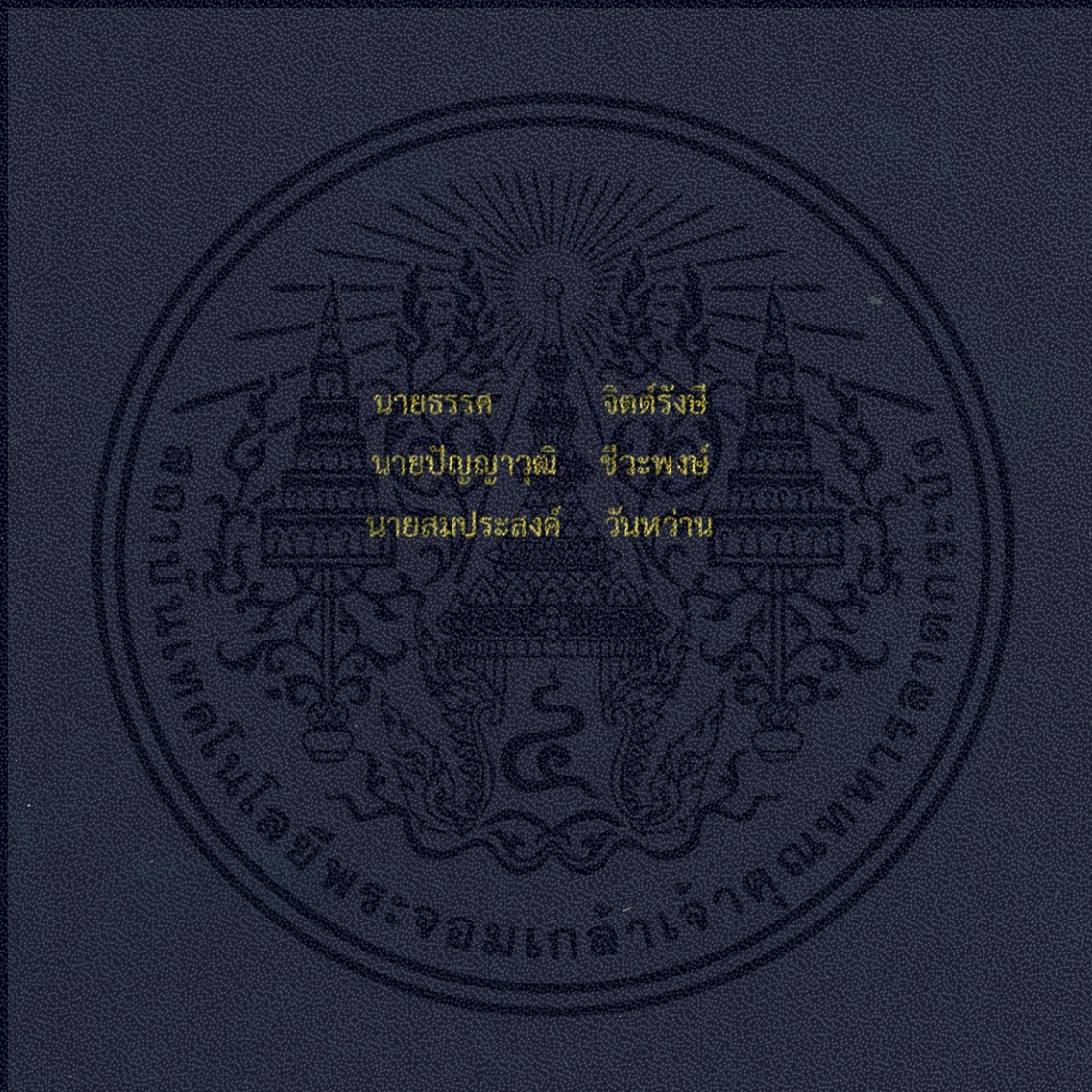


ผลของรูปร่างนกบินต่อการกระจายตัวของชีวมวล
Effect of flight shape to the biomass distribution



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ผลของรูปร่างแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล
Effect of flight shape to the biomass distribution



นายธรรต จิตต์รังษี
นายปัญญาวุฒิ ชีวะพงษ์
นายสมประสงค์ วันหวาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของรูปร่างแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล

Effect of flight shape to the biomass distribution

ผู้จัดทำ

1. นาย ธรรม จิตต์รังษี รหัสประจำตัว 53010711
2. นาย ปัญญาวุฒิ ชีวะพงษ์ รหัสประจำตัว 53010970
3. นาย สมประสงค์ วันหว่าน รหัสประจำตัว 53011636



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ชินรักษ์ เชียรพงษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ผลของรูปร่างแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล		
จัดทำโดย	นายธรรศ	จิตต์รังษี	รหัสประจำตัว 53010711
	นายปัญญาวุฒิ	ชีวะพงษ์	รหัสประจำตัว 53010970
	นายสมประสงค์	วันหวาน	รหัสประจำตัว 53011636
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ชินรักษ์ เรียรพงษ์		
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของรูปร่างแผ่นกั้นที่มีต่อการกระจายตัวของชีวมวล โดยการค้นคว้าทฤษฎีเพื่อทำการออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบที่จะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในอนาคต โดยจะศึกษาแผ่นกั้นที่มีความยาวแผ่นกั้นของทั้งสองด้านเท่ากับ 5 และ 7.5 เซนติเมตร ตามลำดับ มุมระหว่างด้านทั้งสองคือ 100 , 110 และ 120 องศาตามลำดับ ความเร็วในการหมุนเท่ากับ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยใช้วัสดุเป็นกระดาษแข็งขนาด 1 ตารางเซนติเมตร น้ำหนักของกระดาษในท่อหมุนเท่ากับ 0.6 , 1.2 และ 1.8 กิโลกรัม โดยการทดลองจะทำการบันทึกวิดีโอ และใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์หาพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้น และวัสดุที่อยู่ในอากาศ จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณของพื้นที่ของวัสดุบนอากาศที่มีค่าแนวโน้มมากที่สุดอยู่ที่แผ่นกั้นมุม 110 และ 120 องศา ทั้งสามช่วงความเร็ว เพราะยังพื้นที่ในอากาศมาก การถ่ายเทความร้อนก็จะดีตามไปด้วย

Report Title Effect of flight shape to the biomass distribution
By Mr.Thas Jitrangsee ID.NO. 53010711
Mr.Panyawut Cheewapong ID.NO. 53010970
Mr.Somprasong Wanwan ID.NO. 53011636
Advisor Assc.Prof.Dr.Chinaruk Thianpong
Report for Bachelor Degree of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year 2013

ABSTRACT

In this work , Effect of flight shape to the biomass distribution, the objective is to study of flight shape affect to biomass distribution. The procedures were researching related theory for designing and inventing the prototype dryer for development in future. The examined square flights have length of 5 and 7.5 centimeter, which installed with angle of 100, 110 and 120. The drum dryer rotating velocity is 2, 4 and 6 rounds per minute. Then, applying the material that made from paperboard size of 1x1 square centimeters combined together and weighs 0.6, 1.2 and 1.8 kilograms. The experimental process is recording video of material's motion and using ImageJ program to analyze surface area of material in flights and material falling in the air. from the graph, area of material in air borne phase, trend to maximum at angle of 110 and 120 degree in all velocities because at more area in air borne phase is more of heat transfer.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ผลของรูปร่างแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล ได้ดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จโดยได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์ของอาจารย์ชินรัชย์ เขียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ที่ได้คอยให้คำแนะนำที่ดี แนะนำแนวทางในการศึกษาหาข้อมูล อีกทั้งช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ แนะนำการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่ ตลอดระยะเวลาของการดำเนินงาน ซึ่งทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง นอกจากนี้ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ นายยุทธนา ศรีผา สำหรับความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำด้วยความตั้งใจในการให้ข้อมูลต่างๆ

ขอขอบคุณบิดา มารดา สำหรับกำลังใจ ให้การสนับสนุนและคำแนะนำที่ดีตลอดการการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้สั่งสอนความรู้อบรมในด้านต่างๆตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยและพร้อมน้อมรับ ณ ที่นี้

ธรรศ จิตต์รังษี
ปัญญาวุฒิ ชีวะพงษ์
สมประสงค์ วันหว่าน
ผู้จัดทำ

สัญลักษณ์

X_t	ความชื้น
W	น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด
W_s	น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง
L_1	ความยาวของแผ่นกั้นส่วนที่ 1
L_2	ความยาวของแผ่นกั้นส่วนที่ 2
L_t	ความยาวของท่อหมุน
r	รัศมีของเฟืองทด
R	รัศมีของท่อหมุน
T_{drum}	แรงบิดที่เกิดจากน้ำหนักท่อหมุน
T_{weight}	แรงบิดที่เกิดจากน้ำหนักวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้น
T	แรงบิดรวม
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของท่อหมุน
m	มวลของวัสดุในท่อหมุน
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองทด
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุ
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหมุน
n_f	จำนวนของแผ่นกั้น
N	จำนวนฟันของเฟืองทด
N_R	ความเร็วรอบของท่อหมุน
a	อัตราทด
τ	เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในท่อหมุน
S	มุมเอียงของท่อหมุน
G_f	อัตราการป้อนของวัสดุ
G_s	อัตราการป้อนของลมร้อน
\emptyset	มุมในการตกของวัสดุ
ω	ความเร็วเชิงมุมของท่อหมุน
α	มุมของแผ่นกั้นระหว่าง L_1 กับ L_2

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สัญลักษณ์.....	IV
สารบัญ.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 การอบแห้ง (Drying).....	3
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	3
2.3 รูปแบบการอบแห้ง.....	4
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น.....	5
2.5 ข้อมูลหญ้าเนเปียร์.....	7
2.6 ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศ (Airborne phase).....	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุน.....	10
3.1 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Drum Dryers).....	10
3.2 การคำนวณหาขนาดของแผ่นกั้น.....	11
3.3 การคำนวณหาจำนวนแผ่นกั้น.....	11
3.4 การคำนวณหาแรงบิด.....	11
3.5 การคำนวณหาอัตราทด.....	12
3.6 การคำนวณหาความเร็วรอบของท่อหมุน.....	12
3.7 การเลือกขนาดของท่อหมุน.....	13
3.8 การเลือกมุมของแผ่นกั้น.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัยและการทดลอง.....	14
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	14
4.1.1 ท่อหมุน (Drum).....	14
4.1.2 มอเตอร์ (Motor).....	15
4.1.3 เกียร์บ็อกซ์ (Gear box).....	15
4.1.4 อินเวอร์เตอร์ (Invertor).....	16
4.1.5 พู่ลีย์ (Pulley).....	16
4.1.6 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของกระดาศ (Balance).....	17
4.1.7 แผ่นกั้น (Flight).....	17
4.2 ขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบหมุน.....	18
4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	19
4.4 การหาพื้นที่หน้าตัดโดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	19
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	21
5.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุ.....	21
ที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ.....	
5.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุ.....	26
ที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ.....	
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	29
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	29
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	29
เอกสารอ้างอิง.....	30
ภาคผนวก.....	32
ภาคผนวก ก.....	33
ภาคผนวก ข.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพื้นที่การเพาะปลูกบ้านเราเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ปริมาณผลผลิตที่ออกสู่ตลาดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จนบางครั้งล้นตลาดและเกินความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่านับตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจนถึงการนำไปบริโภคผลผลิตเกษตรทุกชนิดจะเกิดความเสียหายหรือสูญเสียได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เพราะผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังเป็นส่วนหนึ่งของพืชที่มีชีวิตซึ่งยังหายใจอยู่ จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และจะค่อยๆ หมดยุลงทุกทีด้วยการสุกงอม จนในที่สุดเซลล์จะแตกเน่าเสียจนหมดสิ้น ดังนั้นการแปรรูปจึงเป็นทางออกที่ดี ซึ่งนอกจากจะลดความเสียหายและยืดเวลาการเก็บรักษาแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตด้วย ดังนั้นมนุษย์จึงได้พยายามหาวิธีการเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรไม่ให้เสียหายด้วยวิธีการต่างๆ กัน เช่น เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การนำไปตาก เชื่อม ตอง แซ่อึม อบแห้ง เป็นต้น

การอบแห้งก็เป็นหนึ่งในรูปแบบของการแปรรูปอาหาร ซึ่งจะช่วยให้เก็บรักษาผลผลิตเกษตรได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดความชื้นในอาหาร โดยผลผลิตที่เก็บมาจะมีความชื้นสูง ทำให้ต้องมีการลดความชื้นเพื่อให้เก็บไว้ได้นานๆ และยังช่วยให้สะดวกในการบรรจุเก็บรักษาและสะดวกต่อการขนส่ง กระบวนการอบแห้งที่ดีควรคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง รูปแบบของการอบแห้ง วัสดุที่นำมาอบแห้ง เป็นต้น เครื่องอบแห้งที่ใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด ซึ่งเครื่องอบแห้งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร แต่ปัญหาที่พบของเครื่องอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่ไม่เหมาะสม รวมถึงการกระจายของอากาศร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ ดังนั้น เพื่อให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบทอหมุน เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง โดยในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่ในระดับอุตสาหกรรมมักต้องการประสิทธิภาพของการอบแห้งที่ดี ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ก็เป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เพราะหากรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ดูไม่มีคุณภาพหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้นยาวนานเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดการเสียประโยชน์ในด้านเงินลงทุนและเวลาได้ รูปแบบของการอบแห้งที่เหมาะสมจึงเป็นส่วนสำคัญในการลดทอนปัญหาเหล่านี้ลงได้

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาโดยใช้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรที่ได้นำมาศึกษา คือ หนุ่เนเปียร์ เนื่องจากความต้องการในการเก็บรักษาหนุ่เนเปียร์ในปัจจุบันมีปริมาณมาก เพราะหนุ่เนเปียร์ถือเป็นทางเลือกใหม่ที่จะเข้ามาช่วยมาช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

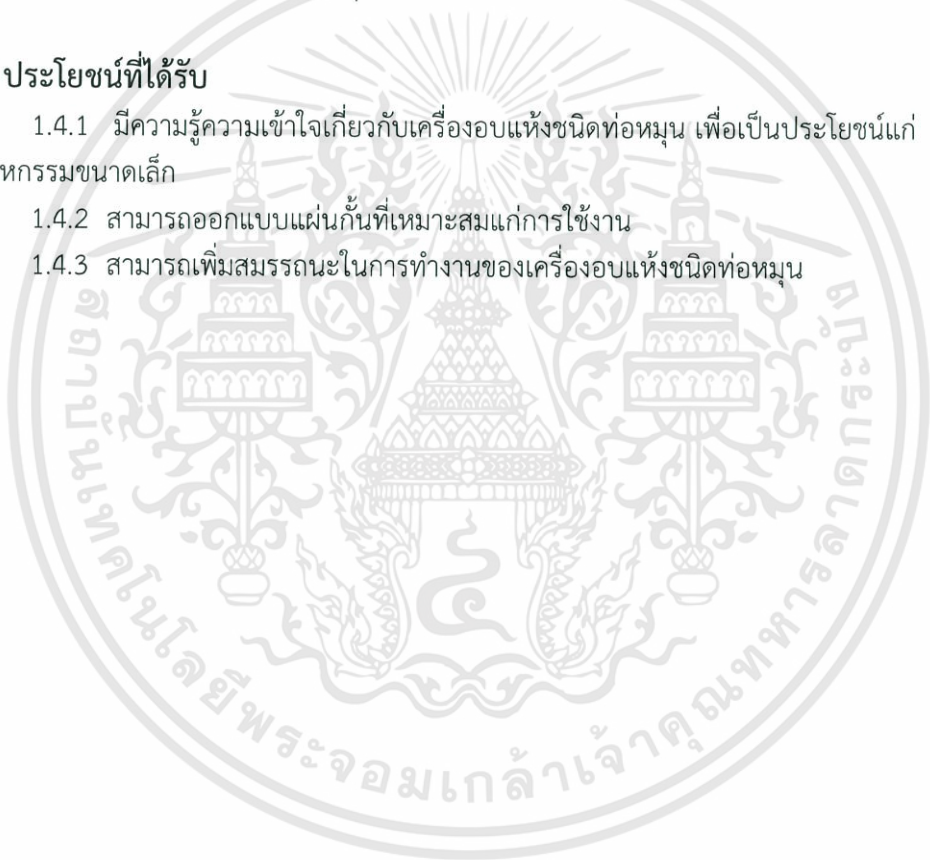
- 1.2.1 ศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบท่อหมุน
- 1.2.2 ศึกษาผลของรูปร่างแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล
- 1.2.3 เพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1.3.1 สร้างเครื่องต้นแบบทำจากถังเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร ความลึก 15 เซนติเมตร
- 1.3.2 ศึกษาท่อหมุนที่ความเร็วเท่ากับ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที
- 1.3.3 ศึกษาแผ่นกั้นที่มุมเท่ากับ 100 , 110 และ 120 องศา
- 1.3.4 ศึกษาที่ปริมาณของวัสดุเท่ากับ 0.6 , 1.2 และ 1.8 กิโลกรัม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งชนิดท่อหมุน เพื่อเป็นประโยชน์แก่อุตสาหกรรมขนาดเล็ก
- 1.4.2 สามารถออกแบบแผ่นกั้นที่เหมาะสมแก่การใช้งาน
- 1.4.3 สามารถเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดท่อหมุน



บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การอบแห้ง (Drying) [1]

การอบแห้ง คือ การกำจัดความชื้นจำนวนน้อยที่ค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ การอบแห้งมักเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนการบรรจุ เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์จากการมีความชื้นเกินค่าปลอดภัย ในวัสดุอาหารการมีความชื้นอาจทำให้เกิดเชื้อรา หรือการเกาะติดเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด หรืออาจมีผลเสียต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกด้วยวิธีทางความร้อน โดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อนและแห้ง โดยอากาศดังกล่าวนอกจากจะเป็นแหล่งความร้อนเพื่อการระเหยแล้ว ยังทำหน้าที่พาความชื้นจากการระเหยออกจากห้องอบด้วย

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง [2]

โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 สภาวะของเครื่องอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่พื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อน

2.2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ และอัตราการสูญเสียความชื้น

2.2.3 ขนาดของวัสดุที่นำมาอบแห้ง จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งทั้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และอัตราการอบแห้งลดลง วัสดุที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการระเหยสูง และทำให้ระยะทางที่ไอน้ำเคลื่อนที่ไปยังผิวของวัสดุนั้นสั้นลง

2.2.4 ปริมาณไขมันในวัสดุ คือถ้าวัสดุมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้า เนื่องจากโมเลกุลของน้ำยึดไว้ในวัสดุ

2.2.5 วิธีการเตรียมวัสดุก่อนนำมาอบแห้ง ถ้ามีการลดขนาดของผลิตภัณฑ์ลงจะทำให้การระเหยออกจากวัสดุได้มากขึ้น

2.2.6 ปริมาณของวัสดุที่นำมาอบแห้ง

2.3 รูปแบบของการอบแห้ง

รูปแบบของระบบสำหรับอบแห้งผักและผลไม้มีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับชนิดของวัสดุอาหารแตกต่างกันออกไป รูปแบบของระบบโดยทั่วไปมีดังนี้

2.3.1 การอบแห้งแบบตู้

อบแห้งวัสดุด้วยความร้อนภายในตู้ขณะบรรจุวัสดุอยู่ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้กันสำหรับอบแห้งประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส

2.3.2 การอบแห้งแบบอุโมงค์

เป็นวิธีการที่คล้ายกับการอบแห้งแบบตู้แต่ตัวตู้มีความยาวมาก ทำให้ดูเหมือนอุโมงค์ภายในอุโมงค์จะมีรถเข็นจำนวนหลายคัน บรรจุถาดซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปอบแห้ง

2.3.3 การอบแห้งแบบสายพาน

อบแห้งผลิตภัณฑ์บนเครื่องขนถ่ายวัสดุแบบสายพาน ซึ่งตัวสายพานมีรูให้อากาศไหลผ่านได้ส่วนมากมักจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปอบแห้งในส่วนของการอบแห้งต่อไป

2.3.4 การอบแห้งแบบแช่แข็ง หรือแบบระเหิด

อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งมาแล้วภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีโครงสร้างที่ดีคือเป็นรูพรุน ส่งผลให้สามารถกลับคืนรูปเดิมได้ดีและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถรักษากลิ่นของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูง

2.3.5 การอบแห้งโดยไม่โครเวฟ

อบแห้งโดยใช้ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้ง โดยคลื่นดังกล่าวจะถูกดูดกลืนโดยน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการระเหยของน้ำจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก การอบแห้งด้วยวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง

2.3.6 การอบแห้งแบบพัพ

เหมาะกับการทำแห้งผักและผลไม้ ด้วยการนำผักและผลไม้ขนาดเล็กๆ สัมผัสกับอากาศร้อนและภายใต้ความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ แล้วปล่อยให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับความดันบรรยากาศซึ่งจะทำให้น้ำในผักและผลไม้ระเหยกลายเป็นไอน้ำที่ทันใดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบบพัพคือเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 3/4 นิ้ว

2.3.7 การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

อาหารที่ใช้ควรเป็นชิ้นมีลักษณะค่อนข้างกลมสม่ำเสมอ ลอยตัวอยู่บนอากาศร้อนที่ผ่านช่องตะแกรง ชื้นของอาหารหมุนรอบตัวลอยอยู่บนอากาศร้อนทำให้การถ่ายเทมวลสารไอน้ำระเหยออกจากชิ้นอาหารเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก สม่ำเสมอตลอดผิวหน้าของอาหาร

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น [3]

2.4.1 ความชื้น (Moisture content)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุใดๆ โดยทั่วไปค่าความชื้นจะกำหนดเป็นร้อยละของน้ำหนักของวัสดุ กำหนดไว้ 2 แบบ คือ

- ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) หมายถึง อัตราร้อยละของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักวัสดุทั้งหมด มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นร้อยละ คำนวณจาก

$$\text{Moisture Content (wet basis) } X_t = \frac{W - W_s}{W} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g wet solid}}$$

- ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) หมายถึง อัตราร้อยละของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักวัสดุที่แห้ง เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นร้อยละหรือจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง คำนวณจาก

$$\text{Moisture Content (dry basis) } X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100\% \frac{\text{g total water}}{\text{g dry solid}}$$

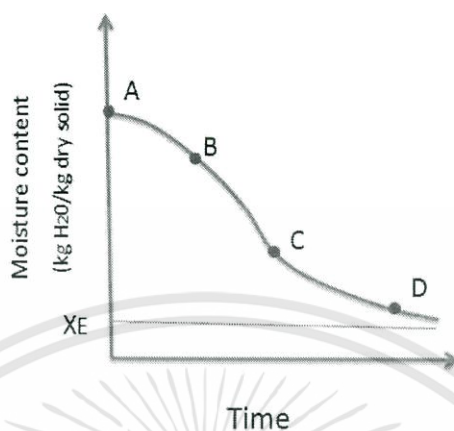
เมื่อ X_t = ความชื้น

W = น้ำหนักวัสดุทั้งหมด

W_s = น้ำหนักวัสดุที่แห้ง

2.4.2 กราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate) [4]

กราฟระหว่างอัตราอบแห้ง และความชื้นในสารนั้น แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ



- 1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)
- 2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)
- 3) ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, X_E) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.5 ข้อมูลหญ้าเนเปียร์ [5]

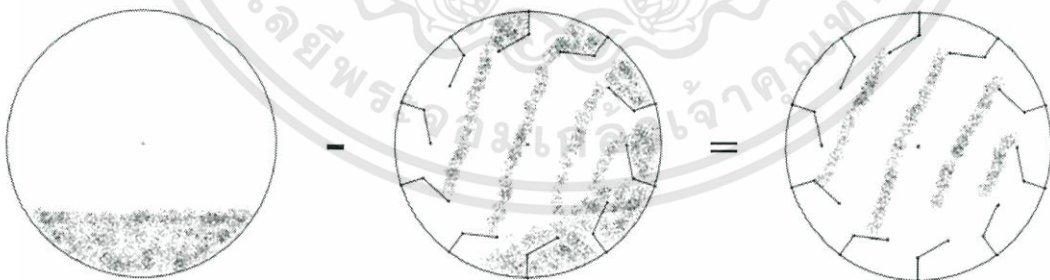
ปัจจุบันกรมปศุสัตว์ได้สนับสนุนส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหญ้าเนเปียร์กันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ โดยได้มีเทคนิคแนะนำให้เกษตรกรที่ปลูกสามารถลดต้นทุนการปลูกลงให้ได้มากที่สุด นับตั้งแต่เทคนิคการจัดการเรื่องการเตรียมดิน เพื่อให้สามารถปลูกขึ้นได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการใช้เครื่องจักรเข้ามาทดแทนแรงงานคน ทำให้ต้นทุนลดลงมาก รวมถึงเครื่องตัดและการขนส่งผลผลิตออกจากแปลงปลูกได้เลย

หญ้าเนเปียร์นั้นถือเป็นชีวมวลประเภทหนึ่ง ซึ่งการนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตเป็นพลังงานนั้น เนื่องจากเป็นหญ้าที่มีเยื่อใยสูง และมีความชื้นสูง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ทั้งการนำไปเผาตรงหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นแล้ว และการนำไปหมักเป็นก๊าซชีวภาพหรือมีเทน เมื่อนำมาผลิตเป็นไฟฟ้าแล้ว จะได้ปริมาณในที่ไม่แตกต่างกัน เพียงแต่ว่า ในสภาพพื้นที่นั้นเหมาะสมจะใช้กระบวนการใดในการผลิตมากกว่า ซึ่งหญ้าเนเปียร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงแล้วหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นการผลิตก๊าซ CBG ซึ่งสามารถใช้ทดแทนก๊าซ NGV ได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้กระดาษแข็งขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแทนการใช้หญ้าเนเปียร์ เพื่อความสะดวกในการทดลอง เนื่องจากกระดาษแข็งสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์

2.6 ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศ (Airborne phase)

ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศคือ ผลต่างระหว่างปริมาณของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ในท่อหมุนในขณะที่ท่อหมุนหยุดนิ่ง กับ ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในท่อหมุนขณะที่ท่อกำลังหมุน



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องอบแห้งแบบหมุนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในหลายทศวรรษที่ผ่านมา จึงได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยได้มีการศึกษาและพัฒนาศาสตร์และนักวิจัยหลายๆท่านได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบหมุน

Sefa Tarhan, Isa Telci, M. Taner Tuncay และ Hakan Polartci (2553) [6] Peppermint เป็นพืชที่มีโครงสร้าง Aromatic ที่สำคัญ ใช้เยอะในอุตสาหกรรมและเป็นที่ยอมรับในด้านรสชาติและคุณสมบัติทางยา ใช้อากาศร้อน หรือการอบแห้งแบบธรรมชาติ อบอุ่นหลังจากเก็บเกี่ยว ผลิตภัณฑ์ที่อบแล้ว จะทำให้คุณภาพทาง biochemical และ microbiological ลดลงแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก ในการใช้เครื่องอบแห้งชนิดหมุนอบ peppermint สดที่หั่นเป็นชิ้นๆ ปริมาณ 15 kg จะอบใน 2 รูปแบบที่แตกต่างกันคือ 1.อุณหภูมิอากาศคงที่ (อบ 15-18 ชั่วโมง) 2.อุณหภูมิอากาศไม่คงที่ มี temperature profile เป็นแบบ rectangular wave-shaped (อบ 12-15 ชั่วโมง) ยิ่งใช้ลมร้อน ยิ่งทำให้ใบ peppermint คล้ำขึ้น น้ำมันใน peppermint หลังจากอบแล้ว ไม่ขึ้นกับรูปแบบการอบ จะได้ค่าใกล้เคียงกันประมาณ 2.08-2.7 ml/100g หลังจากการอบจะได้ว่า สาร menthol ในใบเพิ่มขึ้นจาก 32.52% (ใบสด) เป็น 44.52% (ใบแห้ง) แต่สาร menthone ลดลงจาก 24.85% (ใบสด) เป็น 9.07% (ใบแห้ง) การใช้พลังงานจะอยู่ในช่วง 7.88-15.08 MJ/kg ของน้ำที่ออกไป

Koteswara Rao Sunkara, Fabian Herz, Eckehard Specht และ Jochen Mellmann (2555) [7] เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนจะมีการติดตั้งชั้นบันได เพื่อช่วยในการอบแห้งหรือทำให้เย็นของอนุภาคที่ปริมาณมาก ความสามารถของเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคในแนวพื้นที่หน้าตัดซึ่งสามารถทำได้โดยปรับค่า design และแบ่งความห่างของชั้นบันไดให้เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จะใช้ math model สำหรับชั้นบันไดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อปรับพื้นที่หน้าตัดของอนุภาครวมทั้งหมด โดยจะมีลักษณะ function ของ cascading rate และเวลาในการตกของอนุภาค ในการตกนั้นก็จะเป็น function ของ curtain height และสามารถประมาณโดยใช้ geometrical analysis ได้ และอัตราส่วนระหว่างจำนวนชั้นบันไดต่อความยาวชั้นบันไดก็มีผล ใช้ขนาดเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร และยาว 150 มิลลิเมตร

N.J. Fernandes, C.H. Ataide และ M.A.S. Barrozo (2551) [8] วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อศึกษาการตกของวัสดุ และ drying aspects ของเครื่องอบแห้งแบบหมุน ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย การสร้างสมการในการหาค่าปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกัน ความยาวในการตก เวลาที่วัสดุอยู่ในอากาศ และ drying variable จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องอบแห้งแบบหมุนของบริษัท Copebras Fertilizer Company ตั้งอยู่ที่ Catalao, state of Goias, Center-west of Brazil เพื่อการประมาณค่าที่แม่นยำ ซึ่งสมการเหล่านี้อาจจะใช้ในการออกแบบและประมาณค่าพฤติกรรมการตกในเครื่องอบแห้งแบบหมุน

Yeole Shrikant P. และ desh mukh M.M. (2556) [9] บทความนี้แสดงการวิเคราะห์การทำงานของ rotary cottonseed drying โดยการทดลองจะทำโดยใช้ cottonseeds และใส่อากาศที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 120 องศา และอากาศที่ไหลด้วยอัตราการไหล 0.00563, 0.0064 และ

0.00709 กิโลกรัมต่อวินาที โดยใช้แผ่นกั้นสองแบบ การทำงานของเครื่องอบแห้ง จะถูกประมาณโดยการตรวจสอบ weight loss of dried products , specific energy consumption (SEC), pick-up efficiency การวิเคราะห์ด้วยภาพถูกใช้เพื่อการออกแบบ loading ของเครื่องอบ น้ำหนักที่สูญเสียไปของ cottonseed จะหาในช่วง 0.446-0.788 กิโลกรัม ประสิทธิภาพของการตักและ SEC จะกำหนดค่าในช่วงระหว่าง 7.19-19.52% และ 0.219-0.399 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

O.O. Ajayi และ M.E. Sheehan (2555) [10] ปริมาณของของแข็งที่อยู่ในแผ่นกั้นและที่อยู่ในอากาศ มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและการออกแบบ ซึ่งในบทความนี้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพจะถูกนำมาใช้การประมาณหาค่าของแข็งที่อยู่ในแผ่นกั้นและใช้ตรวจสอบเพื่อหาโหลดที่ดีที่สุด โดยการถ่ายภาพหลายๆภาพเพื่อดูพื้นที่หน้าตัดของของแข็งที่อยู่ในแผ่นกั้น และที่อยู่ในอากาศที่สภาวะโหลดต่างๆ การวิเคราะห์ด้วยภาพจะเกี่ยวข้องกับการปรับภาพให้เป็นขาว-ดำ การปรับสีโดยใช้โปรแกรม ImageJ และ MATLAB ซึ่งวิธีนี้จะใช้ในการประมาณหาพื้นที่หน้าตัดของของแข็งในแผ่นกั้น ในการออกแบบโหลดจะประมาณโดยใช้ conventional design criterion ซึ่งขึ้นอยู่กับความอึดตัวของวัสดุที่อยู่บนแผ่นกั้นที่ไม่มีโหลด



บทที่ 3

หลักการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุน

3.1 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Drum Dryers) [11]

เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนประกอบด้วยท่อทรงกระบอกซึ่งวางกับแนวระดับและหมุนรอบตัวเองอย่างต่อเนื่อง ในการอบแห้งวัสดุจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งจากนั้นวัสดุจะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องอบแห้งไปตามจังหวะการหมุนของท่อ โดยมีแผ่นกั้นคอยช่วยในการกวาดและลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ไปตามแนวความยาวของท่อ ตามจังหวะการหมุนของท่อ เมื่อวัสดุเคลื่อนที่ไปจนถึงบริเวณด้านบนของท่อ ก็จะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกในลักษณะคล้ายกับน้ำตก ในเวลานี้วัสดุจะสัมผัสกับตัวกลางการอบแห้ง (ซึ่งอาจจะเป็นอากาศร้อนหรือไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรือก๊าซร้อนอื่นๆ) ซึ่งไหลผ่านมาทำให้สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้ โดยการไหลของตัวกลางการอบแห้งอาจจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน หรือสวนทางกันกับทิศทางเคลื่อนที่ของวัสดุตามแนวความยาวของท่อหมุนก็ได้ อย่างไรก็ตาม หากวัสดุที่ต้องการอบแห้งเป็นวัสดุที่อาจเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงได้สัมผัสวัสดุที่ยังคงมีความชื้นสูง อุณหภูมิของวัสดุจะไม่เพิ่มสูงขึ้นมากจนเกินไป

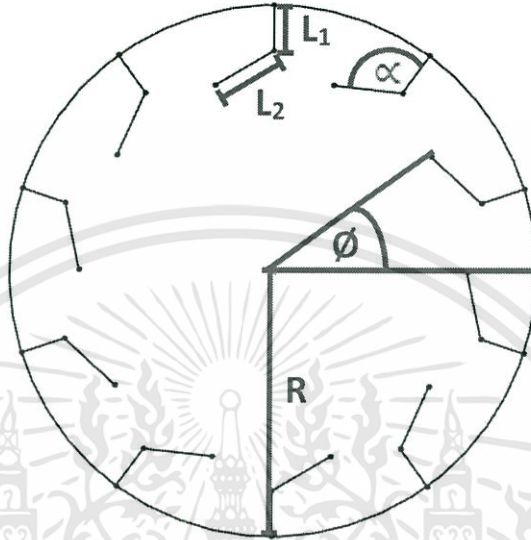
เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนนี้เหมาะสำหรับการอบแห้งวัสดุที่เป็นเม็ดซึ่งอาจมีความหลากหลายของขนาดหรือรูปทรงได้มาก ทั้งนี้เนื่องจากสามารถออกแบบแผ่นกั้นให้เหมาะสมกับวัสดุแต่ละชนิดที่ต้องการอบแห้งได้ ในกรณีที่วัสดุอาจเกิดการเกาะติดกันกลายเป็นก้อนวัสดุขึ้นภายในเครื่องอบแห้ง อาจจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องมือเพื่อช่วยในการตีหรือกระจายก้อนวัสดุให้ออกจากกันเพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันภายในเครื่องอบแห้ง ด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุในเครื่องอบแห้งที่มีการกวาดหรือตักวัสดุขึ้นปล่อยให้ตกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนจึงไม่เหมาะสำหรับวัสดุที่แตกหักได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อท่อหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ โดยทั่วไปแล้ววัสดุมักจะอยู่ในเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนมีขนาดเล็กทางปลายด้านที่วัสดุเปียกเข้าสู่เครื่องอบแห้ง และเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหมุนทางด้านปลายขาออกของผลิตภัณฑ์ให้ใหญ่ขึ้น

โดยเครื่องต้นแบบในงานวิจัยนี้ จะเป็นเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนที่ไม่ได้ใส่ลมร้อนเข้าไป ซึ่งจะศึกษาการโปรยของวัสดุในอากาศ และรูปร่างของแผ่นกั้นเท่านั้น

3.2 การคำนวณหาขนาดของแผ่นกั้น [7]

ใช้ $\frac{L_2}{L_1} = 1.5$ เพราะเป็นตำแหน่งที่พื้นที่ผิวทั้งหมดมีค่าสูงสุด โดยที่ $L_1 = 5$ เซนติเมตร,

$L_2 = 7.5$ เซนติเมตร



3.3 การคำนวณหาจำนวนของแผ่นกั้น

$$n_f = \frac{360}{\tan^{-1}\left(\frac{2.5L_2 \cos(\alpha - 90^\circ)}{R - L_1}\right)}$$

โดยที่ $\alpha =$ มุมของแผ่นกั้น ($^\circ$)

3.4 การคำนวณหาแรงบิด

$$\sum T = T_{drum} + T_{weight}$$

โดยที่ $T_{drum} =$ แรงบิดที่เกิดจากน้ำหนักท่อหมุน (N·m)

$T_{weight} =$ แรงบิดที่เกิดจากน้ำหนักวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้น (N·m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า n_f มาแทนในสมการ

$$\sum T = I \alpha + mgRn_f$$

โดยที่ $I =$ โมเมนต์ความเฉื่อยของท่อหมุน ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
 $m =$ มวลของวัสดุในท่อหมุน (kg)
 $R =$ รัศมีของท่อหมุน (m)

3.5 การคำนวณหาอัตราทด

$$\alpha = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

โดยที่ $\omega =$ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
 $r =$ รัศมีของเฟืองทด (m)
 $d =$ เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองทด (m)
 $N =$ จำนวนฟันของเฟืองทด
 $T =$ แรงบิด ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 $\alpha =$ อัตราทด

3.6 การคำนวณหาความเร็วรอบของท่อหมุน [12] [13]

$$\tau = L_t \left(\frac{0.1962}{SN_R 0.9D} \pm \frac{0.00036 G_f}{G_s d_p^{0.5}} \right)$$

โดยที่ $\tau =$ เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในท่อหมุน (min)
 $L_t =$ ความยาวของท่อหมุน (m)
 $S =$ มุมเอียงของท่อหมุน (rad)
 $N_R =$ ความเร็วรอบของท่อหมุน (rpm)
 $D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อหมุน (m)
 $d_p =$ เส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุ (m)
 $G_f =$ อัตราการป้อนของวัสดุ (kg/min)
 $G_s =$ อัตราการป้อนของลมร้อน (kg/min)

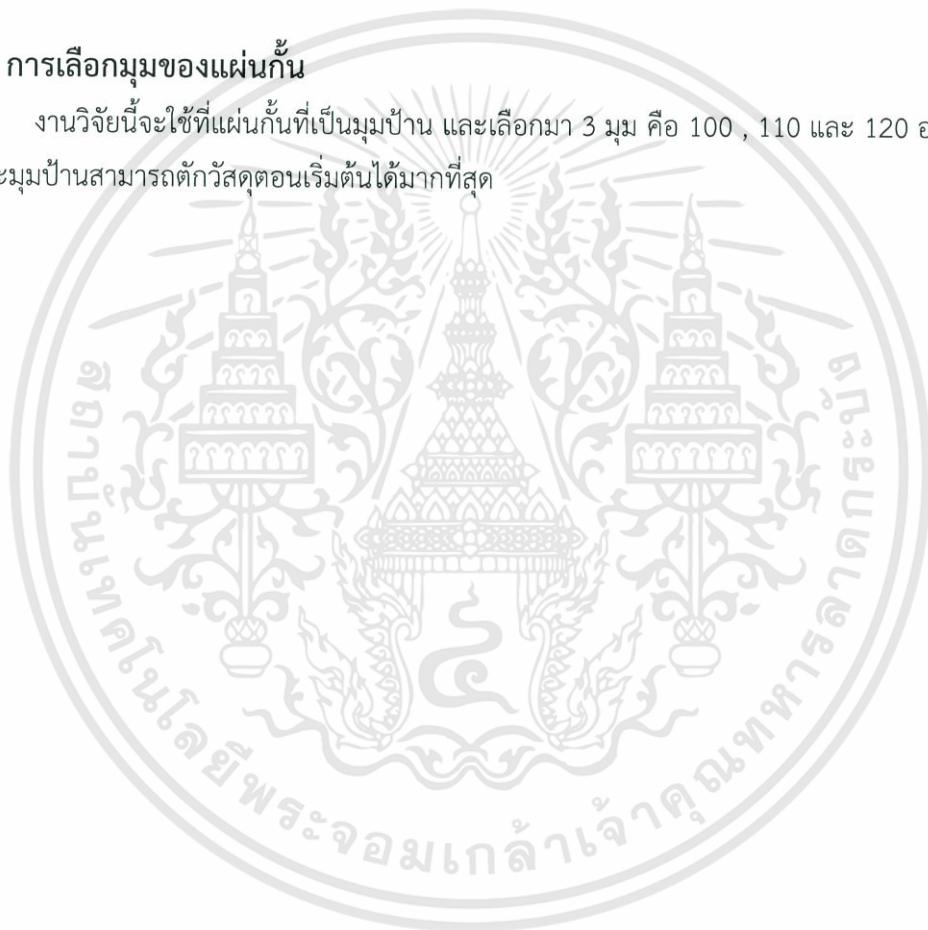
เวลาที่วัสดุอยู่ในเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนมักจะอยู่ในช่วง 10-60 นาที [11] เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วต่ำจะทำให้เวลาที่วัสดุอยู่ในท่อหมุนนานขึ้น จึงทำให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น และที่ความเร็วต่ำจะใช้กำลังในการขับน้อย งานวิจัยนี้จึงเลือกทดลองที่ความเร็ว 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที

3.7 การเลือกขนาดของท่อหมุน

งานวิจัยนี้สนใจที่พื้นที่หน้าตัด จึงเลือกขนาดของท่อหมุนที่หาได้ตามท้องตลาด ราคาถูก จึงเลือกใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตร

3.8 การเลือกมุมของแผ่นกั้น

งานวิจัยนี้จะใช้ที่แผ่นกั้นที่เป็นมุมป้าน และเลือกมา 3 มุม คือ 100 , 110 และ 120 องศา เพราะมุมป้านสามารถตัดวัสดุตอนเริ่มต้นได้มากที่สุด



บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัยและการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- 1) การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ
- 2) การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบหมุนซึ่งแบ่งเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้

4.1.1 ท่อหมุน (Drum)

ท่อหมุนทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร ลึก 15 เซนติเมตร ถูกปิดด้วยแผ่นอะคริลิก

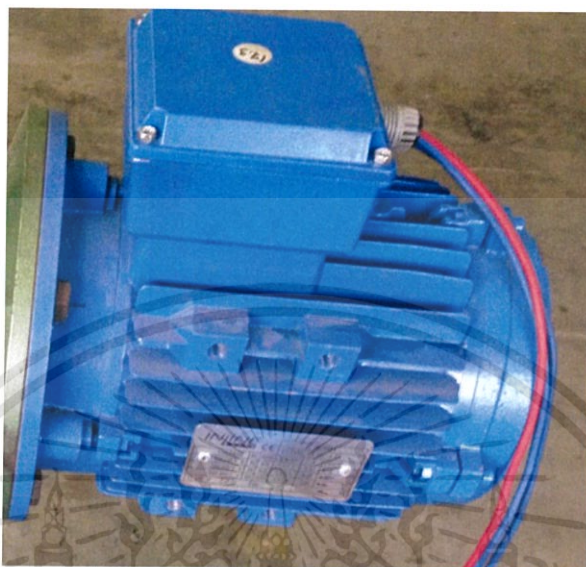


รูป 4.1 ท่อหมุน (Drum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 มอเตอร์ (Motor)

ใช้มอเตอร์ขนาด 3 hp



รูป 4.2 มอเตอร์ (Motor)

4.1.3 เกียร์บ็อกซ์ (Gear box)

อุปกรณ์ทดรอบขนาด 1 ต่อ 60

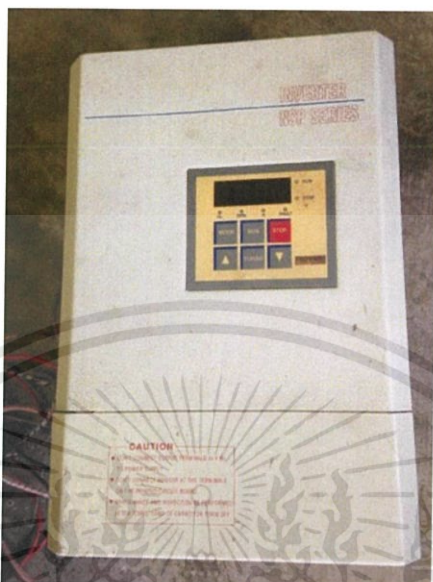


รูป 4.3 เกียร์บ็อกซ์ (Gear box)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การปรับเปลี่ยนรอบความเร็ว



รูป 4.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

4.1.5 พู่เลย์ (Pulley)

ใช้ในการทดรอบความเร็ว ตัวเล็กขนาด 3 นิ้ว ตัวใหญ่ 16 นิ้ว



รูป 4.5 พู่เลย์ (Pulley)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของวัสดุ (Balance)

เป็นตาชั่งดิจิตอล แสดงผลเป็นแบบดิจิตอล ซึ่งค่าอยู่ในช่วง 0 – 4.1 กิโลกรัม
ทศนิยม 2 ตำแหน่ง



รูป 4.6 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของวัสดุ (Balance)

4.1.7 แผ่นกั้น (Flight)

ทำจากเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร โดยความยาวด้านแรก 5 เซนติเมตร ด้านที่ 2 ยาว
7.5 เซนติเมตร



รูป 4.7 แผ่นกั้น (Flight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน



รูป 4.9 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบมอเตอร์เข้ากับเกียร์บ็อกซ์ จากนั้นต่อสายไฟจากอินเวอร์เตอร์ เข้าสู่มอเตอร์ จากรูปที่ 4.9 เพลลาทั้ง 2 ถูกยึดด้วยสายพานที่ต่อเข้ากับฟุ่ลีย์ แล้ว ปลายของเพลลาอีกด้าน ถูกต่อเข้ากับท่อหมุน

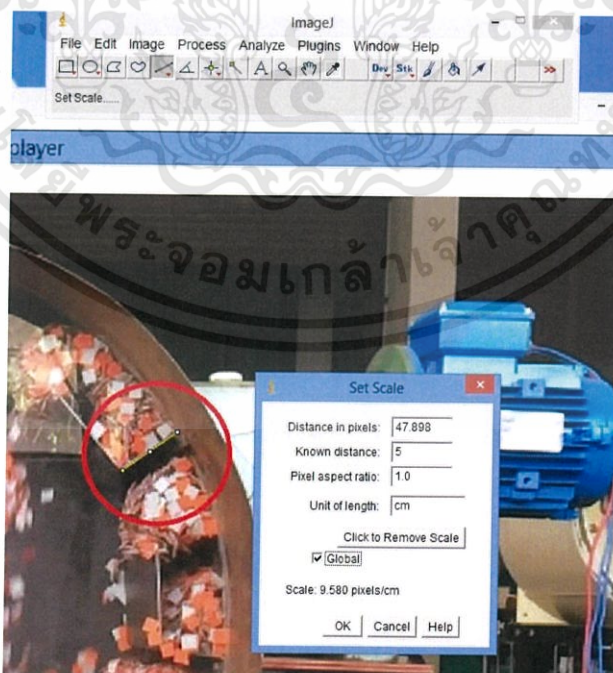
4.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

- 1) ติดตั้งแผ่นกั้นที่มีขนาดมุมเท่ากับ 100 องศา
- 2) นำกระดาษใส่ในท่อหมุนน้ำหนัก 0.6 กิโลกรัม
- 3) ทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที แล้วบันทึกวีดิโอเพื่อรวบรวมค่า
- 4) เพิ่มน้ำหนักในท่อหมุนโดยการใส่กระดาษเพิ่มเป็น 1.2 กิโลกรัม และดำเนินการทดลองตามข้อที่ 3
- 5) เพิ่มน้ำหนักในท่อหมุนโดยการใส่กระดาษเพิ่มเป็น 1.8 กิโลกรัม และดำเนินการทดลองตามข้อที่ 3
- 6) เปลี่ยนแผ่นกั้นเป็นแผ่นที่มีมุม 110 องศา และดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-5 ตามลำดับ
- 7) เปลี่ยนแผ่นกั้นเป็นแผ่นที่มีมุม 120 องศา และดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-5 ตามลำดับ
- 8) นำวีดิโอที่ได้จากการทดลอง มาใช้คำนวณในโปรแกรม ImageJ เพื่อมาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

4.4 การหาพื้นที่หน้าตัดโดยใช้โปรแกรม ImageJ

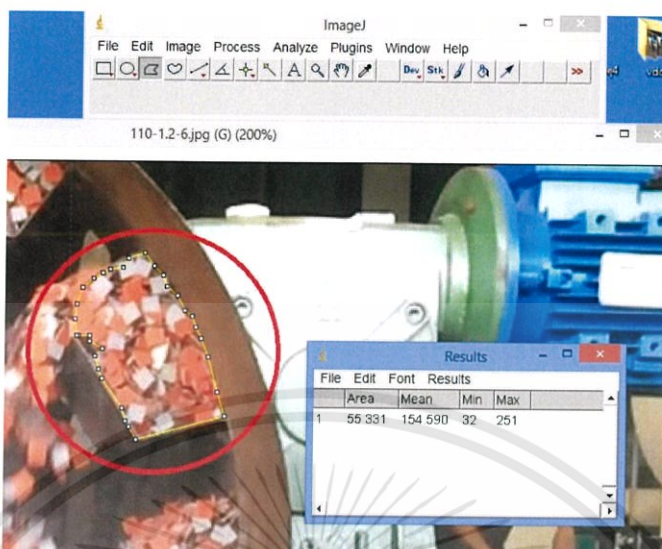
- 1) กำหนดสเกลที่ทราบค่าจากรูป ในที่นี้เราใช้ค่าของ L_1 คือ 5 เซนติเมตร



รูป 4.10 วิธีการกำหนดสเกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลากพื้นที่หน้าตัดของภาพในส่วนที่เราสนใจ



รูป 4.11 แสดงการวัดพื้นที่หน้าตัด

3) กดรัดค่า ก็จะได้ค่าพื้นที่หน้าตัดที่เราต้องการ

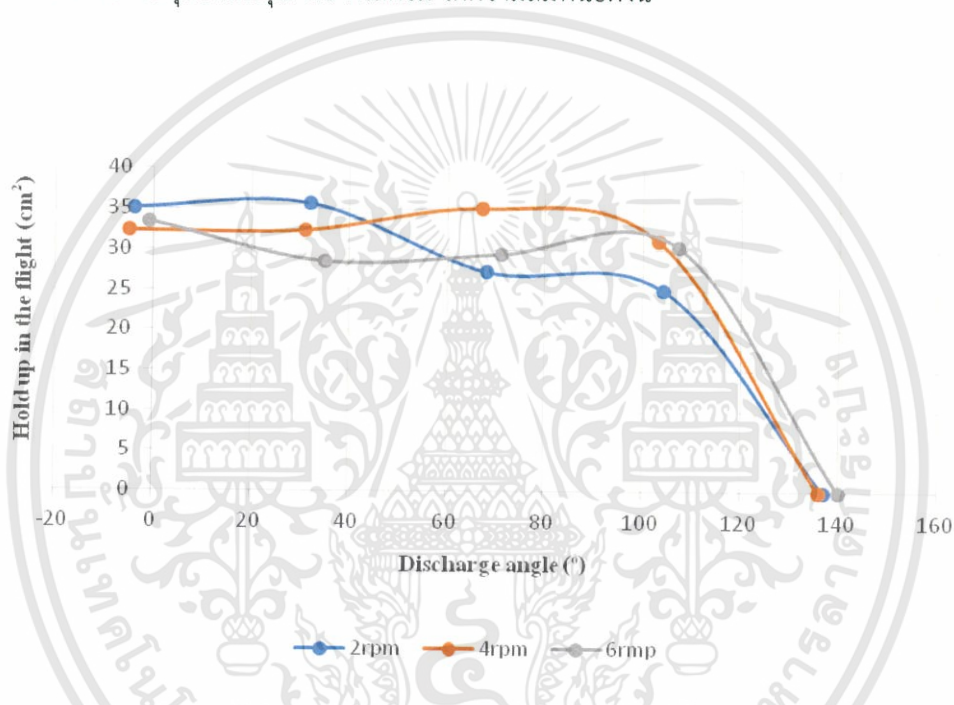
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

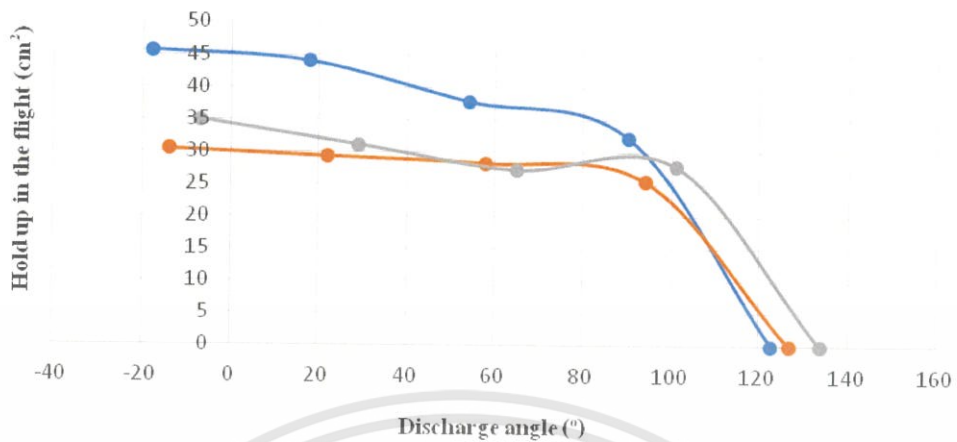
ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

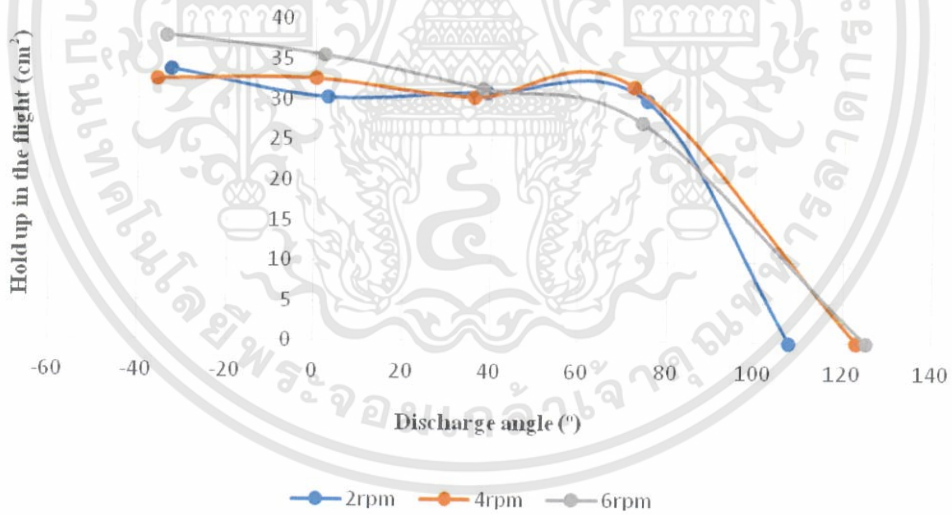
จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ ที่แผ่นกั้นมุม 100 , 110 และ 120 องศา ตามลำดับ ความเร็วรอบ 2 , 4 และ 6 รอบต่อ นาที น้ำหนักของวัสดุในท่อหมุน 0.6 กิโลกรัม ได้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 100 องศา น้ำหนักของกระดาศ 0.6 กิโลกรัม



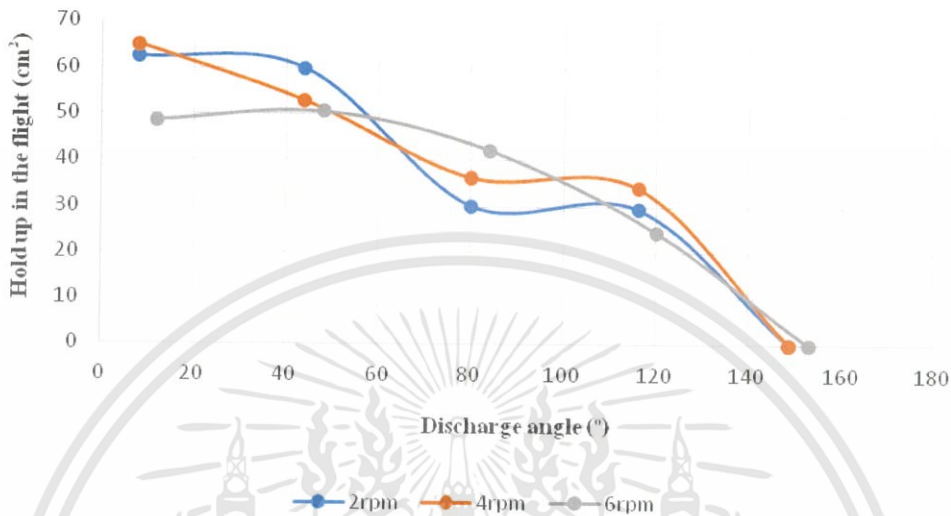
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 110 องศา น้ำหนักของกระดาษ 0.6 กิโลกรัม



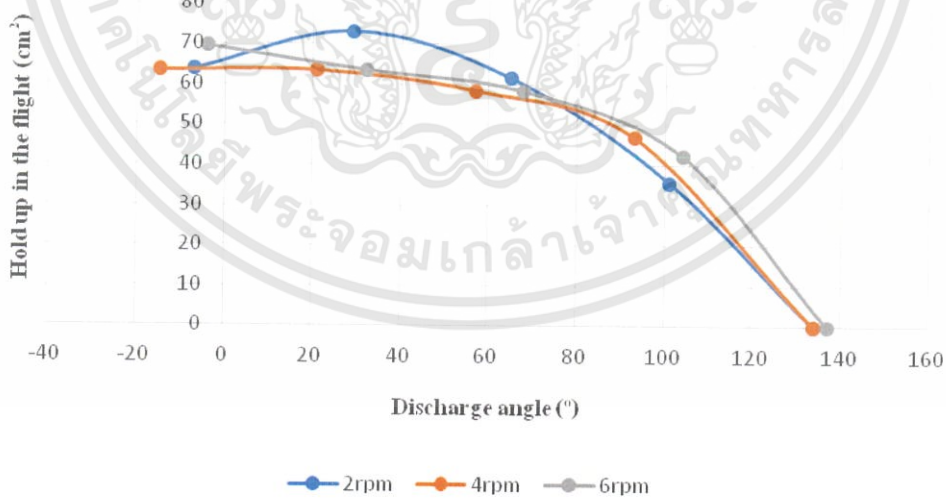
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 120 องศา น้ำหนักของกระดาษ 0.6 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

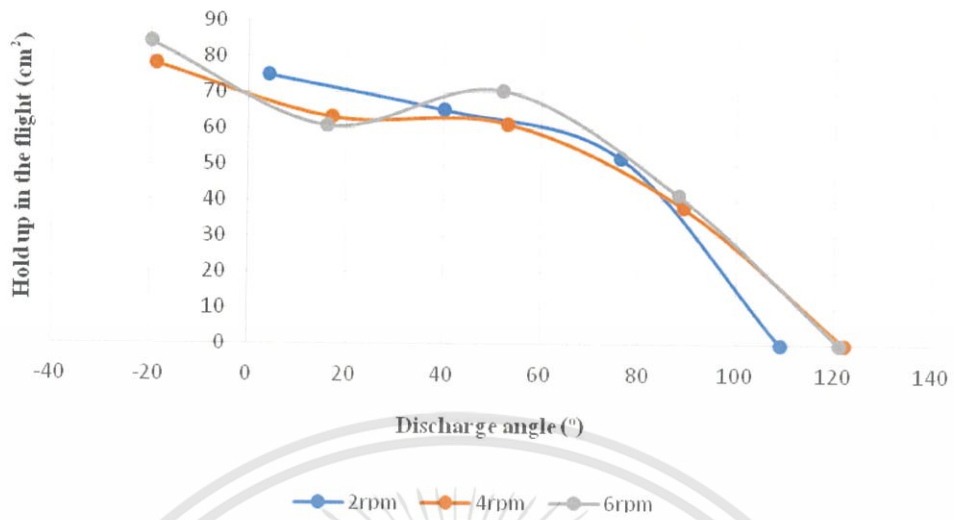
จากกราฟรูปที่ 5.1 , 5.2 และ 5.3 จะเห็นว่าที่น้ำหนักของกระดาศ 0.6 กิโลกรัม กราฟช่วงแรกจะค่อนข้างคงที่แล้วช่วงสุดท้ายจึงลดลง เนื่องมาจากกระดาศที่อยู่ในแผ่นกั้นมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้กระดาศไม่โปรยในช่วงแรก แต่จะโปรยอีกทีในช่วงสุดท้าย



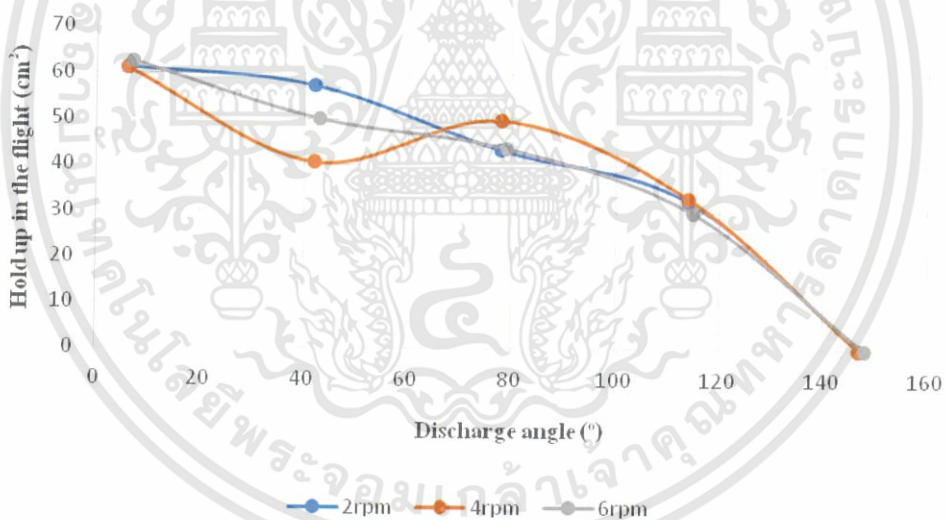
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 100 องศา น้ำหนักของกระดาศ 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 110 องศา น้ำหนักของกระดาศ 1.2 กิโลกรัม

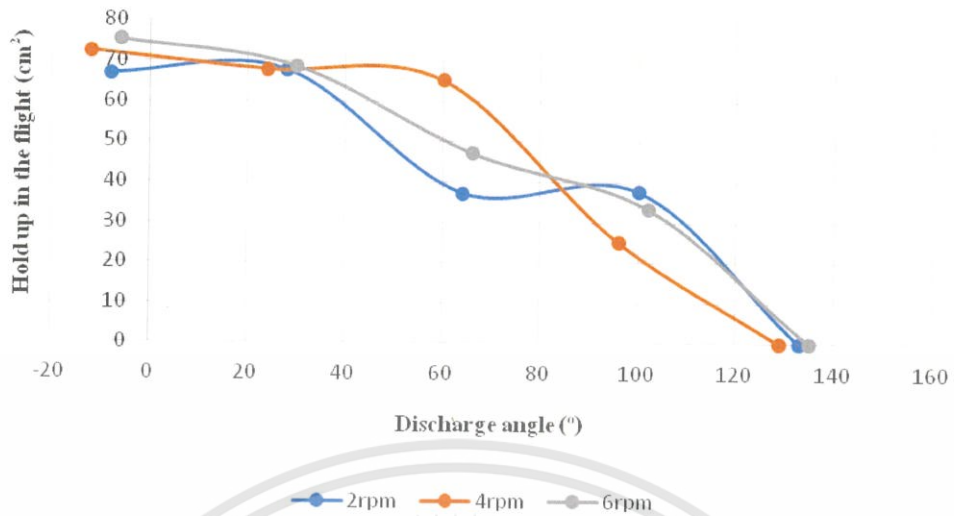


รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 120 องศา น้ำหนักของกระดาดช 1.2 กิโลกรัม

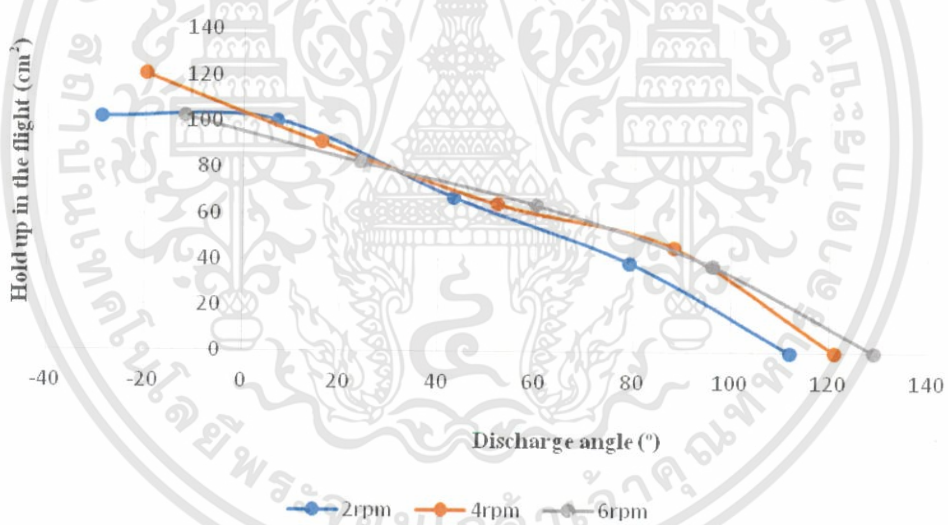


รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ มุมของแผ่นกั้น 100 องศา น้ำหนักของกระดาดช 1.8 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุของแผ่นกั้น 110 องศา น้ำหนักของกระดาด 1.8 กิโลกรัม



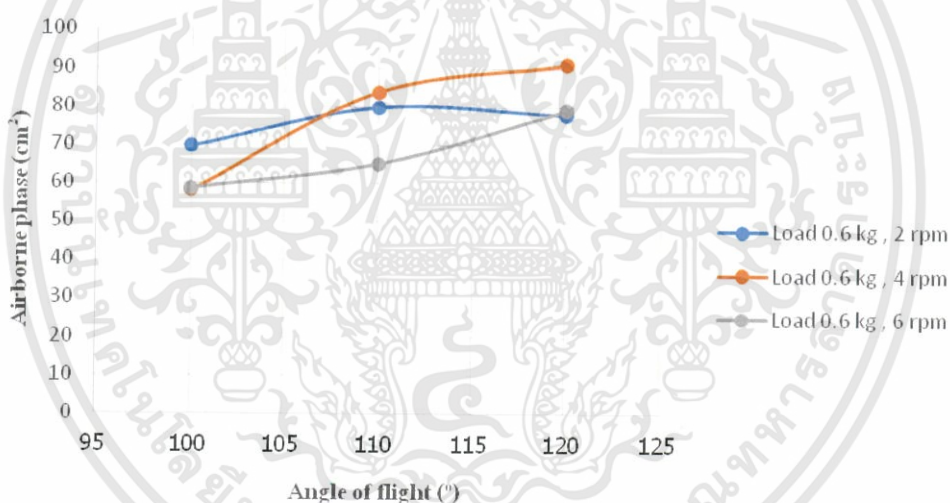
รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุของแผ่นกั้น 120 องศา น้ำหนักของกระดาด 1.8 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

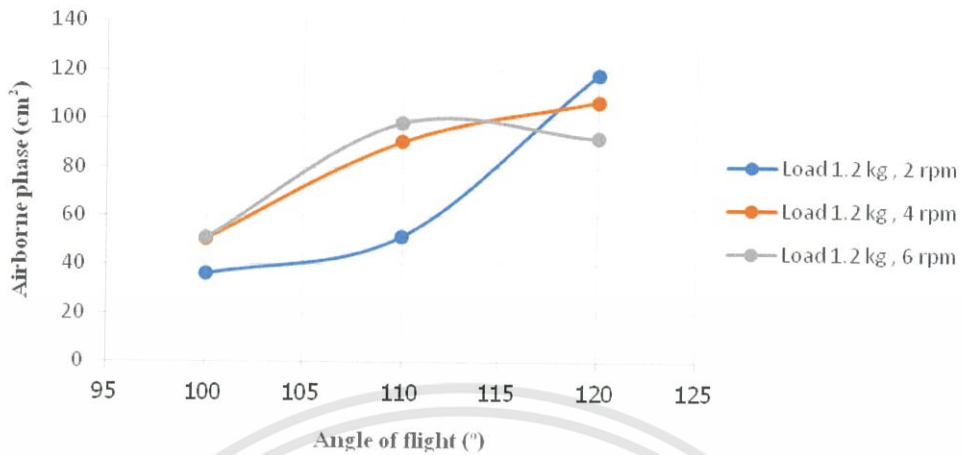
จากกราฟรูปที่ 5.4 , 5.5 , 5.6 , 5.7 , 5.8 , 5.9 จะเห็นได้ว่า ที่น้ำหนักกระดาด 1.2 และ 1.8 กิโลกรัม มุมของแผ่นกั้นมีขนาด 100 , 110 และ 120 องศา ความเร็วของท่อหมุน เท่ากับ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที จะเห็นว่ากราฟมีการลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงว่ากระดาดมีการไปรยอย่างต่อเนื่องทุกมุมในการตกของวัสดุ แล้วจะเห็นได้ว่าที่มุมของแผ่นกั้นที่มีขนาดใหญ่จะสามารถตักกระดาดได้มากกว่า และสาเหตุที่มุมมีค่าติดลบเพราะเริ่มวัดมุมในการตกจากแนวระดับ (Horizontal) แล้ววัสดุตกก่อนที่จะถึงแนวระดับทำให้มุมในการตกของวัสดุที่ได้มีค่าติดลบ

5.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

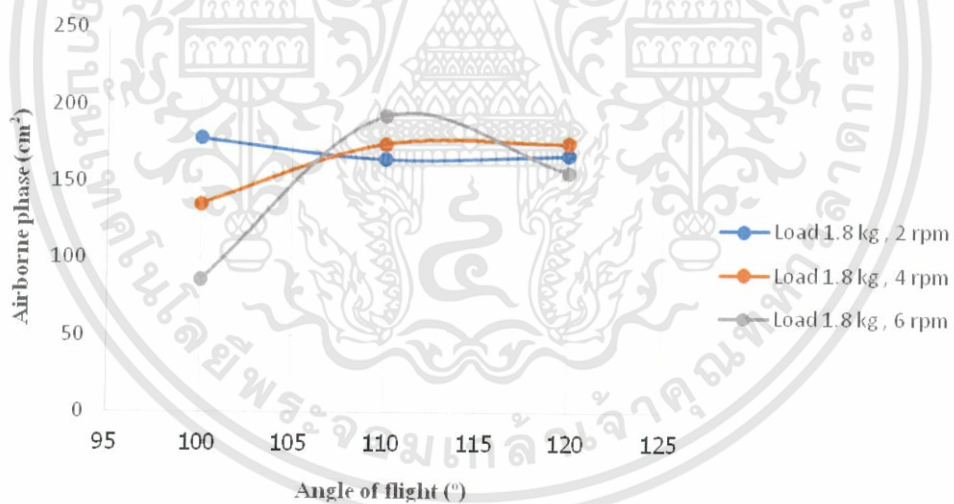
จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ ณ มุมของแผ่นกั้น 100 , 110 และ 120 องศา ตามลำดับ ความเร็วรอบ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที น้ำหนักของวัสดุในท่อหมุน 0.6 , 1.2 และ 1.8 กิโลกรัม



รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุที่น้ำหนัก 0.6 กิโลกรัม



รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุที่น้ำหนัก 1.2 กิโลกรัม



รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุที่น้ำหนัก 1.8 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 5.10 , 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวัสดุที่อยู่ในอากาศเทียบกับมุมในการตกของวัสดุที่น้ำหนักต่างๆกัน ซึ่งทั้งสามกราฟนี้จะแสดงให้เห็นว่าที่แผ่นกั้นมุม 100 องศา มีปริมาณพื้นที่ของวัสดุที่อยู่ในอากาศมีแนวโน้มค่อนข้างต่ำกว่าแผ่นกั้นมุม 110 และ 120 องศา ส่วนแผ่นกั้นมุม 110 และ 120 มีปริมาณพื้นที่ของวัสดุบนอากาศพอๆกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน และศึกษาอิทธิพลของแผ่นกั้นต่อการกระจายตัวของชีวมวล ซึ่งทำการทดลองโดยใช้แผ่นกั้นที่มีขนาด 100 , 110 และ 120 องศา ความเร็วรอบ 2 , 4 และ 6 รอบต่อนาที โดยจากการทดลองและทำการบันทึกวิดีโอ แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ห่อออกมาเป็นกราฟจะเห็นได้ว่าจากกราฟปริมาณของพื้นที่ของวัสดุบนอากาศที่มีค่าแนวโน้มมากที่สุดอยู่ที่แผ่นกั้นมุม 110 และ 120 องศา ทั้งสามช่วงความเร็ว เพราะยิ่งพื้นที่ในอากาศมาก การถ่ายเทความร้อนก็จะดีตามไปด้วย แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าที่ความเร็วไหนจะทำให้พื้นที่ในอากาศมากที่สุดเนื่องจากวัสดุตกไม่มีความต่อเนื่องเหมือนเม็ดทราย ทำให้วิเคราะห์จากรูปภาพได้ยากและวิธีการวัดด้วยโปรแกรมนี้ก็ไม่ได้เป็นที่แม่นยำนักเป็นแค่แนวทาง

6.2 ข้อเสนอแนะ

ควรใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กและกลมในการทดลองเนื่องจากการโปรยของกระดาศจะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้วิเคราะห์หาพื้นที่หน้าตัดจากรูปภาพทำได้ยากและจึงทำให้การวัดโดยโปรแกรมเกิดการคลาดเคลื่อนได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2556. บทที่ 2 การอบแห้ง (Drying).(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit%202/chapter%202%20dry.pdf>
- [2] วิชชุลดา ศรีประเทศ, วิรุจน์ พิพัฒศรี และสุรางค์ ตั้งมั่น. “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน.” ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2546.
- [3] Christie John Geankoplis. 2546. Transport Processes and Separation Process Principles.4th Edition. New Jersey : Pearson.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. อัตราการทำแห้ง.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำแห้ง>
- [5] ดร.ไกรลาศ เขียวทอง. 2556. คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากของ 1. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://extension.dld.go.th/th1/images/stories/cattle_buff_bord/napiagrass.pdf
- [6] Sefa Tarhan , Isa Telci , M. Taner Tuncay and Hakan Polartci. 2010. “Product Quality and Energy Consumption When Drying Peppermint by Rotary Drum Dryer.” 32(3): 420-427.
- [7] Koteswara Rao Sunkara , Fabian Herz , Eckehard Specht และ Jochen Mellmann. 2012. “Theoretical and Experimental Analysis of the Optimal Surface Area of the Cascading Particles in a Flighted Rotating Drum.” Journal of Particle Technology.
- [8] N.J. Fernandes, C.H. Ataide and M.A.S. Barrozo. 2008. “Modeling and Experimental Study of Hydrodynamic and Drying Characteristics of an Industrial Rotary Dryer.” Brazilian Journal of Chemical Engineering. 26(02): 331-341.
- [9] Yeole Shrikant P. and deshमुख M.M. 2013. “Performance analysis of Rotary Cotton Seed dryer with One and Three Segment Flights.” Research Journal of Engineering Sciences. 2(4): 5-9.
- [10] O.O. Ajayi and M.E. Sheehan. 2012. “Application of Image Analysis to Determine Design Loading in Flighted Rotary Dryer.” Journal of Powder Technology. 223(2012): 123-130.
- [11] รศ.ดร.สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.

- [12] Arruda, E. B., Comparação do Desempenho do Secador Roto- Fluidizado com o Secador Rotatório Convencional: Secagem de Fertilizantes. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (2007)
- [13] Friedman, S. J. and Marshal, W. R., Studies in rotary drying, Chemical Engineering Progress, 45, 482-573 (1949)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบ

ตาราง ก. แสดงข้อมูลพื้นที่หน้าตัดบนแผ่นกั้นเทียบกับมุมในการตกของวัสดุ

ใบมูม 100 องศา load 0.6 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	35.167	35.721	27.276	25.078	0
	Discharge angle (°)	-4	32	68	104	137
ใบมูม 100 องศา load 0.6 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	32.316	32.33	35.085	31.169	0
	Discharge angle (°)	-5	31	67	103	136
ใบมูม 100 องศา load 0.6 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	33.451	28.502	29.407	30.397	0
	Discharge angle (°)	-1	35	71	107	140
ใบมูม 100 องศา load 1.2 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	62.48	59.848	30.086	29.383	0
	Discharge angle (°)	8	44	80	116	149
ใบมูม 100 องศา load 1.2 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	64.951	52.778	36.16	33.914	0
	Discharge angle (°)	8	44	80	116	149
ใบมูม 100 องศา load 1.2 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	48.62	50.543	42.21	24.407	0
	Discharge angle (°)	12	48	84	120	153
ใบมูม 100 องศา load 1.8 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	61.198	57.296	43.321	32.309	0
	Discharge angle (°)	6	42	78	114	147
ใบมูม 100 องศา load 1.8 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	61.099	40.63	49.877	32.978	0
	Discharge angle (°)	6	42	78	114	147
ใบมูม 100 องศา load 1.8 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	62.531	50.025	43.716	29.716	0
	Discharge angle (°)	7	43	79	115	148

ใบมุ่ม 110 องศา load 0.6 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	45.617	43.963	37.716	32.222	0
	Discharge angle (°)	-18	18	54	90	123
ใบมุ่ม 110 องศา load 0.6 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	30.383	29.321	28.222	25.444	0
	Discharge angle (°)	-14	22	58	94	127
ใบมุ่ม 110 องศา load 0.6 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	34.889	31.086	27.16	27.704	0
	Discharge angle (°)	-7	29	65	101	134
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.2 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	63.617	73	61.58	35.654	0
	Discharge angle (°)	-7	29	65	101	134
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.2 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	63.296	63.395	58.346	46.765	0
	Discharge angle (°)	-15	21	57	93	134
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.2 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	69.469	63.531	58.296	42.235	0
	Discharge angle (°)	-4	32	68	104	137
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.8 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	66.815	67.765	37.198	37.58	0
	Discharge angle (°)	-8	28	64	100	133
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.8 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	72.451	67.864	65.136	25.025	0
	Discharge angle (°)	-12	24	60	96	129
ใบมุ่ม 110 องศา load 1.8 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	75.309	68.741	47.136	33.284	0
	Discharge angle (°)	-6	30	66	102	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 120 องศา load 0.6 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	33.716	30.284	30.975	29.984	0
	Discharge angle (°)	-33	3	39	75	108
ใบมูม 120 องศา load 0.6 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	32.457	32.593	30.358	31.778	0
	Discharge angle (°)	-36	0	36	72	123
ใบมูม 120 องศา load 0.6 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	37.864	35.519	31.37	27.21	0
	Discharge angle (°)	-34	2	38	74	125
ใบมูม 120 องศา load 1.2 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	75.049	65.388	52.074	0	-
	Discharge angle (°)	4	40	76	109	-
ใบมูม 120 องศา load 1.2 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	78.099	63.296	61.481	38.185	0
	Discharge angle (°)	-19	17	53	89	122
ใบมูม 120 องศา load 1.2 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	84.358	61.012	70.79	41.653	0
	Discharge angle (°)	-20	16	52	88	121
ใบมูม 120 องศา load 1.8 kg 2 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	101.783	100.531	67.037	38.84	0
	Discharge angle (°)	-29	7	43	79	112
ใบมูม 120 องศา load 1.8 kg 4 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	120.617	90.889	64.222	45.58	0
	Discharge angle (°)	-20	16	52	88	121
ใบมูม 120 องศา load 1.8 kg 6 rpm	Hold up in the flight (cm ²)	102.321	82.432	63.944	37.519	0
	Discharge angle (°)	-12	24	60	96	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข. แสดงปริมาณพื้นที่ของวัสดุบนแผ่นกั้นที่ไม่ได้อยู่บนอากาศ

ใบมুম 100 องศา Load 0.6 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	30.47	30.43	27.1
	32.03	33.04	33.26
	31.89	29.3	27.07
	19.18	8.151	4.498
	3.723	6.139	9.758
	3.723	7.342	25.12
	2.752	23.38	31.9
	30.48	24.89	21.74
	62.16	29.9	34.84
	32.41	37.89	-
รวม	248.8	230.5	215.3
ใบมুম 100 องศา Load 0.6 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	36.18	35.25	38.24
	24.72	24.33	24.79
	24.85	24.26	25.12
	17.08	6.706	4.856
	2.162	4.579	11.15
	2.359	7.434	21.03
	28.8	18.6	38.31
	32.85	35.1	22.84
	25.51	25	35.96
	25.34	36.26	-
รวม	219.8	217.5	222.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 100 องศา Load 0.6 kg 6 rpm		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
34.12	44.77	44.77
30.19	28.34	28.34
27.37	28.59	28.59
17.31	9.111	9.111
2.023	0.775	0.775
5.157	4.74	4.74
15.85	24.52	24.52
26.25	24.18	24.18
23.29	23.16	23.16
26.25	38.54	38.54
รวม	207.8	226.7
ใบมูม 100 องศา Load 1.2 kg 2 rpm		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
-	40.67	40.87
-	42.7	37.31
-	27.48	21.24
-	3.018	12.19
-	25.11	19.32
-	25.61	203
-	131.7	50.49
-	53.9	-
รวม	-	350.2
		384.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 100 องศา Load 1.2 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	59.48	48.09	35.1
	49.41	43.17	29.46
	38.1	16.67	31.82
	30.75	2.035	0.717
	30.69	4.648	10.09
	189.3	14.78	29.41
	-	146.8	145.2
	-	56.64	55.34
รวม	397.7	332.9	337.2
ใบมูม 100 องศา Load 1.2 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	49.89	44.61	45.65
	44.41	43.6	45.14
	30	30.58	30.07
	24.11	21.23	10.3
	10.27	10.98	14.63
	24.67	21.05	162.1
	170.7	135.8	50.33
	-	49.25	-
รวม	354.1	357.1	358.2
ใบมูม 100 องศา Load 1.8 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	38.76	37.14	38.91
	32.86	30.3	28.43
	32.18	26.37	27.84
	23.67	4.359	14.01
	0.578	12.29	363.7
	374.5	365.4	-
รวม	502.5	475.9	472.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 100 องศา Load 1.8 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	54.03	54.03	50.1
	47.53	47.53	22.82
	28.37	28.37	28.11
	25.8	25.8	2.463
	382	380	10.93
	-	-	302.5
รวม	537.7	535.7	417
ใบมูม 100 องศา Load 1.8 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	50.34	44.9	41.7
	30.67	29.93	14.92
	32.95	20.77	29.68
	19.4	7.342	4.012
	2.532	3.295	10.05
	0.728	6.128	421.5
	381.4	378.1	-
รวม	518	490.4	521.9
ใบมูม 110 องศา Load 0.6 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	40.68	43.37	37.66
	27.06	36.08	18.01
	9.331	31.08	28.95
	8.973	24.12	29.08
	15.13	40.36	42.3
	21.31	38.89	39.3
	43.35	-	-
	37.43	-	-
รวม	203.3	213.9	195.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 110 องศา Load 0.6 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	37.85	32.09	33.37
	28.98	27.16	16.93
	12.77	10.67	15.21
	9.542	7.42	8.501
	3.991	6.833	6.807
	5.463	36.05	30.69
	1.688	35.23	25.97
	19.21	29.06	32.87
	23.08	30.98	32.22
	31.79	-	-
	35.16	-	-
รวม	209.5	215.5	202.6
ใบมูม 110 องศา Load 0.6 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	44.75	41.49	36.6
	23.15	24.68	21.36
	18.19	16.06	14.29
	7.088	9.275	15.83
	6.79	11.62	20.36
	15.22	12.69	6.212
	30.13	19.15	18.6
	26.76	23.16	30.23
	45.61	41.74	32.53
รวม	217.7	199.9	196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบมม 110 องศา Load 1.2 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	61.8	66.58	58.3
	52.37	32.86	26.08
	21.39	16.19	17.59
	8.764	9.028	21.08
	4.391	36.22	42.34
	15.47	52.58	62.47
	3.063	47.96	57.43
	49.05	52.85	57.19
	49.95	-	-
	54	-	-
รวม	320.3	314.3	342.5
ไบมม 110 องศา Load 1.2 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	72.06	62.47	63.14
	54.42	47.75	25.28
	17.66	19.22	14.48
	19.89	16.98	21.43
	6.578	41.02	47.33
	32.35	36.89	40.73
	55.51	45.61	71.22
	41.66	55.23	57.06
	57.26	-	-
รวม	357.4	325.2	340.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมุ่ม 110 องศา Load 1.2 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	53.97	52.74	55.56
	51.03	38.15	40.77
	9.096	11.86	20
	10.6	11	30.57
	20.39	21.61	45.69
	39.78	34.83	68.79
	60.22	38.66	59.35
	55.76	52.11	64.12
	-	88.46	-
รวม	300.8	349.4	384.8
ใบมุ่ม 110 องศา Load 1.8 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	58.29	68.88	64.93
	67.19	65.03	25.11
	27.94	21.33	21.04
	4.433	2.714	4.603
	38.71	322	326.5
	293.1	-	-
รวม	489.7	480	442.2
ใบมุ่ม 110 องศา Load 1.8 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	65.68	72.16	65.79
	42.04	50.15	48.59
	18.95	21.54	23.05
	4.799	12.97	15.99
	12.39	294.2	294.2
	299.8	-	63.85
รวม	443.7	451	511.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมุ่ม 110 องศา Load 1.8 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	72.53	68.59	68.23
	49.15	44.16	23.88
	28.58	28.3	21.77
	15.3	8.058	16.53
	305.3	312.5	336.7
	470.9	461.6	467.1
ใบมุ่ม 120 องศา Load 0.6 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	34.21	38.3	38.64
	34.58	32.18	33.04
	25.44	22.29	18.35
	21.66	17.29	29.68
	25.17	21.23	29.29
	13.69	33.27	38.8
	38.86	30.7	39.54
รวม	193.6	195.3	227.3
ใบมุ่ม 120 องศา Load 0.6 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	33.53	30.89	32.62
	28.63	30.71	28.08
	17.29	22.21	15.32
	6.753	3.429	5.446
	8.572	6.246	5.676
	18.31	20.65	10.4
	20.21	33.53	33.71
	33.89	32.86	32.97
	33.87	31.51	33.58
รวม	201	212	197.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมุ่ม 120 องศา Load 0.6 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	36.52	35.16	34.02
	20.73	16.58	12.73
	13.16	3.833	11.7
	5.88	4.059	2.23
	4.228	14.23	12.82
	19.66	29.1	36.62
	37.29	36.65	35.91
	34.31	36.81	33.81
	36.95	35.58	35.99
รวม	208.7	212	215.8
ใบมุ่ม 120 องศา Load 1.2 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	61.68	69.37	64.74
	61.9	41.06	42.2
	24.63	25.53	12.64
	27.43	37.42	21.93
	38.9	69.33	47.16
	57.11	65.26	66.41
	59.61	61.67	65.73
รวม	331.3	369.6	320.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมูม 120 องศา Load 1.2 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	59.07	58.87	45.28
	48.76	42.01	34.33
	25.53	26.78	23.48
	3.761	1.906	8.05
	6.51	8.118	10.19
	33.86	37.1	35.48
	65.27	60.33	59.09
	60.54	59.89	57.54
	58.84	59.65	58.04
รวม	362.1	354.6	331.5
ใบมูม 120 องศา Load 1.2 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	59.83	53.25	56.64
	58.43	56.96	32.31
	28.42	25.46	18.82
	5.003	3.914	8.169
	13.02	11.56	12.47
	79.4	49.24	34.32
	52.8	56.65	49.43
	67.66	53.46	51.29
		59.56	57.5
รวม	364.6	370.1	320.9
ใบมูม 120 องศา Load 1.8 kg 2 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	68.19	68.53	65.04
	63.15	49.51	38.77
	31.23	23.08	7.088
	6.322	2.485	8.501
	303.1	331.4	306.4
	-	-	61.68
รวม	472	475	487.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมุ่ม 120 องศา Load 1.8 kg 4 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	68.06	70.3	65.52
	61.97	54.33	30.29
	3.038	26	10.18
	303.7	4.391	15
	-	320.2	285
	-	-	79
รวม	436.8	475.3	485
ใบมุ่ม 120 องศา Load 1.8 kg 6 rpm			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	63.16	69	61.07
	69.14	35.07	36.61
	22.86	20.66	17.7
	14.21	14.3	9.615
	38.51	262.3	277.6
	264.1	56.87	69
รวม	472	458.2	471.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

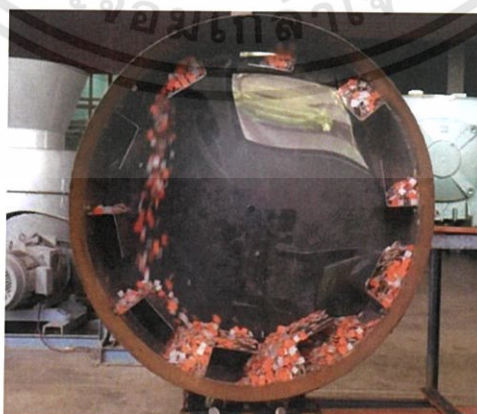
ภาคผนวก ข
รูปแสดงลักษณะการโปรยของวัสดุในกรณีต่างๆ



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 0.6 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที

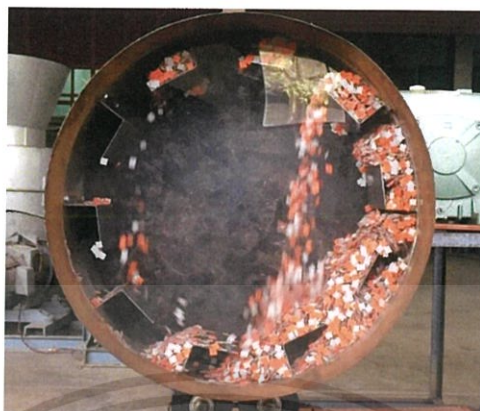


รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 0.6 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 0.6 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.2 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที

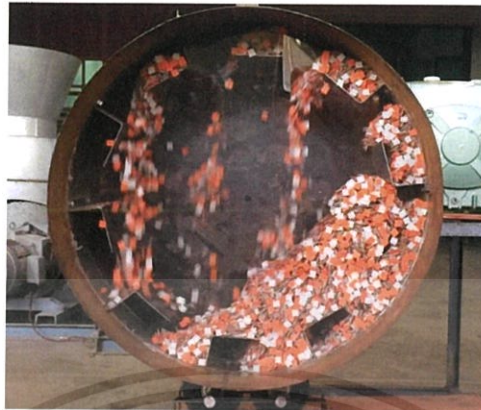


รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.2 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.2 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.8 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.8 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที

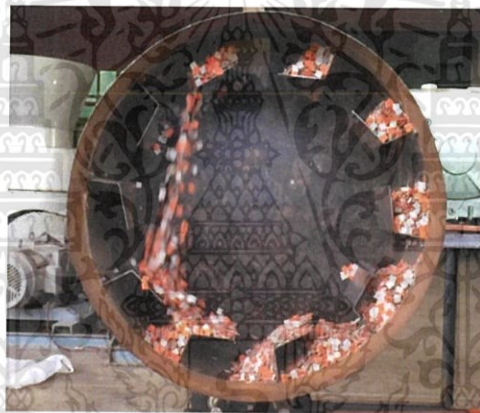


รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 100 องศา 1.8 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 0.6 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 0.6 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที

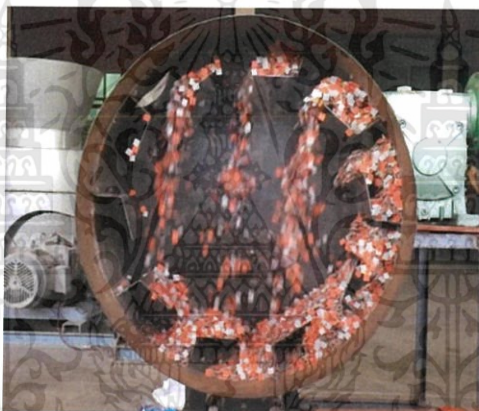


รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 0.6 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.2 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.2 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.2 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.8 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.8 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 110 องศา 1.8 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

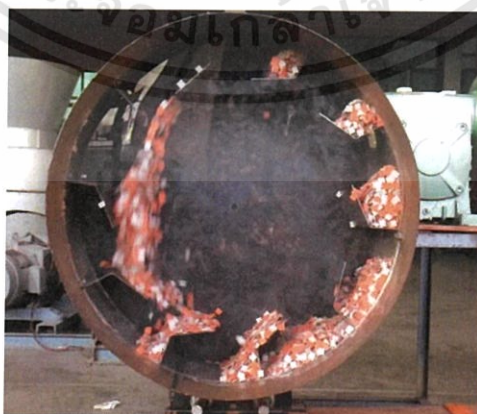
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 0.6 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที

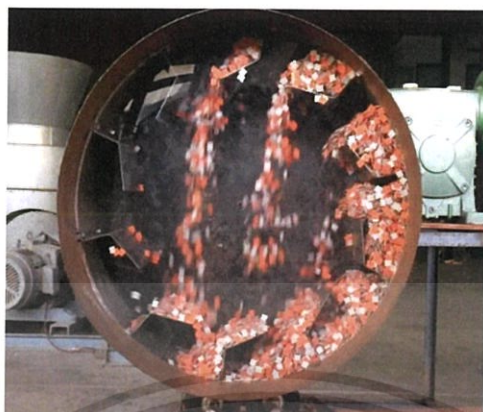


รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 0.6 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 0.6 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

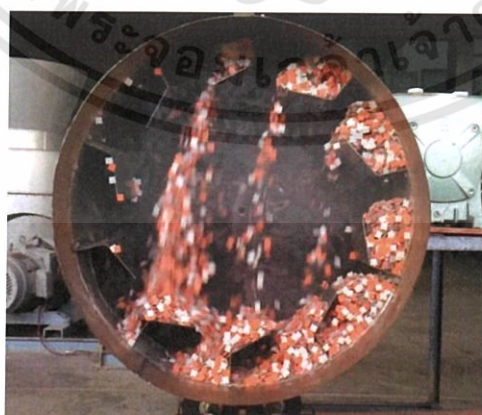
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.2 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.2 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.2 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.8 กิโลกรัม 2 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.8 กิโลกรัม 4 รอบต่อนาที



รูปแสดง การตกของแผ่นกั้นมุม 120 องศา 1.8 กิโลกรัม 6 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้