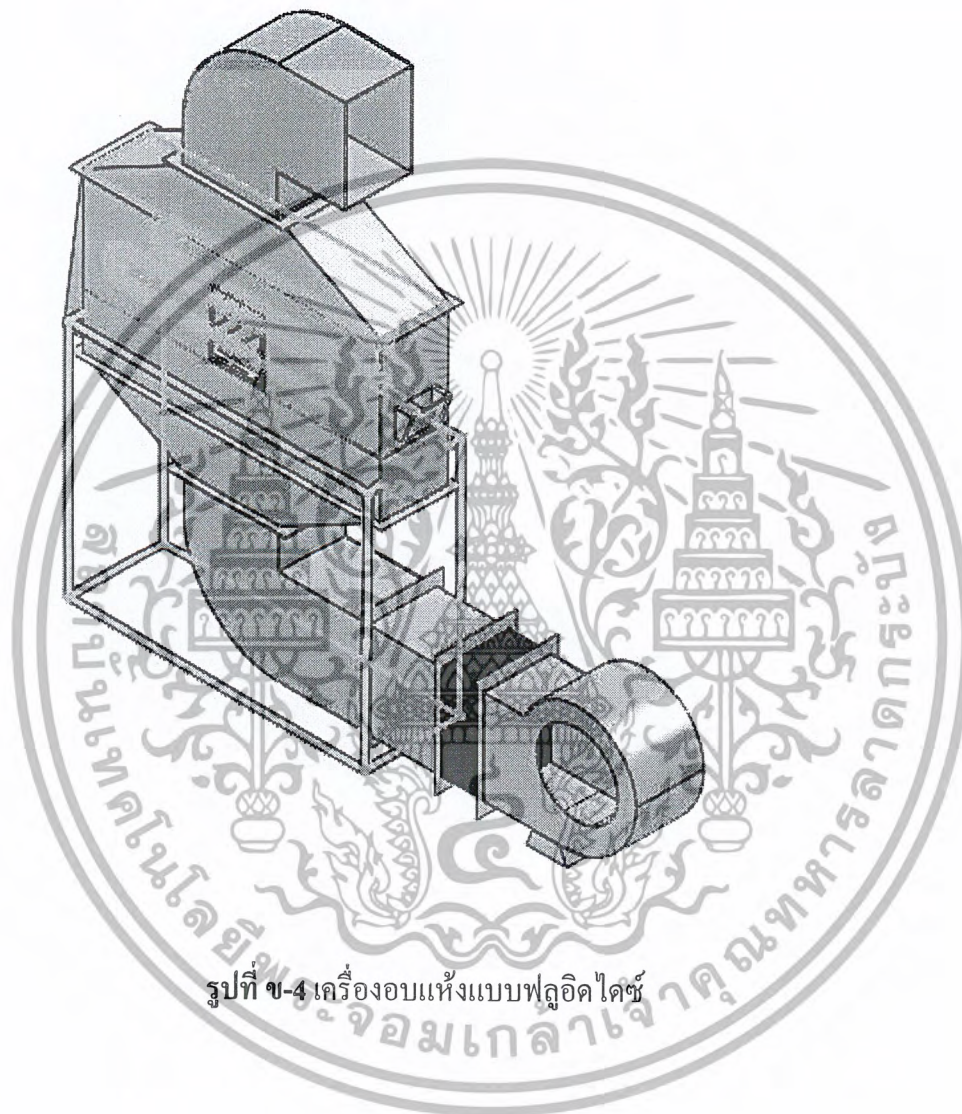
รูปที่ ข-1 HOOT



รูปที่ ข-2 ปล่องลม



รูปที่ ข-3 ห้องอบแห้ง





รูปที่ ข-5 สายพานติคกริบ