

การศึกษาใบกวาดในเตาอบแบบหมุน
LIFTERS DESIGNED IN ROTARY DRUM DRYER

นายกมล จิระธนะพรพงศ์
นายวิทวัส วัฒนธัญญกรรม
นายวีรยุทธ วงศ์ภัทรวรกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

LIFTERS DESIGNED IN ROTARY DRUM DRYER

KAMOL JIRATHANAPORNPONG
WITHAWAT WATTHANATHUNYAKRAM
VEERAYUT WONGPATTHARAWORAKUL

A RHESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSITITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

2014

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาใบกวาดในเตาอบแบบหมุน

LIFTERS DESIGNED IN ROTARY DRUM DRYER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1. นายกมล | จิระชนะพรพงศ์ | รหัส 54010007 |
| 2. นายวิทวัส | วัฒนธัญญกรรม | รหัส 54011197 |
| 3. นายวีรยุทธ | วงศ์ภัทรวรกุล | รหัส 54011226 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์)

การศึกษาใบกวาดในเตาอบแบบหมุน

นายกมล	จิระชนะพรพงศ์	54010007
นายวิหวัศ	วัฒนธัญญกรรม	54011197
นายวีรยุทธ	วงศ์ภัทรวรกุล	54011226
รศ.ดร.ชินรัชช์ เจริญพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา		
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ต่างเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงมีการหาแหล่งพลังงานทดแทนหนึ่งในนั้นคือหญ้าเนเปียร์ที่หาได้ง่ายในประเทศไทย แต่วัสดุดังกล่าวมีความชื้นสูงอยู่จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการอบจากเตาอบแบบหมุนเพื่อลดความชื้นก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป โดยการทดลองได้ศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมพับของใบกวาดที่มีขนาด 100, 120 และ 140 องศาทำงานที่ความเร็วรอบ 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที มีอัตราการป้อนวัสดุที่ 2.25 และ 3 ลิตรต่อนาที จากการทดลองพบว่า วัสดุที่นำมาอบมีการเกาะกันเป็นก้อนซึ่งทำให้การโปรยของใบกวาดไม่มีความต่อเนื่องเมื่อมีอัตราการป้อนวัสดุเป็น 2.25 ลิตรต่อนาที เตาอบจะมีสถานะเป็นตีไซนโหลด จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนหญ้าที่ถูกโปรยอยู่ในอากาศเทียบกับหญ้าที่ถูกอุ้มอยู่ในใบที่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อมุมของใบกวาดมีค่าเพิ่มขึ้น วัสดุจะมีการตกที่เร็วขึ้น และเมื่อปรับความเร็วรอบเป็น 4 รอบต่อนาที จะทำให้ใบกวาดที่มีมุม 120 องศา มีการตกสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่อยู่ระหว่าง 80-100 องศา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีระยะการตกมากที่สุด สำหรับหญ้าเนเปียร์

LIFTERS DESIGNED IN ROTARY DRUM DRYER

Kamol Jirathanapornpong 54010007
Withawat Watthanathunyakram 54011197
Veerayut Wongpattharaworakul 54011226
Assoc.Prof.Dr.Chinaruk Thianpong
Year 2557

Abstract

Nowadays, the common use energy is non-renewable, Napier grass is one of renewable energy which is easy supply in Thailand. But it contains a high level of moisture, so it needs to be dried up. This project focused on rotary drum dryer process to make it as fuel. The trial studied the effect of changing angle of the lifter including 100, 120 and 140 degrees at rotational speed of 3, 4 and 5 rpm with feeding rate at 2.25 and 3 lpm. It was found that feeding rate at 2.25 lpm which is design-loaded, the grass grouped into chunk causing it fell discontinuously. Falling grass to held on the lifter ratio on each position trended to increase when angle of the lifter was increased. At 4 rpm rotational speed, the 120 degree lifter has greatest falling rate when it rotated to 80-100 degree.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ และคำแนะนำอันดีจาก อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์ และนายยุทธนา ศรีมา ซึ่งคอยชี้แนะกระบวนการในการดำเนินงานต่างๆ และยังคงคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ รวมถึงเพื่อนๆ น้องๆทุกคนที่เข้ามาพูดคุย ช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เข้ามา

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณบิดามารดา บุคคลที่สำคัญที่สุดที่คอยสนับสนุนทั้งร่างกาย แรงใจ และได้ให้โอกาสกับข้าพเจ้าในการศึกษาเล่าเรียน ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้ประสบความสำเร็จในวันนี้ ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นายกมล จิระธนะพรพงศ์

นายวิทวัส วัฒนธัญญกรรม

นายวีรยุทธ วงศ์ภัทรวรกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	
สารบัญรูปภาพ	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้งโดยเตาอบหมุน.....	2
2.2.1 under-loaded.....	3
2.2.2 design-loaded.....	3
2.2.3 over-loaded.....	4
2.3 การออกแบบใบกวาด.....	4
2.4 Residence time.....	6
2.5 ความชื้นในวัสดุ.....	6
2.5.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก.....	7
2.5.2 ความชื้นมาตรฐานเปียก.....	7
2.6 หล้าเนเปียร์.....	7
2.7 Motor.....	8
2.8 Blower	8
2.9 Damper.....	9
2.10 แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 Screw conveyer.....	10
2.12 โปรแกรม ImageJ.....	10
บทที่ 3 การออกแบบใบกวาด.....	12
3.1 หลักการออกแบบใบกวาด.....	12
3.2 การคำนวณขนาดของใบกวาด.....	12
3.2.1 ใบกวาดมุมตรง.....	12
3.2.2 ใบกวาดมุม 100, 120 และ 140 องศา.....	13
บทที่ 4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง.....	16
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	16
4.1.1 เตอบชนิดถังหมุน พร้อมอุปกรณ์วัดมุม.....	16
4.1.2 ใบกวาด.....	17
4.1.3 อุปกรณ์ส่งกำลัง.....	17
4.1.4 อุปกรณ์วัดค่าวัสดุ.....	19
4.2 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง.....	20
4.2.1 หญ้าเนเปียร์.....	20
4.2.2 เครื่องสับหญ้า.....	20
4.3 ขั้นตอนการหาความชื้นของหญ้าเนเปียร์.....	21
4.4 ขั้นตอนการหาปริมาตรของหญ้าภายในถังเทียบกับปริมาตรของถังหมุน.....	21
4.5 ขั้นตอนการทดสอบการตกของวัสดุ (cold test).....	22
4.6 การวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม ImageJ.....	22
4.6.1 การเตรียมภาพด้วยโปรแกรม Media player classic และ Photoshop.....	22
4.6.2 การตั้งสเกลของรูปภาพ.....	23
4.6.3 การวัดค่าพื้นที่ของหญ้าเนเปียร์ภายในถังหมุน.....	25
4.6.4 การนำค่าที่ได้จากโปรแกรม ImageJ ไปหาค่า Airborne ratio.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	28
5.1 ความชื้นของหญ้าเนเปียร์.....	28
5.2 ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ถ้ง.....	29
5.3 การโปรยวัสดุของใบตรง.....	30
5.4 สภาวะโหลดเกิน.....	30
5.5 สัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไป.....	34
5.6 ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมของที่ใบกวาดที่กวาดไป.....	36
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	38
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	38
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงความยาวของใบกวาดตามแนวระนาบ.....	13
3.2 แสดงระยะห่างของใบกวาดตามจำนวนใบกวาดที่อยู่ในถัง.....	13
3.3 แสดงขนาดของ L_1 และ L_2	14
4.1 แสดงค่าความเร็วรอบและอัตราการป้อนที่ใช้ในการทดลองหาปริมาตรหญ้า.....	22

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เต่าอบที่สภาวะ under-loaded.....	3
2.2 เต่าอบที่สภาวะ design-loaded.....	3
2.3 เต่าอบที่สภาวะ over-loaded.....	4
2.4 ภาพใบกวาดและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.5 หลัาเนเปียร์ ปลุกที่จังหวัดสุพรรณบุรี มีความสูงประมาณ 4 เมตร.....	8
3.1 ลักษณะของใบกวาดมุ่มตรง.....	12
3.2 ลักษณะของใบกวาดแบบสองส่วน.....	14
3.3 แสดงภาพมุมมองที่ 3 ของใบกวาดมุ่ม 100, 120 และ 140 องศา.....	15
4.1 เต่าอบชนิดถังหมุน พร้อมอุปกรณ์วัดมุ่ม.....	16
4.2 ใบกวาดมุ่ม 140, 120, 100 และ ใบตรง	17
4.3 มอเตอร์ และเกียร์บ็อกซ์.....	17
4.4 อินเวอร์เตอร์.....	18
4.5 ระบบส่งกำลังผ่านโซ่และเพลา	18
4.6 เครื่องชั่งดิจิตอล.....	19
4.7 กระบอกลดแรงดัน 1.5 ลิตร.....	19
4.8 เครื่องสับหญ้าเนเปียร์ติดตั้งใบมีด 4 ใบ.....	20
4.9 หลัาเนเปียร์ที่ผ่านการสับแล้ว มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1x1 เซนติเมตร.....	20
4.10 หลัาเนเปียร์ที่ผ่านการตากแดดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง.....	21
4.11 ภาพที่ได้จากโปรแกรม Photoshop.....	23
4.12 หน้าต่างหลักของโปรแกรม ImageJ.....	23
4.13 ภาพสำหรับตั้งสเกล.....	24
4.14 ค่าต่างๆที่ใช้ในการตั้งสเกล.....	24
4.15 ภาพ 8-bit.....	25
4.16 หน้าต่าง Threshold.....	26
4.17 ภาพที่ใช้คำสั่ง Threshold.....	26
4.18 หน้าต่างคำสั่ง Analyze Particles และการตั้งค่า.....	27
4.19 ค่าที่วิเคราะห์ได้จากคำสั่ง Analyze Particles.....	27

สารบัญรูปภาพ

รูปที่

หน้า

5.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์เทียบกับเวลาที่ตากแดด.....	28
5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังเทียบกับอัตราการป้อนหญ้าเนเปียร์ ที่ความเร็วรอบ 3 และ 5 รอบต่อนาที.....	29
5.3	ใบตรงที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	30
5.4	ใบงอมุม 100 องศาที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	31
5.5	ใบงอมุม 100 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที.....	31
5.6	ใบงอมุม 120 องศาที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที.....	32
5.7	ใบงอมุม 120 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที.....	32
5.8	ใบงอมุม 140 องศาที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที.....	33
5.9	ใบงอมุม 140 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที.....	33
5.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่ อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	34
5.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่ อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	34
5.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่ อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	35
5.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมของที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	36
5.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมที่กวาดไปที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	36
5.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมที่กวาดไปที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที.....	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากรัฐบาลได้มีการส่งเสริมในเรื่องของการใช้พลังงานทางเลือกที่มีมากขึ้น ซึ่งหญ้าเนเปียร์เป็นวัตถุดิบที่มีสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย จึงมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมากขึ้น แต่ภายในเนื้อวัสดุยังมีความชื้นอยู่มาก อีกทั้งลักษณะของวัตถุดิบมีการเกาะตัวเป็นก้อน ทำให้ไม่สามารถใช้เตาอบที่ตัววัตถุดิบอยู่นิ่งได้ เพราะฉะนั้นเครื่องอบแห้งชนิดท่อหมุนจึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะแบบนี้

งานวิจัยนี้มุ่งวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งของวัตถุดิบโดยการ ปรับปรุงขนาด และรูปร่างของใบกวาดภายในเตาอบ ให้เกิดการนำไปใช้ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 พัฒนารูปแบบของใบกวาดให้มีความเหมาะสมต่อการไล่ความชื้นในวัสดุทดสอบ
- 1.2.2 ทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการไล่ความชื้นในวัสดุทดสอบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านกระบวนการสับด้วยเครื่องมีขนาดด้านละ 1 เซ็นติเมตร
- 1.3.2 ใบกวาดมีความยาวในแนวระนาบ 5 เซ็นติเมตร
- 1.3.3 มุมของใบกวาดเป็น 100, 120 และ 140 องศา
- 1.3.4 กำหนดอัตราการป้อนที่ 2.25 และ 3 ลิตรต่อนาที
- 1.3.5 กำหนดความเร็วรอบของเครื่องที่ 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดท่อหมุน
- 1.4.2 สามารถออกแบบใบกวาดที่เหมาะสมกับวัสดุทดลอง
- 1.4.3 สามารถพัฒนาเครื่องอบชนิดท่อหมุนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

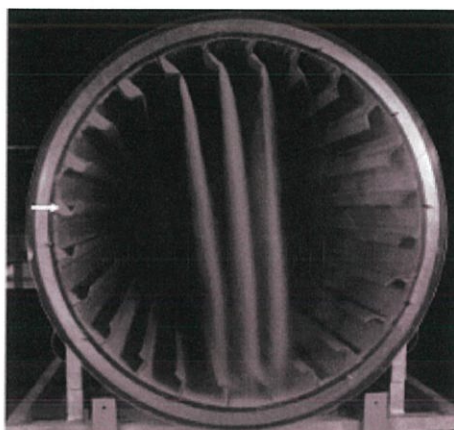
จากงานวิจัยของ A.S.Bongo Njeng, [7] ได้ทำการทดลองผลกระทบของความลาดชันเตาเผา, ความเร็วในการหมุน, อัตราการไหลของมวลของวัสดุและความสูงของใบกวาด เพื่อหาเวลาที่วัตถุตกลงมา และเปรียบเทียบระหว่างใบกวาดแบบตรง และเหลี่ยม พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ และความลาดชันของเตาเผา จะทำให้ปริมาณที่ใบกวาดตก และเวลาที่วัตถุตกลงมาเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากเพิ่มอัตราการป้อนของวัตถุดิบ จะทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นแต่เวลาที่วัตถุตกลงมาจะลดลง อีกทั้งยังพบว่า ใบกวาดแบบเหลี่ยมมีประสิทธิภาพดีกว่า ใบกวาดแบบตรง ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dennis R. Van Puyvelde [8] ที่ได้ทำการทดลองผลกระทบของมุมที่เตาอบหมุนไป เปรียบเทียบใบกวาด 5 รูปแบบ ว่าแบบใดสามารถตักได้มาก และปล่อยวัสดุจากจุดใด ซึ่งใบกวาดจะมีมุมและขนาดต่างๆกัน พบว่าเมื่อรูปร่างของใบกวาดยิ่งซับซ้อนจะทำให้สามารถตักวัตถุได้มาก อีกทั้งสามารถพาวัสดุขึ้นไป และปล่อยลงมาได้จากจุดที่สูงกว่าใบกวาดแบบอื่น จะเห็นได้ว่าลักษณะของใบเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การตกของวัสดุอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบขนาด และรูปร่างของใบจึงเป็นส่วนที่สำคัญ ซึ่งตามงานวิจัยของ Hookyung Lee [9] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับปริมาตรของวัสดุที่ถูกตักโดยใบกวาดที่ได้ ทำการออกแบบมาในขนาดและมุมต่างกัน พบว่าเมื่อใช้ใบกวาดที่มีขนาด $L_1=50\text{cm}$ $L_2=40\text{cm}$ และมีมุม 120 องศา วัสดุจะถูกตักขึ้นไปได้ถึง 80 องศา ปริมาตรวัสดุภายในเตาอบอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรเตาอบ และอีกส่วนที่ศึกษาในเรื่องของตัวหุ้มนำมาวัสดุในการอบ ตามงานวิจัยของ ดร.ไกรลาศ เขียวทอง [1] ได้ทำการศึกษาและจัดทำ คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หญ้าเนเปียร์มีค่าความร้อนประมาณ 14-18 MJ/kg ใช้พื้นที่ในการปลูก 800-1000 ไร่ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 MW

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้งโดยเตาอบแบบหมุน [10]

เตาอบแบบหมุนเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุที่มีลักษณะการเกาะตัวกันเป็นก้อน การหมุนของตัวถังทรงกระบอกจะอาศัยใบกวาดช่วยโปรยวัสดุผ่านกระแสลมร้อนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุอบแห้งกับกระแสลมร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและ อัตราการลดความชื้น ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งของวัสดุได้แก่ อุณหภูมิของลม, ความเร็วลม, อัตราการป้อนวัสดุ, ความเร็วรอบในการหมุน, มุม และลักษณะของใบกวาด

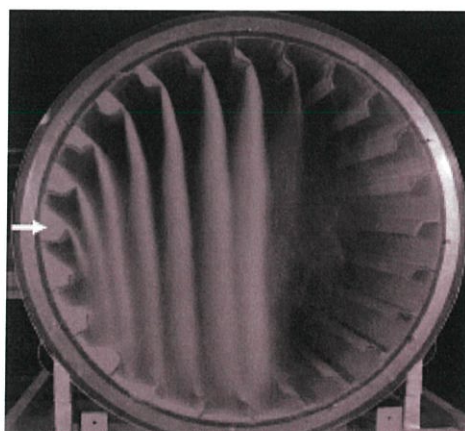
ใบเตอบแบบหมุนจะแบ่งเป็น 3 สภาวะ [11] คือ under-loaded, design-loaded และ over-loaded

2.2.1 under-loaded ใบกวาดจะตักวัสดุขึ้นมาไม่เต็มความจุ และวัสดุจะตกลงมาหลังจากใบกวาดเคลื่อนที่เลย 0 องศาไปแล้ว



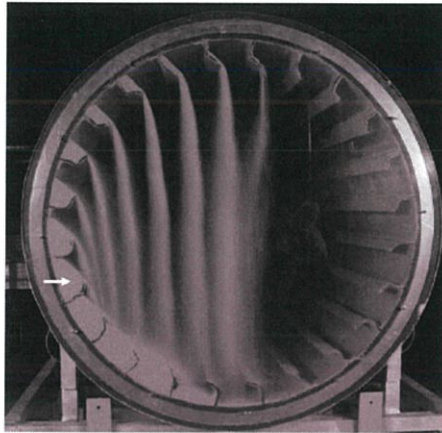
รูปที่ 2.1 เตอบที่สภาวะ under-loaded

2.2.2 design-loaded ใบกวาดจะตักวัสดุขึ้นมาได้เต็มความจุของใบกวาด และวัสดุจะตกลงมาเมื่อใบกวาดเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่ง 0 องศา ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนและตัววัสดุที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.2 เตอบที่สภาวะ design-loaded

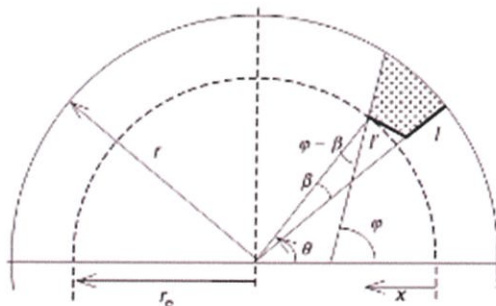
2.2.3 Over-loaded สภาวะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุอยู่ภายในเตาอบมากเกินกว่าที่ใบกวาดจะตักขึ้นไปได้ วัสดุจะตกลงมาก่อนที่ใบกวาดจะกวาดไปถึงตำแหน่ง 0 องศา และ วัสดุที่เกินจะกลิ้งอยู่ที่ด้านล่างของเตาอบ



รูปที่ 2.3 เตาอบที่สภาวะ over-loaded

2.3 การออกแบบใบกวาด [10]

เพื่อที่จะทำให้เตาอบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบปริมาณของวัสดุที่ใบกวาดสามารถตักขึ้นไปได้ ถ้าใบกวาดตักวัสดุได้น้อย จะทำให้เตาอบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ หรือถ้าวัสดุถูกตักขึ้นมามากเกินไป จะทำให้วัสดุสัมผัสกับลมร้อนน้อยลง รวมถึงทำให้ Residence time มีค่าลดลง คุณภาพของวัสดุจะไม่สามารถยอมรับได้ ปริมาณของวัสดุที่ถูกตักขึ้นไปจะขึ้นอยู่กับ รูปทรง, มุมของปลายใบกวาด (θ) และมุมของผิววัสดุเทียบกับแกน X (ϕ)



รูปที่ 2.4 ภาพใบกวาดและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

มุมของผิววัสดุสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tan \varphi = \frac{\gamma + v(\cos \theta - \gamma \sin \theta)}{1 - v(\sin \theta + \gamma \cos \theta)} \quad (2.1)$$

โดยที่ \mathbf{V} เป็นค่าอัตราส่วนของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางกับแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อตัววัสดุ สามารถคำนวณได้จาก

$$v = \frac{r_e \omega^2}{g} \quad (2.2)$$

เตาอบแบบหมุนนั้นจะทำงานได้ดีในช่วงที่ค่า \mathbf{V} มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0025 ถึง 0.04

ในการตักวัสดุขึ้นมาวัสดุจะหมดเมื่อใบกวาดเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่ง 180 องศา โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุจะหมดก่อนที่จะเคลื่อนที่ถึงตำแหน่ง 180 องศา ซึ่งสามารถคิดได้ว่า วัสดุในใบกวาดครึ่งบนของเตาอบจะมีปริมาณเท่ากับใบกวาดที่อยู่ตรงกันข้ามตามแนวตั้ง ถ้าจำนวนใบกวาดเป็นจำนวนคู่ ปริมาณของวัสดุที่ถูกตักโดยใบกวาดที่สภาวะ design-loaded ต่อหนึ่งหน่วยความยาว (H^*) สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$H^* = 2 \sum h^* - h_0^* \quad (2.3)$$

โดย

h^* ปริมาณวัสดุต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่ใบกวาดครึ่งบนของเตาอบตักขึ้นไปได้

h_0^* ปริมาณที่ใบกวาดตักได้มากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยความยาว ที่ตำแหน่ง 0 องศา

$$H^* = \frac{h_0^*(n_f + 1)}{2} \quad (2.4)$$

สมการ (2.4) เป็นสมการที่ถูกปรับปรุงจากสมการ (2.3) ซึ่งจำมีความแม่นยำ และได้ค่าที่สูงกว่า โดย

n_f จำนวนใบกวาด

ซึ่งปริมาตรของวัสดุภายในถังควรจะมีประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง ซึ่งได้มีการพิสูจน์มาแล้วว่าเป็นปริมาตรที่จะทำให้เตาอบแบบถังหมุนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และจำนวนของใบกวาดต้องมีอย่างเพียงพอที่จะอุ้ม และโปรยวัสดุ

2.4 Residence time [10]

เวลาที่วัสดุใช้ในการเดินทางผ่านเตาอบ และเกิดการถ่ายเทความร้อนกับลมร้อนที่ถูกเป่าเข้ามา ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. CASCADE MOTION เกิดจากการตักวัสดุของใบกวาด และความลาดเอียงของเตาอบ

2. KILN ACTION เกิดจากการที่วัสดุไหลไปกับพื้นผิวของเตาเผา หรือไหลผ่านกันเอง ในส่วนครึ่งล่างของเตาเผา

3. BOUNCING เกิดขึ้นเมื่อวัสดุตกลงมาจากใบกวาด และตกกระทบกับพื้นผิวของเตาอบ แทนที่จะตกลงมาและถูกพัก

เวลาเฉลี่ยของวัสดุสามารถหาได้จาก

$$\bar{\tau} = \frac{H}{F} \quad (2.5)$$

โดย

H วัสดุที่ถูกตักขึ้นไป

F อัตราการป้อนวัสดุ

2.5 ความชื้นในวัสดุ [2]

ความชื้นคือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักของวัสดุโดยหาเป็นร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis) หรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักของวัสดุแห้งโดยหาเป็นร้อยละของความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. อบถาดอลูมิเนียมในเตาอบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสสิเคเตอร์ (Desiccator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองลงในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักจากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3. นำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างคงที่

4. นำถาดอลูมิเนียมเข้าเดสสิเคเตอร์ (Desiccator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จึงทำการชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมที่มี ตัวอย่างที่ทำการอบแล้วอยู่ภายในทำการบันทึกผลจากนั้นนำผลการทดลองมาคำนวณ

2.5.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M_{wb} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (2.6)$$

2.5.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจาก dry matter ของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งดังนั้นจึงง่ายในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้น สามารถหาได้จากสมการ

$$M_{db} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100 \quad (2.7)$$

เมื่อ

M_{wb} คือ ร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)

M_{db} คือ ร้อยละของความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis)

W_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ ในการทดลองก่อนทำการอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ ในการทดลองหลังทำการอบ (กรัม)

2.6 หญ้าเนเปียร์ [3]

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เป็นหญ้าที่พัฒนาพันธุ์มาจากการนำหญ้าเนเปียร์มาผสมกับหญ้าไข่มุก เพื่อเป็นอาหารสัตว์และพืชพลังงาน เติบโตเร็ว หญ้าเนเปียร์สูงเต็มที่ประมาณ 5 เมตร สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในดินหลายสภาพ ชอบแสงแดดจ้า โดยให้ผลผลิตสูงประมาณ 80 - 100 ตัน/ไร่/ปี (น้ำหนักเปียก) เมื่อปลูก 1 ครั้ง ให้ผลผลิตต่อเนื่องประมาณ 8-9 ปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งปี (6 ครั้ง/ปี) มีความต้องการปุ๋ยในระดับไม่สูงนัก ไม่มีโรคและแมลงรบกวน ลักษณะเด่นของหญ้าเนเปียร์มีระบบรากแข็งแรง แผ่กระจาย ดูดซึมน้ำดี ทนต่อการให้น้ำและปุ๋ยได้ดีมาก ลำต้นตั้งตรงแตกกอดี เจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูง โปรตีนสูง มีความสามารถในการย่อยสูง ซึ่งวิธีการปลูกหญ้าเนเปียร์ จะต้องเตรียมดินให้พร้อมชุกก่อนการปลูก มีวิธีปลูก 3 แบบ ได้แก่ ปลูกแบบปักท่อนพันธุ์ ปลูกแบบวางท่อนพันธุ์ในร่อง และปลูกด้วยเครื่องปลูก ซึ่งการเตรียมท่อนพันธุ์ จะต้องเลือกท่อนพันธุ์ขนาดสม่ำเสมอ อายุประมาณ 3-4 เดือน ส่วนการเก็บเกี่ยวครั้งแรก จะทำเมื่ออายุ 60-75 วันหลังปลูก หลังจากนั้นจะตัดทุกๆ 45-60 วัน (ปีละ 5-6 ครั้ง)



รูปที่ 2.5 หญ้าเนเปียร์ ปลูกที่จังหวัดสุพรรณบุรี มีความสูงประมาณ 4 เมตร

2.7 Motor [12]

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่มีประโยชน์ ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปร่วมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าประมาณ 80-90% ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Energy) สมการคำนวณกำลังของมอเตอร์คือ

$$P=T\omega \quad (2.8)$$

เมื่อ

P = กำลังของมอเตอร์ (Watt)

T = ทอร์ก (N-M)

ω = ความเร็วรอบ (rps)

2.8 Blower [13]

Blower เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วและทิศทางที่ต้องการ ประเภทของ blower แบ่งตามลักษณะการไหลของลม เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. Blower แบบหอยโข่งหรือแบบใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal or Radial Fan) โดยมีหลักการทำงานคือ การดึงอากาศเข้าทางด้านข้างและเหวี่ยงออกในแนวรัศมี ส่งผลให้อากาศมีความเร็วสูงขึ้น แล้วบังคับให้อากาศผ่านหน้าตัดที่ขยายขึ้นในลักษณะกันหอย ทำให้ได้เสียงที่ค่อนข้างเงียบ

2. Blower แบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan) โดยมีหลักการทำงานคือ การดูดพัดลมเข้าทางด้านหลังใบพัด และส่งลมผ่านใบพัดออกไปตามแนวแกน แต่พัดลมชนิดนี้ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ในอุปกรณ์ของระบบเครื่องปรับอากาศ เพราะมีเสียงดังและมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ โดยความเร็วของลมคำนวณจากได้สมการ

$$v = \frac{C_p \times \sqrt{2 \times 9.8 \times \Delta p \times \gamma}}{\gamma} \quad (2.9)$$

เมื่อ

C_p = ค่าคงที่ของทอวัตความเร็วของของเหลว

Δp = ค่าความดันแตกต่างเฉลี่ย ที่วัดได้จากทอวัตความเร็วของของเหลว โดยทำการวัดค่าที่จุดต่างๆ ทั่วทั้งส่วนหน้าตัดขวางของท่อ

γ = ค่าความหนาแน่นของอากาศต่อก๊าซ ณ สภาวะของการทดสอบ

2.9 Damper [4]

เป็นวาล์วหรือแผ่นปรับปริมาณลมในระบบท่อลมต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ปิดกั้นอากาศในระบบปรับอากาศไม่ให้ไปยังบริเวณที่ไม่มีการใช้งาน หรือเพื่อปรับปริมาณลมให้มีอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมตามห้องต่างๆ อาจปรับตั้งด้วยคนหรือด้วยระบบอัตโนมัติ

แผ่นปรับลมที่ไม่ใช่ระบบอัตโนมัติ สามารถปรับตั้งการเปิด-ปิดของวาล์วได้จากภายในท่อ แต่แผ่นปรับลมระบบอัตโนมัติจะใช้ระบบไฟฟ้าหรือลมอัดในการควบคุมมอเตอร์ที่ ควบคุมวาล์วเพื่อให้ปริมาณอากาศไหลผ่านตามปริมาณที่ต้องการ

วอลุ่มแดมเปอร์ (Volume damper) คือบานปรับปริมาณลม แบ่งเป็นชนิดคั่นโยก และชนิดพวงมาลัย (Gear Damper)

2.10 แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) [5]

ก๊าซ LPG หมายถึงก๊าซที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวกปิโตรเลียม ซึ่งอยู่ในสถานะ ก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ แต่เมื่อเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิจะกลายเป็นของเหลว

ได้ง่าย โดยทั่วไปจะเป็นก๊าซผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ก๊าซ LPG (Liquefied Petroleum Gas) มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในบ่อน้ำมันและที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ

2.11 Screw conveyer [6]

สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุใช้สำหรับขนถ่ายวัสดุที่มีคุณสมบัติในการไหลดีประกอบไปด้วย รางสกรู และใบเกลียวกันหอยที่ยึดติดกันและหมุนไปพร้อมๆกัน ตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุได้แก่ ขนาดของใบเกลียว ระยะพิตช์ และมุมเอียงในการขนถ่ายวัสดุ ดังสมการ

$$N = \frac{4m_s CF_1 CF_2 CF_3}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p} \quad (2.10)$$

เมื่อ

m_s = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

ρ_b = ความหนาแน่นของวัสดุ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

k = แฟกเตอร์ความเหมาะสมของวัสดุ

p = ระยะพิตช์สกรู

CF_1 = แฟกเตอร์ระยะพิตช์ใบสกรู

CF_2 = แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู

CF_3 = แฟกเตอร์จำนวนใบพัด

2.12 โปรแกรม ImageJ [14]

ImageJ เป็นโปรแกรมประมวลผลภาพที่ใช้ภาษาจาวา (Java) ImageJ สามารถทำงานได้ทั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) รวมทั้ง Mac OS X และ Linux มีความสามารถในการแสดงผลภาพ แก้ไข วิเคราะห์ ประมวล การบันทึก และการปรับ ภาพ 8 บิต, 16 บิต และ 32 บิต สามารถอ่านรูปแบบไฟล์ได้หลากหลายเช่น TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS และ raw สนับสนุนการทำงานแบบ stacks และ hiperstacks โดยใช้หน้าต่างการทำงานเพียงหน้าต่างเดียว มีการทำงานแบบมัลติเทร็ด (Multithreaded) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเวลาในการประมวลผล เช่น

การอ่านไฟล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมีความสามารถในการคำนวณพื้นที่และพิกเซลของภาพ สามารถวัดระยะห่างและมุมได้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮิสโตแกรม (Density histogram) และ กราฟเส้นสำหรับภาพได้ สนับสนุนการประมวลผลภาพแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น contrast manipulation, sharpening, smoothing, edge detection และ median filtering

บทที่ 3

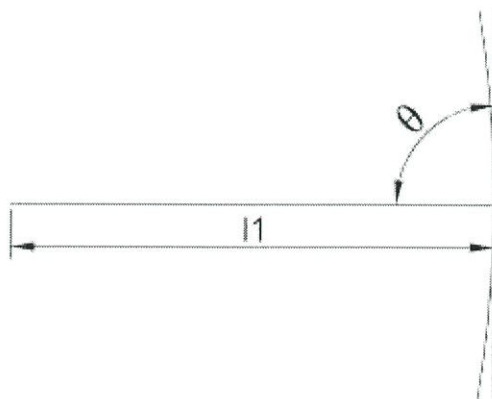
การออกแบบใบกวาด

3.1 หลักการออกแบบใบกวาด [10]

เตาอบชนิดถังหมุน มีด้วยกันหลายชนิด ชนิดหนึ่งที่ได้รับการศึกษาอย่างลึกซึ้ง คือ แบบ ให้ความร้อนโดยตรง มาพร้อมกับใบกวาดหลายใบ ในขณะที่มีงานวิจัยที่น้อยมากที่จะตีพิมพ์ถึง ชนิดอื่นๆ โดยวัตถุประสงค์ของเครื่องคือ การยก และโปรยวัสดุผ่านกระแสแก๊สร้อนเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่าง วัสดุเปียกกับแก๊สร้อน ซึ่งรูปร่างของใบจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาอบแห้ง ใบกวาดที่มีมุมงอ 90 องศาจะใช้สำหรับวัสดุที่ตกอย่างอิสระ และใบตรงที่ไม่มีมุมงอจะใช้สำหรับวัสดุที่มีลักษณะหนืดเป็นปกติที่จะมีใบกวาดหลายชนิดภายในเครื่องอบตามแนวยาว ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะระหว่างการอบของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นในช่วงความยาวแรกหรือจนสุดปลายใบกวาดก็จะถูกใช้เพื่อการกระจายตัวของวัสดุหลังจากการป้อนวัสดุจากสายพานอีกทั้งถือเป็น เรื่องที่สำคัญที่ต้องรู้ว่าใบกวาดสามารถยกวัสดุได้มากแค่ไหน ถ้าหากว่าใบกวาดไม่สามารถยกวัสดุได้เต็มประสิทธิภาพของมันจะส่งผลให้เครื่องอบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ถ้าหากวัสดุหนักกว่าที่ ใบกวาดจะสามารถยกขึ้นไปได้จะทำให้เกิดปัญหาการลำเลียงวัสดุระหว่างกระบวนการอบ และ กระบวนการสัมผัสกับแก๊สร้อนจะถูกจำกัด เวลาลำเลียงวัสดุในเตาอบจะแย่ง และทำให้คุณภาพของ ผลิตภัณฑ์อยู่ในจุดที่ไม่สามารถยอมรับได้

3.2 การคำนวณขนาดของใบกวาด [15]

3.2.1 ใบกวาดมุมตรง



รูปที่ 3.1 ลักษณะของใบกวาดมุมตรง

ในการออกแบบใบกวาด ความยาวของใบกวาดนั้นควรมีความยาวอยู่ในช่วง $D/12$ ถึง $D/8$ ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของถังที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 40 เซนติเมตร ทำให้ได้ค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงความยาวของใบกวาดตามแนวระนาบ

	L_1 (เซนติเมตร)
D/12	3.33
D/10	4.00
D/8	5.00

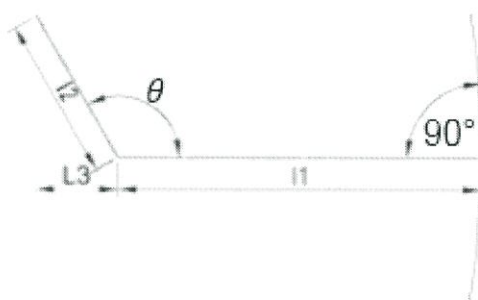
การคำนวณหาระยะห่างของใบกวาด เมื่อมีจำนวนใบกวาดตั้งแต่ 4 ถึง 16 โดยคำนวณจาก เส้นรอบวงของถังหารด้วยจำนวนของใบกวาด และเส้นรอบวงของถังที่ใช้ทดลองเท่ากับ 1,257.14 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.2 แสดงระยะห่างของใบกวาดตามจำนวนใบกวาดที่อยู่ในถัง

จำนวนใบกวาด	ระยะห่างของใบกวาด (องศา)	ความยาวส่วนโค้งระหว่างใบ (cm)
16	22.50	7.86
14	25.71	8.98
12	30.00	10.48
10	36.00	12.57
8	45.00	15.71
6	60.00	20.95
4	90.00	31.43

3.2.2 ใบกวาดมุม 100, 120 และ 140 องศา

กำหนดให้ความยาวของใบกวาดในแนวระนาบเท่ากับผลรวมความยาว L_1 และ L_3 โดยที่มีอัตราส่วนความยาว L_2 ต่อ L_1 เป็น 0.5 และกำหนดมุมระหว่างใบกวาดเป็น 100, 120 และ 140 องศา



รูปที่ 3.2 ลักษณะของใบกวดแบบสองส่วน

การหาขนาดของใบกวดสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$L_1 + L_3 = 5$$

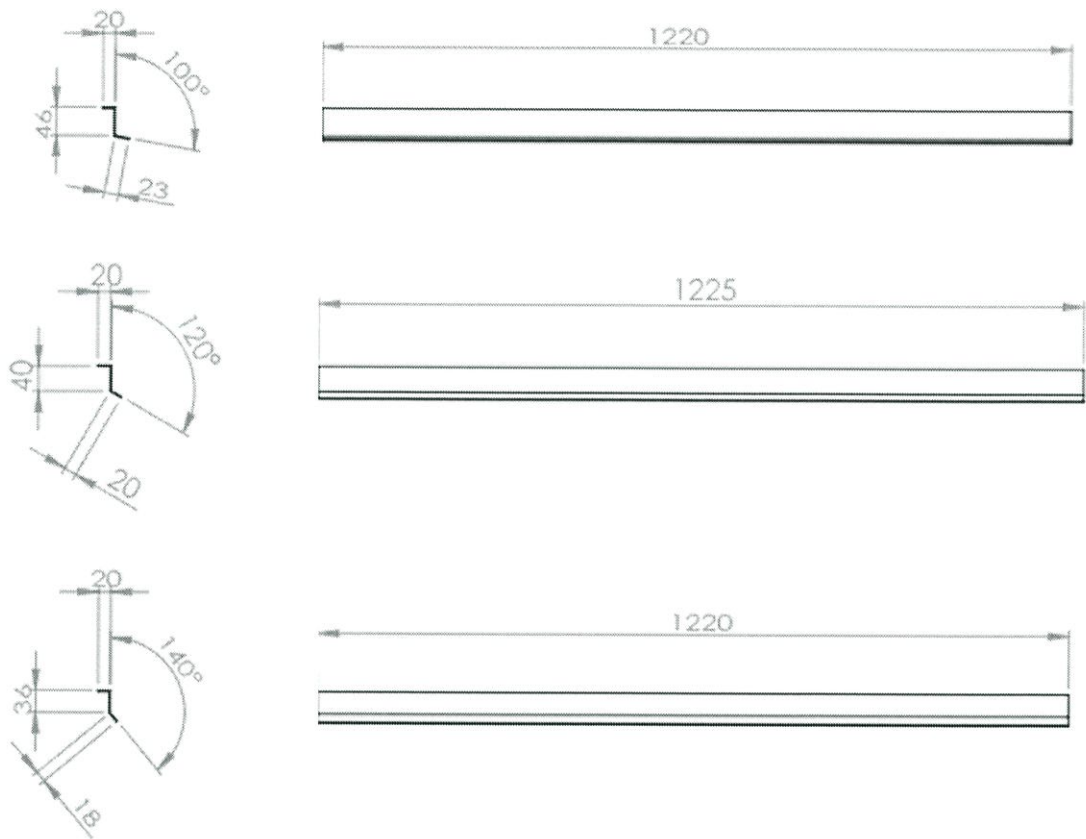
$$L_2 \div L_1 = 0.5$$

$$L_3 = L_2 \times \cos \theta$$

จากการคำนวณขนาด L_1 และ L_2 ค่าที่ได้จะเป็นตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดของ L_1 และ L_2

มุมของใบกวด (องศา)	ความยาว (มิลลิเมตร)	
	L_1	L_2
100	36	18
120	40	20
140	46	36



รูปที่ 3.3 แสดงภาพมุมมองที่ 3 ของใบกวาดมุม 100, 120 และ 140 องศา

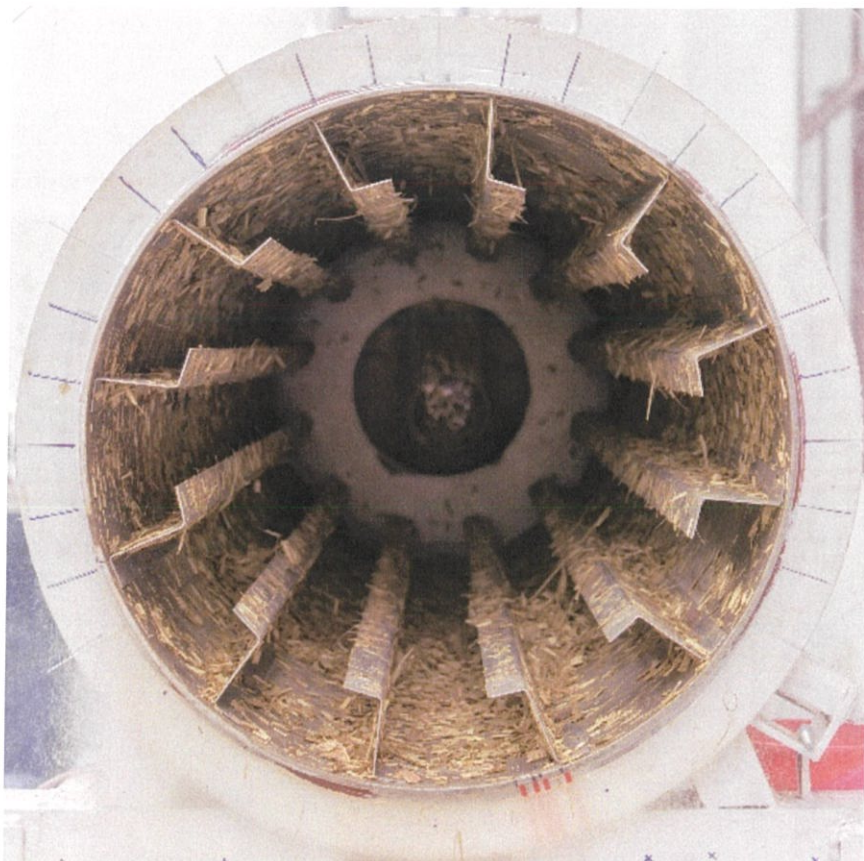
บทที่ 4

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

4.1.1 เตาอบชนิดถังหมุน พร้อมอุปกรณ์วัดมุม

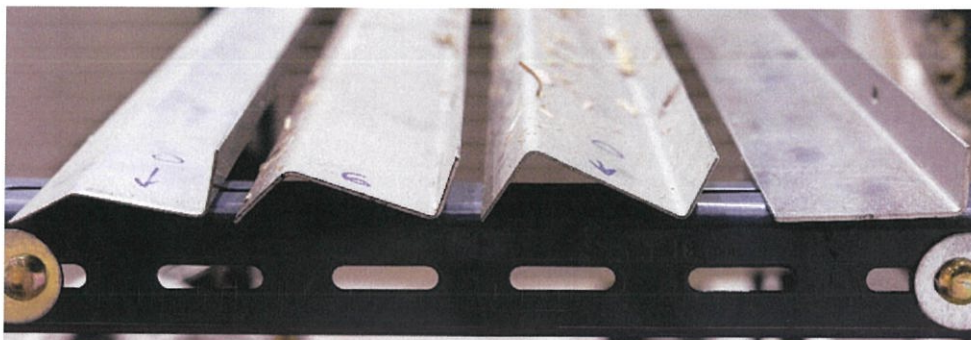
1. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 400 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 395 มิลลิเมตร และมีความยาว 1200 มิลลิเมตร
2. อุปกรณ์วัดมุม ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส ตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ CNC วัดมุมได้ 240 องศา



รูปที่ 4.1 เตาอบชนิดถังหมุน พร้อมอุปกรณ์วัดมุม

4.1.2 ไบกวาด

ไบกวาดมุม 140, 120, 100 และไบตรง ตามลำดับ มีส่วนเชื่อมต่อกับตัวถังยาว 20 มิลลิเมตร เจาะรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.8 มิลลิเมตร ที่ความยาว 125, 625 และ 1125 มิลลิเมตร

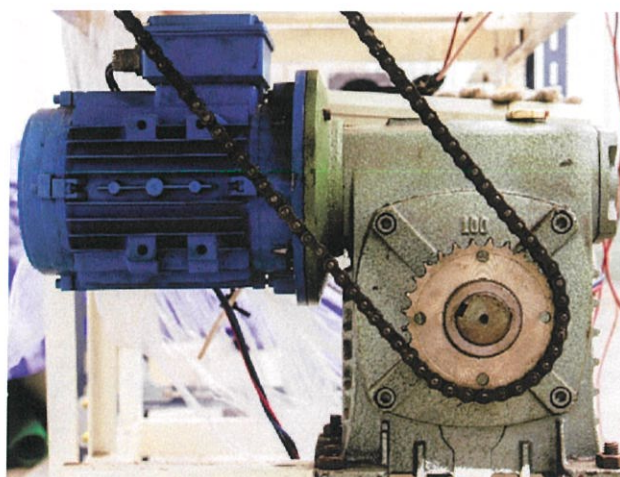


รูปที่ 4.2 ไบกวาดมุม 140, 120, 100 และ ไบตรง

4.1.3 อุปกรณ์ส่งกำลัง

1. มอเตอร์ (Motor) และ เกียร์บ็อกซ์ (Gearbox)

มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า และ ทดเกียร์ที่อัตรา 1 ต่อ 60



รูปที่ 4.3 มอเตอร์ และ เกียร์บ็อกซ์

2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

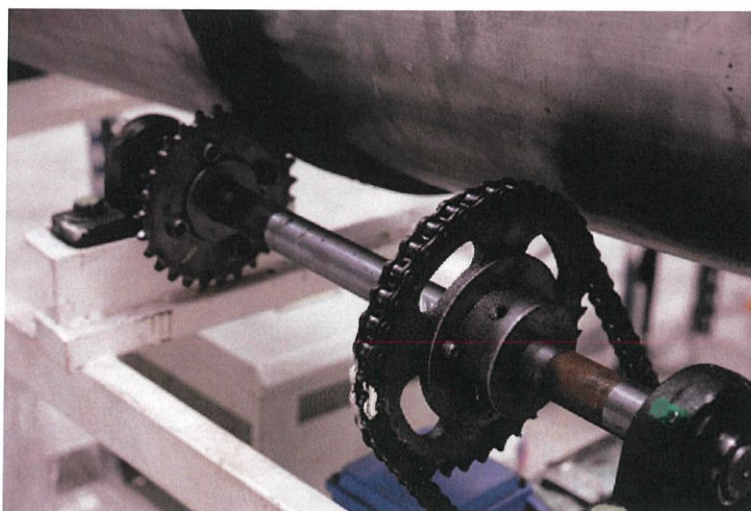
ใช้ในการปรับความเร็วรอบของกังหัน ปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 6.5 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.4 อินเวอร์เตอร์

3. โซ่และเฟลาส่งกำลัง

ส่งกำลังจากเกียร์บ็อกซ์ผ่านโซ่ที่อัตราทด 28 ต่อ 42 ส่งกำลังผ่านเฟลาต่อไปยังเฟืองขนาด 28 ฟัน และเชื่อมต่อกำลังผ่านโซ่ที่ฟันอยู่รอบกังหัน



รูปที่ 4.5 ระบบส่งกำลังผ่านโซ่และเฟลา

4.1.4 อุปกรณ์วัดค่าวัสดุ

1. เครื่องชั่งดิจิตอล

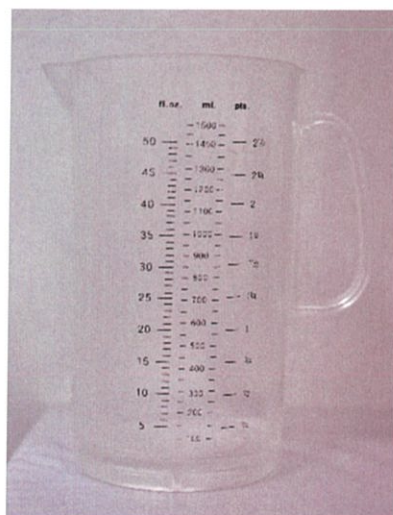
สำหรับชั่งน้ำหนักของวัสดุทดสอบ วัดค่าได้ในช่วง 0 ถึง 2 กิโลกรัม



รูปที่ 4.6 เครื่องชั่งดิจิตอล

2. กระจกบอทดวง

สำหรับตวงปริมาตรของหญ้าที่ทำการทดสอบหาความหนาแน่น และอัตราการป้อน



รูปที่ 4.7 กระจกบอทดวงขนาด 1.5 ลิตร

4.2 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง

4.2.1 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ตัดสดมีความสูงประมาณ 4 เมตร มีอายุประมาณ 3 เดือน

4.2.2 เครื่องสับหญ้า

ควบคุมความละเอียดของหญ้าโดนการใส่ใบมีด ได้ตั้งแต่ 2 - 4 ใบ



รูปที่ 4.8 เครื่องสับหญ้าเนเปียร์ติดตั้งใบมีด 4 ใบ



รูปที่ 4.9 หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการสับแล้ว มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1×1 เซนติเมตร

4.3 ขั้นตอนการหาความชื้นของหญ้าเนเปียร์

1. นำหญ้าเนเปียร์สับ แบ่งใส่กระบะ 6 กระบะ กระบะละ 1000 ml
2. ตากแดดเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 9:00น. ถึง 12:00น. และ 13:00น. ถึง 16:00น.
3. ชั่งน้ำหนักทุก 3 ชั่วโมง
4. คำนวณหาค่าความชื้นจากน้ำหนักที่ชั่งได้



รูปที่ 4.10 หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการตากแดดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4.4 ขั้นตอนการหาปริมาตรของหญ้าภายในถังเทียบกับปริมาตรของถังหมุน

1. เดินเครื่องที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที
2. ป้อนหญ้าด้วยอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที
3. ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สภาวะ Steady-state แล้วจึงหยุดเดินเครื่อง
4. โยกหญ้าทั้งหมดภายในถังมาชั่งน้ำหนัก และวัดปริมาตร
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณด้วยสมการที่ 4.1

$$\text{Percent of napier grass in drum} = \frac{\text{Volume of grass}}{\text{Volume of drum}} \times 100 \quad (4.1)$$

6. ทำซ้ำโดยใช้ค่าตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเร็วรอบและอัตราการป้อนที่ใช้ในการทดลองหาปริมาตรของหญ้า

ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (lpm)	
3	2.25	3
5	2.25	3

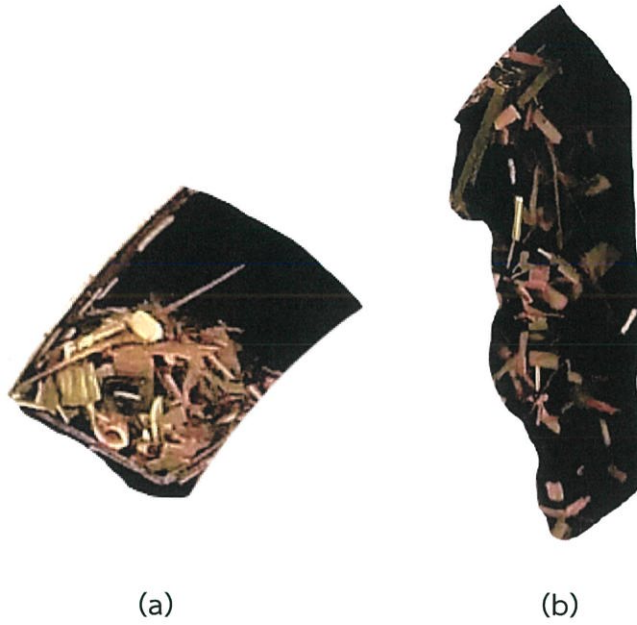
4.5 ขั้นตอนการทดสอบการตกของวัสดุ (cold test)

1. ถอดท่อลมร้อนออก
2. นำแผ่นแผ่นวัดมุมไปติดตั้งที่ทางเข้าลมร้อน
3. ติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอ
4. เดินเครื่อง ปรับความเร็วรอบตามที่กำหนด
5. ป้อนวัสดุ ด้วยอัตราการป้อนที่กำหนด
6. บันทึกภาพวิดีโอ
7. นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

4.6 การวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม ImageJ

4.6.1 การเตรียมภาพด้วยโปรแกรม Media player classic และ Photoshop

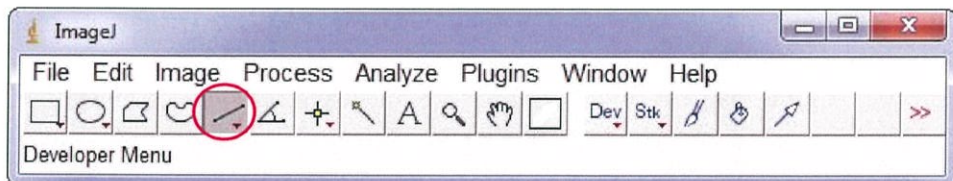
1. เปิดวิดีโอด้วยโปรแกรม Media player classic
2. กดปุ่ม Alt + I เพื่อทำการบันทึกไฟล์รูปภาพ
3. ทำซ้ำจนใบกวาดกวาดไปได้ 1 รอบ
4. นำภาพที่ได้ทั้งหมดไปเปิดด้วยโปรแกรม Photoshop
5. เลือกตัดภาพเฉพาะส่วนโดยเลือกที่ใบกวาด และส่วนที่ตกอยู่ในอากาศแยกกัน



รูปที่ 4.11 ภาพที่ได้จากโปรแกรม Photoshop (a) กล้วยที่ถูกอ้อมขึ้นไป (b) กล้วยที่อยู่ภายในอากาศ

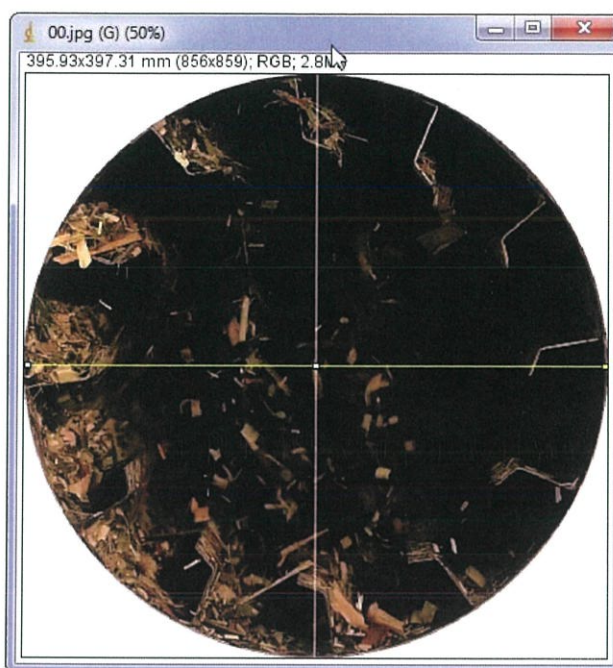
4.6.2 การตั้งสเกลของรูปภาพ

1. เปิดภาพด้วยโปรแกรม ImageJ
2. เลือก คำสั่ง Straight ตามรูปที่ 4.12



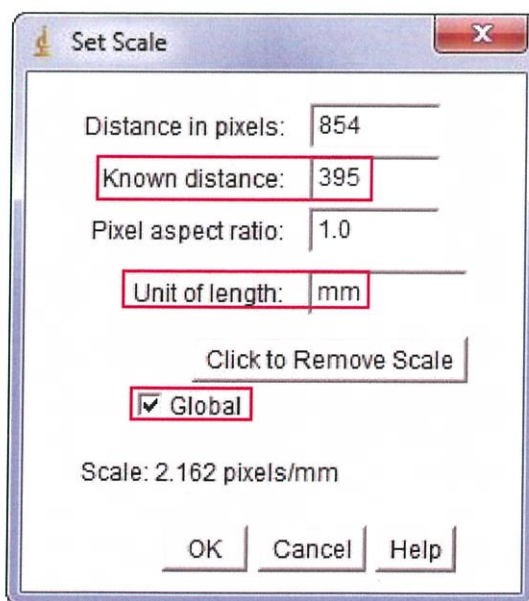
รูปที่ 4.12 หน้าต่างหลักของโปรแกรม ImageJ

3. ลากเส้นตรงผ่านจุดศูนย์กลางของภาพ



รูปที่ 4.13 ภาพสำหรับตั้งสเกล

4. เลือก tab Analyze จากนั้นเลือกคำสั่ง Set Scale
5. ใส่ค่า Known distance, Unit of length และ Global ตามรูปที่ 4.14

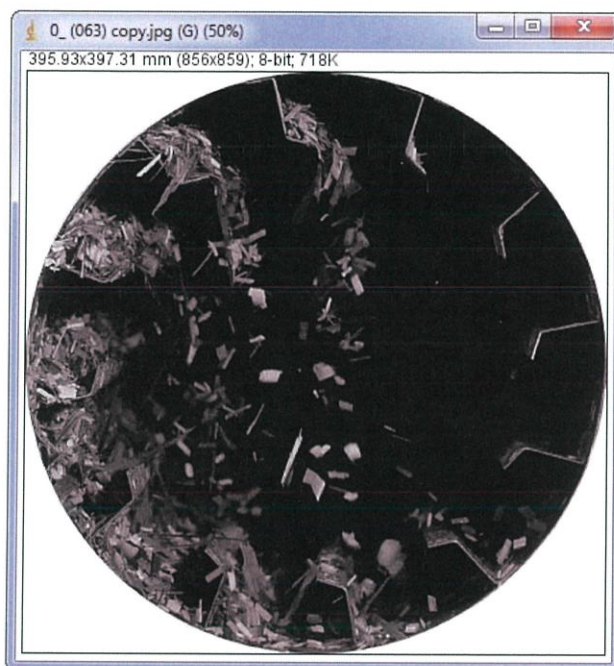


รูปที่ 4.14 ค่าต่างๆที่ใช้ในการตั้งสเกล

4.6.3 การวัดค่าพื้นที่ของหญ้าเนเปียร์ภายในถังหมุน

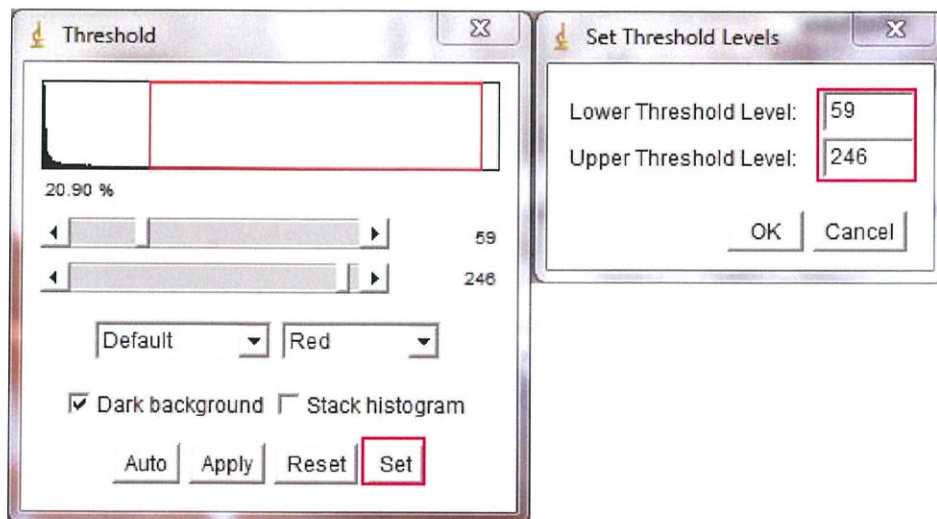
ในการวิเคราะห์ภาพเพื่อหาพื้นที่ของหญ้าเนเปียร์ภายในถังหมุนนั้นต้องใช้ภาพที่ทำการตัดมาจากโปรแกรม Photoshop ดังรูปที่ 4.12 แต่ในที่นี้จะใช้ภาพเต็มเพื่อให้สามารถมองเห็นได้ง่าย

1. เปิดภาพที่ต้องการวิเคราะห์
2. เลือก tab Image เลือกคำสั่ง Type ตั้งค่าภาพเป็น 8-bit

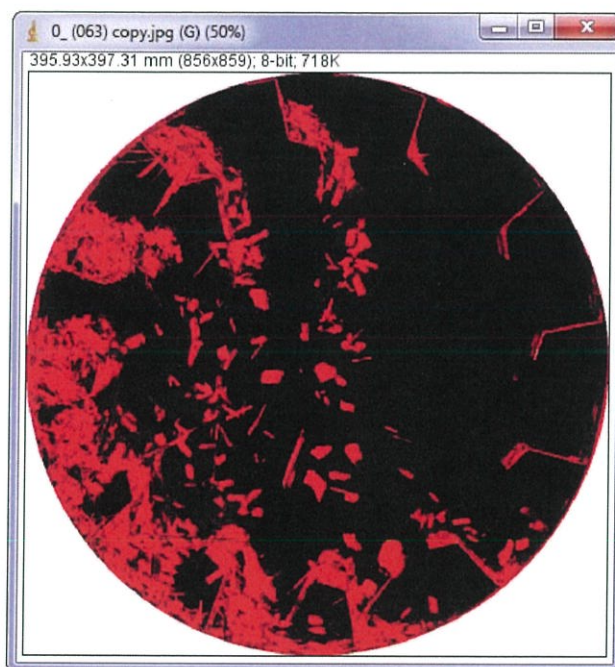


รูปที่ 4.15 ภาพ 8-bit

3. เลือก tab Image เลือก Adjust จากนั้นเลือกคำสั่ง Threshold
4. ที่หน้าต่าง Threshold คลิกที่คำสั่ง Set
5. ตั้งค่า Lower และ Upper Threshold level ตามรูปที่ 4.16

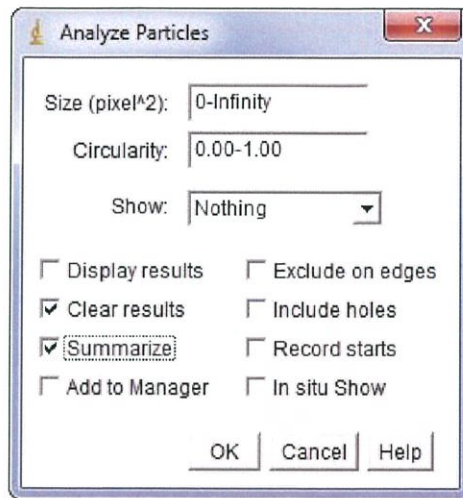


รูปที่ 4.16 หน้าต่าง Threshold



รูปที่ 4.17 ภาพที่ได้จากคำสั่ง Threshold

6. เลือก tab Analyze จากนั้นเลือกคำสั่ง Analyze Particles แล้วตั้งค่าตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 หน้าต่างคำสั่ง Analyze Particles และการตั้งค่า

7. กด OK จะปรากฏค่าพื้นที่ตามรูปที่ 4.19

Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area
0_ (063) copy.jpg	870	26027.129	29.916	16.546

รูปที่ 4.19 ค่าที่วิเคราะห์ได้จากคำสั่ง Analyze Particles

4.6.4 การนำค่าที่ได้จากโปรแกรม ImageJ ไปหาค่า Airborne ratio

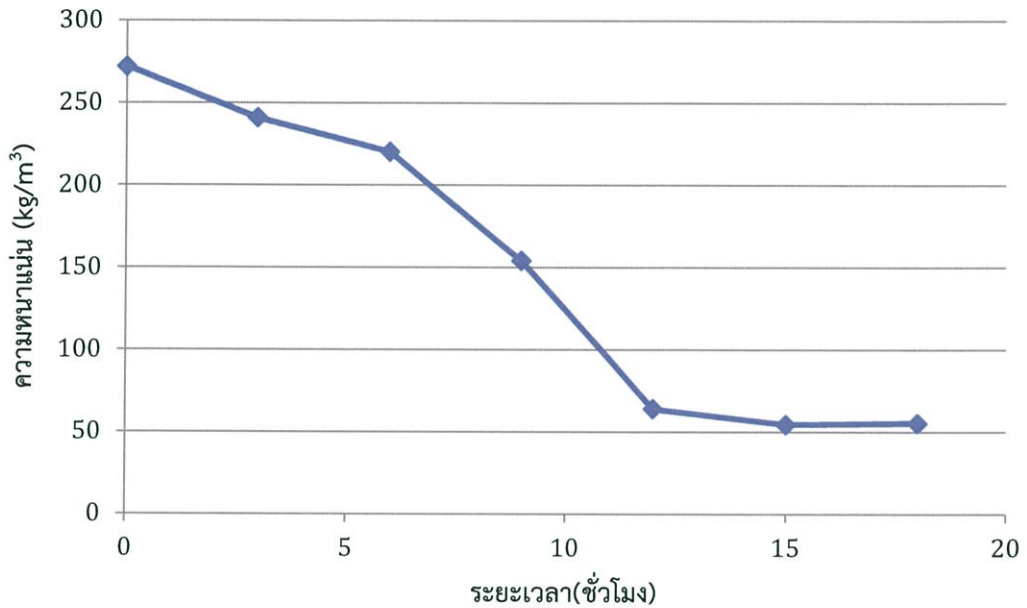
Airborne Ratio คืออัตราส่วนของหย่าอยู่ในอากาศ ทหารด้วยพื้นที่ของหย่าที่ถูยกขึ้นไป เทียบกับมุมที่ใบกวาดหมุนไป

$$\text{Airborne Ratio} = \frac{\text{Airborne area}}{\text{Holdup area}} \quad (4.2)$$

บทที่ 5

ผลการทดลอง

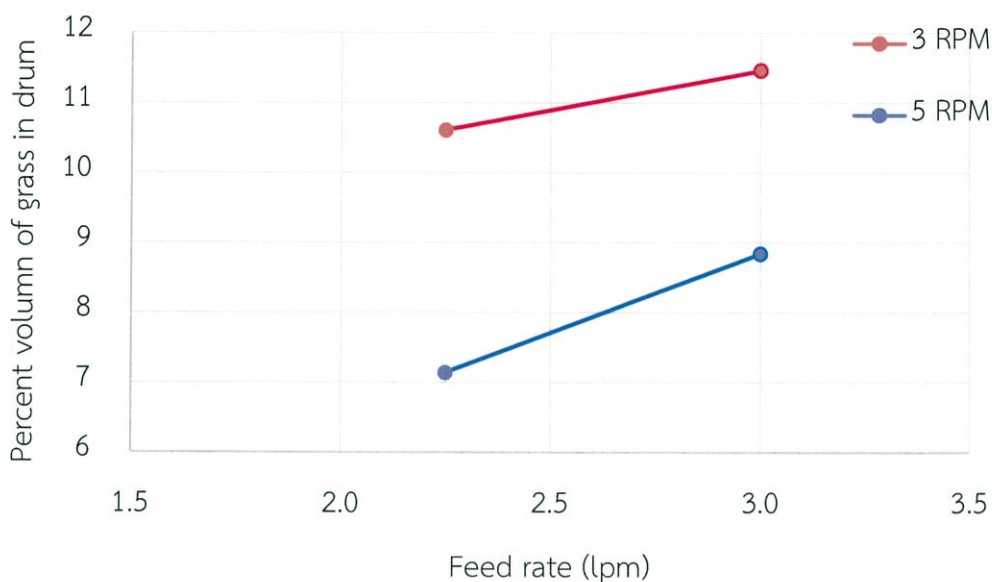
5.1 ความชื้นของหญ้าเนเปียร์



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์เทียบกับเวลาที่ตากแดด

จากกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาตาก 0 ถึง 5 ชั่วโมงความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์เริ่มจะลดลงต่อเนื่อง และช่วงเวลาตาก 5 ถึง 12 ชั่วโมงความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่ช่วงเวลาตาก 12 ถึง 18 ชั่วโมงความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์เริ่มคงที่

5.2 ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ภายในถัง

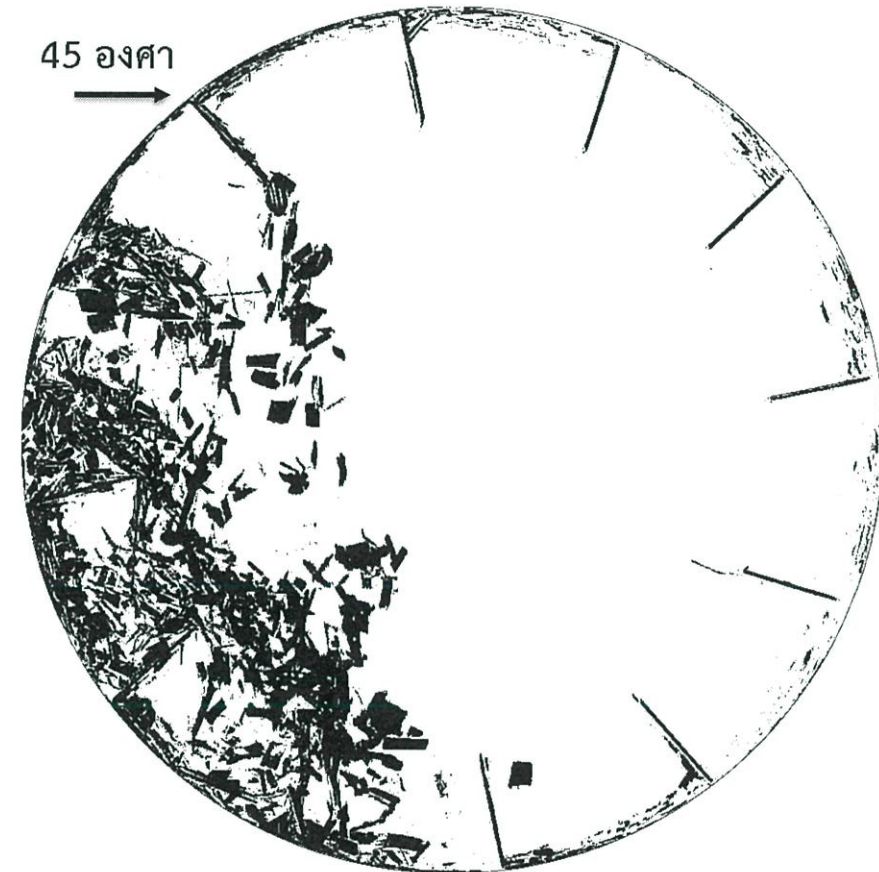


รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังเทียบกับอัตราการป้อนหญ้าเนเปียร์ ที่ความเร็วรอบ 3 และ 5 รอบต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วรอบลดลงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังนั้นสูงขึ้น และเมื่ออัตราการป้อนหญ้าเนเปียร์สูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังนั้นสูงขึ้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังจะมีช่วงการใช้งานอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์

5.3 การโปรยวัสดุของใบตรง

ใบกวาดชนิดใบตรงจะมีการโปรยหมุดที่มุม 45 องศา ซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสอากาศ และ ระยะตกของหญ้าเนเปียร์ ไม่ตรงกับความต้องการที่ให้มีมุมในการโปรยหมุดที่ประมาณ 90 ถึง 100 องศา



รูปที่ 5.3 ใบตรงที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที

5.4 สภาวะไหลตื้นเกิน

จากรูปที่ 5.8 แสดงถึงใบกวาดมุม 100 องศา ทำงานที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที มีอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที และ ใบกวาดมุม 100, 120 และ 140 องศา ทำงานที่ความเร็วรอบ 3 และ 4 รอบต่อนาที มีอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที จากการสังเกต พบว่าหญ้าเนเปียร์มีการกองอยู่ที่บริเวณด้านล่างของถัง ทำให้เตาอบไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ จึงไม่นำมาพิจารณาในที่นี้



รูปที่ 5.4 ใบงอมุม 100 องศาที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.5 ใบงอมุม 100 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที



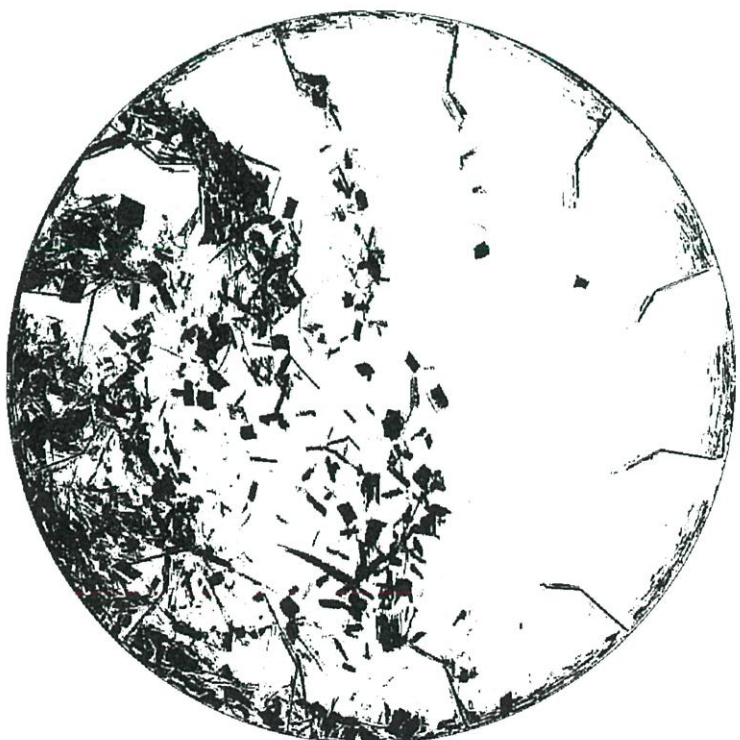
รูปที่ 5.6 ใบงอมุม 120 องศาที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.7 ใบงอมุม 120 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที



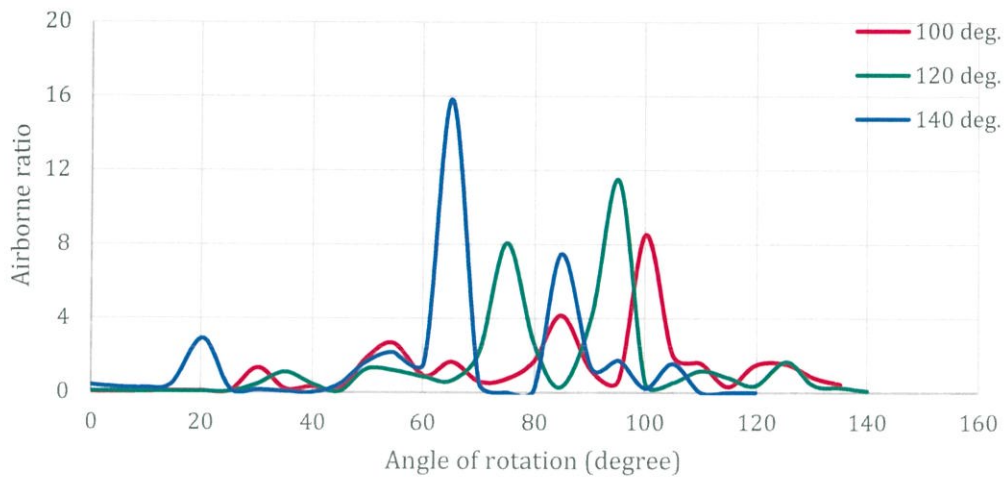
รูปที่ 5.8 ใบงอมุม 140 องศาที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที



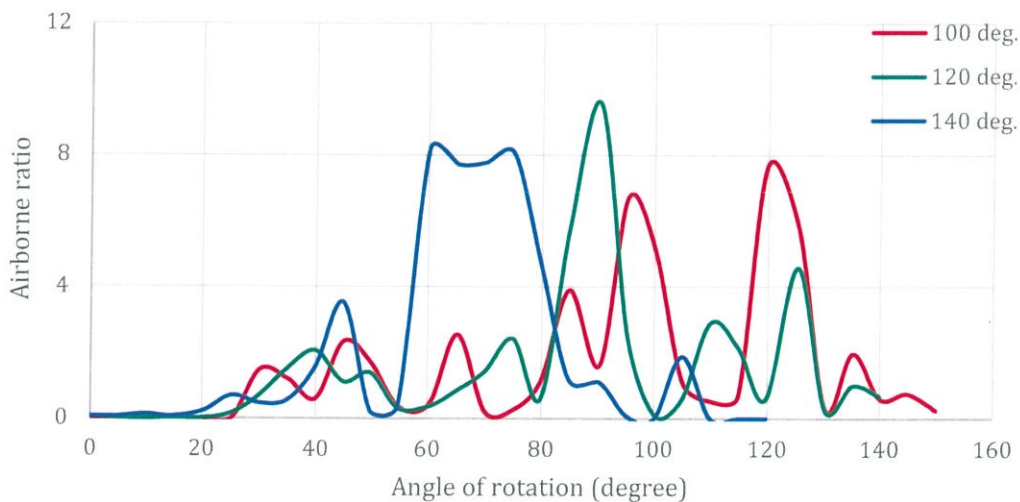
รูปที่ 5.9 ใบงอมุม 140 องศาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ลิตรต่อนาที

5.5 สัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไป

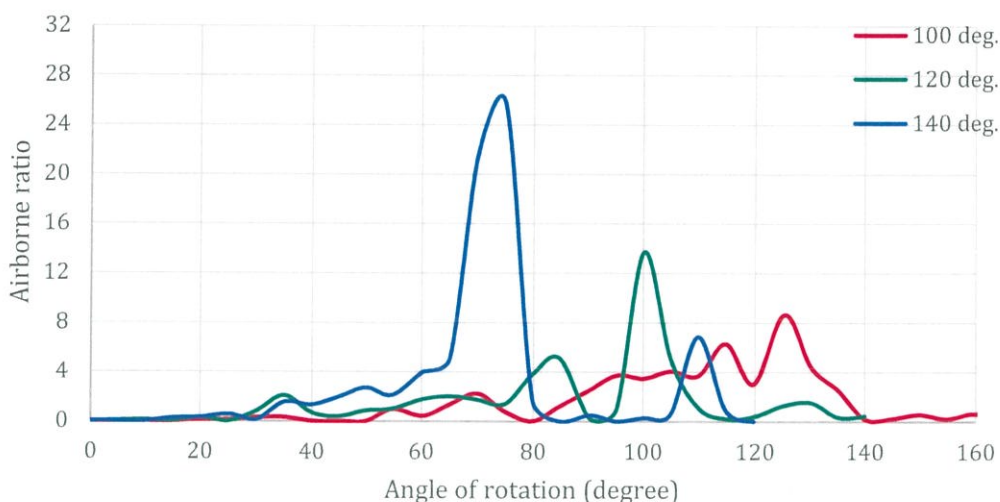
จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมของใบกวาดที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที ตามลำดับ ที่แผ่นกั้นมุม 100, 120 และ 140 องศา ที่อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที

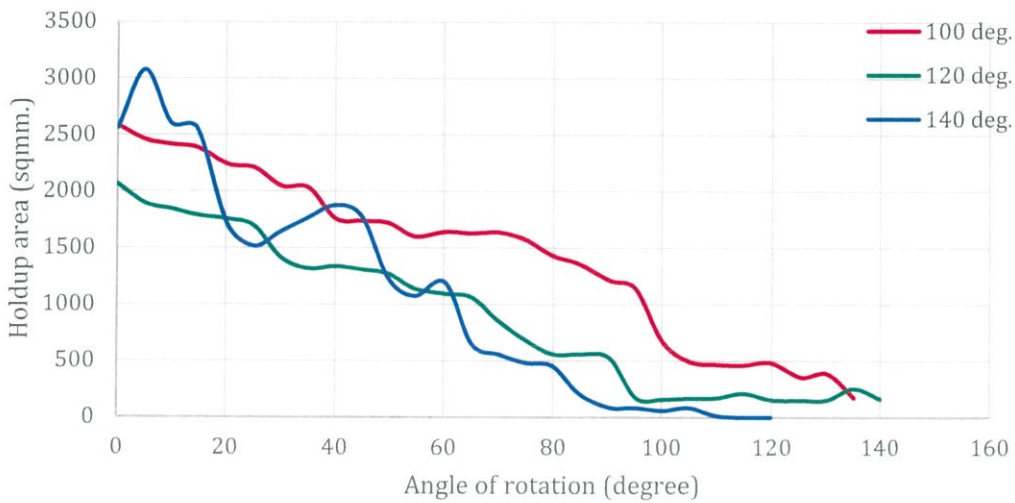


รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที

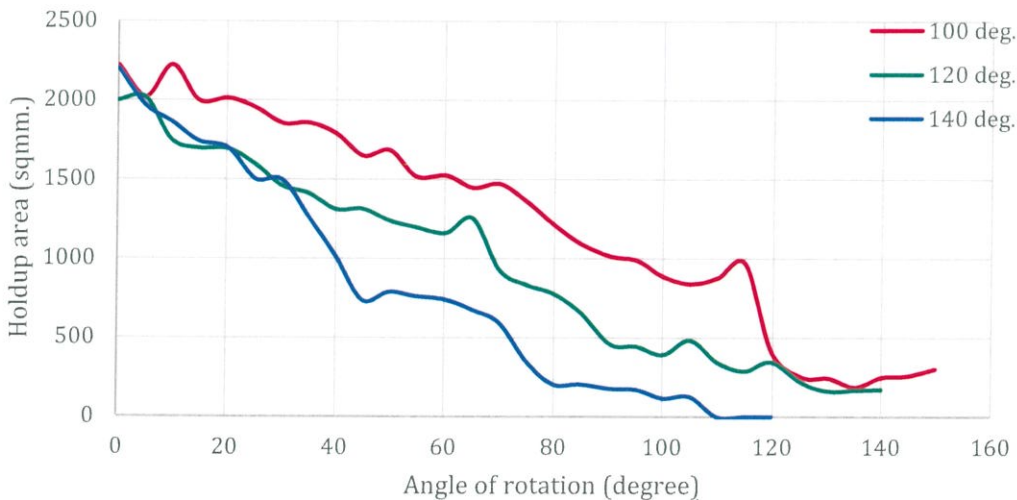
จากกราฟรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ใบ 100 องศา จะมีช่วงการตกของหญ้าเนเปียร์ อยู่ในช่วง 100 ถึง 140 องศาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะโหลดน้อย ที่ใบ 120 องศา จะมีช่วงการตกของหญ้าเนเปียร์อยู่ในช่วง 80 ถึง 100 องศาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะโหลดที่ใช้งานเหมาะสม และที่ใบ 140 องศา จะมีช่วงการตกของหญ้าเนเปียร์อยู่ในช่วง 40 ถึง 80 องศา ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะโหลดมากเกินไป และที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที มีการตกสม่ำเสมอกว่าที่ความเร็วรอบ 3 และ 5 รอบต่อนาทีที่มีการตกเป็นก้อนสูงกว่า

5.6 ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมของที่ใบกวาดที่กวาดไป

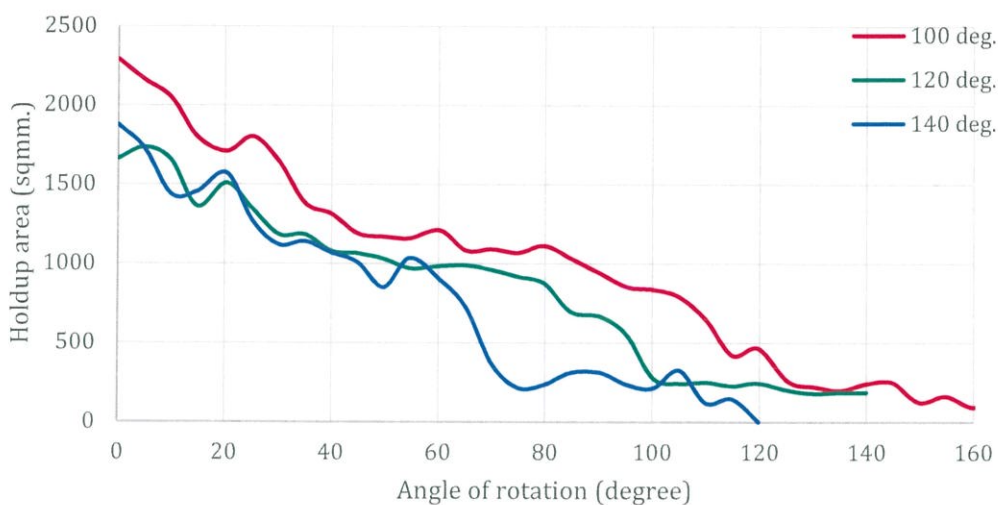
จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมของใบกวาดที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที ตามลำดับ ที่แผ่นกั้นมุม 100, 120 และ 140 องศา ที่อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมของที่ใบกวาดไป ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหยุ่เนเปียร์ที่อยู่ในใบกวาดเทียบกับมุมที่กวาดไป ที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 5.4, 5.5, และ 5.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที ตามลำดับ ใบกวาดมุม 100, 120 และ 140 องศา อัตราการป้อน 2.25 ลิตรต่อนาที กราฟได้มีการลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงว่าปริมาณหยุ่เนเปียร์ตกลงอย่างต่อเนื่องทุกมุมของใบกวาดที่กวาดไป โดยที่ใบกวาดมุม 100 องศา จะมีช่วงการตกเป็นก้อนอยู่ในช่วงที่ใบกวาดกวาดไปเป็นมุม 100 ถึง 140 องศา ใบกวาดมุม 120 องศา จะมีช่วงการตกเป็นก้อนอยู่ในช่วงที่ใบกวาดกวาดไปเป็นมุม 80 ถึง 100 องศา ใบกวาดมุม 120 องศา จะมีช่วงการตกเป็นก้อนอยู่ในช่วงที่ใบกวาดกวาดไปเป็นมุม 60 ถึง 80 องศา ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหยุ่เนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อหยุ่เนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปกับมุมของใบกวาดที่กวาดไป และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้หยุ่เนเปียร์มีการตกช้าลงตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับใบกวาดในเตาอบแบบหมุนเพื่อให้เหมาะสมกับหญ้าเนเปียร์ นั้นได้กราฟเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์เมื่อเวลาผ่านไปซึ่งได้มาจากการทดลองตาก แดดเป็นเวลา 15 ชั่วโมงสรุปผลที่ได้คือในช่วง 0-6 ชั่วโมงแรกเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของหญ้าได้มีการลดลงเนื่องจากน้ำในหญ้าเนเปียร์เกิดการระเหยออกมาหลังจากนั้นในช่วง 6-9 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นได้ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากหญ้านั้นจะเกิดการสูญเสียแป้งและน้ำตาล และเมื่อถึง ช่วง 9-15 ชั่วโมงเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นจะลดลงช้ามากเนื่องจากน้ำที่เหลืออยู่เป็นน้ำที่อยู่ติดแน่น กับหญ้าเนเปียร์โดยเฉพาะบริเวณลำต้น สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหญ้าเนเปียร์ ทั้งหมดที่อยู่ในถังเทียบกับอัตราการป้อนของหญ้าเนเปียร์ตามทฤษฎีแล้วสามารถสรุปได้ว่าปริมาณ หญ้าเนเปียร์ทั้งหมดที่อยู่ในถังจะต้องอยู่ระหว่าง 10-15% ของปริมาตรถัง แต่ในกรณีของหญ้าเนเปียร์ที่มีความชื้นสูงทำให้ปริมาณหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในถังจะลดลงเล็กน้อยเพื่อที่จะไม่ให้เกิดสภาวะ โหลดเกิน และจากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ในอากาศต่อ หญ้าเนเปียร์ที่ถูกยกขึ้นไปสามารถสรุปได้ว่าช่วงที่เหมาะสมในการตากจะอยู่ในช่วง 80-100 องศา เนื่องจากจะทำให้ความสูงของระยะที่ตากเพิ่มขึ้น และการตากจะต้องไม่ตากเป็นก้อนแต่การตากที่ดีจะต้อง ตกอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีใบ 120 องศามีการตากในช่วงดังกล่าวและที่รอบการหมุน 4 รอบต่อนาที มี การตากอย่างสม่ำเสมอมากกว่าที่รอบอื่นซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์ที่อยู่ใน ใบกวาดเทียบกับมุมที่กวาดไปในใบ 120 องศาที่มีช่วงการตากเป็นก้อนในช่วง 80-100 องศา

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ส่วนประกอบทางไฟฟ้าไม่มีการต่อสายดิน ทำให้มีไฟรั่ว ควรติดตั้งสายดินเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน
2. เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางพื้นที่ด้วยไฟล์ภาพ ข้อมูลที่ได้อาจไม่มีความแม่นยำ ควรเปลี่ยนไปใช้โปรแกรมที่สามารถทำการวิเคราะห์จากไฟล์วิดีโอจะทำให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำขึ้น

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.ไกรลาศ เขียวทอง (2556). โครงการวิทยาสหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน , การประชุมครั้งที่ 1/2556 ,กระทรวงพลังงาน กรุงเทพฯ
- [2] วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมลม วีรชัย อัจฉาญ (2555). การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556). คบวพ.กพพ. เยี่ยมชมศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัย จ.สระบุรี และการปลูกหญ้าเนเปียร์ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ จ.นครราชสีมา, ข่าววิจัยและพัฒนา ปีที่ ๗ ฉบับที่ ๔
- [4] บริษัท ออนเนอร์ (เอช วี เอ ซี)1999 จำกัด.
แดมเปอร์(DAMPER), แหล่งที่มา <http://www.honor1999.co.th/faq/detail/38> เข้าดูเมื่อวันที่ 22/02/2558.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน
- [6] ผ.ศ.พรชัย จงจิตรไพศาล.สกรูขนถ่ายวัสดุ, แหล่งที่มา <http://www.scribd.com/doc/25008250/สกรูขนถ่ายวัสดุ-doc>, เข้าดูเมื่อวันที่ 16/11/2557.
- [7] A.S. Bongo Njeng, S. Vitu, M. Clause, J.-L. Dirion, M. Debacq (2015). Effect of lifter shape and operating parameters on the flow of materials in a pilot rotary kiln, Powder Technology, vol. 269, January 2015,pp. 566-576.
- [8] Dennis R. Van Puyvelde (2009). Modelling the hold up of lifters in rotary dryers, Chemical Engineering Research and Design vol. 87, December 2009, pp. 226-232.
- [9] Hookyung, Sangmin (2013). Lifter design for enhanced heat transfer in a rotary kiln reactor, Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 27 (10), May 2013, pp. 3191-3197
- [10] Janusz Adamiec (2006). Handbook of Industrial Drying 4th , Taylor & Francis Group
- [11] Ajayi, Olukayode Oludamilola (2011). Multiscale modelling of industrial flighted rotary dryers. PhD thesis, James Cook University.
- [12] Hugh & Freedman (1949). University Physics with Modern Physics, ISBN 974-883-125-8, Pearson Education Indochina Ltd.
- [13] Northern Industrial Supply Company (NISCO), Products – Fans and Blowers, New York Blowers. www.nisco.net/nyb.html
- [14] Center for Information Technology National Institutes of Health, แหล่งที่มา <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/intro.html> ,เข้าดูเมื่อวันที่ 21/05/2558
- [15] Van't Land, 2012, Drying in the Process Industry, John Wiley and Sons, Inc, Hoboken, New Jersey (2012), pp. 133–149