

การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญ้าคา



นายกฤษดา สายแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

**DEVELOPMENT OF MACHINE FOR PRODUCTION OF
ROOFING MATERIALS FROM LALANG**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and
Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2018**

การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาภา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




(ผศ. ดร.กิริติ สุลักษณ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)

กรรมการ



(ผศ. ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษ์)

กรรมการ



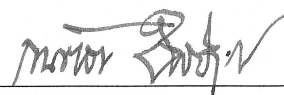
(ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชานีประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กฤษฎา สายแสง : การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการผลิตวัสดุผนังหลังคาจากหญ้าคา
(DEVELOPMENT OF MACHINE FOR PRODUCTION OF ROOFING
MATERIALS FROM LALANG) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร. กระวี ตรีอำนรรค, 153 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผนัง
หลังคาจากหญ้าคาและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบและคุณภาพของดัดหญ้าคา
ที่ได้ เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยการวางรายหญ้าบนเครื่องจากนั้นกลไกของเครื่อง
ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์จะทำการพับและเลื่อนดัดหญ้าเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้าเพื่อเย็บให้รายหญ้า
พับยึดติดกับก้านไม้และได้เป็นดัดหญ้าคาต่อไป ทดสอบการทำงานของเครื่องโดยแปรค่าน้ำหนัก
ของหญ้าต่อดัดเป็น 0.6 kg, 0.8 kg และ 1.0 kg ที่ระยะห่างของตีนผีจักรเย็บไฟฟ้า 2 ค่า ระยะตีนผี
แบบชิด 0 mm และระยะตีนผีแบบห่าง 6 mm ด้วยความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าในการดัดถาดเลื่อน
เท่ากับ 20 – 25 rpm พบว่าการผลิตดัดหญ้าที่น้ำหนัก 0.8 kg ต่อดัด ระยะตีนผีแบบห่าง 6 mm
สามารถผลิตดัดหญ้าได้สมบูรณ์ดีที่สุด โดยสามารถป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ประมาณ
8.73°C มีการใช้พลังงานในการผลิตอยู่ในช่วง 6 – 9 Wh ต่อดัด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการผลิต
มากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น การทดสอบการใช้งานพบว่าดัดหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่อง
ในทุกน้ำหนักจะต้องมุงซ้อนกันด้วยระยะห่างไม่เกิน 15 cm ที่มุมเอียงหลังคาไม่น้อยกว่า 17.35
องศา จึงจะสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ และดัดหญ้าน้ำหนัก 1 kg ต่อดัด สามารถป้องกัน
ความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกของหลังคา
ประมาณ 10.85°C ในการทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง 40 ดัด ที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อดัด (มีน้ำหนักหญ้า
ใกล้เคียงกับดัดหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาด) โดยใช้ตีนผีแบบห่าง เครื่องจักรต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพ
การผลิตเท่ากับ 85% มีความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 205 Wh/hr. และมีความสามารถในการทำงาน
เท่ากับ 14 ดัด ต่อชั่วโมง และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่ราคาเครื่องเท่ากับ 93,320
บาท และกำไรในการผลิตดัดหญ้าอยู่ที่ราคา 8 บาทต่อดัด พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2,580 ดัดต่อปี และมี
ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา กฤษฎา สายแสง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กระวี ตรีอำนรรค
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. น.ก.

KRIDSADA SAISANG : DEVELOPMENT OF MACHINE FOR
PRODUCTION OF ROOFING MATERIALS FROM LALANG.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KRAWEE TREEAMNUK,
D.Eng., 153 PP.

LALANG/GRASS ROOFING MATERIAL/SEMI-AUTOMATIC MACHINE

The aim of this thesis was to develop the semi-automatic lalang roofing material making machine and evaluate its performance and quality of finished products. The prototype is a semi-automatic operation started by feed the grass on tray of the machine. After that, mechanism powered by pneumatic actuators are folded the Grass sheet and move them to sew by the electric sewing. Finally, the folded grass is sewn with the wood stick. A grass weights (0.6 kg, 0.8 kg and 1.0 kg) per panel and gaps of electric sewing presser foot (gap 0 mm and 6 mm of sewing presser foot) and the speed of the electric motor to push the tray around 20 - 25 rpm were varied to test the operation of prototype. The results show that the 0.8 kg per panel of grass and gap 6 mm of sewing presser foot is the appropriate condition of the prototype to produces the quality grass panel, which can protect the heat from the sun by about 8.73°C and the energy consumption is in range of 6 - 9 Wh per panel of grass. Increasing the weight of the grass in the production will increase the production time of prototype too. Field roof testing of grass roofing material show that the roof can resist the shower water leaking when the gap between panel rim and the slope angle of roof are not less than 15 cm and 17.35 degrees respectively. Weight of 1 kg per panel of grass gives a higher sun light protection and it can reduce 10.85°C of temperature between the faces of roof. The continuous production test of 40 panels with a weight of 1.0 kg per panel (grass weight

is similar to the grass roofing from market) using gap 6 mm of sewing presser foot found that the average energy consumption, capacity and efficiency are 205 Wh per hr., 14 panel per hr. and 85%, respectively. The engineering economics analysis show that the price of the machine was 93,320 baht and the profit in the production of the grass roofing was at 8 baht per panel. The breakeven point of this prototype are 2,580 panel per year when operate at 11 Months of working time.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature Kridsada Saisang

Advisor's Signature Kranee Treemnuak

Co-Advisor's Signature Tanarat Treemnuak

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มีความเมตตาให้การอบรม สั่งสอน ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยไปตีพิมพ์วารสารวิชาการทั้งในระดับชาติ และนานาชาติ รวมทั้งชี้แนะแนวทางที่สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในกระบวนการทำปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยชี้แนะ และช่วยแก้ไขบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและเอกสารเข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ รวมไปถึงเนื้อหาวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาระดับมหาบัณฑิต และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับงานวิจัย รวมถึงบุคลากรสำนักวิศวกรรมศาสตร์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำ เรื่องเอกสารต่าง ๆ

ขอขอบคุณกลุ่มพนมรุ้งหญ้า อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.บุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบผลิตตับหญ้า

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณ นายศักรินทร์ ปาปะเก และเพื่อน ๆ ที่ให้คำแนะนำ เตือนสติ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฒ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ปรักษณ์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 หมายัา	3
2.3 ดัับหญัา	4
2.3.1 การผลิตวัสดุผงหลังคาจากหญัา	4
2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดัับหญัา	5
2.4 แนวคิดในการออกแบบเครื่องจักร	5
2.5 ระบบกลไกที่ใช้ในเครื่องจักร	7
2.5.1 จักรเย็บกระสอบ	7
2.5.2 ระบบนิวแมติกส์	8
2.5.2.1 อุปกรณ์พื้นฐานต้นกำลังนิวแมติกส์	8
2.5.2.2 อุปกรณ์พื้นฐานปรับปรุงคุณภาพลมอัด	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2.3	อุปกรณ์พื้นฐานควบคุมการทำงาน	12
2.5.2.4	อุปกรณ์พื้นฐานการทำงาน	13
2.5.2.5	อุปกรณ์พื้นฐานในระบบท่อทาง	15
2.5.2.5	การคำนวณในระบบนิวแมติกส์	15
2.5.3	กลไก X Lift (Scissor Lift)	16
2.5.4	เฟืองตรงกับเฟืองสะพาน	17
2.5.5	มอเตอร์เกียร์	19
2.5.6	ระบบควบคุมอัตโนมัติ	20
2.5.6.1	Programmable Logic Controller (PLC)	20
2.5.6.2	Proximity Sensor	20
2.5.6.3	Reed Switch	21
2.6	การใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบและคำนวณต้นก้ำล้ง	22
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	24
3.1	การออกแบบกลไกและระบบส่งก้ำล้งในเครื่องจักรต้นแบบ	24
3.1.1	การออกแบบกลไกเครื่องจักร	24
3.1.1.1	เครื่องจักรต้นแบบ และ หลักการทำงาน	24
3.1.1.2	กลไกของเครื่องจักร	26
3.1.1.3	ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร	28
3.1.2	การหาขนาดระบบส่งก้ำล้ง	28
3.2	เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุค้มุงหลังคาจากหญ้าคาที่พัฒนาขึ้น	33
3.2.1	เครื่องต้นแบบและหลักการทำงาน	33
3.2.2	กลไกของเครื่องจักร	36
3.2.3	ระบบควบคุมอัตโนมัติ	38
3.3	ตัวอย่างวัสดุทดสอบ	42
3.3.1	หญ้าคาแห้งที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.3.2	ไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.3.3	ค้ยที่ใช้ในการทดสอบ	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.4	หญาคาแห่งที่ตองเตรียมก่อนการทดสอบ	43
3.4	การทดสอบการผลิตดับหญา.....	44
3.5	คุณภาพของดับหญาที่ผลิตได้	45
3.6	การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน	45
3.7	การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์	47
3.8	การทดสอบแบบต่อเนื่อง	49
3.8.1	ประสิทธิภาพการผลิต	49
3.8.2	ความสามารถในการทำงาน	49
3.8.3	ความสิ้นเปลืองพลังงาน	50
3.9	การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	50
3.9.1	ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	50
3.9.2	จุดคุ้มทุน	51
3.9.3	ระยะเวลาคืนทุน	51
4	ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล	53
4.1	การทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ	53
4.1.1	การทดสอบการทำงานของกลไกป้อนหญาก่อนเข้าจักรเย็บไฟฟ้า	53
4.1.2	การทดสอบหาความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า	54
4.1.3	การทดสอบเย็บดับหญา	55
4.2	การทดสอบผลิตดับหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุ มุงหลังคาจากหญาคาที่พัฒนาขึ้น	56
4.2.1	การวิเคราะห์คุณภาพของดับหญา	56
4.2.2	พลังงานเฉลี่ยและเวลาที่ใช้ในการผลิตดับหญา	65
4.3	ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน	66
4.4	ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์	67
4.5	ผลการทดสอบผลิตดับหญาแบบต่อเนื่อง	72
4.6	ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 บทสรุป.....	74
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง.....	80
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	95
ภาคผนวก ค แบบเครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น	103
ภาคผนวก ง บทความที่ตีพิมพ์	112
ประวัติผู้เขียน	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อมูลคุณสมบัติของดักหญ้าคา..... 5
2.2	ข้อมูลคุณสมบัติของจักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A..... 7
4.1	ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน 66
ก.1	ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg ดินพีแบบชืด 81
ก.2	ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg ดินพีแบบแห้ง..... 81
ก.3	ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg ดินพีแบบชืด 82
ก.4	ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg ดินพีแบบแห้ง..... 82
ก.5	ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg ดินพีแบบแห้ง..... 83
ก.6	ผลการทดสอบผลิตดักหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคูลง หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg ดินพีแบบชืด..... 83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.7 ผลการทดสอบผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอก หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg ดินพีแบบห่าง	84
ก.8 ผลการทดสอบผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอก หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg ดินพีแบบชิด.....	85
ก.9 ผลการทดสอบผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอก หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg ดินพีแบบห่าง	86
ก.10 ผลการทดสอบผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอก หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg ดินพีแบบห่าง	87
ก.11 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ตบหญ้าที่ซื้อ จากท้องตลาด	88
ก.12 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ตบหญ้าที่ผลิตด้วย เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอกหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบ น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg	89
ก.13 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ตบหญ้าที่ผลิตด้วย เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอกหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบ น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg	90
ก.14 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ตบหญ้าที่ผลิตด้วย เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคอกหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบ น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg	91
ก.15 ผลการทดสอบการป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝน	92
ก.16 ผลการประเมินคุณภาพของตบหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ ผลิตวัสดุคอกหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบการผลิตแบบต่อเนื่องน้ำหนักแห้ง ของหญ้าคา 1.0 kg ดินพีแบบห่าง	93
ข.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องผลิตวัสดุคอกหลังจากหญ้าคา	99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนการกรองใบหญ้าคาเข้ากับแกนไม้ไผ่ผ่าซีก เพื่อทำเป็นดัดหญ้าคา..... 4
2.2	เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากหญ้าแฝก..... 6
2.3	จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A 7
2.4	รอยตะเข็บที่เย็บด้วยจักรเย็บกระสอบ..... 7
2.5	ลักษณะรอยตะเข็บ..... 7
2.6	อุปกรณ์เบื้องต้นของระบบนิวแมติกส์ 8
2.7	เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและการทำงาน 9
2.8	ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด..... 10
2.9	ชุดควบคุมความดันและลักษณะ โครงสร้าง 11
2.10	ชุดกรองอากาศและลักษณะ โครงสร้าง 11
2.11	วาล์วควบคุมทิศทาง 12
2.12	กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว..... 13
2.13	โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว 13
2.14	โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง..... 14
2.15	กลไก Scissor lift..... 16
2.16	ลักษณะของเฟืองสะพาน 17
2.17	การขบกันของเฟืองตรงกับเฟืองสะพาน 18
2.18	มอเตอร์เกียร์..... 19
2.19	อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ PLC เพื่อใช้ในการควบคุม 20
2.20	Proximity Sensor 21
2.21	Reed Switch..... 21
2.22	โปรแกรม SolidWorks version 2016..... 22
2.23	คำสั่ง Motion Study ฟังก์ชัน Motion Analysis 22
3.1	ภาพแสดงแผนผัง โครงสร้างของเครื่องจักรต้นแบบ 25
3.2	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ 26

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 (a) กลไกการพับรอยร้าวทบบนแกนไม้ (b) กลไกกดทับรอยร้าวให้อยู่กับที่ (c) กลไกการเลื่อนถาดรอยร้าว.....	27
3.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร	28
3.5 (a) การทดสอบแรงค้ำของหมุดด้วยเครื่อง UTM (b) ผลการทดสอบ	29
3.6 ตำแหน่งการทำงานของเครื่อง Universal Testing Machine	30
3.7 ตำแหน่งการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ	30
3.8 การตั้งค่าแรงต้านการเคลื่อนที่ของกลไกการพับรอยร้าวทบบนแกนไม้.....	31
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกการพับรอยร้าวทบบนแกนไม้.....	31
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกกดทับรอยร้าวให้อยู่กับที่	32
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกตรงแกนไม้.....	32
3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาของกลไกการเลื่อนถาดรอยร้าว	33
3.13 เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุค้ำหลังจากหมุดค้ำที่พัฒนาขึ้น	34
3.14 หลักการทำงานของเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้น	35
3.15 (a) กลไกการพับรอยร้าว (b) กลไกกดทับรอยร้าวให้อยู่กับที่ (c) กลไกตรงแกนไม้ (d) กลไกการเขี้ยว (e) กลไกการเลื่อนถาดรอยร้าว และ (f) กลไกจับยึดไม้.....	37
3.16 แผนผังอุปกรณ์ระบบควบคุมอัตโนมัติ	39
3.17 ชุดคำสั่งการทำงานระบบอัตโนมัติของเครื่องจักร.....	40
3.18 ตัวอย่างหมุดค้ำแห่งที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
3.19 ตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
3.20 การเตรียมหมุดก่อนการทดสอบ	43
3.21 (a) ดินสอแบบขีด (b) ดินสอแบบห่าง	44
3.22 วัดตัมมิเตอร์.....	44
3.23 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน	46
3.24 ระยะห่างระหว่างก้านไม้ของค้ำหมุด	46
3.25 มุมเอียงของหลังค้ำที่ใช้ในการทดสอบ.....	47
3.26 การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.27 เครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคา.....	48
3.28 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์.....	49
4.1 (a) กลไกป้อนหญ้า (b) ลูกกลิ้งสำหรับกดรอยหญ้าให้บางลง.....	53
4.2 การติดขัดของดัดหญ้าที่บริเวณกลไกป้อนหญ้า.....	54
4.3 เครื่องจักรต้นแบบหลังนำกลไกป้อนหญ้าออก.....	54
4.4 ระยะเวลาเคลื่อนที่ของดินถีบ.....	55
4.5 คุณภาพการผลิตดัดหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg.....	56
4.6 คุณภาพการผลิตดัดหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg.....	57
4.7 คุณภาพการผลิตดัดหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 1.0 kg.....	58
4.8 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาช่วงคันมีการเข้บผิดรูป.....	59
4.9 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาแนวพับของดัดหญ้าเอียง.....	60
4.10 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาปลายการเข้บไม่สมบูรณ์.....	61
4.11 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ.....	61
4.12 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาเข้บไม่สำเร็จ.....	62
4.13 ตัวอย่างที่เกิดปัญหาไม้หลุดจากชุดจับ.....	63
4.14 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่สมบูรณ์.....	63
4.15 ดัดหญ้าที่ผลิตได้.....	64
4.16 ดัดหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาด.....	64
4.17 อัตราการการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อดัดในการผลิตดัดหญ้า.....	65
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของดัดหญ้าจากตลาด.....	68
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของดัดหญ้า 1.0 kg.....	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบ กับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของ ดวงอาทิตย์ของตึกหญา 0.8 kg.....	70
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบ กับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของ ดวงอาทิตย์ของตึกหญา 0.6 kg.....	71
4.22 คุณภาพการผลิตตึกหญาแบบต่อเนื่องของเครื่องจักรต้นแบบ	72
5.1 การงอของไม้ไผ่ขณะทำขึ้นตอนการพับ	75
5.2 การจัดปลายลำต้นของหญาให้เท่ากันด้วยมือ.....	76
5.3 ปลายของรายหญาในขึ้นตอนการพับ.....	76
ค.1 แสดงภาพเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น.....	104
ค.2 แสดงภาพฉายหลายมุมมองเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น	105
ค.3 แสดงภาพฉายหลายมุมมองของกลไกกดทับรายหญาให้อยู่กับที่.....	106
ค.4 แสดงภาพฉายหลายมุมมองของกลไกพบรายหญาทบบนแกนไม้	107
ค.5 แสดงภาพของกลไกตรึงแกนไม้	108
ค.6 แสดงภาพของกลไกจับยึดไม้.....	109
ค.7 แสดงภาพของกลไกการเย็บ.....	110
ค.8 แสดงภาพของกลไกการเลื่อนถาดรายหญา.....	111

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

F	=	แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (N)
P	=	ความดันลมอัด (Pa)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (m)
V_a	=	ปริมาณลมที่ใช้ (liters/s)
L	=	ช่วงชักของกระบอกสูบ (m)
t	=	เวลาที่ใช้ (s)
F_x	=	แรงที่ใช้สำหรับดันขากลไก Scissor lift (N)
W	=	น้ำหนักบรรทุก (N)
W_a	=	น้ำหนักขากรรไกร (N)
ϕ	=	มุมภายในระหว่างแนวนอนและขากรรไกร (degree)
F_t	=	แรงที่เกิดขึ้นตรงจุดพื้นเพื่องขบกัน (N)
T	=	แรงบิด (N·m)
D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของเฟืองตรง (m)
V_t	=	ความเร็วของเฟืองตรง (m/s)
N	=	ความเร็วรอบของเฟืองตรง (rpm)
P_m	=	กำลังของมอเตอร์ (Watt)
T_t	=	แรงบิดที่เกิดขึ้นตรงจุดพื้นเพื่องขบกัน (N·m)
FC	=	ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)
VC	=	ต้นทุนแปรผัน (Variable cost)
AC	=	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
Pr	=	ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องผลิตวัสดุหลังจากหักภาษี (บาท)
LT	=	อายุการใช้งานเครื่อง ≈ 10 ปี
S	=	ราคาซากเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = $0.1 \cdot P$ (บาท)
De	=	ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)
R	=	ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)
i	=	อัตราดอกเบี้ยต่อปี
WC	=	ค่าจ้างแรงงาน (บาท)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

EC	=	ค่าไฟฟ้า (บาท)
MC	=	ค่าบำรุงรักษา (บาท)
N^*	=	ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี
p	=	กำไรต่อหน่วย
v	=	ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย
PBP	=	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
Pe	=	กำไร (บาท/ปี)
R	=	รายได้ (บาท/ปี)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หญ้าคาจัดเป็นวัชพืชที่สามารถพบได้ตามท้องทุ่งทั่วไป ตามพื้นที่รกร้างว่างเปล่า ตามหุบเขา และตามริมทางทั่วไป หญ้าคาเป็นพืชที่ชอบแสงแดดและมีความทนทานสูงมาก เผลอกำจัดหรือทำลายได้ยาก ยิ่งเผลอกำลายก็เหมือนไปช่วยกระตุ้นให้มันงอกมากขึ้น ทำให้ดอกออกแพร่พันธุ์มากยิ่งขึ้น ไปอีก จึงกลายเป็นวัชพืชที่ลุกลามไปตามท้องไร่หรือพื้นที่ต่าง ๆ และกำจัดได้ยากชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นวัชพืชที่แก่งแย่งธาตุอาหารและน้ำกับพืชที่ปลูก และยังปลดปล่อยสารธรรมชาติบางชนิดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพืชชนิดนี้จะขยายพันธุ์ด้วยวิธีการใช้เมล็ด แต่ก็ยังสามารถขยายพันธุ์ด้วยลำต้นใต้ดินได้ด้วยเช่นกัน เกษตรกรมักกำจัดโดยวิธีการถาก ถาง ตัดให้สั้นเพื่อไม่ให้ดอกออก ขุดทิ้ง หรือการใช้ยาฆ่าหญ้าหรือสารเคมีต่างๆ แต่ก็มีกรนำหญ้าคามาใช้ประโยชน์มากมาย อาทิเช่น การนำรากหญ้าคามาใช้ทำเชือก ใช้สานตะกร้า เสื่อ หรือทำแปรง การนำหญ้าคาอัดทำเป็นแผ่น ๆ คล้ายกับไม้อัดทั่วไป สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง และหญ้าคายังมีสรรพคุณทางยาอีกด้วย ซึ่งการใช้ประโยชน์อีกรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญและได้รับความนิยมมากคือการทำเป็นวัสดุหมักหลังคา (เรียกการกรองหญ้าคา และได้เป็นตับหญ้าคา) เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น หากใช้ตับหญ้าคาที่กรองได้อย่างสม่ำเสมอ มีความหนาเพียงพอ เมื่อนำมาหมักหลังคาด้วยวิธีการที่เหมาะสม พบว่าหลังคาที่ได้มีความคงทน สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดีและมีจุดเด่นที่สำคัญคือเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม แต่พบว่ามีข้อจำกัดคือ ต้องใช้ความชำนาญในการปฏิบัติ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลาในการผลิตนาน นับวันยิ่งจะหาคนที่ผลิตได้น้อยลงเรื่อย ๆ ทั้งที่ปริมาณความต้องการวัสดุหมักหลังคาจากหญ้าคามีสุงมาก ทั้งใช้หมักหลังคาที่อยู่อาศัย ใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ของโรงแรม ร้านอาหารและสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ดังจะพบได้ว่าปัจจุบันด้วยความขาดแคลนตับหญ้าคา จึงเริ่มมีการใช้พลาสติกเส้นมาผลิตเป็นตับหญ้าคาเทียมใช้กันบ้างแล้วเพราะผลิตได้ง่ายกว่าและได้ความสวยงามใกล้เคียงกัน

จากแนวคิดและความสำคัญที่นำเสนอดังกล่าวนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึงต้องการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับช่วยในขั้นตอนการผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหลุ้คาค้างขึ้น เพื่อช่วยลดขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากและใช้เวลานานให้มีความสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น ได้วัสดุคีมหลังจากจากหลุ้คาค้างที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการผลิตด้วยมือ เป็นการช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากหลุ้คาค้างซึ่งเดิมเคยเป็นเศษเหลือทางการเกษตรให้กลับกลายเป็นสินค้าที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องจักรสำหรับช่วยในการผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหลุ้คาค้างแบบกึ่งอัตโนมัติ
- 2) ทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ
- 3) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ต้นแบบเป็นเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติและเป็นการทำงานแบบกะ (Batch type)
- 2) ใช้มิติขนาดของคีมหลุ้คาค้างตามค่าที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เครื่องจักรสำหรับช่วยในการผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหลุ้คาค้างแบบกึ่งอัตโนมัติ
- 2) เครื่องจักรต้นแบบมีอัตราการผลิตที่มากกว่าการกรองด้วยมือ
- 3) คีมหลุ้คาค้างที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้กับการมุงหลังคาได้จริง
- 4) เครื่องจักรสำหรับช่วยในการผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหลุ้คาค้างแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถนำไปเผยแพร่และใช้งานได้จริงในกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มเอกชนได้

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุผงหลังจากหญ้าคา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

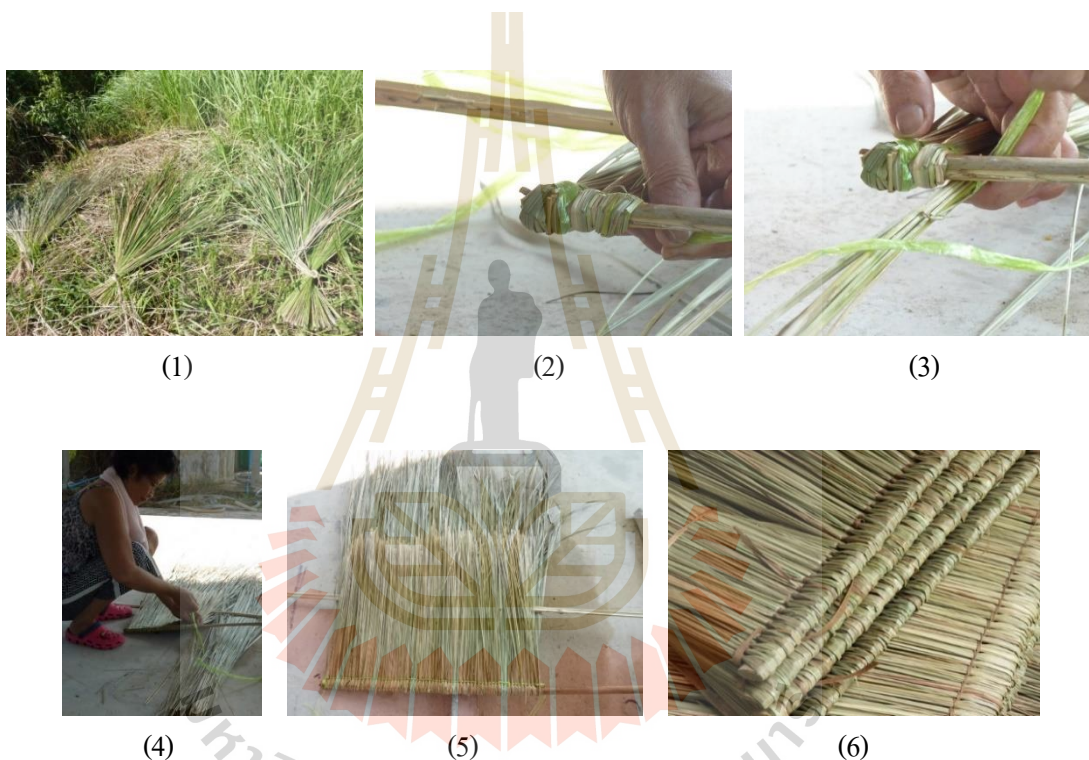
2.2 หญ้าคา

หญ้าคา (ชื่ออังกฤษ: Lalang; ชื่อวิทยาศาสตร์: *Imperata cylindrica* Beauv) เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในตระกูลหญ้า มีลำต้นสูงประมาณ ๕๐-๑๐๐ เซนติเมตร ลักษณะลำต้นเป็นทรงกลมเรียวยาวขนาดเล็ก ลักษณะใบเป็นขนกระจุก ขอบใบมีลักษณะคมกริบ ออกดอกเป็นช่อก้านยาวสีขาว คล้ายหางกระรอก การใช้ประโยชน์ ส่วนของใบ ใช้ปรุงเป็นยาต้มอาบ ฟื่นคัน แก้ลมพิษ และแก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย ส่วนของดอก ใช้ปรุงเป็นยารับประทานแก้ปวด นำมาตำเป็นยาพอกแผลอักเสบ บวมฝีมีหนอง และ อุจจาระเป็นเลือด ราก ใช้ปรุงเป็นยา แก้อ่อนใน แก้ไอกระหายน้ำ เป็นยารับประทานเพื่อห้ามเลือด แก้เลือดกำเดาไหล และแก้พิษอักเสบในกระเพาะอาหาร ในฐานะเป็นพืชเศรษฐกิจ ใช้ประโยชน์ในการมุงหลังคา กระถอม ดอกเลี้ยงไหม เล้าไก่ เล้าเป็ด สามารถกันแดดกันฝนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้หลังคาหญ้าคายังให้ความเย็น ได้ดีกว่าการมุงหลังคาจากกระเบื้อง และสังกะสีซึ่งมีราคาแพงกว่าหญ้าคาหลายเท่าตัว และอายุการใช้งานของหลังคาหญ้าคาสามารถใช้ได้นานถึง 3 - 5 ปี ขึ้นอยู่กับความหนาของคาที่ใช้และนอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการจักสานอีกด้วย จึงนับได้ว่าหญ้าคากลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2562)

2.3 ตั๊กหญ้าคา

2.3.1 การผลิตวัสดุถุงหลังจากหญ้าคา

การแปรรูปหญ้าคาเป็นวัสดุถุงหลังจากด้วยมือ มีขั้นตอนดังรูปที่ 2.1 ดังนี้ 1) การตัดใบหญ้าคาที่มีความยาวใกล้เคียงกันมัดรวมและตากให้แห้ง 2) และ 3) การแบ่งใบหญ้าคาออกเป็นกำขนาดเล็กลง และนำมาพับทบบนแกนไม้ไผ่แห้งผ่าซีกที่ละกำ โดยให้ความยาวส่วนปลายของใบมีขนาดเท่ากันตามต้องการ พร้อมกับใช้เชือกมัดให้แน่น 4) การผลิตทุกขั้นตอนทำด้วยมือ ขาดความสะดวกและใช้เวลานาน 5) และ 6) แสดงดับจากที่กรองไปแล้วเกือบสมบูรณ์และที่เสร็จสมบูรณ์แล้วตามลำดับ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการกรองใบหญ้าคาเข้ากับแกนไม้ไผ่ผ่าซีก เพื่อทำเป็นตั๊กหญ้าคา
(บ้านสวนทรัพย์ในดิน, 2556)

2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของตับหญ้าคา

เราได้นำตับหญ้าคาผลิตด้วยมือที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด มาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของตับหญ้าคาที่เป็นที่นิยมมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติของตับหญ้าคา

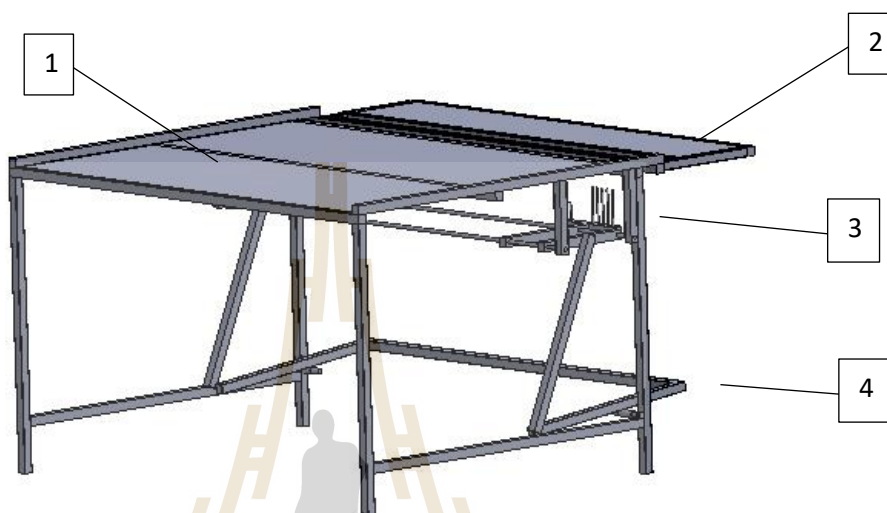
1. ความยาวของหญ้าคา	
- ก้าน	41 ซม.
- ใบ	113 ซม.
- รวม (ก้าน+ใบ)	154 ซม.
2. จำนวนต้นเฉลี่ยต่อมัด	10.56 ต้น/มัด
3. จำนวนมัดเฉลี่ยต่อตับ	131 มัด/ตับ
4. ระยะห่างของแต่ละมัดเฉลี่ย	12 มม.
5. ความยาวของไม้แต่ละตับเฉลี่ย (กว้าง X ยาว X สูง)	8 X 15 X 1488 มม.
6. จำนวนต้นหญ้าน้ำหนัก 1 กก.	763 ต้น
7. ความหนาแน่น	70.45 กก./ลบ.ม.

การกรองต้องทำด้วยมือ มีความสามารถในการผลิตต่ำมาก จึงนิยมทำเพื่อไว้ใช้เองในครอบครัวหรือจำหน่ายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปัจจุบันตับหญ้าคาขายสูงถึง 10–20 บาท/ตับตามแต่พื้นที่ การกรองหญ้าคาขายจึงเป็นการแปรรูปหญ้าคาที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าที่สุด (พิษณุ โลกฮอด นิวส์, 2557)

2.4 แนวคิดในการออกแบบเครื่องจักร

การแปรรูปใบหญ้าคาที่สร้างมูลค่าเพิ่มได้สูงและเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยคือการกรองใบหญ้าแห้งเป็นตับหญ้าคาสำหรับมุงหลังคา แต่พบว่ามีข้อจำกัดคือ ต้องใช้ความชำนาญในการปฏิบัติ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลาในการผลิตนาน คณะผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับช่วยในขั้นตอนการผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าคาขึ้น เพื่อช่วยลดขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากและใช้เวลานานให้มีความสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น ได้วัสดุคลุมหลังคาจากใบหญ้าคาที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการผลิตด้วยมือ

จากงานวิจัยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหญ้าแฝก (สุรยุทธ รุณเกตู, วันทยา ปานทิพย์, ศิริชัย แก้วกุล, ณัฐพัชร ภาระพงษ์ และกระวี ตรีอำนรรค, 2559) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่ช่วยให้การผลิตหลังคาที่ทำจากหญ้าคาได้เร็วขึ้นด้วยคนเพียงคนเดียวช่วยลดแรงที่ใช้ในการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหญ้าแฝก (สุรยุทธ และคณะ, 2559)

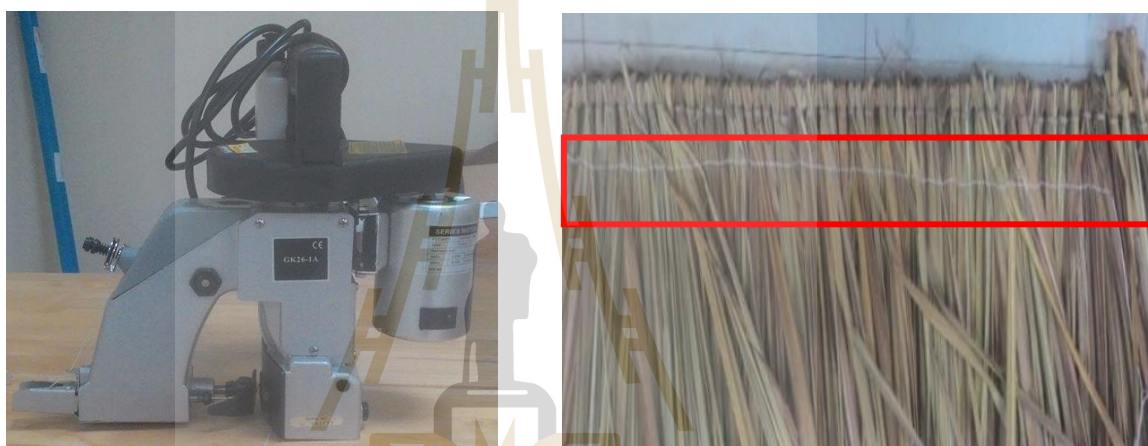
จากรูปที่ 2.2 พื้นโต๊ะทำจากแผ่นเหล็กฉาบสังกะสีสำหรับวางหญ้า (1) ขนาด 140x160 cm ตัวพับ (2) มีขนาด 30x155 cm และเข็มที่ใช้เย็บจำนวน 5 เล่มวางห่างกัน 5 cm ใช้กลไก Four-bar linkage ออกแบบการเคลื่อนที่ของตัวเย็บ ซึ่งจะทำให้การทดสอบด้วยเชือกไนลอนและเชือกฟางในการเย็บหญ้าเฉพาะด้านเดียว การทำงานเริ่มจากนำหญ้ามาวางบนแผ่นสังกะสีแล้วนำตัวพับมาปิดทับไว้ จากนั้นทำการเหยียบที่ขาตั้ง (4) เพื่อให้กลไกทำการเย็บ จากการทดสอบพบว่า การเย็บด้วยเชือกไนลอนแบบด้านเดียว จะทำให้เชือกเกิดกานพันกันและยังไม่สามารถเย็บได้อีกด้วย ส่วนการใช้เชือกฟางแก้วมีความเหมาะสมสำหรับการเย็บมากกว่าเชือกไนลอนเพราะจะทำให้เชือกไม่พันกันมาก มีอัตราการผลิตเท่ากับ 12 นาทีต่อฉบับ ซึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกับการผลิตด้วยมือที่มีอัตราการผลิตเท่ากับ 15 นาทีต่อฉบับ

จากงานวิจัยข้างต้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาออกแบบและคำนวณเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคีมหลังจากจากหญ้าคาที่มีกลไกต่าง ๆ โดยใช้ต้นกำลังจากระบบนิวมेटิกส์ และมอเตอร์ไฟฟ้า

2.5 ระบบกลไกที่ใช้ในเครื่องจักร

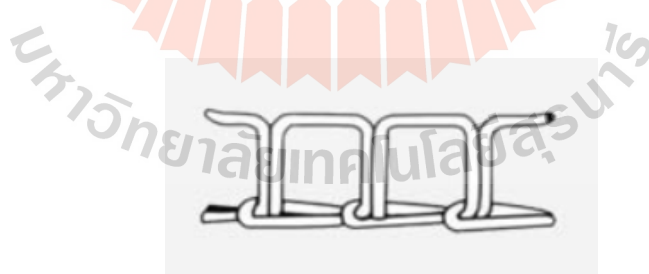
2.5.1 จักรเย็บกระสอบ

จักรเย็บกระสอบไฟฟ้าเป็นเครื่องมือสำหรับเย็บปิดปากถุงซึ่งเรานำมาใช้ในการเย็บต้นหญ้าคาแทนการเย็บด้วยมือ จากการทดสอบเย็บต้นหญ้าคาด้วยจักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งได้ทำการทดสอบเย็บต้นหญ้าคาดังรูปที่ 2.4 พบว่ารอยตะเข็บที่ได้มีความสม่ำเสมอ ลักษณะการถักลูกโซ่ของจักรแสดงดังรูปที่ 2.5 และข้อมูลคุณสมบัติของจักรไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2.2 แต่พบปัญหาเส้นด้ายขาดในขณะที่ทำการเย็บหากถ้าหญ้าคาเรียงตัวไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.3 จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A

รูปที่ 2.4 รอยตะเข็บที่เย็บด้วยจักรเย็บกระสอบ



รูปที่ 2.5 ลักษณะรอยตะเข็บ

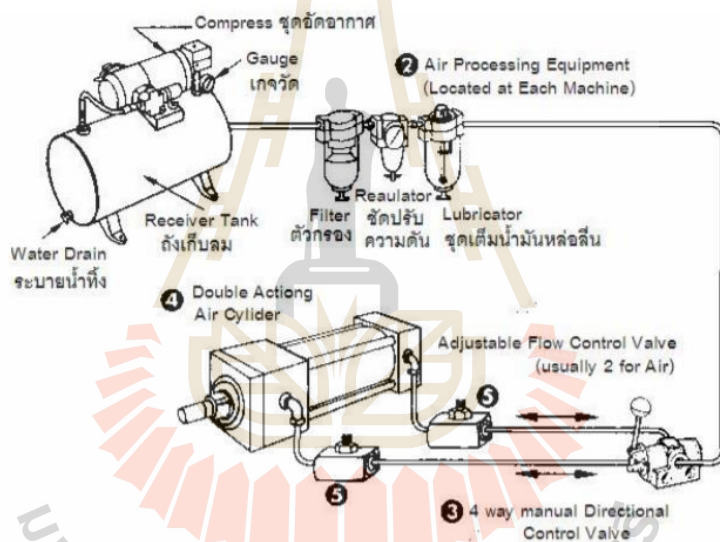
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลคุณสมบัติของจักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A

รุ่น	ความกว้าง ตะเข็บ	กำลังไฟฟ้า	ชนิดเข็ม	ความเร็วรอบ	น้ำหนัก
GK26-1A	6.5 mm	90 W	DNx1 #25	1,250 rpm	5 kg

2.5.2 ระบบนิวแมติกส์

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ สำหรับอุปกรณ์พื้นฐานเบื้องต้นในการทำงานของระบบนิวแมติกส์สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.6)

- อุปกรณ์พื้นฐานต้นกำลังนิวแมติกส์ (Power unit)
- อุปกรณ์พื้นฐานปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Treatment component)
- อุปกรณ์พื้นฐานควบคุมการทำงาน (Controlling component)
- อุปกรณ์พื้นฐานการทำงาน (Actuator or working component)
- อุปกรณ์พื้นฐานในระบบท่อทาง (Piping system)



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์เบื้องต้นของระบบนิวแมติกส์
(ณัฐพงศ์ จริตงาม และนิชา ลีเมจิณ, ม.ป.ป.)

2.5.2.1 อุปกรณ์พื้นฐานต้นกำลังนิวแมติกส์

เครื่องอัดอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกลที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ จึงมีความสำคัญมากที่จะต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้ได้ปริมาณลมอัดที่เหมาะสมกับวงจรที่ออกแบบและมีราคาประหยัด ลักษณะของเครื่องอัดอากาศหรือเครื่องอัดลมดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและการทำงาน
(ณัฐพงษ์ จริตงาม และณิชา ลิ้มเจริญ, ม.ป.ป.)

2.5.2.2 อุปกรณ์พื้นฐานปรับปรุงคุณภาพลมอัด

ก่อนที่จะนำลมอัดไปใช้ในระบบนิวแมติกส์ ลมอัดควรผ่านชุดควบคุมคุณภาพลมอัดก่อน เพราะลมอัดที่มาจากถังเก็บลมจะประกอบไปด้วยความชื้นและละอองน้ำกลั่นตัวปนมากับลมอัด ตลอดจนแรงดันลมอัดที่สูงถ้าปล่อยเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น วาล์ว ข้อต่อ เป็นต้น จึงต้องมีการปรับความดันก่อนนำไปใช้ในวงจรนิวแมติกส์ลักษณะของชุดควบคุมคุณภาพลมอัด ดังรูปที่ 2.8

ชุดควบคุมคุณภาพลมอัดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ดังนี้

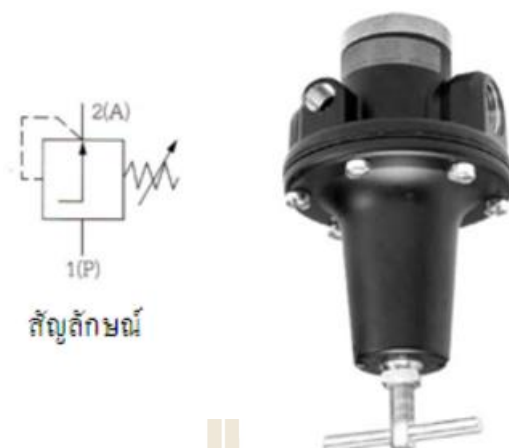
- ชุดกรองอากาศ (Filter)
- ชุดควบคุมความดัน (Regulator)
- ชุดน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)
- เกจวัดความดัน (pressure gauge)



รูปที่ 2.8 ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด
(ณัฐพงษ์ จิตรงาม และณิชา ลิ้มเจริญ, ม.ป.ป.)

ชุดกรองอากาศทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ความชื้นหรือน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การทำงาน ลมอัดไหลเข้าทางด้านท่อลมเข้าผ่านเข้ามาภายในครอบแก้วซึ่งเป็นที่จำกัด ทำให้ลมอัดไหลวน ละอองน้ำและฝุ่นละอองจะถูกเหวี่ยงไปมากระทบกับผนังครอบแก้ว เมื่อไหลผ่านไส้กรองจะได้ลมอัดที่สะอาดผ่านออกสู่ท่อทางออก ส่วนละอองน้ำและฝุ่นละอองที่จับอยู่ที่ผิวของครอบแก้ว เมื่อมีจำนวนมากจะสะสมรวมกันอยู่ทางด้านล่างของครอบแก้ว และถ้ามีปริมาณมากจะต้องหมุนสกรูถ่ายน้ำออกด้านล่าง

ชุดควบคุมความดัน (Regulator) ความดันลมอัดจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอถ้านำไปใช้อาจทำให้อุปกรณ์นิวแมติกส์ชำรุดเสียหาย ทำให้ระบบการทำงานของวงจรทำงานผิดพลาด อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลงเพราะความดันลมไม่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงใช้อุปกรณ์ควบคุมความดันหรือเรกูเลเตอร์ (Regulator) เพื่อทำหน้าที่ปรับความดันใช้งานให้คงที่และเหมาะสมกับความต้องการของระบบ และปรับความดันทางด้านต้นทางให้สูงกว่าความดันปลายทางลักษณะของชุดควบคุมความดันดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ชุดควบคุมความดันและลักษณะ โครงสร้าง
(ณัฐพงษ์ จริตงาม และณิชา ลิ้มเจริญ, ม.ป.ป.)

ชุดน้ำมันหล่อลื่นจะมีหน้าที่เป็นตัวจ่ายสารหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยจะปนไปกับลมอัดในการใช้งาน เพื่อลดการสึกหรอและความฝืดของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น วาล์ว ข้อต่อ ลูกสูบ เป็นต้นลักษณะของชุดน้ำมันหล่อลื่น การทำงานชุดน้ำมันหล่อลื่นจะอาศัยหลักการของช่องแคบที่ความดันแตกต่างกันคือ ความเร็วของลมอัดที่ไหลผ่านช่องแคบมีความเร็วสูง จึงทำให้เกิดการดูดน้ำมันขึ้นมาผสมกับลมอัดที่ไหลผ่านเป็นละอองน้ำมันหล่อลื่น เพื่อนำไปใช้ในระบบหล่อลื่นอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไป ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ชุดกรองอากาศและลักษณะ โครงสร้าง
(ณัฐพงษ์ จริตงาม และณิชา ลิ้มเจริญ, ม.ป.ป.)

เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) โดยปกติเกจวัดความดันจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัด เกจวัดความดันลมอัดจะเป็นแบบท่อสปริงรูปทรงกลม โค้งงอในแนวรัศมีและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นท่อกลางส่วนปลายข้างหนึ่งยึดติดกับช่องที่ให้ความดันลมอัดผ่านเข้ามาภายในท่อสปริงเมื่อมีแรงดันของลมที่ท่อสปริงรูปทรงกลม จึงยึดออกให้ท่อตรงส่วนปลายอีกด้านของท่อสปริงจะยึดติดกับชุดกลไกต่อระหว่างท่อสปริงกับเฟืองเข็มกลไกเหล่านี้จะเพิ่มตัวแสดงการเคลื่อนไหวของท่อสปริงหรือบอกความดันภายในระบบนั่นเอง

2.5.2.3 อุปกรณ์พื้นฐานควบคุมการทำงาน

วาล์วควบคุมทิศทาง (รูปที่ 2.11) ทำหน้าที่ควบคุมลมอัดให้ไหลผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ต้องการเพื่อให้กระบอกสูบทำงานหรือหยุดทำงาน หรือหยุดค้างตำแหน่งการทำงานได้



รูปที่ 2.11 วาล์วควบคุมทิศทาง
(ณัฐพงษ์ จริตงาม และณิชา ลีมเจริญ, ม.ป.ป.)

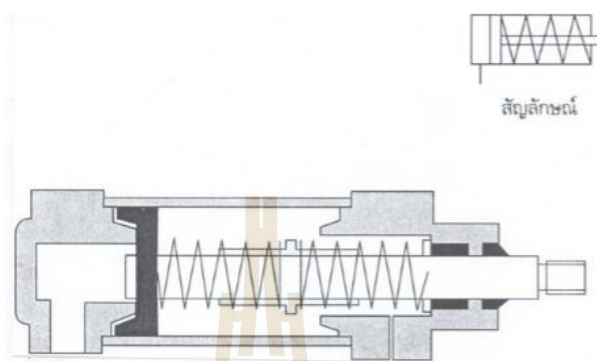
การเรียกชื่อวาล์ว การเรียกชื่อวาล์วด้วยตัวเลข โดยกำหนดให้ตัวเลขตัวหน้า หมายถึงจำนวนรูของวาล์ว ส่วนตัวเลขตัวหลัง หมายถึงจำนวนตำแหน่งการทำงาน เช่น เขียนว่า 3/2 จะหมายถึงวาล์วชนิดมี 3 รู และ 2 ตำแหน่งทำงาน เขียนว่า 5/2 หมายถึง วาล์วที่มี 5 รู 2 ตำแหน่งทำงาน เป็นต้น

วาล์วควบคุมอัตราการไหล คือ วาล์วที่ควบคุมปริมาณลมให้ไหลน้อยลง ควบคุมการไหลได้ทั้ง 2 ทาง คือ เมื่อลมเข้าทาง P ปริมาณลมจะผ่านช่องแคบ ทำให้ปริมาณลมไหลผ่านไปได้ช้ากว่าปกติ และเมื่อเอาลมเข้าอีกด้าน ลมก็ถูกควบคุมเช่นเดียวกัน สามารถปรับสกรูเปิดลิ้นวาล์วให้ปริมาณลมไหลผ่านน้อยหรือมากตามต้องการ วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบ่งตามโครงสร้างและลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิดคือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับไม่ได้ และวาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับได้

2.5.2.4 อุปกรณ์พื้นฐานการทำงาน

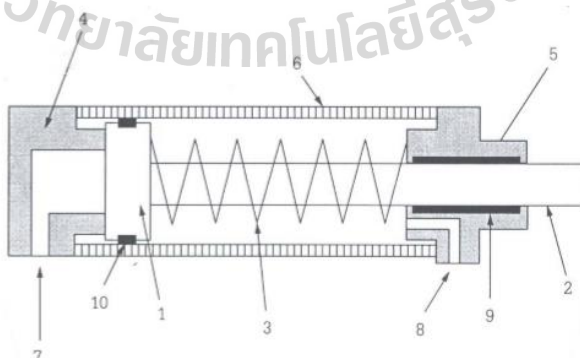
กระบอกสูบ (Cylinder)

กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว



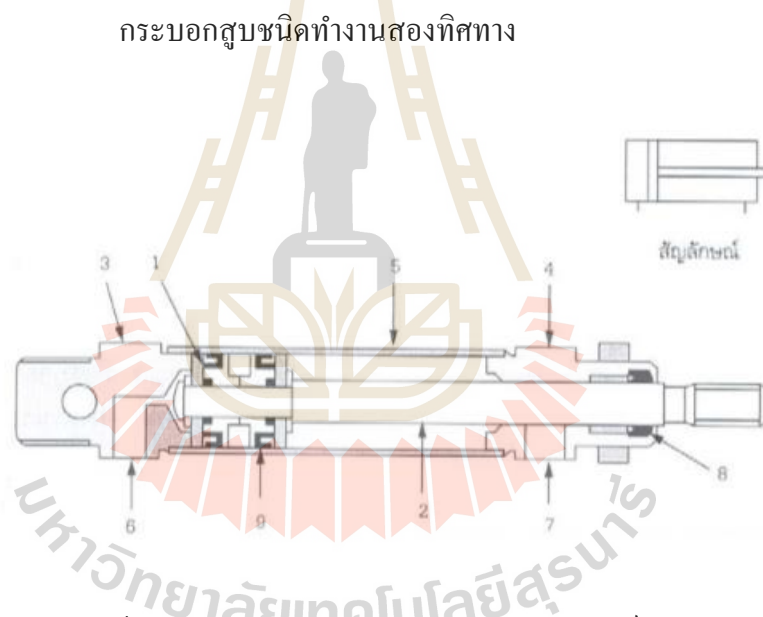
รูปที่ 2.12 กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

กระบอกสูบทางเดียวจะมีรูลมที่ด้านลูกสูบรูเดียว เมื่อมีลมอัดเข้าทางด้านลูกสูบจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกและระบายลมทิ้งทางด้านก้านสูบ ในขณะที่อีกจังหวะเคลื่อนที่กลับอาศัยแรงสปริงภายในกระบอกสูบ โดยทั่วไปกระบอกสูบทางเดียวถูกออกแบบให้มีความยาวช่วงชักไม่เกิน 100 มิลลิเมตร จึงเหมาะกับการที่ไม่มีโหลดมากนัก หรือลักษณะงานที่มีขนาดเล็ก เช่น งานจกยึดชิ้นงาน งานกดอัดชิ้นงาน เป็นต้น (เดชฤทธิ์ มณีธรรม, 2548) ซึ่งโครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียวแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

- จากรูปที่ 2.13 หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)
 หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)
 หมายเลข 3 สปริงสำหรับคืนให้ลูกสูบถอยกลับ (return spring)
 หมายเลข 4 ฝาครอบท้าย (base end cover)
 หมายเลข 5 ฝาครอบหัว (head end cover)
 หมายเลข 6 กระบอกสูบ (cylinder tube)
 หมายเลข 7 รูต่อลม (pressure connection)
 หมายเลข 8 รูระบายลม (vent hole)
 หมายเลข 9 บูชก้านสูบ (bush and sealing element)
 หมายเลข 10 ซีลลูกสูบ (piston seal)



รูปที่ 2.14 โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

กระบอกสูบสองทางจะมีรูลมที่ด้านลูกสูบและก้านสูบลมอัดทั้ง 2 ด้านจะคืนลูกสูบให้เคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออก กระบอกสูบชนิดนี้จะมีแรงดันทำงานได้ 2 ทิศทาง ซึ่งจะเหมาะกับงานที่มีโหลดมากกว่ากระบอกสูบด้านเดียว โดยทั่วไปกระบอกสูบสองทางใช้กับงานที่ต้องการความยาวช่วงชักยาวๆ หรือลักษณะงานที่มีขนาดใหญ่ และงานที่ต้องการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (เดชฤทธิ์ มณีธรรม, 2548) ซึ่งโครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทางส่วนใหญ่แล้วจะเหมือนกับกระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว คือ

- จากรูปที่ 2.14 หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)
 หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)
 หมายเลข 3 ฝาครอบท้าย (base end cover)
 หมายเลข 4 ฝาครอบหัว (head end cover)
 หมายเลข 5 กระบอกสูบ (cylinder tube)
 หมายเลข 6 รูต่อลมด้านลูกสูบ (pressure connector, base side)
 หมายเลข 7 รูต่อลมด้านก้านสูบ (pressure connector, head side)
 หมายเลข 8 ซีลก้านสูบ (bush and sealing element)
 หมายเลข 9 ซีลลูกสูบ (piston seal)

2.5.2.5 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบท่อทาง

ทำหน้าที่เป็นท่อทางไหลของลมอัดในระบบนิวแมติกส์ระบบท่อนี้รวมถึงท่อส่งลมอัดและข้อต่อชนิดต่างๆด้วย

2.5.2.6 การคำนวณในระบบนิวแมติกส์

1) แรงของกระบอกสูบสามารถคำนวณได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ และความดันลมอัด ดังสมการที่ 2.1 (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 P \quad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (N)

P = ความดันลมอัด (Pa)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (m)

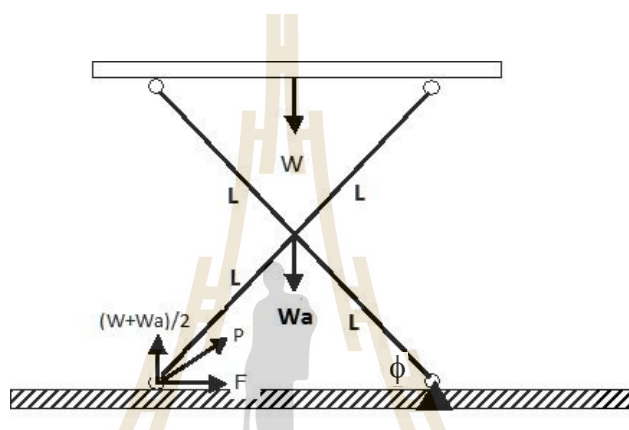
2) ปริมาณลมที่ใช้ (อัตราการใช้ลม) คือ อัตราการใช้ลมที่ต้องใช้ทำให้กระบอกสูบทำงาน สามารถคำนวณได้จากปริมาตรของกระบอกสูบ ดังนั้นจะสามารถคำนวณปริมาณลมที่ใช้ได้จากปริมาตรของกระบอกสูบดังสมการที่ 2.2 (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

$$V_a = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 L \times 1000}{t} \quad (2.2)$$

เมื่อ V_a = ปริมาณลมที่ใช้ (liters/s)
 L = ช่วงชักของกระบอกสูบ (m)
 t = เวลาที่ใช้ (s)

2.5.3 กลไก X Lift (Scissor Lift)

กลไก x lift หรือกลไกขากรรไกร มีชื่อเรียกตามลักษณะของขาขกที่เหมือนตัว x หรือขากรรไกร เป็นกลไกใช้สำหรับออกแบบอุปกรณ์ช่วยยก



รูปที่ 2.15 กลไก Scissor lift (Vamfun's Blog, 2011)

จากรูปที่ 2.15 เราสามารถหาสมการของแรงที่ใช้ดันขาข้างซ้ายตามหลัก static equation เพื่อให้กลไกนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ ดังสมการที่ 2.3 (Vamfun's Blog, 2011)

$$F_x = \frac{W}{\tan\phi} \quad (2.3)$$

ถ้าเราคิดน้ำหนักของขากรรไกรจะได้ดังสมการที่ 2.4 (Vamfun's Blog, 2011)

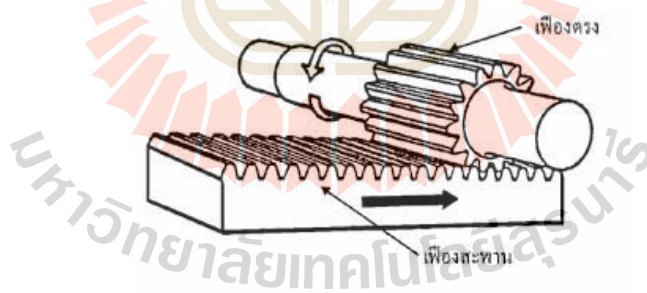
$$F_x = \frac{(W + W_a)/2}{\tan\phi} \quad (2.4)$$

- เมื่อ F_x = แรงที่ใช้สำหรับดันขากลไก Scissor lift (N)
 W = น้ำหนักบรรทุก (N)
 W_a = น้ำหนักขากรรไกร (N)
 ϕ = มุมภายในระหว่างแนวอนและขากรรไกร (degree)

จากกลไกข้างต้นที่ได้กล่าวมา เราได้นำกลไกนี้ไปออกแบบเพื่อใช้กับกลไกการกด
 หนุ้คาคา เพราะหลังจากที่พับหนุ้คาคาทบกับไม้ไผ่แล้วก่อนเข้าเครื่องเย็บเราต้องกดหนุ้คาคาให้มีความ
 หนาน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร เนื่องจากทางเข้าบริเวณเข็มเย็บของจักรเย็บกระสอบนั้นมีความกว้าง
 ประมาณ 4 มิลลิเมตรเท่านั้น กลไก x lift จะใช้ดันกำลังจากกระบอกสูบนิวแมติกส์

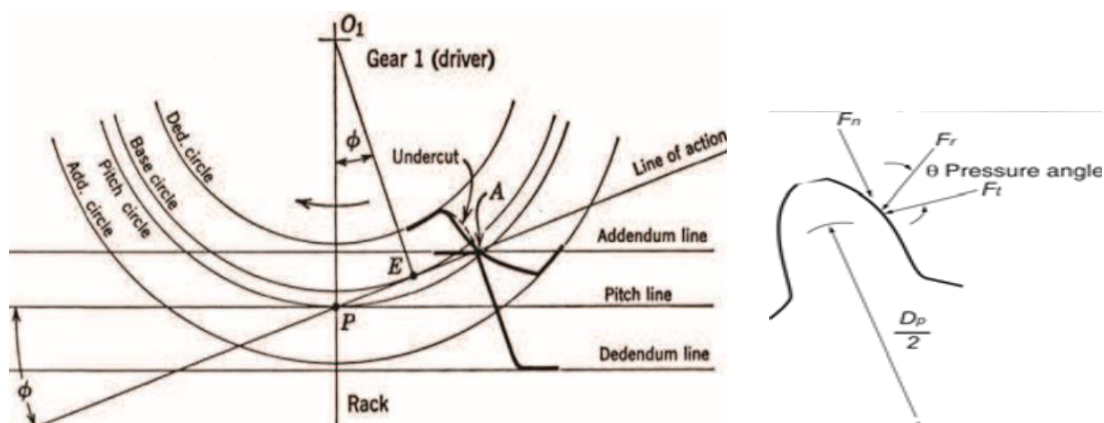
2.5.4 เฟืองตรงกับเฟืองบรรทัด

เฟืองบรรทัดกับเฟืองตรงเป็นกลไกในเครื่องจักรกลที่ทำงานร่วมกันโดยเฟือง
 บรรทัดทำหน้าที่ส่งผ่านการเคลื่อนที่เชิงเส้นไปยังเฟืองตรงเพื่อเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม การ
 ส่งผ่านแรงของเฟืองบรรทัดและเฟืองตามนั้น เมื่อเฟืองบรรทัดส่งแรงผ่านไปยังเฟืองตาม จุดที่
 พื้นเฟืองทั้งสองสัมผัสกันตามทฤษฎีจะสัมผัสกันบนวงกลมพิตช์ (Pitch circle) กับเส้นพิตช์ (Pitch
 line) และมุมกด (ϕ) เป็นมุมกด (Pressure angle) ของเฟือง (อิสระ ศรีวิบูลย์รัตน์ และพินัย ทองสวัสดิ์
 วงศ์, 2556) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ลักษณะของเฟืองบรรทัด

(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.17 การขบกันของเฟืองตรงกับเฟืองบรรทัด
(อิสระ ศรีวิบูลย์รัตน์ และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์, 2556)

จากรูปที่ 2.17 เราสามารถหาแรงที่เกิดขึ้นตรงจุดฟันเฟืองทั้งสองสัมผัสกันได้ดังสมการที่ 2.5 (อิสระ ศรีวิบูลย์รัตน์ และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์, 2556)

$$F_t = \frac{2T}{D_p} \quad (2.5)$$

เมื่อ F_t = แรงที่เกิดขึ้นตรงจุดฟันเฟืองขบกัน (N)
 T = แรงบิด (N·m)
 D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของเฟืองตรง (m)

และสามารถหาความเร็วของเฟืองตรงได้ดังสมการที่ 2.6 (อิสระ ศรีวิบูลย์รัตน์ และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์, 2556)

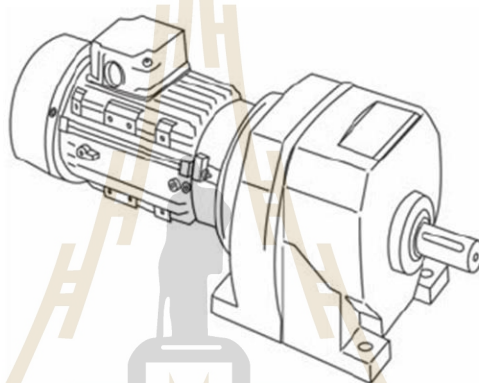
$$V_t = \frac{3.14 D_p N}{60} \quad (2.6)$$

เมื่อ V_t = ความเร็วของเฟืองตรง (m/s)
 N = ความเร็วรอบของเฟืองตรง (rpm)

จากกลไกเฟืองตรงและเฟืองบรรทัดจะถูกนำไปใช้ในกลไกการป้อนดับหยุ่ค่า เพื่อเชื่อมด้วยจักรเย็บกระสอบและใช้ในกลไกการพับแผงหยุ่ค่าทบบนแกนไม้

2.5.5 มอเตอร์เกียร์

มอเตอร์เกียร์เป็นอุปกรณ์ทำให้เพลาชับหมุนเคลื่อนที่ตามความเร็วที่ต้องการและแรงม้าในการขับเคลื่อนต้องเหมาะสม ชุดขับนั้นจะแบ่งอุปกรณ์การทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ อุปกรณ์ต้นกำลัง (Power source) ส่วนมากจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้า, อุปกรณ์ทดความเร็ว (Power Transmission) เป็นอุปกรณ์ลดความเร็วมอเตอร์เพื่อปรับรอบความเร็วให้เหมาะสมกับการทำงานส่งต่อไปยังเพลาชับ ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 มอเตอร์เกียร์ (ธีรศักดิ์ ศรีมิตรรุ่งโรจน์, 2558)

เราสามารถคำนวณหาค่ากำลังของมอเตอร์ได้จากสมการที่ 2.7 (บริษัท แมนูแฟคเจอร์ โอเวอร์ฮอล ราฟิค แอนด์ ออพติมอล จำกัด, 2558)

$$P_m = \frac{2\pi T_t N}{60} \quad (2.7)$$

เมื่อ P_m = กำลังของมอเตอร์ (Watt)

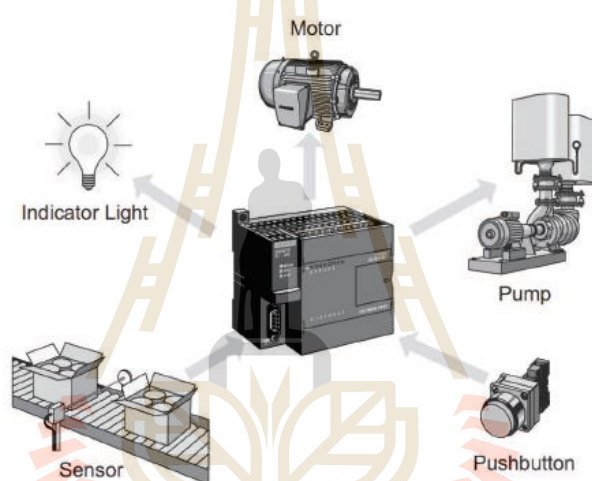
T_t = แรงบิดที่เกิดขึ้นตรงจุดพื้นเฟืองขบกัน (N•m)

N = ความเร็วรอบของเฟืองตรง (rpm)

2.5.6 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.5.6.1 Programmable Logic Controller (PLC)

อุปกรณ์นี้เป็นชุดควบคุมที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมการทำงาน โดยชุดควบคุมนี้จะพิจารณาว่า input มีลักษณะเช่นไร จากเครื่องจะวิเคราะห์ตามตรรกะที่ผู้ใช้ได้กำหนด โปรแกรมไว้ และจากนั้นจะสั่งการให้มี output เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่เราต้องการ (รูปที่ 2.19) สิ่งที่ทำให้ PLC เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอัตโนมัติก็คือ อุปกรณ์นี้มีความทนทาน ทนต่อสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ดี มีชุด input/output บรรจุรวมเข้าอยู่กับชุดควบคุม และการเขียนชุดภาษาที่ใช้งานง่ายต่อความเข้าใจ



รูปที่ 2.19 อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ PLC เพื่อใช้ในการควบคุม

2.5.6.2 Proximity Sensor

ฟร็อกซิมีตีเซนเซอร์ (Proximity Sensor) หรือ ฟร็อกซิมีตีสวิทช์ (Proximity Switch) (รูปที่ 2.20) คือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก โดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และ สัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับ ตำแหน่ง ระดับ ขนาด และรูปร่าง โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 3 ประเภท คือ Inductive Proximity Sensor, Capacitive Proximity Sensor และ Photoelectric Proximity Sensor (อรชุน ตั้งใจ, 2554)



รูปที่ 2.20 Proximity Sensor

2.5.6.3 Reed Switch

Reed Switch หรือ Auto Switch (รูปที่ 2.21) คือ แมกเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้ว จะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open : NO) สวิตช์นี้จะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเห็นแม่เหล็กถาวร หรือแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้ แผ่นหน้าสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก (Ferromagnetic) และติดตั้งอยู่ภายในกระเปาะแก้วเล็กๆที่มีการเติมก๊าซเฉื่อย เพื่อให้การตัดต่อกระแสไฟฟ้าได้เร็วยิ่งขึ้น ใช้สำหรับตั้งระยะชักของกระบอกลม มีหลักการทำงานคือ Sensor Switch ถูกติดตั้งนอกกระบอกลมโดยอยู่แนวกระบอกลมและปรับเลื่อนตำแหน่งขึ้นลงตามความยาวของกระบอกลมตามการใช้งาน เมื่อทดลองจนได้ตำแหน่งการใช้งานแล้วก็จะขันสกรูล็อกไม่ให้ Sensor Switch เคลื่อนขึ้นลงตอนทำงาน ตัว Sensor Switch จะทำงานเมื่อมีแม่เหล็กที่ส่วนมากเป็นรูปวงแหวนอยู่ในร่องตรงกลางของลูกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่เซนเซอร์ติดกับกระบอกลม Sensor Switch จะตรวจพบแม่เหล็กที่อยู่รอบลูกสูบ เนื่องจากตรวจพบเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมาก Sensor Switch ก็จะทำงาน (สยามออโตเมชัน, 2561)



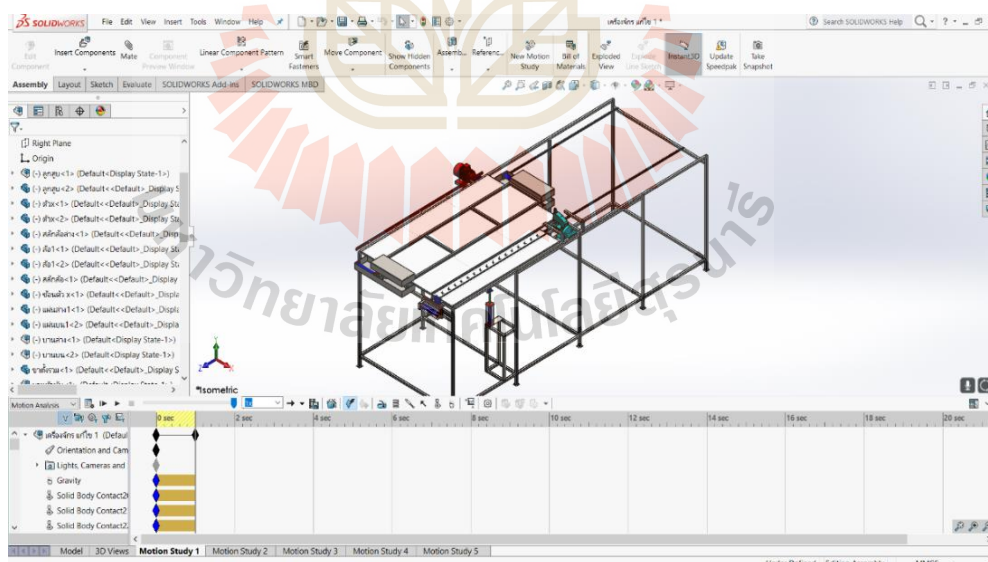
รูปที่ 2.21 Reed Switch (สยามออโตเมชัน, 2561)

2.6 การใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบและคำนวณต้นกำลัง

การออกแบบใช้โปรแกรม SolidWorks version 2016 ในการออกแบบ และเรายังใช้โปรแกรม SolidWorks ในการคำนวณค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดของต้นกำลังกระบอบสูบนิวแมติกส์และมอเตอร์เกียร์ โดยใช้คำสั่ง Motion Study ฟังก์ชัน Motion Analysis ดังรูปที่ 2.22 และ 2.23



รูปที่ 2.22 โปรแกรม SolidWorks version 2016



รูปที่ 2.23 คำสั่ง Motion Study ฟังก์ชัน Motion Analysis

Vavro, Kováčiková and Bezdědová, (2016) รายงานว่า การใช้โปรแกรม SolidWorks ในคำสั่ง motion study ในการวิเคราะห์ทางจลศาสตร์และพลวัตของกลไกแบบต่อเนื่อง ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญเพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบพารามิเตอร์เกี่ยวกับจลศาสตร์ทั้งหมดของกลไกใด ๆ และนอกจากนี้ยังสามารถระบุโหลดสำหรับจุดใด ๆ ของระบบได้

อย่างไรก็ตามไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้เครื่องจักรกลช่วยในการผลิตวัสดุผงหลังจากใบหญ้าหรือวัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นเส้นชนิดอื่น ๆ ซึ่งใช้หลักการเดียวกันในการขึ้นรูปตัววัสดุผงแห้ง โดยรูปแบบของการใช้วัสดุแบบเส้นจากธรรมชาติในการผงแห้งเหล่านี้ พบได้ในประเทศกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชีย-แปซิฟิก จีน เกาหลีและญี่ปุ่น เช่นกัน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ชื่อ รุ่น ขนาด และมาตรฐาน รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การออกแบบกลไกและระบบส่งกำลังในเครื่องจักรต้นแบบ เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากหญาภาที่พัฒนาขึ้น การเตรียมตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ การวิเคราะห์คุณภาพของดับหญาที่ผลิตได้ การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ การทดสอบผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง และการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมได้ดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบกลไกและระบบส่งกำลังในเครื่องจักรต้นแบบ

3.1.1 การออกแบบกลไกเครื่องจักร

การออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากหญาภา จะใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการออกแบบกลไกทำงานของเครื่องจักร โดยการออกแบบจะประยุกต์ตามขั้นตอนการผลิตด้วยวิธีการกรอมือ และได้ต้นแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากหญาภาตามรูปที่ 3.1 ซึ่งได้ออกแบบขั้นตอนการผลิตดับหญาภาไว้ดังนี้ (รูปที่ 3.2) (กฤษดา สายแสง, กระจวี ตรีอำนาจ, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, 2561)

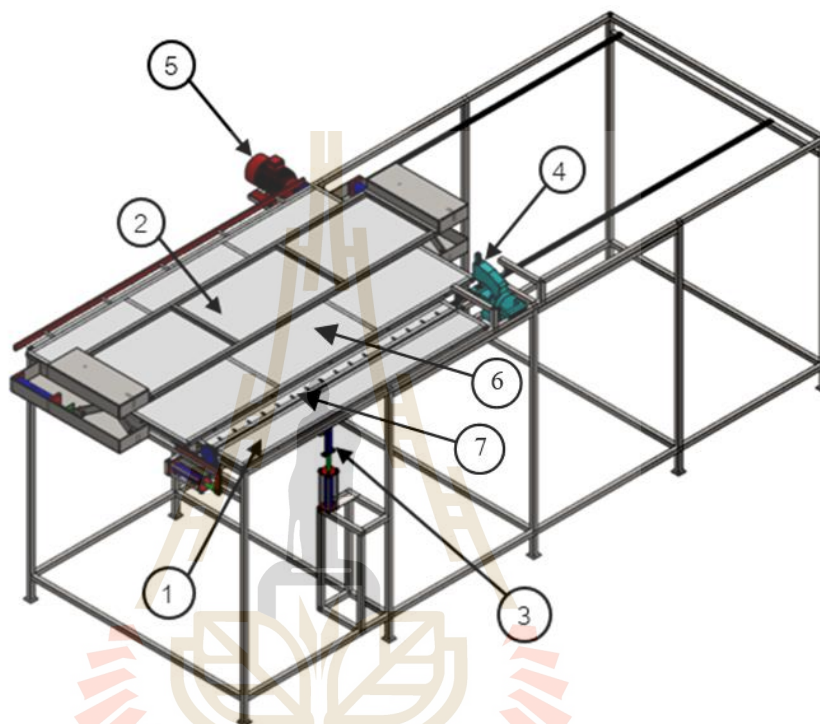
3.1.1.1 เครื่องจักรต้นแบบ และ หลักการทำงาน

1) การทำงานเริ่มต้นด้วยการป้อนหญาภาไว้บนบนถาด (หมายเลข 6 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2a) และจัดเรียงให้ได้ความหนาและขนาดตามต้องการ หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติจะใส่ไม้บนรายหญาที่ตำแหน่ง (หมายเลข 7 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2b)

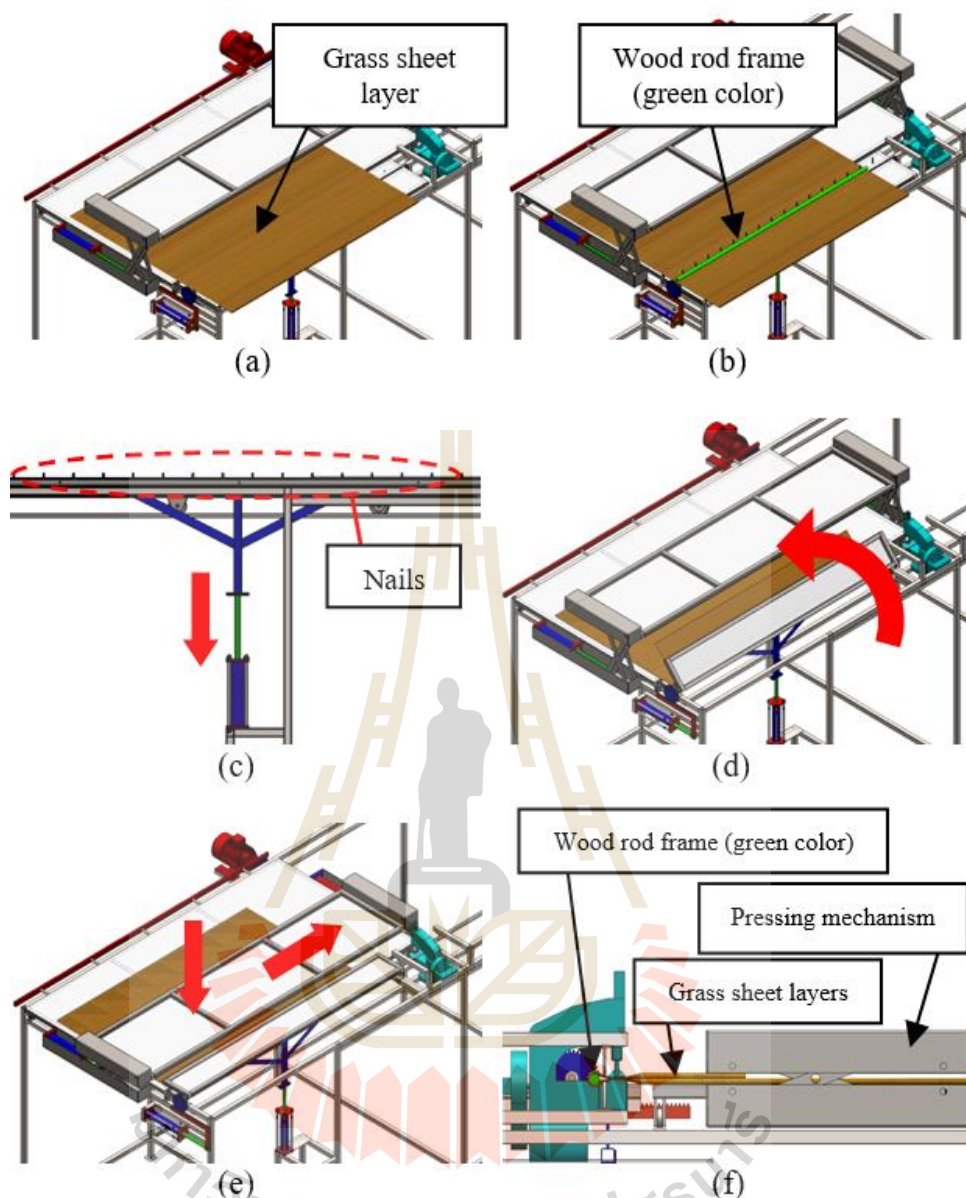
2) กลไกตรงไม้ไม้ (หมายเลข 3 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2c) จับยึดไม้บนกลไกการพับรายหญาทบบนแกนไม้ใช้หญาด้วยตะปู (รูปที่ 3.2b) จากนั้นกลไกการพับรายหญาทบบนแกนไม้ (หมายเลข 1 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1) จะพับและหุ้มไม้โดยใช้รายหญา (รูปที่ 3.2d – 3.2e)

3) กลไกกดทับรายหญาให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1) จะเลื่อนลงเพื่อกดรายหญาที่พับแล้ว (รูปที่ 3.2e) หลังจากนั้นถาดจะเลื่อนและนำรายหญาเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า (หมายเลข 4 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1) โดยมอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 5 ดังแสดงใน รูปที่ 3.1)

- 4) จักรเย็บไฟฟ้าจะเย็บรอยหยักให้เข้ากัน (รูปที่ 3.2f) จากนั้นขั้นตอนการผลิตนี้เสร็จสิ้น
- 5) หลังจากนั้นกลไกทั้งหมดจะย้ายกลับไปตำแหน่งเริ่มต้นและรอการดำเนินการการผลิตถัดไป



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงแผนผังโครงสร้างของเครื่องจักรต้นแบบ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ

3.1.1.2 กลไกของเครื่องจักร

การเคลื่อนที่และต้นกำลังขับเคลื่อนของกลไกต่างๆ มีการทำงานดังนี้

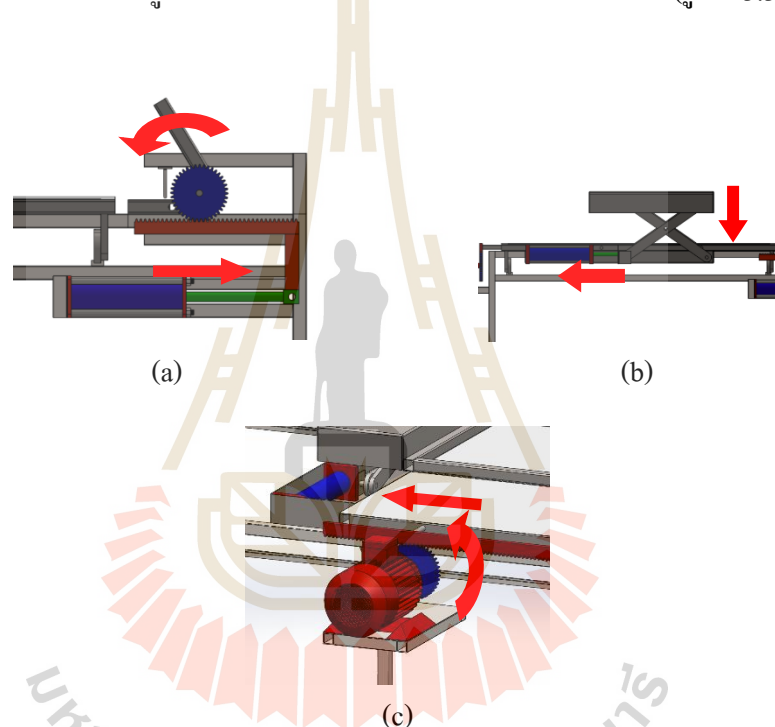
- 1) กลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้ใช้ต้นกำลังจากระบบสูบน้ำแมตติกส์ กลไกทำงานจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยใช้กลไกเฟืองสะพานกับเฟืองฟันตรง (รูปที่ 3.3a)

2) กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ จะถูกขับเคลื่อนด้วยระบบกลสูบนิวแมติกส์ กลไกทำงานเปลี่ยนการเคลื่อนของระบบกลสูบนิวแมติกส์ไปสู่การยกในแนวตั้งโดยกลไก x-lift (รูปที่ 3.3b)

3) กลไกครึ่งแกนไม้ จะถูกขับเคลื่อนด้วยระบบกลสูบนิวแมติกส์เพื่อยกบาร์เหล็กขึ้นเพื่อขวางไม้ไม่ให้เคลื่อนที่ (รูปที่ 3.2c)

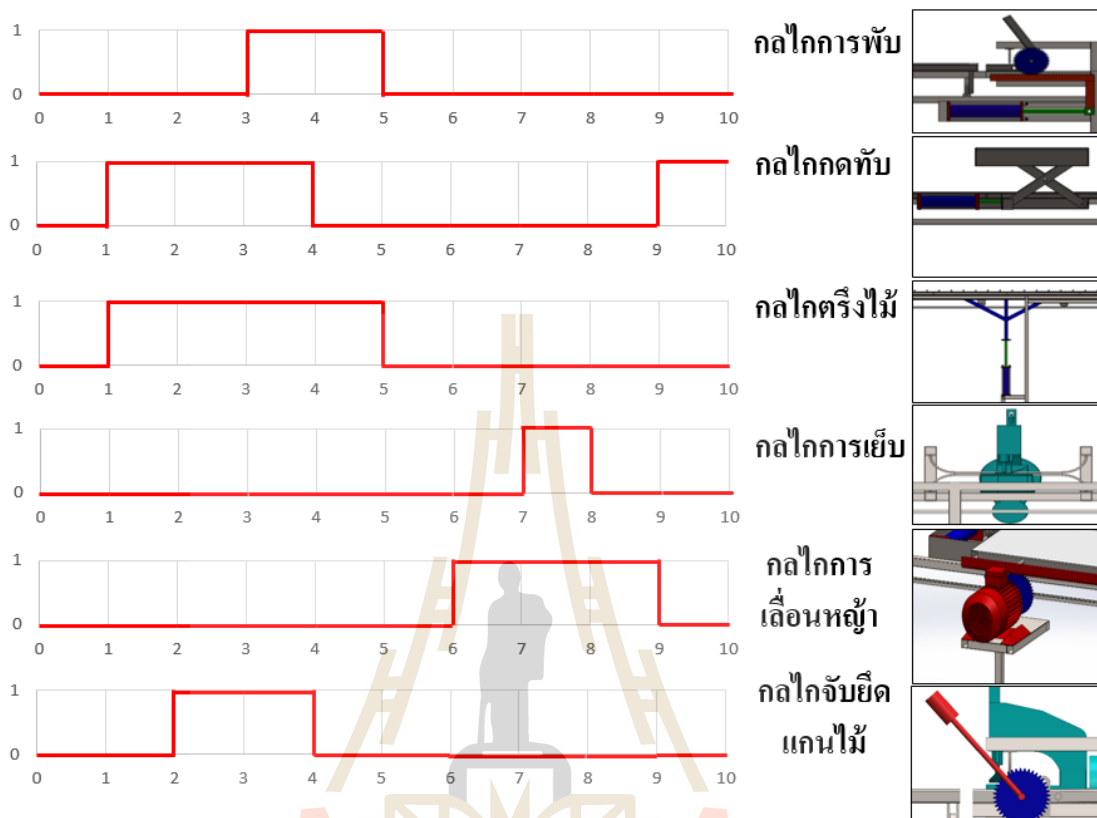
4) กลไกการเหยียบ กลไกนี้ใช้จักรเหยียบกระสอบรุ่น GK26-1A

5) กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า ถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า และการเคลื่อนที่เชิงเส้นของถาดจะถูกส่งผ่านด้วยกลไกเฟืองตรงและเฟืองบรรทัด (รูปที่ 3.3c)



รูปที่ 3.3 (a) กลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้ (b) กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่
(c) กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า

3.1.1.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร



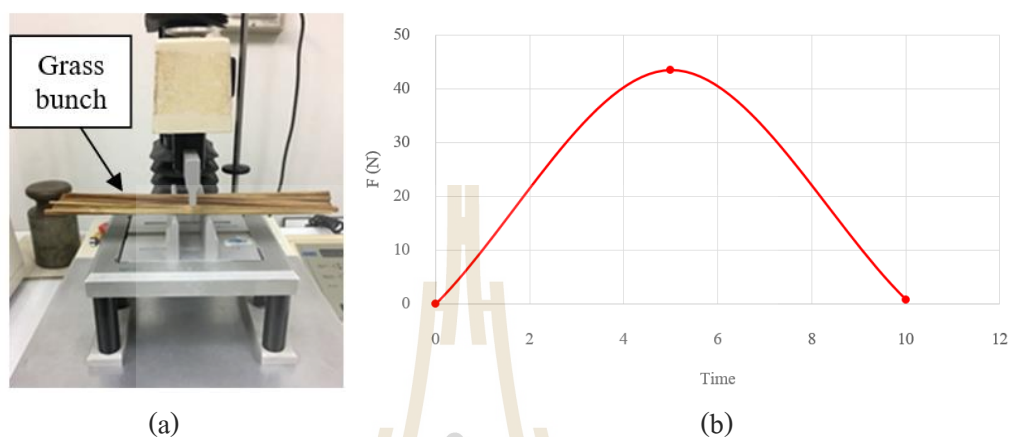
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

ลำดับขั้นตอนการทำงานของกลไกต่างๆถูกอธิบายโดยแผนผังในรูปที่ 3.4 ซึ่ง "0" และ "1" บนแกนแนวตั้งเป็นตำแหน่งที่ไม่ทำงานและตำแหน่งที่ทำงานของกลไกตามลำดับตำแหน่ง "1" บนแกนนอนเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานและตำแหน่ง "10" เป็นจุดสิ้นสุดสำหรับการสั่งงานตามลำดับสัญญาณป้อนกลับในแต่ละกลไก จะถูกใช้เพื่อควบคุมการทำงานของกระบอกสูบนิวแมติกส์และมอเตอร์ด้วยพีแอลซี (Programmable Logic Control, PLC)

3.1.2 การหาขนาดระบบส่งกำลัง

เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาคาที่ได้ออกแบบกลไกทำงานต่างๆและกำหนดประเภทต้นกำลังของกลไก (ตามหัวข้อ 3.2.3) แล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์หาขนาดของต้นกำลังโดยใช้คำสั่ง Motion studies ในโปรแกรม SolidWorks 2016 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ทดสอบสมบัติเชิงกลของหญ้าคาโดยใช้หญ้าคาทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เพื่อหาแรงคัต (รูปที่ 3.5) โดยแรงคัตนี้จะถูกใช้ในการคำนวณแรงบิดที่จำเป็นสำหรับกลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้



รูปที่ 3.5 (a) การทดสอบแรงคัตของหญ้าด้วยเครื่อง UTM (b) ผลการทดสอบ

2) ไฟล์ CAD ของเครื่องต้นแบบ (ไฟล์ SLDASM) ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks ได้ถูกวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน Motion studies เพื่อหาขนาดของแรงขับของแต่ละกลไก แรงภายนอก แรงโน้มถ่วง คุณสมบัติของวัสดุของส่วนประกอบทุกกลไกและข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนถูกระบุไว้ในฟังก์ชันสำหรับการคำนวณ วิธีนี้ใช้เวลาน้อยในการประมวลผล และให้ผลการคำนวณที่เหมาะสมซึ่งเท่ากับการคำนวณด้วยมือด้วยสมการ (1) ถึงสมการ (3) สำหรับค่าของตัวแปรที่เราสนใจ

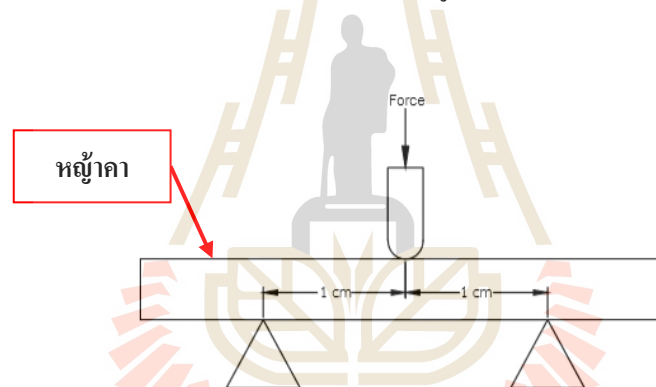
3) แรงขับของแต่ละกลไกที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะถูกนำไปใช้ในการหาขนาดของระบบส่งกำลังในเครื่องจักรโดยสมการ (2.1), สมการ (2.2) และสมการ (2.7)

จากการศึกษาการทำงานด้วยฟังก์ชัน Motion studies โปรแกรม SolidWorks โดยการระบุระยะและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแต่ละกลไก ซึ่งโปรแกรมจะวิเคราะห์หาแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเฉื่อยและแรงโน้มถ่วง ผลที่ได้มีดังนี้

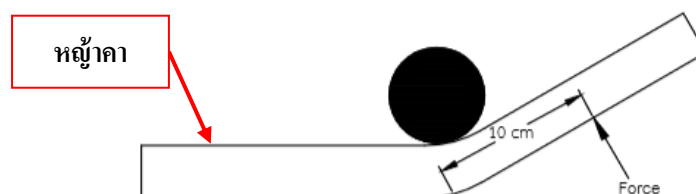
1) กลไกการพับรอยร้าวที่ขอบบนแกนไม้

จากการทดสอบหาแรงคัตของหญ้าคาด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ชนิดหัวกดแบบ Bending พบว่า แรงคัตสูงสุดในการคัตหญ้าคา 1 มัดเท่ากับ 43.5 N จากตารางที่ 2.1 ดับหญ้า 1 ดับประกอบด้วยหญ้าคาประมาณ 131 มัด ดังนั้นแรงคัตที่ใช้จะเท่ากับ 5,698.5 N

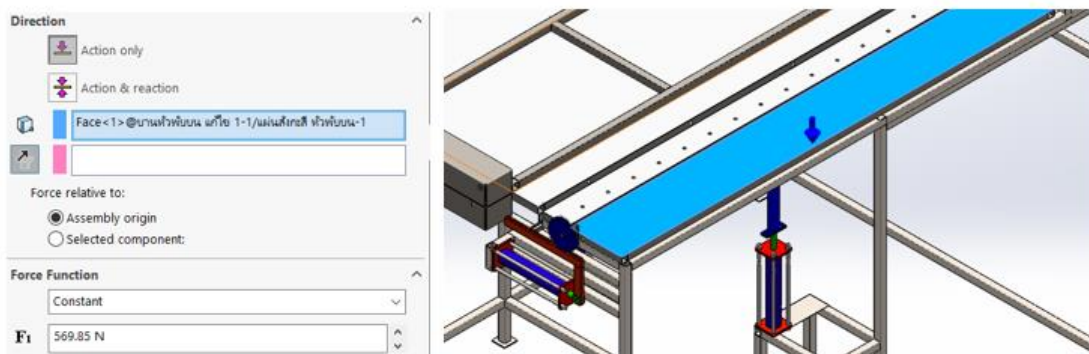
จากรูปที่ 3.6 เป็นตำแหน่งการทำงานของเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เพื่อหาแรงคัต ซึ่งเราสามารถคำนวณหา Bending moment ได้ 5,698.5 N·cm และจากรูปที่ 3.7 เป็นตำแหน่งการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ โดยเราสามารถนำค่า Bending moment ที่ได้ไปคำนวณหาแรงที่ต้องใช้จริงในการคัตหญ้าคาโดยกลไกที่ได้ออกแบบ จากการคำนวณแรงที่ต้องใช้จริงเท่ากับ 569.85 N จากแรงที่หาได้จะถูกนำไปใส่ค่าเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของกลไกการพับรอยร้าวที่ขอบบนแกนไม้ในคำสั่ง Motion Studies ตามรูปที่ 3.8



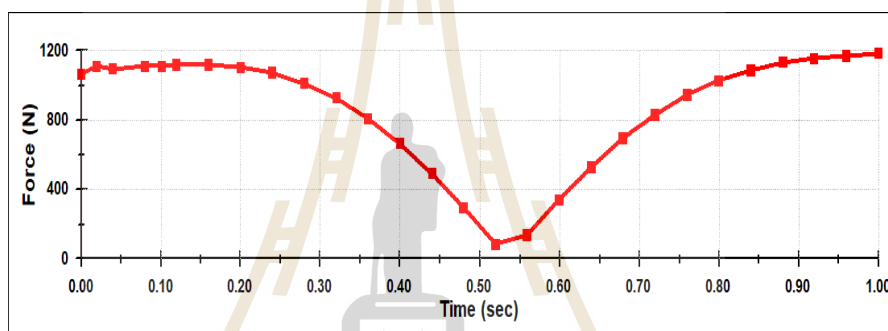
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการทำงานของเครื่อง Universal Testing Machine



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ



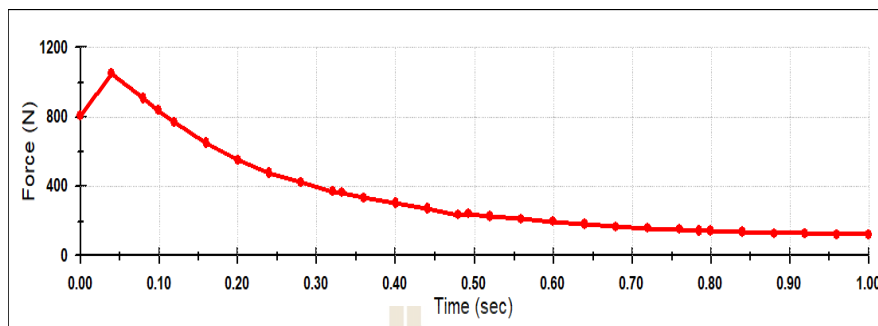
รูปที่ 3.8 การตั้งค่าแรงด้านการเคลื่อนที่ของกลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้

จากรูปที่ 3.9 ระยะการเคลื่อนที่ของกลไกนี้คือ 156 mm เท่ากับจังหวะช่วงชักของลูกสูบนิวแมติกส์ ในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ 1 s แรงสูงสุดที่จำเป็นสำหรับกลไกนี้คือ 1,200 N ซึ่งในขณะที่เวลา 0.55 s แรงที่ใช้มีค่าน้อยที่สุดเพราะในเวลาสั้นกลไกพับอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นของการเคลื่อนที่ของลูกสูบ สำหรับความดันลมอัด 6 bar ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่จำเป็นสำหรับกลไกนี้ คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 63 mm และต้องใช้อัตราการไหลลมเท่ากับ 29.16 liters/min

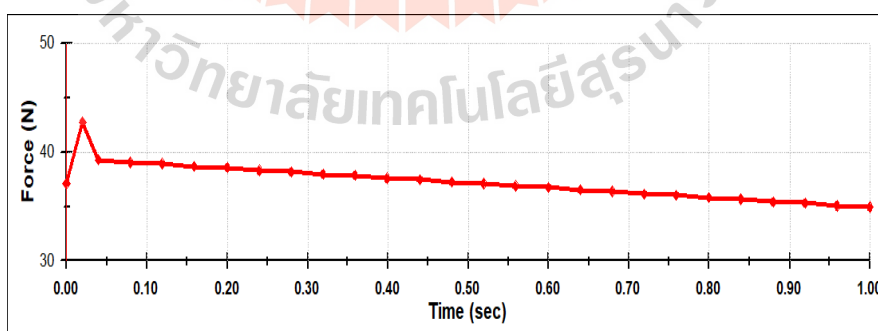
2) กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่

จากรูปที่ 3.10 ระยะการเคลื่อนที่ของกลไกนี้คือ 200 mm เท่ากับจังหวะช่วงชักของลูกสูบนิวแมติกส์ ในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ 1 s พบว่าแรงสูงสุดที่ต้องใช้ในการยกกลไกนี้คือ 1,100 N และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่จำเป็นสำหรับกลไกนี้คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 40 mm จำนวน 2 กระบอกและต้องใช้อัตราการไหลลมเท่ากับ 30.16 liters/min เมื่อความดันลมอัดเท่ากับ 6 bar

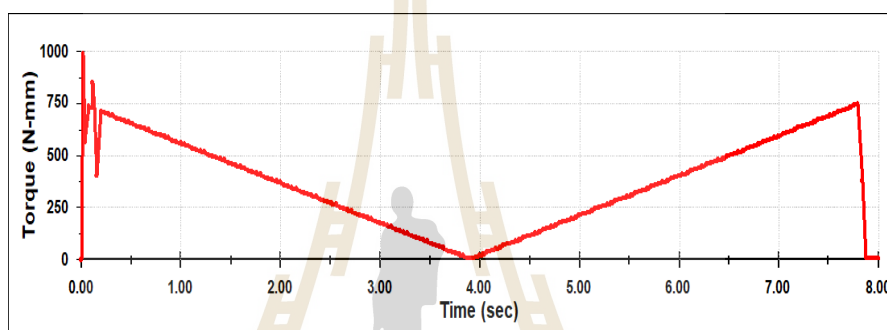
3) กลไกตรึงแกนไม้



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาของกลไกตรึงแกนไม้

จากรูปที่ 3.11 นิวแมติกส์การเคลื่อนที่ของลูกสูบคือ 100 mm และเวลาในการเคลื่อนที่คือ 1 s ในการเคลื่อนที่ของกลไก พบว่าแรงสูงสุดที่จำเป็นสำหรับกลไกนี้คือ 43 N ที่เวลา 0.025 s หลังจากนั้นแรงที่ใช้จะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่จำเป็นสำหรับกลไกนี้ คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 12 mm และต้องใช้อัตราการไหลลมเท่ากับ 0.66 liters/min เมื่อความดันลมอัดเท่ากับ 6 bar

4) กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาของกลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า

จากรูปที่ 3.12 ได้ทำการทดสอบตั้งค่าโดยให้เฟืองที่จับเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1,718.8 degree ต้องสอดคล้องกับความต้องการให้ดรัมหญ้าเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1.8 m ซึ่งเฟืองต้องเคลื่อนที่ได้ 4.77 รอบหรือ 1,718.8 degree โดยใช้เวลา 7.82 s (คำนวณเป็นความเร็วเชิงมุมได้เท่ากับ 3.83 rad/s) พบว่าแรงบิดสูงสุดที่ต้องใช้เพื่อให้กลไกนี้ทำงานเท่ากับ 1,000 N·mm และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแรงที่ใช้จะมีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่าน 4 s ไปแล้ว จากค่าที่ได้เราสามารถนำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าได้เท่ากับ 3.83 Watt ซึ่งเราเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 watt

3.2 เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุถุงหลังจากหญ้าคาที่พัฒนาขึ้น

3.2.1 เครื่องต้นแบบและหลักการทำงาน

เครื่องจักรต้นแบบได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบ และได้นำมาสร้างเครื่องต้นแบบ (รูปที่ 3.13) ซึ่งมีการทำงานดังนี้

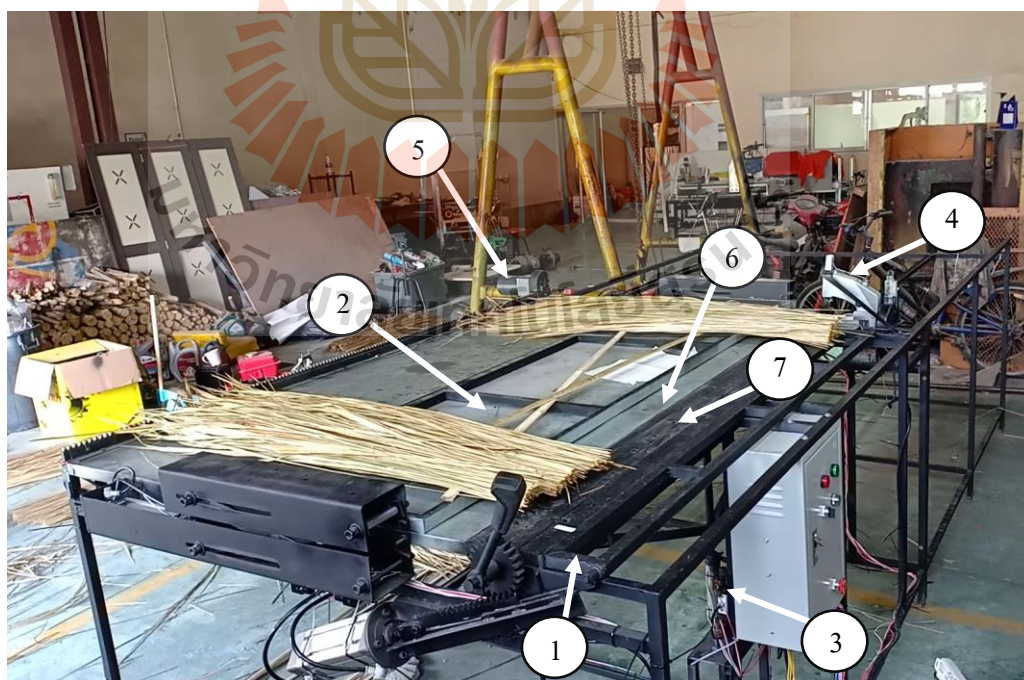
1) การทำงาน (รูปที่ 3.13) เริ่มต้นด้วยกลไกกดทับรายหญาให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2) และ กลไกตริงไม้ (หมายเลข 3) จะเลื่อนขึ้น เพื่อให้ทำการวางรายหญาคาไว้บนถาด (หมายเลข 6 ใน รูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14a) และจัดเรียงให้ได้ความหนาและขนาดตามต้องการ หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติจะวางก้าน ไม้บนรายหญาที่ตำแหน่ง หมายเลข 7 (รูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14b)

2) ดันคันโยกกลไกจับยึดไม้ (รูปที่ 3.14b) จับยึดไม้บนรายหญา (รูปที่ 3.14c) จากนั้นกลไกการพับ (หมายเลข 1 ใน รูปที่ 3.13) จะหมุนพับทบรายหญาให้หุ้มก้านไม้ (รูปที่ 3.14d)

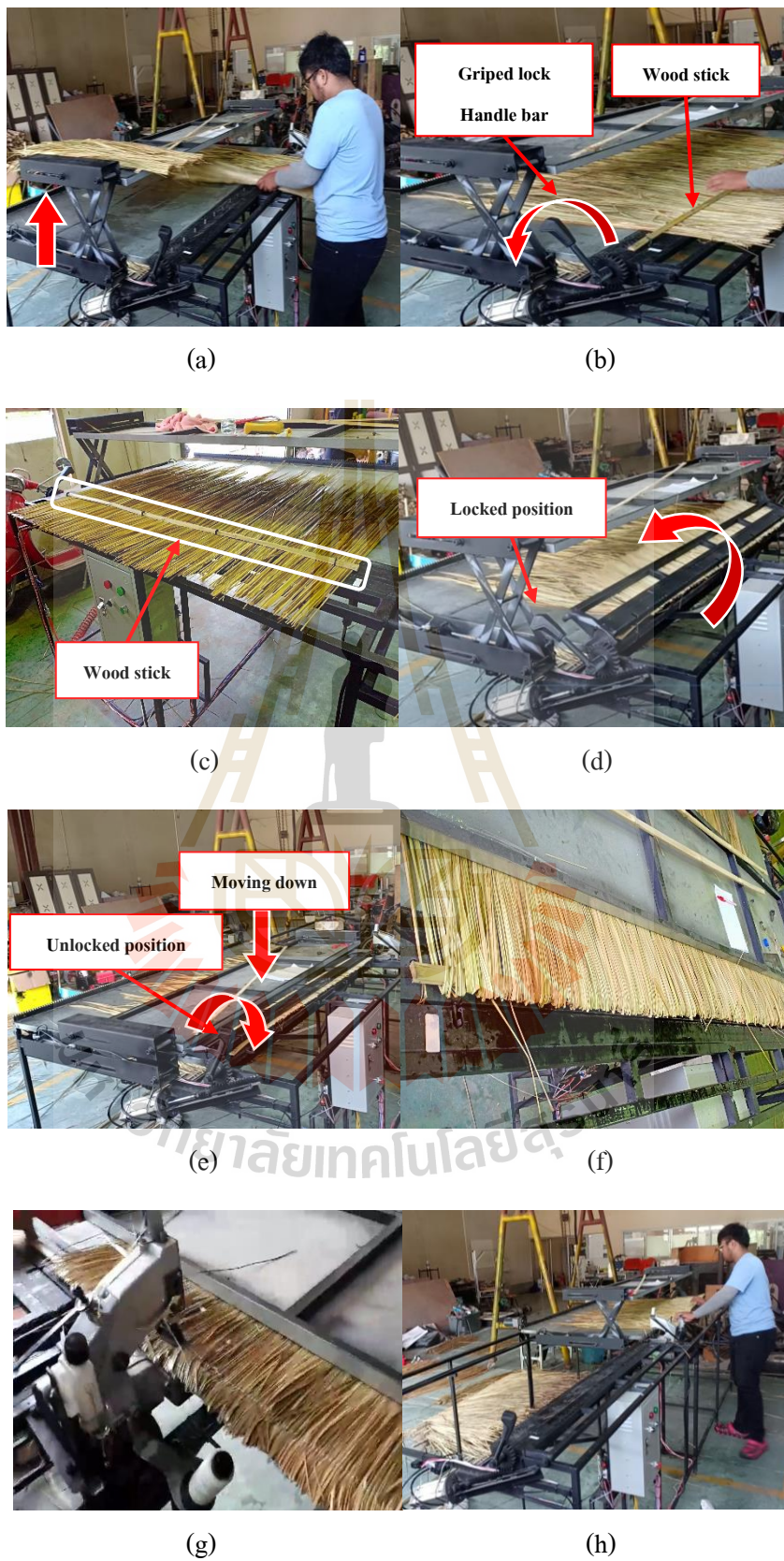
3) กลไกกดทับรายหญาให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2 ใน รูปที่ 3.13) จะเลื่อนลงเพื่อกด รายหญาที่พับแล้วและทำการดันคันโยกกลไกจับยึดไม้กลับตำแหน่งเดิม (รูปที่ 3.14e) หลังจากนั้น กลไกการพับและกลไกตริงไม้จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น (รูปที่ 3.14f)

4) ถาดจะเลื่อนและนำรายหญาที่พับทบบนก้านไม้แล้วเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า (หมายเลข 4 ใน รูปที่ 3.13) โดยมอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 5 ในรูปที่ 3.13) จักรเย็บไฟฟ้าจะเย็บทบ รายหญาให้ติดกัน (รูปที่ 3.14g) เมื่อเย็บเสร็จกลไกกดทับแผงหญาให้อยู่กับที่จะเลื่อนขึ้นเพื่อให้หยิบ ดับหญาสำเร็จออกมาได้ (รูปที่ 3.14h) จากนั้นขั้นตอนการผลิตนี้จะเสร็จสิ้น

5) หลังจากนั้นกลไกทั้งหมดจะย้ายกลับไปตำแหน่งเริ่มต้นและรอการ ดำเนินการการผลิตถัดไป



รูปที่ 3.13 เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคูกหลังจากหญาคาที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.14 หลักการทำงานของเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้น

3.2.2 กลไกของเครื่องจักร

การเคลื่อนที่และต้นกำลังขับเคลื่อนของกลไกต่างๆ มีการทำงานดังนี้ :

1) กลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้ใช้ต้นกำลังจากกระบอสูบนิวแมติกส์ขนาด 6.3 cm มีระยะชัก 15 cm กลไกทำงานจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยใช้กลไกเฟืองบรรทัดกับเฟืองฟันตรง (รูปที่ 3.15a)

2) กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอสูบนิวแมติกส์ขนาด 4 cm มีระยะชัก 20 cm จำนวน 2 กระบอกติดตั้งที่ขอบของถาดทั้งสองฝั่ง กลไกทำงานเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของกระบอสูบในแนวอนไปสู่การยกในแนวตั้ง โดยกลไก x-lift (รูปที่ 3.15b)

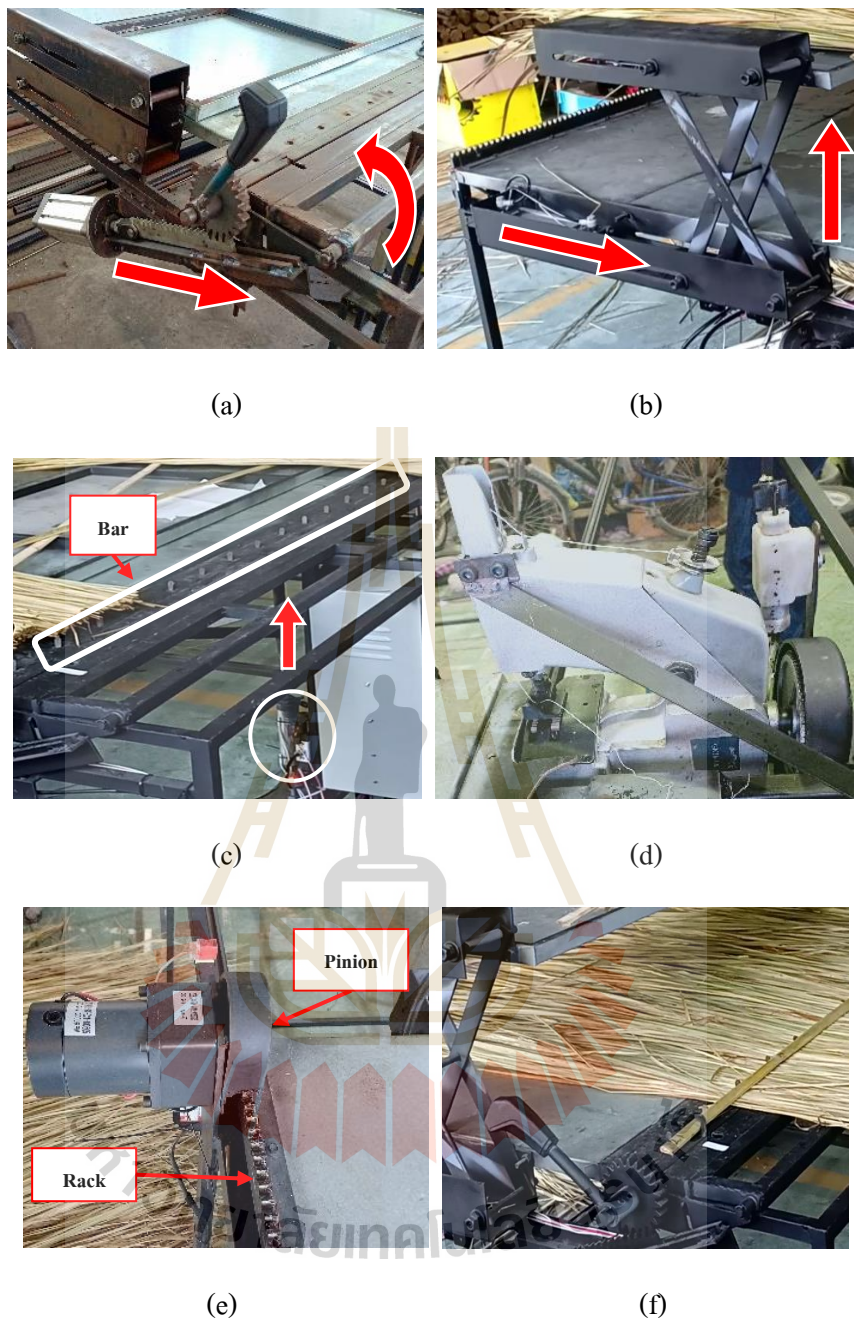
3) กลไกตรึงแกนไม้ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอสูบนิวแมติกส์ขนาด 3 cm มีระยะชัก 10 cm เพื่อยกบาร์เหล็กขึ้นเพื่อขวาง ไม้ไม่ให้เคลื่อนที่ (รูปที่ 3.15c)

4) กลไกการเขี่ย กลไกนี้ใช้จักรเขี่ยกระสอบรุ่น GK26-1A (รูปที่ 3.15d) ในการทำงาน

5) กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า ถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 W 24 V ด้วยความเร็ว 21 rpm และการเคลื่อนที่เชิงเส้นของถาดจะถูกส่งผ่านด้วยกลไกเฟืองตรงและเฟืองบรรทัด (รูปที่ 3.15e)

6) กลไกจับยึดไม้ เป็นกลไกที่ถูกเพิ่มเข้ามาตอนสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อช่วยผ่อนแรงในการจับยึดไม้ให้แน่นยิ่งขึ้น (รูปที่ 3.15f)

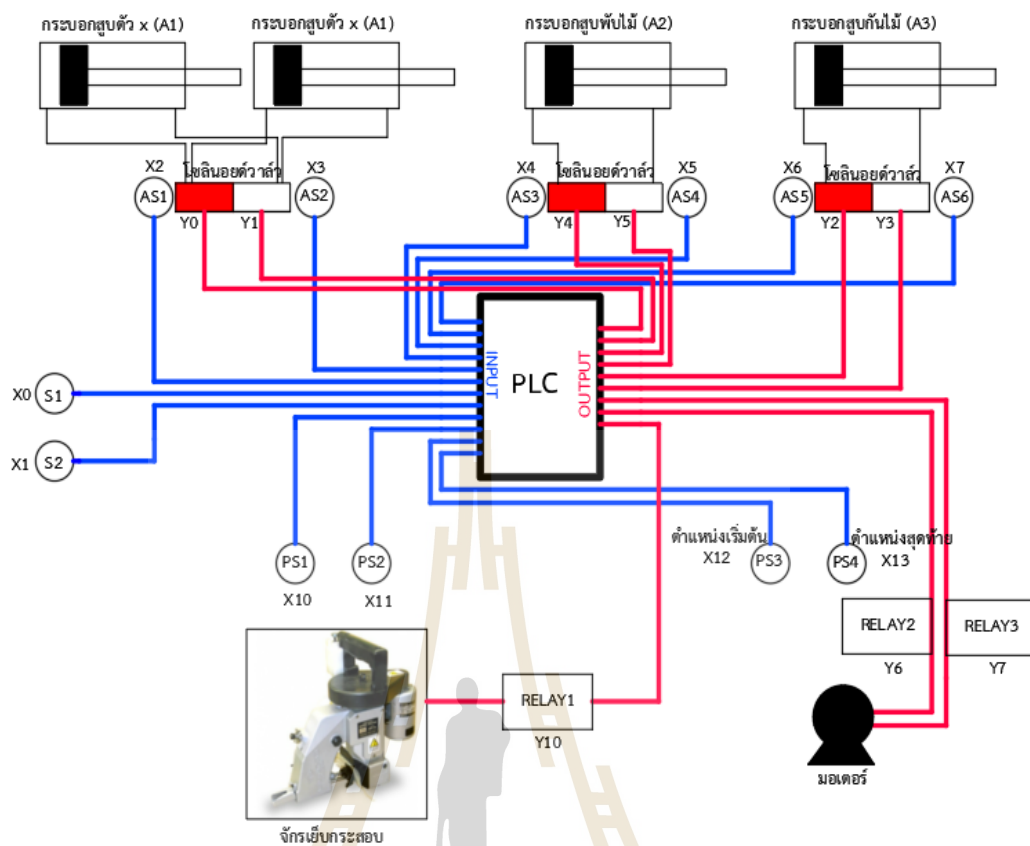
ลมอัดใช้ในการขับเคลื่อนกระบอสูบนิวแมติกส์และกลไกต่าง ๆ และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการเลื่อนถาดหญ้า ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วย PLC ระบบนิวแมติกส์ใช้ความดันที่ 6 bar และอัตราการไหลของลมอัด 59.98 liters/min ซึ่งเป็นไปตามที่ (กฤษฎา และคณะ, 2661) ได้นำเสนอไว้แล้ว



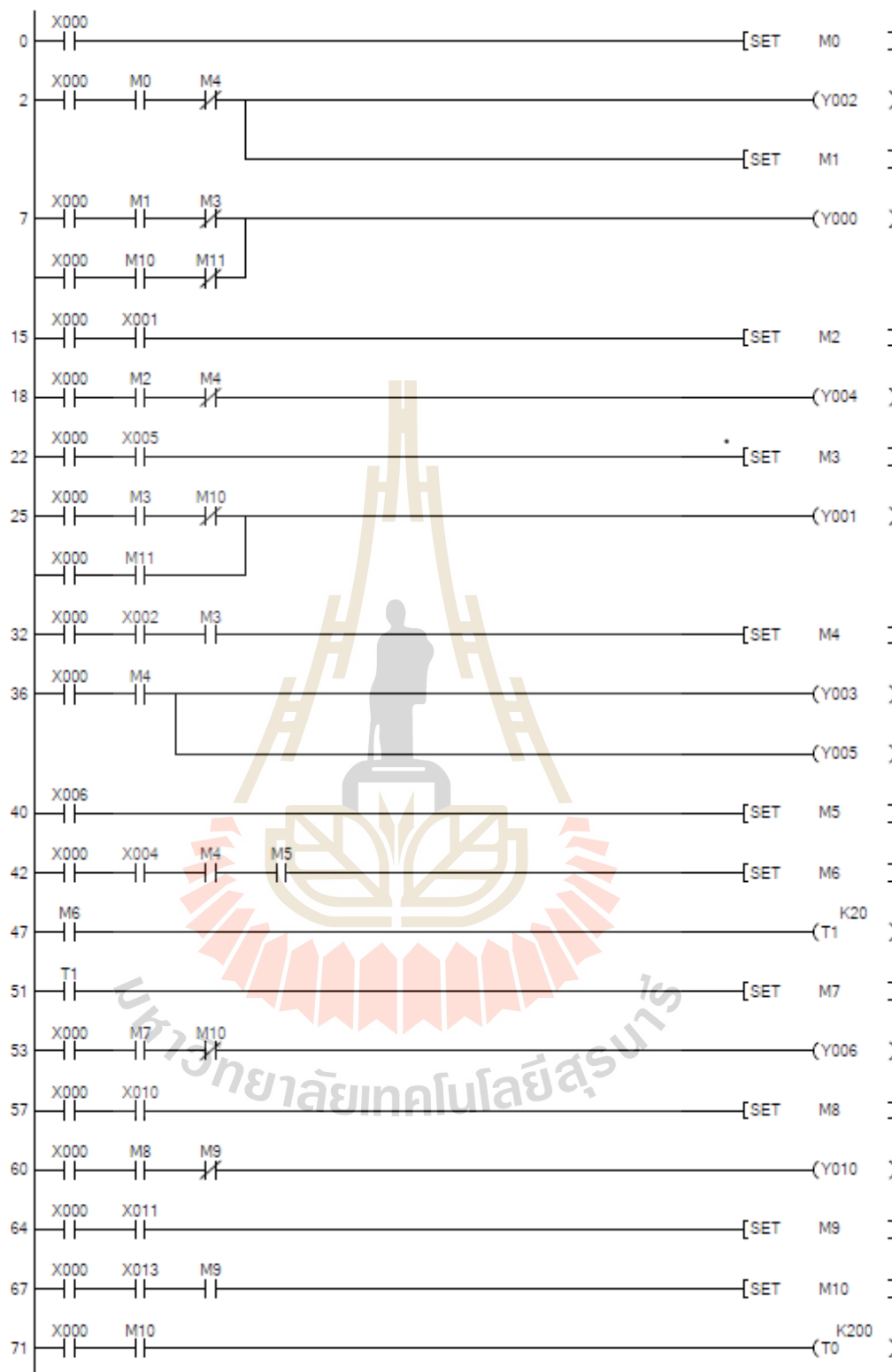
รูปที่ 3.15 (a) กลไกการพับรายหญ้า (b) กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (c) กลไกตรงแกนไม้
(d) กลไกการเย็บ (e) กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า และ (f) กลไกจับยึดไม้

3.2.3 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

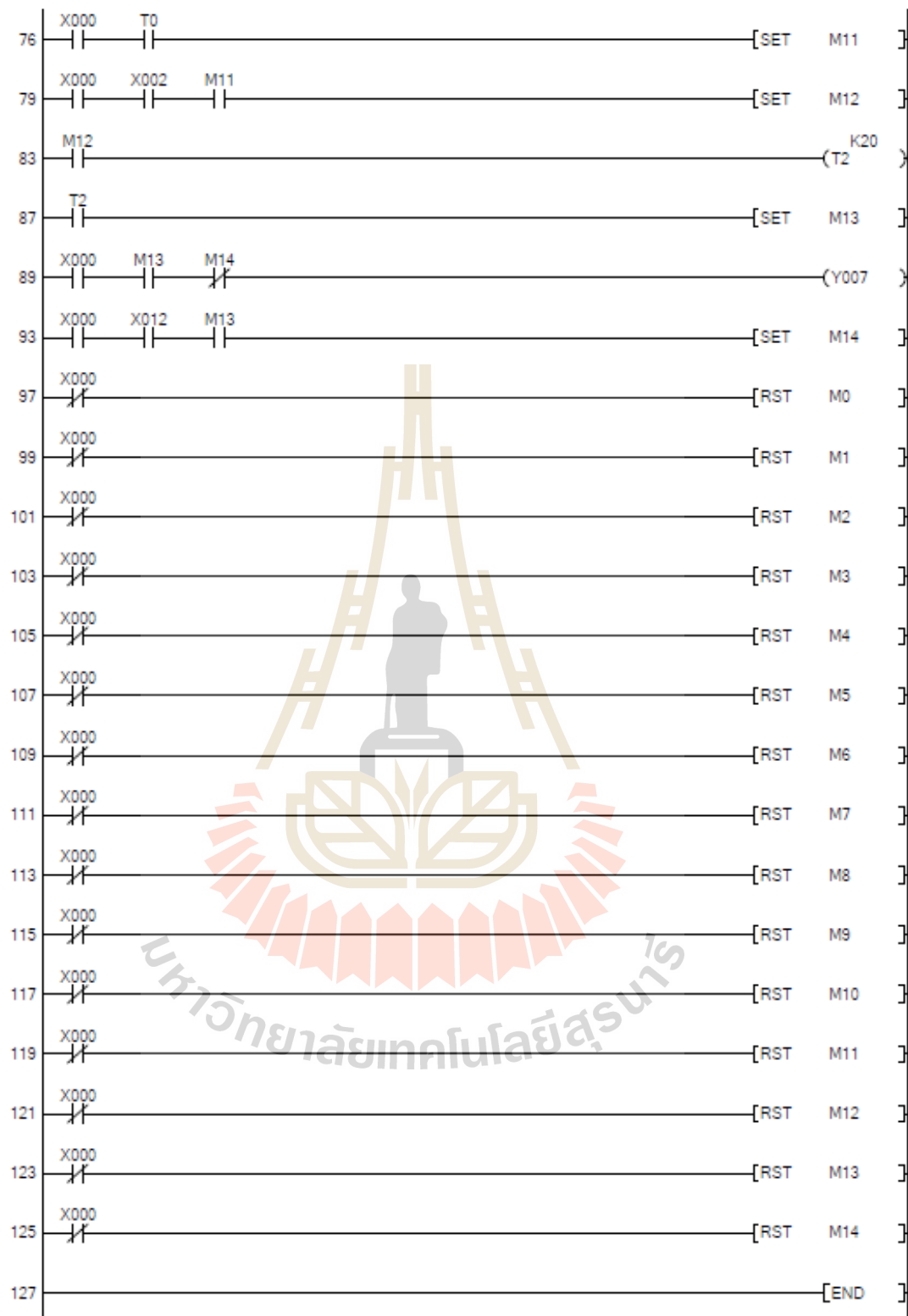
ระบบควบคุมการทำงานใช้ PLC Mitsubishi รุ่น FX3S30MTDSS ในการควบคุมระบบเนื่องจากมีข้อดีคือง่ายต่อการใช้งานและมีความคงทนต่อสภาวะการใช้งาน เราได้ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติไว้ดังรูปที่ 3.4 โดย Output ทำหน้าที่นำค่าที่ประมวลผลได้ไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ แทนด้วยสัญลักษณ์ “Y” มีทั้งหมด 9 Output ประกอบด้วย Y0, Y1 ใช้ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วของกลไกกดทับรายหล้าให้อยู่กับที่ Y2, Y3 ใช้ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วของกลไกตรงแกนไม้ Y4, Y5 ใช้ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วของกลไกการพับรายหล้าทบบนแกนไม้ Y6, Y7 ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์ 2 ตัวของมอเตอร์เพื่อที่สามารถสั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ และ Y10 ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์ 2 ตัวของจักรเย็บไฟฟ้า และ Input ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์เพื่อนำไปประมวลผล แทนด้วยสัญลักษณ์ “X” มีทั้งหมด 12 Input ประกอบด้วย X0, X1 ใช้รับสัญญาณจากสวิทช์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร โดยสวิทช์ 1 ใช้ในการเปิด-ปิดเครื่องจักร สวิทช์ 2 ใช้ในการเริ่มการทำงานในขั้นตอนถัดไปหลังจากขั้นตอนการเรียงหล้าและวางไม้เสร็จแล้ว X2, X3 ใช้รับสัญญาณจาก Auto Switch ที่ติดกับกระบอสูบของกลไกกดทับรายหล้าให้อยู่กับที่ X4, X5 ใช้รับสัญญาณจาก Auto Switch ที่ติดกับกระบอสูบของกลไกการพับรายหล้าทบบนแกนไม้ X6, X7 ใช้รับสัญญาณจาก Auto Switch ที่ติดกับกระบอสูบของกลไกตรงแกนไม้ X10 X11 ใช้รับสัญญาณจาก Proximity Switch 2 ตัวที่ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์เพื่อเปิด-ปิดจักรเย็บไฟฟ้า X12 X13 ใช้รับสัญญาณจาก Proximity Switch 2 ตัวที่ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์เพื่อเปิด-ปิดมอเตอร์ จากแผนผังขั้นตอนการทำงาน (รูปที่ 3.16) และแผนผังอุปกรณ์ระบบควบคุมอัตโนมัติ เราสามารถเขียน โปรแกรมการทำงานของระบบอัตโนมัติได้ดังรูปที่ 3.17 ด้วยโปรแกรม GX Works2



รูปที่ 3.16 แผนผังอุปกรณ์ระบบควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.17 ชุดคำสั่งการทำงานระบบอัตโนมัติของเครื่องจักร



รูปที่ 3.17 (ต่อ) ชุดคำสั่งการทำงานระบบอัตโนมัติของเครื่องจักร

3.3 ตัวอย่างวัสดุทดสอบ

3.3.1 หล้าคาแห้งที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะใช้หล้าคา (รูปที่ 3.18) ที่ได้รับจากกลุ่มพนมรุ่งหญ้าคา อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างหล้าคาแห้งที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2 ไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะใช้ไม้ไผ่ที่ผ่านการชุบน้ำยากันมอด (รูปที่ 3.19) ได้รับจากกลุ่มพนมรุ่งหญ้าคา อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.3 ด้ายที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะใช้ด้ายในลอน เบอร์ 210/12 แทนการใช้ด้ายเย็บกระสอบ เพราะมีความเหนียวและคงทนมากกว่า

3.3.4 หล้าคาแห้งที่ต้องเตรียมก่อนการทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบการผลิตดัดหญ้าในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตดัดหญ้าตามน้ำหนักหญ้าแห้ง ซึ่งต้องมีการเตรียมหญ้าสำหรับการทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) นำหล้าคาแห้งมาชั่งน้ำหนักและแบ่งเป็นมัด (รูปที่ 3.20a) โดยจะทดสอบการผลิตแบ่งตามน้ำหนักแห้งของหล้าคาเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg
- 2) ทำการมัดด้วยเชือกไว้เพื่อง่ายต่อการเคลื่อนย้าย (รูปที่ 3.20b)
- 3) ก่อนนำมาทดสอบควรนำมัดหญ้าไปพรมน้ำก่อนเพื่อป้องกันหญ้าบาดมือ ง่ายต่อการเรียงหญ้า และป้องกันการหักของหญ้าในขั้นตอนการพับหญ้าของเครื่อง



(a)

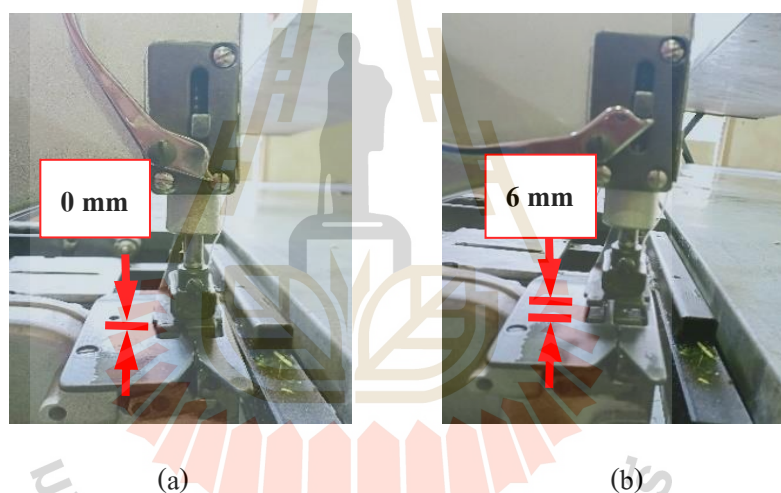
(b)

รูปที่ 3.20 การเตรียมหญ้าก่อนการทดสอบ

3.4 การทดสอบการผลิตดับหญ้า

ในการทดสอบจะแบ่งตามน้ำหนักแห้งของหญ้าต่อตบเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg และทดสอบตามลักษณะดินผิของจักรเย็บกระสอบโดยจะแบ่งเป็นดินผิแบบชิด (ระยะห่าง 0 mm) และดินผิแบบห่าง (ระยะห่าง 6 mm) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถปรับได้ของจักรเย็บไฟฟ้า (รูปที่ 21) ทำการทดสอบขั้นต้นที่การผลิตหญ้าน้ำหนักต่อตบ 0.6 kg และ 0.8 kg เพื่อตัดสินใจเลือกระยะห่างของดินผิที่เหมาะสมโดยทดสอบผลิตจำนวน 10 ชัน ต่อสภาวะการทดสอบ ระยะห่างดินผิที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการผลิตดับหญ้าที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อไป

ในการทดสอบมีการจับเวลาในการผลิตในแต่ละตบด้วยนาฬิกาจับเวลา และตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตในแต่ละตบด้วยวัตต์มิเตอร์ 3,000 วัตต์ รุ่น D02A (รูปที่ 3.22) ตบหญ้าที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามหัวข้อ 3.5



รูปที่ 3.21 (a) ดินผิแบบชิด (b) ดินผิแบบห่าง



รูปที่ 3.22 วัตต์มิเตอร์

3.5 คุณภาพของตับหญ้าที่ผลิตได้

ตับหญ้าที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังนี้

- 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป
- 2) แนวพับของตับหญ้าเอียง
- 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์
- 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ
- 5) เย็บไม่สำเร็จ
- 6) ค้ำขาด
- 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ

การวิเคราะห์คุณภาพของตับหญ้า จะแบ่งคุณภาพของตับหญ้าออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) ตับหญ้าสมบูรณ์ 2) ตับหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ (ปัญหา 1-4) และ 3) ตับหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ (ปัญหา 5-7)

3.6 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน โดยจะทดสอบนำตับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาและใช้หัวฝักบัวรดน้ำในการจำลองแทนน้ำฝน (รูปที่ 3.23) ในการทดสอบจะมีการแปรค่าระยะห่างระหว่างก้าน ไม้ของตับหญ้าออกเป็น 20 cm และ 15 cm (รูปที่ 3.24) และค่ามุมเอียงของหลังคา (รูปที่ 3.25) ออกเป็น 10.5 องศา และ 17.35 องศา ซึ่งเป็นมุมเอียงที่น้อยกว่ามุมเอียงของหลังคาที่นิยม (45 องศา) ในการทดสอบจะใช้การรดน้ำด้วยหัวฝักบัวใส่หลังคาเป็นเวลา 30 min ด้วยอัตราการไหลเทียบกับหน่วยวัดปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 60 mm/min เพื่อพิจารณาการรั่วซึมของน้ำผ่านหลังคาที่ใช้ตับหญ้าที่ผลิตได้กับตับหญ้าจากท้องตลาด



รูปที่ 3.23 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน



รูปที่ 3.24 ระยะห่างระหว่างก้านไม้ของทับหญ้า



รูปที่ 3.25 มุมเอียงของหลังคาที่ใช้ในการทดสอบ

3.7 การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์

การทดสอบการนำความร้อน โดยจะทดสอบนำดับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาที่ระยะห่างกัน 20 cm และมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 10.5 องศา (รูปที่ 3.26) ปล่อยให้ได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น. และทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านใต้ของหลังคา ด้วย IR Thermometer รุ่น DT-300 (รูปที่ 3.27) และวัดค่าความเข้มแสง โดยใช้ Solar power meter ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-206 (รูปที่ 3.28) ในการวัดบันทึกค่าทุกๆ 1 ชม. เปรียบเทียบผลการทดสอบจากหลังคาที่ใช้ดับหญ้าที่ผลิตได้กับดับหญ้าจากท้องตลาด



รูปที่ 3.26 การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.27 เครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคา



รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

3.8 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ใช้ระยะห่างของดินฝักรั้วไฟฟ้าและน้ำหนักร้อยที่ให้คุณภาพการผลิตที่ดีที่สุดมาใช้ในการทดสอบผลิตด้วยแบบต่อเนื่องจำนวน 40 ตับ วิเคราะห์คุณภาพของด้วยตามข้อ 3.5 และคำนวณหา ประสิทธิภาพการผลิต ความสามารถในการทำงาน และความสิ้นเปลืองพลังงาน

3.8.1 ประสิทธิภาพการผลิต

ความสามารถในการผลิตได้ด้วยที่สามารถนำไปใช้งานได้ของเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาคา ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตเท่ากับจำนวนด้วยที่มีคุณภาพดีเทียบกับจำนวนด้วยทั้งหมดที่ผลิตได้ ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Number of Good product}}{\text{Number of total product}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.8.2 ความสามารถในการทำงาน

ความสามารถการผลิตด้วยเทียบกับเวลาในการผลิตของเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาคา ซึ่งความสามารถในการทำงานเท่ากับจำนวนด้วยทั้งหมดที่ผลิตได้เทียบกับเวลาที่ใช้ในการผลิต ดังสมการที่ (3.2)

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Number of product}}{\text{Time (hour)}} \quad (3.2)$$

3.8.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตขั้นสุดท้ายของเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ สำหรับผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญาคา ซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตขั้นสุดท้ายเทียบกับจำนวนขั้นสุดท้ายทั้งหมดที่ผลิตได้ ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{Specific energy consumption} = \frac{\text{Total energy (kW} \cdot \text{h)}}{\text{Number of total product}} \quad (3.3)$$

3.9 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม คือ การนำเอาเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรม เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่กับงานวิศวกรรมอย่างประหยัดหรือใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ไพบูลย์ เข้มเฟื่อน, 2546) เราทำการวิเคราะห์ผลดังนี้

3.9.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost : FC) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost : VC)

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost: FC) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการผลิตขั้นสุดท้ายคา ต่อตัว สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.4)

$$AC = FC + VC \quad (3.4)$$

โดยที่ AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง)} \quad De = \frac{(Pr - S)}{LT} \quad (3.5)$$

$$\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน} \quad R = \frac{(Pr + S)}{2} \times i \quad (3.6)$$

โดยที่ Pr = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องผลิตวัสดุคุมงหลังจากจากหญ้าคา (บาท)
 LT = อายุการใช้งานเครื่อง ≈ 10 ปี
 S = ราคาซากเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = $0.1 * P$ (บาท)
 De = ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)
 R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)
 I = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.7)

$$VC = \text{ค่าจ้างแรงงาน (WC)} + \text{ค่าไฟฟ้า (EC)} + \text{ค่าบำรุงรักษา (MC)} \quad (3.7)$$

3.9.2 จุดคุ้มทุน

จุดคุ้มทุน คือ ระดับของยอดขายที่เท่ากับค่าใช้จ่ายทั้งหมด ซึ่งก็คือจุดที่ไม่มีผลกำไรหรือขาดทุนนั่นเอง จุดคุ้มทุนของเครื่องผลิตวัสดุคุมงหลังจากจากหญ้าคาสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.8)

$$N^* = \frac{FC}{p - v} \quad (3.8)$$

โดยที่ N^* = ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี
 FC = ต้นทุนคงที่
 p = กำไรต่อหน่วย
 v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

3.9.3 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด โครงการใดที่มีระยะเวลาลงทุนยิ่งสั้นยิ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นๆ ได้ ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย (simple payback period) ซึ่งเป็นวิธีคิดง่ายๆ โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.9)

$$PBP = \frac{Pr}{Pe} \quad (3.9)$$

$$Pe = R - AC \quad (3.10)$$

โดยที่ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
Pr = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
Pe = กำไร (บาท/ปี)
R = รายได้ (บาท/ปี)
AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ปี)



บทที่ 4

ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึง การทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ ผลการศึกษาการทดสอบผลิตต้นหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาคาที่พัฒนาขึ้น การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง และการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมได้ดังต่อไปนี้ ซึ่งได้ผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ

4.1.1 การทดสอบการทำงานของกลไกก่อนเข้าจักรเย็บไฟฟ้า

กลไกนี้ประกอบด้วยพูลเลย์และแผ่นเหล็กดังรูปที่ 4.1 โดยพูลเลย์ได้ออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้ต้นหญาเลื่อนเข้าหาจักรเย็บไฟฟ้า ส่วนแผ่นเหล็กออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่กดต้นหญาให้บางลงก่อนเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า แต่เมื่อทดสอบการทำงานพบว่ากลไกนี้ทำให้ต้นหญาที่เคลื่อนเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้าเกิดการติดขัด (รูปที่ 4.2) เนื่องจากกลไกนี้ไม่มีการเคลื่อนที่ทำให้เป็นการสร้างแรงเสียดทานให้กับต้นหญาแทน เราจึงได้นำกลไกนี้ออก (รูปที่ 4.3) และเมื่อทำการทดสอบอีกรอบปรากฏว่าต้นหญาสามารถเคลื่อนผ่านได้และทำการเย็บด้วยจักรเย็บไฟฟ้าได้



(a)

(b)

รูปที่ 4.1 (a) กลไกก่อนหญา (b) ลูกกลิ้งสำหรับกดรายหญาให้บางลง



รูปที่ 4.2 การติดตั้งของดัดหน้าที่ยบริเวณกลไกป้อนหน้า

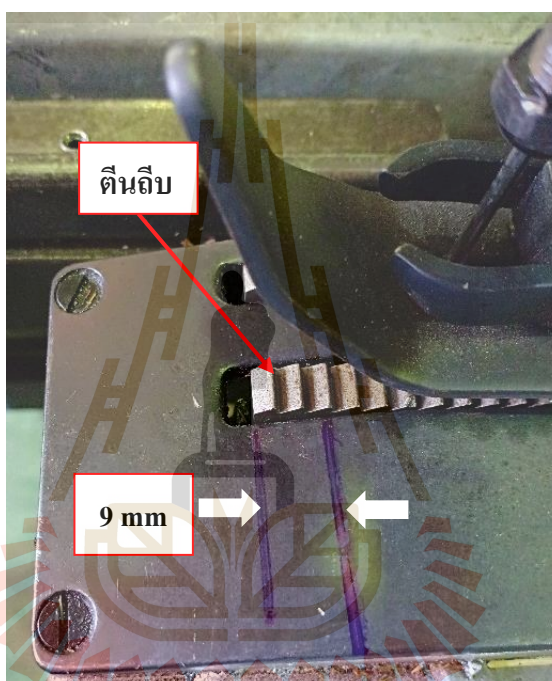


รูปที่ 4.3 เครื่องจักรต้นแบบหลังนำกลไกป้อนหน้าออก

4.1.2 การทดสอบหาความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า

ทดสอบเพื่อหาความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการดันถาดเลื่อนที่มีดัดหน้าเพื่อป้อนหน้าให้มีความเร็วสอดคล้องกับความเร็วของการเย็บของจักรเย็บไฟฟ้า โดยจักรเย็บไฟฟ้าทำงาน 1 รอบ ดินถีบสามารถเคลื่อนที่ได้ 0.9 cm (รูปที่ 4.4) จักรเย็บไฟฟ้าทำงานด้วยความเร็ว 1,728 rpm ดังนั้นความเร็วของถาดเลื่อนต้องเท่ากับความเร็วของดินถีบเท่ากับ $1,728 \times 0.009 = 15.552 \text{ m/min}$ และเมื่อนำไปคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ 72.334 rpm แต่

เมื่อเราทดสอบการผลิตดับหญ้าที่ความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 72 rpm พบว่าถาดเลื่อนมีความเร็วมากเกินไปจักรเย็บไฟฟ้าไม่สามารถเย็บดับหญ้าได้ทัน ดังนั้นเราจึงทดลองโดยการสุ่มหาค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการผลิตดับหญ้า จากการทดสอบพบว่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงประมาณ 20-25 rpm แสดงว่าดินถีบของจักรเย็บไฟฟ้ามีการทำงานแบบลื่นไถล คือในการทำงานจักรเย็บฟ้า 1 รอบ ดินถีบไม่ได้ดันดับหญ้าไปข้างหน้าด้วยระยะ 0.9 cm



รูปที่ 4.4 ระยะการเคลื่อนที่ของดินถีบ

4.1.3 การทดสอบเย็บดับหญ้า

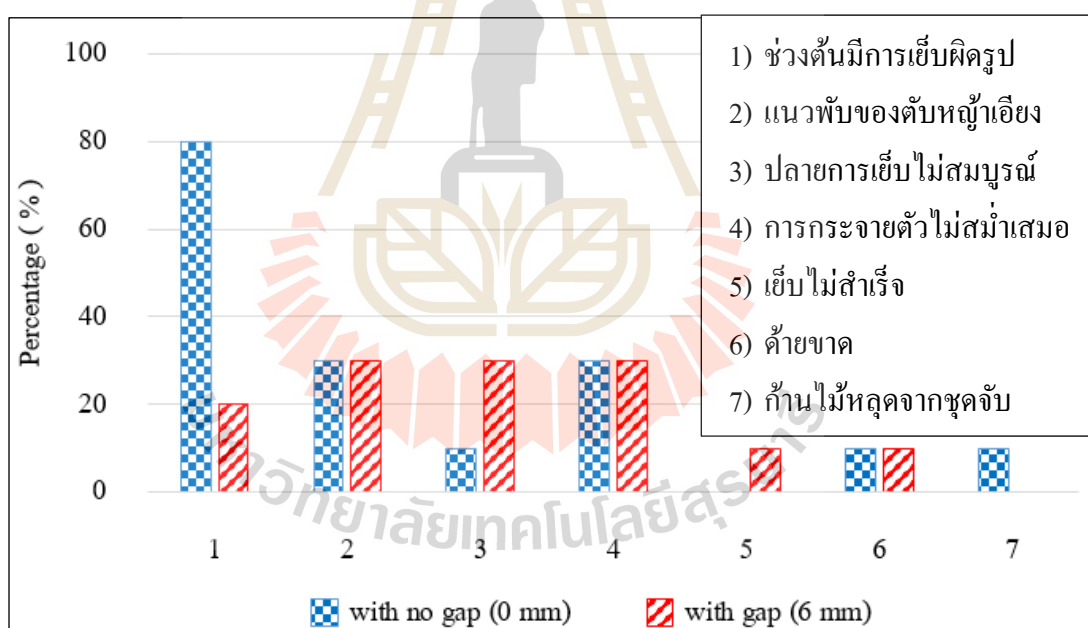
ในการเย็บดับหญ้าเราใช้ด้ายเย็บกระสอบในการทดสอบในช่วงแรกแต่พบปัญหาด้ายขาดเนื่องจากในการเย็บดับหญ้า ด้ายเย็บกระสอบไม่สามารถทนแรงดึงได้ เราจึงเปลี่ยนมาใช้ด้ายไนลอนแทนในการทดสอบเราได้ใช้ด้ายไนลอนขนาดต่าง ๆ จนได้ขนาดของด้ายไนลอนที่สามารถนำมาใช้แล้วพบปัญหาน้อยที่สุด คือ ไนลอน เบอร์ 210/12

4.2 การทดสอบผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุถมหลังคาจากหญ้าคาที่พัฒนาขึ้น

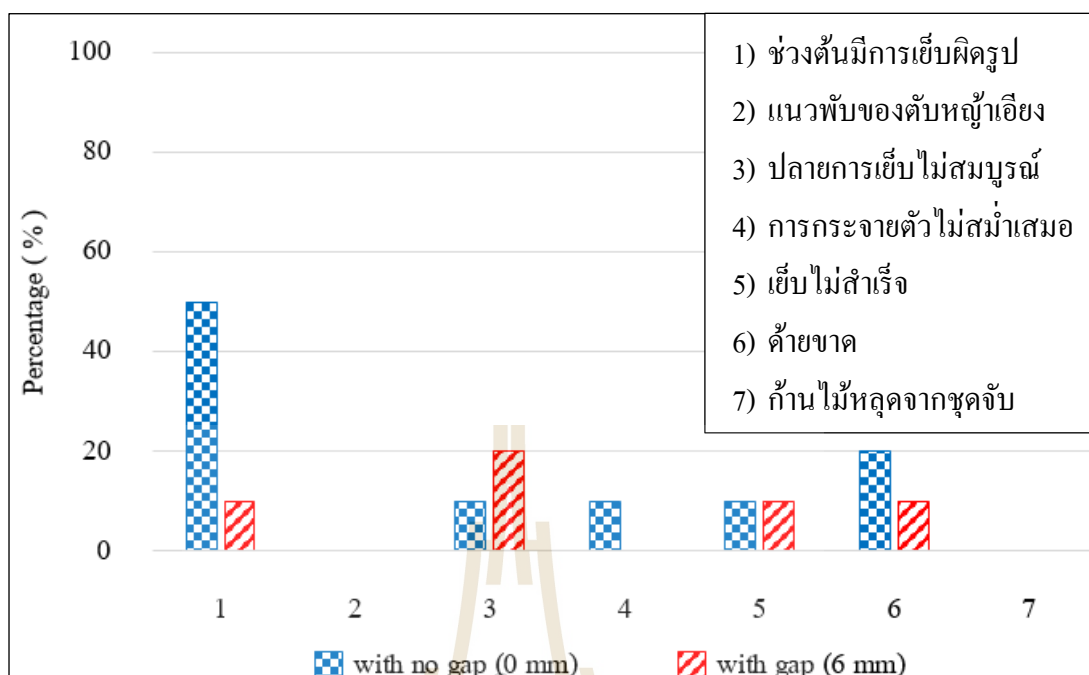
การทดสอบจะใช้หญ้าคาแทนเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันมากและหาได้ง่ายในท้องถิ่นที่ดำเนินการวิจัย โดยจะทดสอบการผลิตแบ่งตามน้ำหนักแห้งของหญ้าเป็น 0.6, 0.8 และ 1.0 kg และทดสอบตามลักษณะดินผิของจักรเย็บกระสอบ โดยจะแบ่งเป็นดินผิแบบชิด (ระยะห่าง 0 mm) และดินผิแบบห่าง (ระยะห่าง 6 mm) ทำการทดสอบนำ (Pilot test) ที่การผลิต 0.6 kg และ 0.8 kg เพื่อตัดสินใจเลือกระยะห่างของดินผิที่เหมาะสมโดยทำซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ ต่อ 1 การทดสอบ ระยะห่างดินผิที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการผลิตตบหญ้าที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อไป

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของตบหญ้า

ตบหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องจักรต้นแบบ เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขในหัวข้อ 3.4 ได้ผลตามรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

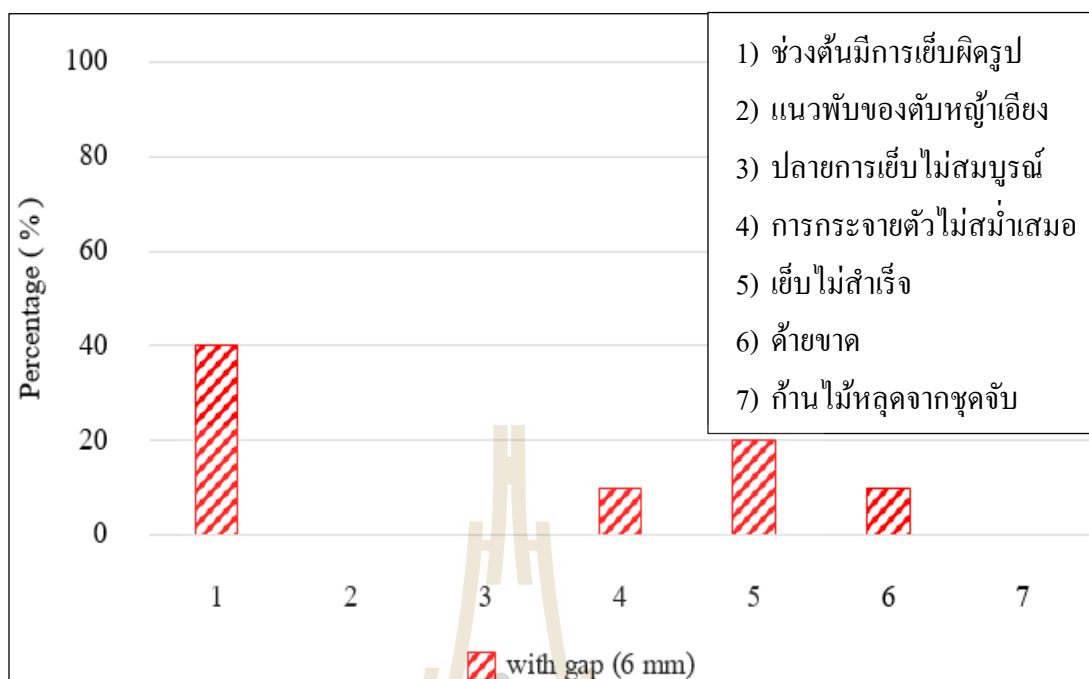


รูปที่ 4.5 คุณภาพการผลิตตบหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg



รูปที่ 4.6 คุณภาพการผลิตตบหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg

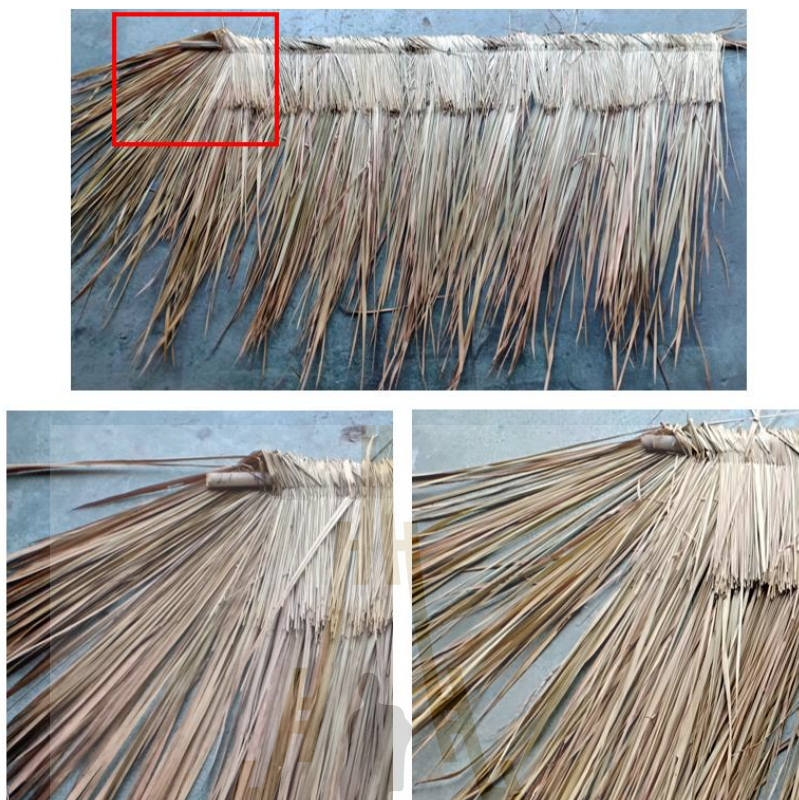
จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า ปัญหา 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ค้ายขาด 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ ปัญหา 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และ 2) แนวพับของตบหญ้าเอียงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตตบหญ้าที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg และ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปจะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตตบหญ้าที่มีดินฝีบแบบชนิดและเกิดมากขึ้นเมื่อทดสอบผลิตที่น้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้น จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยเพิ่มโดยการเพิ่มน้ำหนักหญ้าแห้งเป็น 1.0 kg และปรับดินฝีบแบบห่าง เพื่อให้ได้ตบหญ้าใกล้เคียงกับน้ำหนักตบหญ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้ผลตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 คุณภาพการผลิตคับหญ้าของเครื่องจักรต้นแบบที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 1.0 kg

จากทดลองผลิตคับหญ้าที่น้ำหนักแห้งของหญ้ายาคา 1.0 kg ดินพีแบบห่าง พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการเย็บลักษณะดินพีแบบห่างคือ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป เพราะว่าเมื่อน้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้คับหญ้ามีความหนาเพิ่มขึ้น คับหญ้าจึงวิ่งผ่านช่องว่างของการเย็บได้ยากขึ้น จากปัญหาและผลการทดสอบที่ได้ทำให้ทราบว่า การทดลองที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg ดินพีแบบห่าง สามารถผลิตคับหญ้าได้สมบูรณ์ดีที่สุด โดยลักษณะปัญหาและสาเหตุมีดังนี้

1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป (รูปที่ 4.8) รอยเย็บเอียงที่ช่วงต้นของคับหญ้าเกิดจากขณะที่คับหญ้าวิ่งเข้าสู่จักรเย็บ ดินพีจะพยายามยกตัวขึ้นเพื่อกดคับหญ้าในจังหวะนี้จักรเย็บจะเย็บหญ้าในส่วนด้านล่างของคับหญ้าก่อนทำให้ช่วงต้นของคับหญ้ามีรอยเย็บที่ผิดรูป พบสูงสุดที่การทดสอบแบบดินพีแบบชิด เนื่องจากดินพียกตัวขึ้นเพื่อกดคับหญ้าได้ยากกว่าการทดลองโดยดินพีแบบห่าง



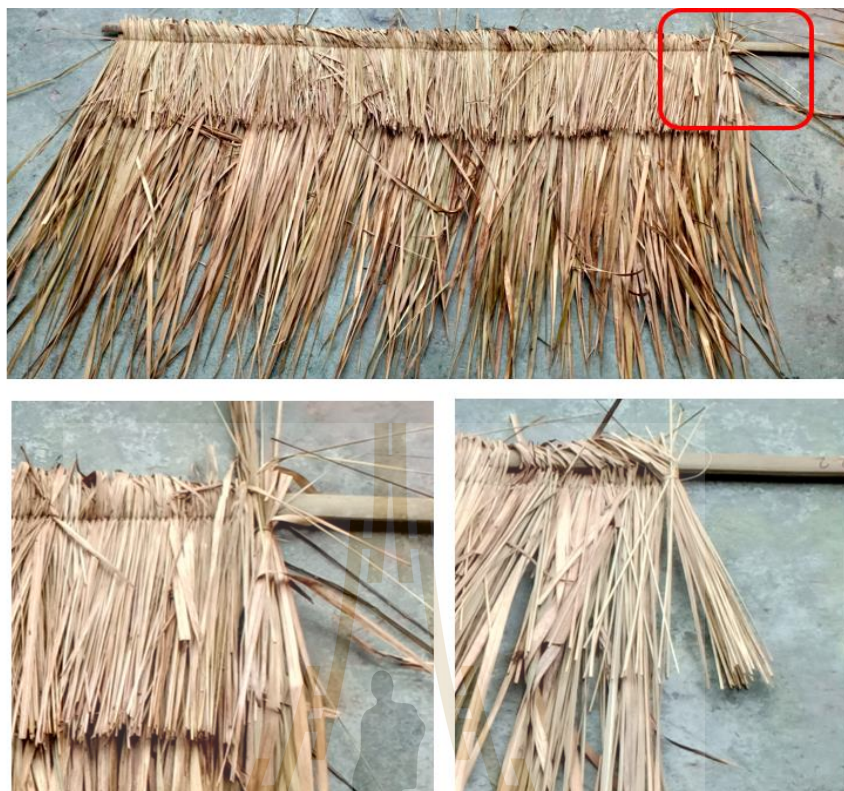
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่เกิดปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป

2) แนวพับของดัดหญ้าเอียง (รูปที่ 4.9) เกิดจาก 2 กรณี คือ 1) ขณะพับรายหญ้ามี่ การเลื่อนของดัดหญ้า 2) เกิดการติดขัดขณะทำการเย็บซึ่งจะส่งผลให้แนวพับของหญ้าเอียงตามการเคลื่อนที่ของถาดเลื่อน ซึ่งปัญหานี้พบบ่อยมากที่การทดสอบผลิตหญ้าน้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่ารายหญ้ามี่มีความหนาแน่นเกินไป จึงไม่สามารถกดหญ้าให้แน่นได้ในขั้นตอนการพับ และรายหญ้าที่มีความหนาแน่นน้อยไม่สม่ำเสมอจะส่งผลให้จักรเย็บกระสอบทำงานติดขัด



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างของต๋ับหญ้ำที่เกดปัญหำแนวพ้บของต๋ับหญ้ำเอียง

3) ปลำยกำรเอ้บไม่สมบุรณ์ (รูปที่ 4.10) คือ ช่วงล้ันสุคกำรเอ้บเกดรอยตะเอ้บหลุด เกดจำกข้ันตอนกำรตัดด้ำย หำกปลำยของต๋ับหญ้ำอยู่ใกล้กับจักรเอ้บมำกเกินไปทำให้ตัดด้ำยได้ยำก เกดด้ำยหลุดออกส่งผลให้หญ้ำตรงปลำยต๋ับหญ้ำหลุดออกมำด้วย ซึ่งปัญหำนี้พบได้ทุกเงื่อนงำการทคสอบ



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างของดักหญ้าที่เกิดปัญหาปลายการเย็บไม่สมบูรณ์

4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 4.11) หญ้ามีการกระจายตัวตลอดทั้งดักไม่เท่ากัน เกิดจากขั้นตอนการเรียงหญ้าด้วยมือ โดยปัญหานี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดสอบผลิตหญ้าที่น้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่าจำนวนหญ้าน้อยเกินไปทำให้ยากต่อการเรียงหญ้าให้สม่ำเสมอและสังเกตด้วยตาเปล่า



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างของดักหญ้าที่เกิดปัญหาการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

5) เย็บไม่สำเร็จ (รูปที่ 4.12) บางส่วนของด้ายหญ้าไม่สามารถเย็บติดได้ สาเหตุเกิดจากขณะการเย็บมีการติดขัดทำให้ด้ายหญ้าเกิดการเอียงขณะเคลื่อนที่ส่งผลให้ไม้เลื่อนเข้าไปในตลับของจักรเย็บกระสอบทำให้เมื่อเข็มแทงด้ายลงไปด้านล่างตัวเกี่ยวด้ายไม่สามารถเกี่ยวด้ายไว้ได้ ทำให้ด้ายไม่สามารถคล้องกันได้ในบริเวณนั้น ซึ่งปัญหาพบทุกการทดสอบแต่เกิดขึ้นน้อยมาก



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างของด้ายหญ้าที่เกิดปัญหาเย็บไม่สำเร็จ

6) ด้ายขาด เกิดจากบางช่วงของการเย็บ ด้ายมีความตึงมากเกินไปทำให้ด้ายขาดขณะเย็บ ซึ่งพบปัญหานี้เล็กน้อย

7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ (รูปที่ 4.13) เกิดจาก 1) การจับยึดไม้ไม่แน่น 2) ไม้ไม่สามารถทนแรงที่ใช้ในการตัดรายหญ้าทั้งดัดได้ทำให้เกิดการบิดงอหรือหักได้ 3) ถ้าหญ้ามืดความหนามากขึ้นจะทำให้จับยึดไม้ได้ยากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างที่เกิดปัญหาไม้หลุดจากชุดจับ

จากการวิเคราะห์คุณภาพของดัดหญ้า จะแบ่งคุณภาพของดัดหญ้าออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) ดัดหญ้าสมบูรณ์ (รูปที่ 4.14)
- 2) ดัดหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ (ปัญหา 1-4)
- 3) ดัดหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ (ปัญหา 5-7)



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างของดัดหญ้าที่สมบูรณ์

การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพระหว่างตบหญ้าที่ผลิตได้กับตบหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาด จากรูปที่ 4.15 เป็นตัวอย่างตบหญ้าที่ผลิตได้มีขนาดความยาว 150 cm ความกว้าง 80 cm และมีความยาวช่วงการพับ 30 cm ใช้หญ้าแห้งน้ำหนัก 1 kg ในการผลิต จากรูปที่ 4.16 เป็นตัวอย่างตบหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาดมีขนาดความยาว 165 cm ความกว้าง 77 cm และมีความยาวช่วงการพับ 42 cm ใช้หญ้าแห้งน้ำหนัก 1.2 kg ในการผลิต จากอัตราส่วนน้ำหนักหญ้าแห้งในการผลิตต่อความยาวของตบหญ้ามี่มีความใกล้เคียงกัน แต่ความยาวของหญ้าในช่วงการพับของตบหญ้าที่ผลิตได้สั้นกว่าตบหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาดเนื่องจากกลไกการพับรายหญ้าทับกับแกนไม่สามารถพับหญ้าที่มีความยาวไม่เกิน 30 cm ถ้ามีความยาวมากกว่านี้หญ้าที่ถูกพับจะชนกับกลไกที่พับรายหญ้าให้อยู่กับที่ ทำให้ไม่สามารถพับหญ้าต่อได้



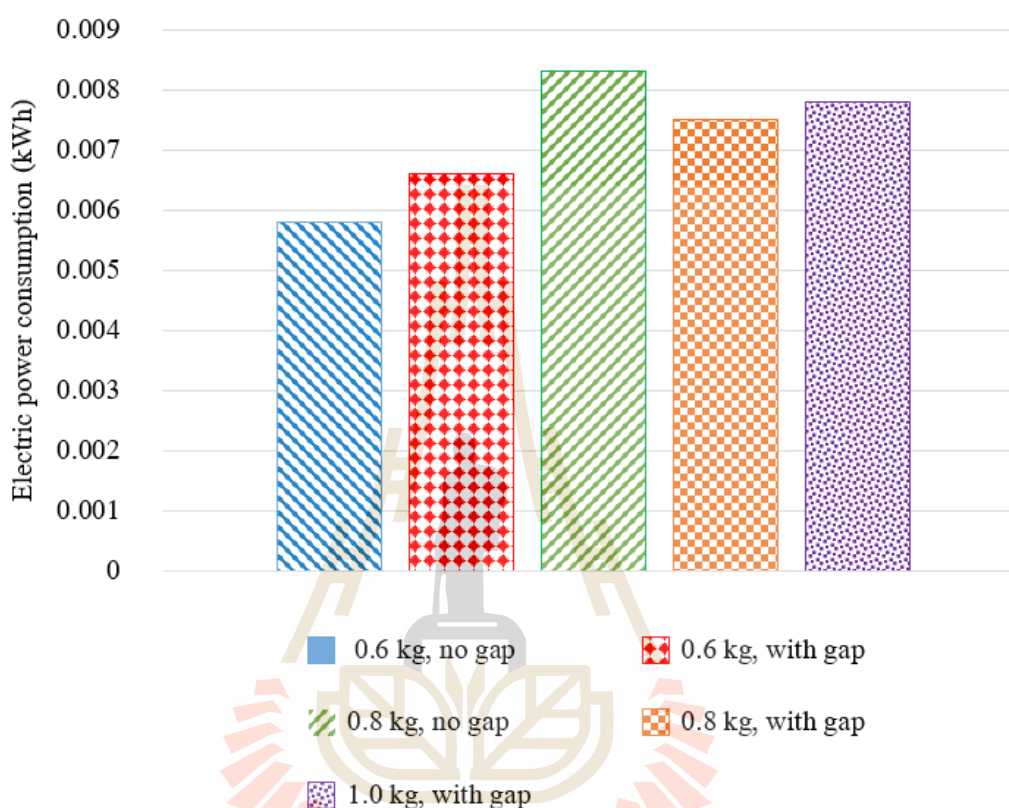
รูปที่ 4.15 ตบหญ้าที่ผลิตได้



รูปที่ 4.16 ตบหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาด

4.2.2 พลังงานเฉลี่ยและเวลาที่ใช้ในการผลิตตับหญ้า

จากการทดสอบการเขี่ยตับหญ้าคาด้วยเครื่องจักร ซึ่งได้ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตตับหญ้าในแต่ละตับดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อตับในการผลิตตับหญ้า

จากผลการทดสอบ ในการผลิตตับหญ้าในแต่ละการทดสอบมีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตตับหญ้าคาใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตตับหญ้าอยู่ในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh/ตับ (6 – 9 kWh/ตับ) แสดงว่าปัจจัยการผลิตตามน้ำหนักของหญ้าและลักษณะของดินผิบบางหรือแบบซิด ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการผลิตที่แตกต่างกันน้อยมาก

จากเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่ละตับ 1) น้ำหนักหญ้าคา 0.6 kg ดินผิบบาง ใช้เวลาในการผลิต 3 นาที 38.28 วินาทีต่อตับ 2) น้ำหนักหญ้าคา 0.6 kg ดินผิบบางซิด ใช้เวลาในการผลิต 3 นาที 32.86 วินาทีต่อตับ 3) น้ำหนักหญ้าคา 0.8 kg ดินผิบบาง ใช้เวลาในการผลิต 3 นาที 58.14 วินาทีต่อตับ 4) น้ำหนักหญ้าคา 0.8 kg ดินผิบบางซิด ใช้เวลาในการผลิต 3 นาที 58.96 วินาทีต่อตับ 5) น้ำหนักหญ้าคา 1.0 kg ดินผิบบาง ใช้เวลาในการผลิต 4 นาที 3.93 วินาทีต่อตับ จากผล

การทดสอบที่ได้จะเห็นว่าเมื่อน้ำหนักหญ้าในการผลิตเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น เพราะจำนวนหญ้าที่มากขึ้นจะส่งผลให้ใช้เวลาในการเรียงหญ้าเพิ่มขึ้น

4.3 ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

Weight of grass roofing per panel	Leak	Description
1. The roof incline 10.5 degrees from horizontal		
Gap between panel is 20 cm		
0.6 kg	Yes	Many water leaks. Flow is continuous.
0.8 kg	Yes	Many water leaks. Drip continuously flowing very fast.
1.0 kg	Yes	Many water leaks. Water leak a drop, but slower than the 0.8 kg weight.
Market	Yes	Less water leak.
Gap between panel is 15 cm		
0.6 kg	Yes	Many water leaks. Drip continuously flowing very fast.
0.8 kg	Yes	Many water leaks. Drip continuously flowing.
1.0 kg	Yes	Water leakage 2 points. Drip continuously flowing.
Market	No	
2. The roof incline 17.35 degrees from horizontal		
Gap between panel is 15 cm		
0.6 kg	Yes	Less water leak. Drip infrequently
0.8 kg	No	
1.0 kg	No	
Market	No	

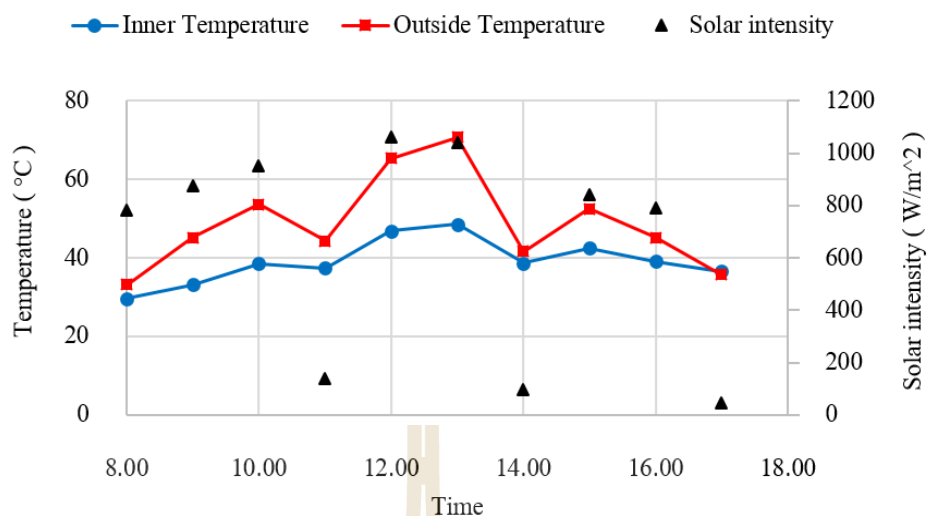
การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน โดยจะทดสอบนำดับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาและใช้หัวฝักบัวรดน้ำในการจำลองแทนน้ำฝน ในการทดสอบจะมีการแปรค่าระยะห่างระหว่างก้านไม้ของดับหญ้าออกเป็น 20 cm และ 15 cm และแปรค่ามุมเอียงของหลังคาออกเป็น 10.5 องศา และ 17.35 องศา ซึ่งในการทดสอบจะใช้การรดน้ำด้วยหัวฝักบัวใส่หลังคาเป็นเวลา 30 min เพื่อพิจารณาการรั่วซึมของน้ำผ่านหลังคาที่ใช้ดับหญ้าที่ผลิตได้กับดับหญ้าจากท้องตลาด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

จากการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน ที่มุมหลังคา 10.5 องศา ถ้าวางดับหญ้าห่างกัน 20 cm หลังคาที่มุงด้วยดับหญ้าทุกแบบมีการรั่วซึมของน้ำฝน แต่ถ้าวางดับหญ้าห่างกัน 15 cm ดับหญ้าจากท้องตลาดไม่เกิดการรั่ว ที่มุมหลังคา 17.35 องศา วางดับหญ้าห่างกัน 15 cm หลังคาที่มุงด้วยดับหญ้าแบบน้ำหนัก 0.8 kg และ 1.0 kg ไม่เกิดการรั่ว จากการทดสอบถ้ำลระยะห่างของการมุงดับหญ้าหรือเพิ่มมุมมองของหลังคาจะทำให้การป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่จะต้องใช้ดับหญ้าในการมุงหลังคาเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้พื้นที่หลังคาในแนวระนาบเท่ากัน

4.4 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์

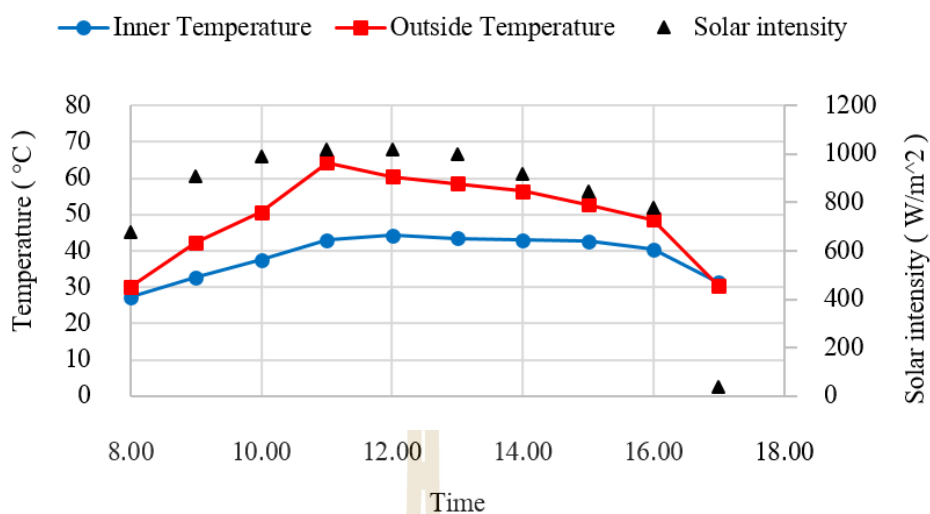
การทดสอบการนำความร้อน โดยจะทดสอบนำดับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาที่ระยะห่างกัน 20 cm และมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 10.5 องศา แล้วปล่อยให้ได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น. และทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านใต้ของหลังคา และวัดค่าความเข้มแสง ในการวัดบันทึกค่าทุก ๆ 1 ชม. เปรียบเทียบผลการทดสอบจากหลังคาที่ใช้ดับหญ้าที่ผลิตได้กับดับหญ้าจากท้องตลาด ได้ผลดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



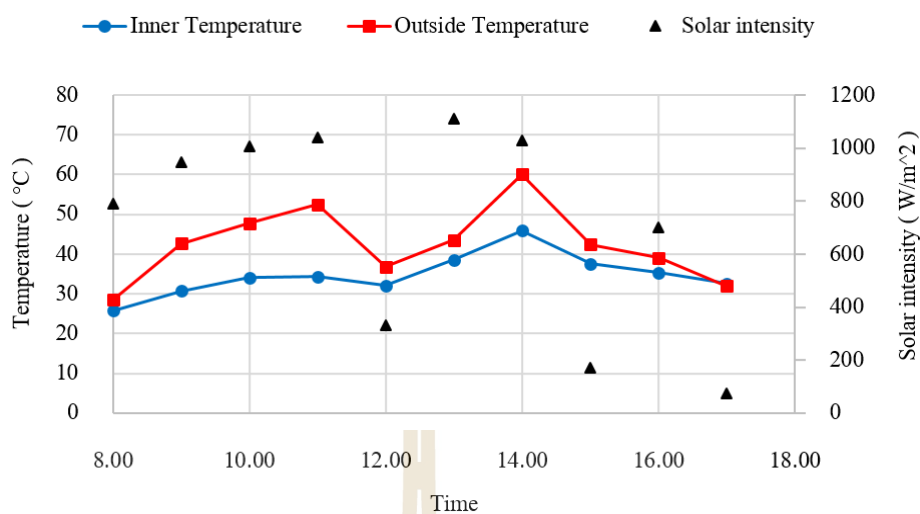
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของตึกหญ้าจากตลาด

จากรูปที่ 4.18 เป็นการทดสอบมุงหลังคาจากตึกหญ้าที่หาซื้อจากท้องตลาด อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดที่เวลา 13.00 น. และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 13.00 น. โดยจะมีค่าอุณหภูมิด้านใน 48.6°C อุณหภูมิด้านนอก 70.7°C และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,060 W/m² ที่เวลา 12.00 น. จะเห็นว่าช่วงเวลา 10.00-11.00 น. และ 13.00-14.00 น. อุณหภูมิด้านในและด้านนอกมีค่าลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากในช่วงเวลานั้นความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลงซึ่งเกิดจากมีเมฆบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังหลังคา โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 9.62°C



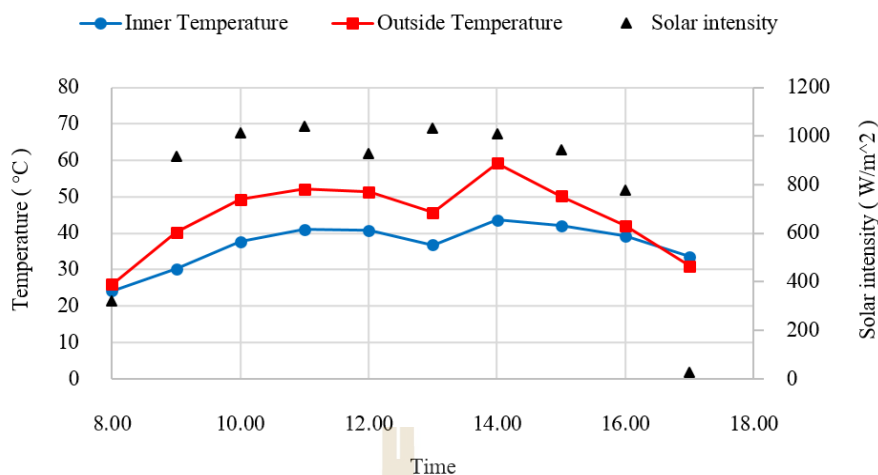
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของตับหญ้า 1.0 kg

จากรูปที่ 4.19 เป็นการทดสอบมุงหลังคาจากตับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบ โดยทดสอบที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 1 kg อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิด้านในจะมีค่ามากที่สุดเวลา 12.00 น. เท่ากับ 44.2°C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆหลังจากเวลา 12.00 น. อุณหภูมิด้านนอกจะมีค่ามากที่สุดเวลา 11.00 น. เท่ากับ 64.3°C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆหลังจากเวลา 11.00 น. และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,020 W/m² ที่เวลา 11.00 น. โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 10.85°C



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของตับหญ้า 0.8 kg

จากรูปที่ 4.20 เป็นการทดสอบมุงหลังคาจากตับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบโดยทดสอบที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 0.8 kg อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเวลา 14.00 น. และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 14.00 น. โดยจะมีอุณหภูมิด้านใน 45.9°C อุณหภูมิด้านนอก 60.1°C และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,109 W/m² ที่เวลา 13.00 น. จะเห็นว่าช่วงเวลา 11.00-12.00 น. และ 14.00-15.00 น. อุณหภูมิด้านในและด้านนอกมีค่าลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากในช่วงเวลานั้นความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลงซึ่งเกิดจากมีเมฆบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังหลังคา โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 7.83°C



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านในและอุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ของตับหญ้า 0.6 kg

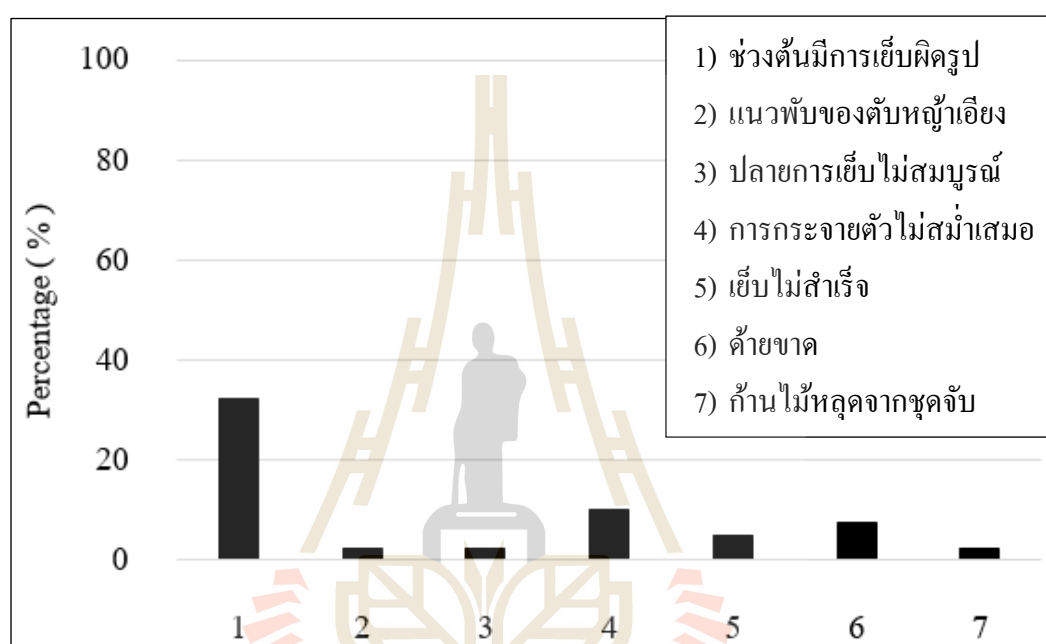
จากรูปที่ 4.21 เป็นการทดสอบมุงหลังคาจากตับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบ โดยทดสอบที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 0.6 kg อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเวลา 14.00 น. และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 14.00 น. โดยจะมีค่าอุณหภูมิด้านใน 45.9°C อุณหภูมิด้านนอก 60.1°C และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1040 W/m² ที่เวลา 11.00 น. จะเห็นว่าช่วงเวลา 11.00-13.00 น. อุณหภูมิด้านในและด้านนอกมีค่าลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากในช่วงเวลานั้นความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลงซึ่งเกิดจากมีเมฆบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังหลังคา โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 7.80°C

ในช่วงเวลา 17.00 น. ค่าความเข้มแสงจะน้อยมากเกิดจากมีอาคารบริเวณนั้นบังแสงอาทิตย์ และในช่วงก่อนเวลา 17.00 น. แสงอาทิตย์ไม่ได้ตกกระทบลงบนหลังคาและก่อนช่วงเวลานี้ อุณหภูมิด้านในและด้านนอกมีค่าต่างกันไม่มาก ด้านนอกของหลังคามีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าด้านในจึงทำให้อุณหภูมิด้านในหลังคาจะสูงกว่าอุณหภูมิด้านนอกหลังคา

จากผลทดสอบการนำความร้อนที่ได้จะเห็นว่าตับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบสามารถป้องกันความร้อนได้ดีเทียบเท่ากับตับหญ้าที่ซื้อจากท้องตลาด โดยดูได้จากค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านนอกกับอุณหภูมิด้านใน ซึ่งจากการทดสอบตับหญ้าคาที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบ โดยทดสอบที่น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg สามารถกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 10.85°C

4.5 ผลการทดสอบผลิตตบหญ้าแบบต่อเนื่อง

จากการทดสอบการเย็บตบหญ้าด้วยเครื่องจักรแบบต่อเนื่องจำนวน 40 ตบ ซึ่งได้ทำการทดสอบที่น้ำหนัก 1.0 kg และดินผิแบบแห้ง เนื่องจากน้ำหนักของหญ้ามีความใกล้เคียงกับตบหญ้าที่หาซื้อได้จากท้องตลาด แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขข้างต้นตามหัวข้อ 3.3 ได้ผลดังรูปที่ 4.22

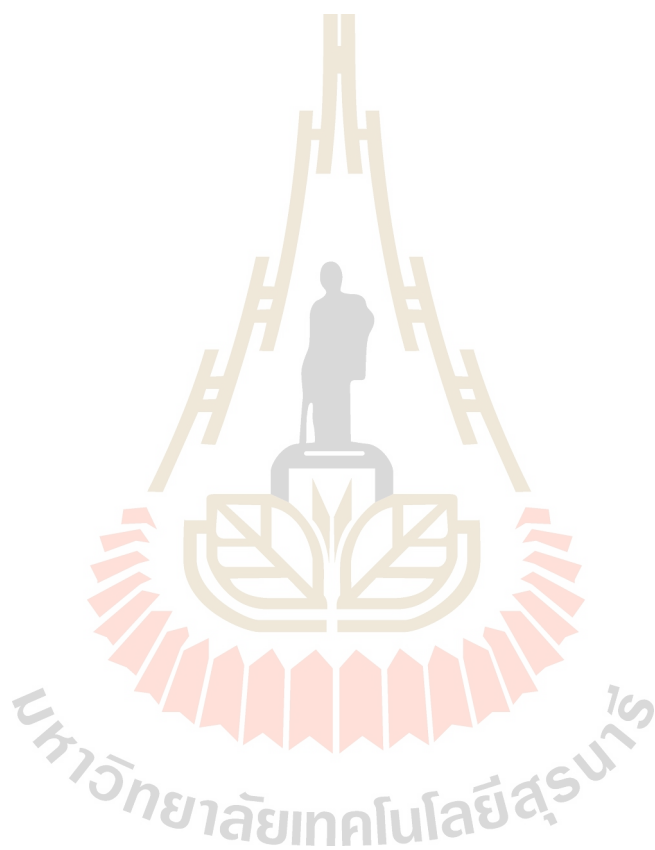


รูปที่ 4.22 คุณภาพการผลิตตบหญ้าแบบต่อเนื่องของเครื่องจักรต้นแบบ

จากการทดสอบผลิตตบหญ้าแบบต่อเนื่อง พบปัญหาคือ 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% ซึ่งเกิดจากรายหญ้ามีความหนาแน่นเกินไป และปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ 2) แนวพับของตบหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ในการผลิตตบหญ้า 40 อัน เราได้ตบหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ตบหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ตบหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ดังนั้นเครื่องจักรต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพการผลิตเท่ากับ 85% ใช้พลังงานในการผลิตทั้งหมด 0.5513 kWh และใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 2 ชั่วโมง 41 นาที 10 วินาที ดังนั้นเครื่องจักรต้นแบบมีความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 0.0137 kWh/ตบ หรือ 0.205 kWh/hr และมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 14 ตบ/hr.

4.6 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อ่างอิงอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารออมสิน (ธนาคารออมสิน, 2560) ที่ราคาเครื่องต้นแบบเท่ากับ 93,320 บาท และราคาต้นทุนในปัจจุบันราคา 15 บาทต่อตัว กำไรในขายต้นทุนอยู่ที่ 8 บาทต่อตัว (พนมรุ้งห้วยคา, 2561) พบว่าจุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 2,580 ตัวต่อปี และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน (ไพบุลย์ เข้มเฟื่อน, 2546)



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาการผลิตวัสดุผงหลังจากหญ้าคา (ดับหญ้าคา) ด้วยมือที่เรียกว่าการกรองหญ้าคาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากหญ้าคา เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วย PLC ใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์และมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง จากนั้นทำการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ โดยการทดสอบผลิตดับหญ้าที่น้ำหนักหญ้า 0.6, 0.8 และ 1.0 kg ที่ดินฝีมี่ลักษณะแบบซิดและแบบห่าง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของดับหญ้าผลิตได้ การใช้พลังงานในการผลิตดับหญ้าในแต่ละดับ ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ทดสอบการป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนและการป้องกันความร้อนจากแสงแดดเพื่อเปรียบเทียบกับดับหญ้าที่หาซื้อได้จากท้องตลาด การทดสอบการผลิตแบบต่อเนื่องจำนวน 40 ดับที่น้ำหนักหญ้า 1.0 kg เพื่อหาคุณภาพของการผลิตดับหญ้าโดยเครื่องต้นแบบ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการทดสอบการผลิตดับหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากหญ้าคาที่พัฒนาขึ้น พบว่า การทดสอบที่น้ำหนักหญ้า 0.8 kg ต่อดับ และสถานะดินฝีมี่แบบห่างสามารถผลิตดับหญ้าได้สมบูรณ์ดีที่สุด โดยสามารถป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 8.73°C การทดสอบผลิตดับหญ้าที่มีดินฝีมี่แบบซิดและการเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการทดสอบจะทำให้เกิดปัญหาช่วงต้นมีการเย็บฝีมี่รูปเพิ่มขึ้น มีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตดับหญ้าในแต่ละดับอยู่ในช่วง 6 – 9 Wh ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการค้นถาดเลื่อนเท่ากับ 20 – 25 rpm และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการผลิตมากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น การทดสอบการใช้งานพบว่าดับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องในทุกน้ำหนักจะต้องมุงซ้อนกันด้วยระยะห่างไม่เกิน 15 cm และมุมหลังคาเอียงไม่น้อยกว่า 17.35 องศา จึงจะสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ และในการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์พบว่าดับหญ้าผลิตที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 1.0 kg ต่อดับ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกประมาณ 10.85°C ในการทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง 40 ดับ ที่น้ำหนัก 1.0 kg เนื่องจากดับหญ้ามี่น้ำหนักใกล้เคียงกับดับหญ้าที่หาซื้อได้จากท้องตลาด โดยใช้ดินฝีมี่แบบห่าง ปัญหาที่พบมากที่สุด

สุด คือ ช่วงต้นมีการเย็บผิครูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% และปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ แนวพับของ ตับหญาเอียง ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ ไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ได้ตับหญา สมบูรณ์ 37.5% ตับหญาที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ตับหญาที่ไม่ สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ดังนั้นเครื่องจักรต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพการผลิตเท่ากับ 85% มีความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 205 Wh/hr. และมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 14 ตับ ต่อ ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ราคาเครื่องเท่ากับ 93,320 บาท และกำไรใน การผลิตตับหญาอยู่ที่ราคา 8 บาทต่อตับ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2,580 ตับต่อปี และมีระยะเวลาการคืน ทุนอยู่ที่ 11 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคมุงหลังคาจากหญ้านานี้ยังต้อง ปรับปรุงกลไกจับยึดไม้ให้มีระยะห่างของตัวจับยึดน้อยลง เนื่องจากรายหญ้านี้ที่หนาจะส่งผลให้ไม้ เกิดการงอในขั้นตอนการพับรายหญ้านทับกับไม้การพับ (รูปที่ 5.1) และปรับปรุงให้สามารถจับยึดไม้ ที่มีขนาดต่างกันได้ และควรเพิ่มกลไกรีดรายหญ้านี้ให้มีความหนาแน่นก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการเย็บ ของจักรเย็บไฟฟ้าซึ่งจะช่วยลดการเกิดปัญหาช่วงต้นของตับหญาที่มีการเย็บผิครูปได้ โดยกลไกรีด รายหญ้านี้จะต้องเป็นกลไกที่มีการเคลื่อนที่และมีความเร็วที่สอดคล้องกับความเร็วของถาดเลื่อน รายหญ้าน้อยอย่างนั้นจะเกิดแรงเสียดทานที่รายหญ้านทำให้เกิดการติดขัดที่กลไกได้ตามหัวข้อ 4.1 ควร เพิ่มกลไกที่ช่วยในการจัดปลายลำต้นของหญ้านให้เท่ากันจะช่วยลดเวลาในการผลิตได้ (รูปที่ 5.2) การขยับกลไกทับรายหญ้านให้อยู่กับที่ถอยออกไปหรือการออกแบบให้กลไกนี้สามารถยกตัวขึ้นสูง กว่านี้อีกจะช่วยเพิ่มระยะของการพับได้อีก (รูปที่ 5.3)



รูปที่ 5.1 การรองของไม้ไผ่ขณะทำขั้นตอนการพับ



รูปที่ 5.2 การจัดปลายลำต้นของหญ้าให้เท่ากันด้วยมือ



รูปที่ 5.3 ปลายของรายหญ้าในขั้นตอนการพับ

รายการอ้างอิง

- กฤษฎา สายแสง, กระจวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2561). การกำหนดกลไกและระบบส่งกำลังในเครื่องจักรกึ่งผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญ้าแฝก. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ประจำปี 2561. 54.
- กฤษฎา สายแสง, กระจวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2561). การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญ้าแฝก. รายงานการประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561. 912-922.
- ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์. (2546). นิวแมติกส์อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- ณัฐพงษ์ จริตงาม และนิชา ลิ้มเจริญ. (ม.ป.ป.). บทเรียนออนไลน์ เครื่องยนต์ลมอัดรถจักรยาน [ออนไลน์]. ได้จาก: http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Bicycle_Air_Engine/index.html. 1 กันยายน 2560.
- เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2548). คัมภีร์ ระบบนิวแมติกส์ Pneumatics System. กรุงเทพมหานคร: หจก. ไทยเจริญการพิมพ์.
- ธนาคารออมสิน. (2560). อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.gsb.or.th/services/RateLoan.aspx?fbclid=IwAR084Q4piZzF60FY8UVFAPMdHCoSFVTW-kNtz9Sey1qoM1-Loni48nbbM0k>. 13 มกราคม 2562.
- ธีรศักดิ์ ศรีมิตรรุ่งโรจน์. (2558). ชุดขับสกรูถ้ำเลี้ยงวัสดุปริมาณมวล [ออนไลน์]. ได้จาก: https://trsrd.blogspot.com/2015/10/blog-post_30.html?fbclid=IwAR1If_0XTUBZd1bn-VXBOaGpMvQGlag6sTn9IH3GNh7519MMMLx1PuROY4. 13 มกราคม 2562.
- บ้านสวนทรัพย์ในดิน (2556). วิธีการทำหญ้าคามุงหลังคา by แม่ถาวร [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.facebook.com/pg/suppayanaidin/photos/?tab=album&albumid=595534600500143>. 16 ธันวาคม 2561.

- บริษัท แมนูแฟคเจอร์ โอเวอร์ฮอล ราพิด แอนด์ ออพติมอล จำกัด. (2558). "...สูตรวิขาหาากินง่าย ๆ ที่หลายคนลืมนำไปแล้วชอบถามกันมาจ้ัง..!/? [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.moro.co.th/สูตรวิขาหาากินง่าย ๆ-ที่/?fbclid=IwAR1aNnHuP4aNuaA3AzVb9fFs5IIV8FKssAIKBYf3MxAnRqm3Qc85Kvbf2FM>. 13 มกราคม 2562.
- พนมรุ้งหน้าคา. (2561). หลังคาหน้าคา [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.tanachai12.com/>. 13 มกราคม 2562.
- พิษณุโลกขอตนิวส์. (2556). หน้าแล้งชาวบ้านวังทองกองแฝกไปหาหน้าคาขายได้กำไรดี [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.phitsanulokhotnews.com>. 9 มกราคม 2560.
- ไพบูลย์ เข้มเฟื่อง. (2546). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น. (ม.ป.ป.). บทที่ 7 การผลิตเพื่ออง [ออนไลน์]. ได้จาก: https://sites.google.com/site/krrmwithikarphlitt/neuxha-sara/bth-thi-7-kar-phlit-feuxng?fbclid=IwAR2ef2OzdGY3F8Sz3oXXn-pKLQD9l0ZRKap1byZYVVERHqH2o_5MvnDgxdgw. 13 มกราคม 2562.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). หน้าคา [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/หน้าคา>. 16 มกราคม 2562.
- สยามออโตเมชัน. (2561). Reed switch คืออะไร? ติดตั้งอย่างไร? [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.siam-automation.com/article/10/reed-switch-คืออะไร-ติดตั้งอย่างไร>. 1 มกราคม 2562.
- ศุรยุต รุณเกตุ, วันทยา ปานทิพย์, ศิริชัย แก้วกุล, ณัฐพัชร ภาระพงษ์ และกระวี ตรีอำรรค. (2559). เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผงหลังจากจากหน้าคา. โครงการงานนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อิสระ ศรีวิบูลย์รัตน์ และ พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์. (2556). การออกแบบชุดถ่ายกำลังแบบเฟืองสะพานกับเฟืองตรงสำหรับการถ่ายทอดกำลังขนาด 5 กิโลวัตต์. วิศวกรรมสารธรรมศาสตร์. 1 (2556) 2. 29-36.
- อรชุน ตั้งใจ. (2554). มาตรฐานจ็กรอกชิมิตีเซนเซอร์ (PROXIMITY SENSOR) กันเถอะ [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.amda.co.th/2011/technical-skill/มาตรฐานจ็กรอกชิมิตีเซนเซอร์/>. 1 มกราคม 2562.
- Philippe, J., Trembley, J. and Pellerin, D. (2012). Mechanics Machines Menu Scissor Lift Companies [On-line]. Available: https://www.engineersedge.com/mechanics_machines/scissor-lift.htm. 11 August 2017.

Saisang, K., Treeamnuk, K. and Treeamnuk, T. (2018). Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine. Proceedings of the Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018 Official Conference. 84.

Vamfun's Blog. (2011). Scissors Lift Equations [On-line]. Available:

<https://vamfun.wordpress.com/2011/11/12/error-in-scissor-lift-equations-at-engineers-edge/>. 8 July 2017.

Vavro, J. Jr., Vavro, J., Kováčiková, P. and Bezdedová, R. (2016). Kinematic and dynamic analysis of planar mechanisms by means of the SolidWorks software. *Procedia Engineering*. 177 (2017) 476 – 481.





ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก.5 ผลการประเมินคุณภาพของดักหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ
ผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg
ดินผิแบบห่าง

เงื่อนไข	ลำดับดับหญ้าคา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ร้อยละ
												(%)
1.ช่วงต้นมีการเขี่ยผิคุรูป			X	X		X		X				40
2.แนวพับของหญ้าคาเอียง												0
3.ปลายดับหญ้าคาเขี่ยไม่สมบูรณ์												0
4.การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ											X	10
5.เขี่ยไม่สำเร็จ		X						X				20
6.ด้ายขาด					X							10
7.ไม้หลุดจากชุดจับ												0

ตารางผนวกที่ ก.6 ผลการทดสอบผลิตดับหญ้าด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคูลง
หลังจากหญ้าคาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.6 kg ดินผิแบบชิด

ลำดับ ดับหญ้า	เวลาที่ใช้ (s)	น้ำหนักไม้ (kg)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	คำอธิบาย
1	198.51	0.21	0.0058	
2	241.89	0.19	0.0067	
3	-	-	-	ด้ายขาดเขี่ยได้ 30 เซนติเมตร
4	192.21	0.23	0.0050	
5	221.53	0.19	0.0063	
6	212.15	0.22	0.0060	
7	215.41	0.19	0.0061	
8	211.66	0.14	0.0049	
9	-	-	-	ไม้หลุดจากชุดจับยึด
10	209.52	0.19	0.0056	

ตารางผนวกที่ ก.7 ผลการทดสอบผลิตดับหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผสม
หลังจากหาหญาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญาคา 0.6 kg ดินฝึแบบห่าง

ลำดับ ดับหญา	เวลาที่ใช้ (s)	น้ำหนักไม้ (kg)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	คำอธิบาย
1	248.38	0.18	0.0072	
2	-	-	-	ด้ายขาดเย็บได้ประมาณ 40 ซม.
3	227.23	0.18	0.0067	
4	218.82	0.17	0.0066	
5	221.92	0.22	0.0069	
6	224.02	0.22	0.0068	
7	232.50	-	0.0070	เย็บได้ แต่มีบางจุดเย็บไม่สำเร็จ
8	198.19	0.18	0.0064	
9	199.83	0.24	0.0063	
10	193.64	0.16	0.0055	

ตารางผนวกที่ ก.8 ผลการทดสอบผลิตดับหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผง
หลังจากหญาภาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญาภา 0.8 kg ตินพีแบบชิต

ลำดับ ดับหญา	เวลาที่ใช้ (s)	น้ำหนักไม้ (kg)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	คำอธิบาย
1	243.44	0.24	0.0088	
2	253.60	0.17	0.0090	
3	242.46	0.23	0.0085	
4	219.42	-	0.0075	มีบางจุดเย็บไม่ได้
5	242.96	0.18	0.0085	
6	-	-	-	ด้ายขาดเย็บได้ประมาณ 50 เซนติเมตร
7	221.76	0.17	0.0076	
8	-	-	-	ด้ายขาดเย็บได้ประมาณ 3 เซนติเมตร
9	239.63	0.17	0.0082	
10	242.43	0.2	0.0083	

ตารางผนวกที่ ก.9 ผลการทดสอบผลิตดับหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผง
หลังจากหญาที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญาคา 0.8 kg ตินพีแบบห่าง

ลำดับ ดับหญา	เวลาที่ใช้ (s)	น้ำหนักไม้ (kg)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	คำอธิบาย
1	266.75	0.22	0.0085	
2	245.69	0.15	0.0080	
3	242.05	0.19	0.0075	
4	240.42	0.15	0.0073	
5	212.32	-	0.0067	มีบริเวณบางส่วนเขีบไม่ได้
6	241.53	0.2	0.0078	
7	229.04	0.17	0.0071	
8	221.51	0.2	0.0069	
9	243.97	0.19	0.0077	
10	-	-	-	ด้ายขาด เขีบได้ประมาณ 20 ซม.

ตารางผนวกที่ ก.10 ผลการทดสอบผลิตดับหญาด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผสม
หลังจากหญาค่าที่การทดสอบน้ำหนักแห้งของหญา 1.0 kg ดินเฝีบแบบห่าง

ลำดับ ดับหญา	เวลาที่ใช้ (s)	น้ำหนักเฝีบ (kg)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	คำอธิบาย
1	259.33	-	0.0085	มีบางส่วนเฝีบไม่ได้
2	233.46	0.21	0.0070	
3	239.78	0.22	0.0069	
4	-	-	-	ด้ายขาด
5	261.26	0.19	0.0091	
6	-	-	-	เฝีบไม่สำเร็จ
7	215.09	0.21	0.0068	
8	261.07	0.14	0.0087	
9	232.31	0.19	0.0075	
10	249.17	0.16	0.0079	

ตารางผนวกที่ ก.11 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ฉนวนที่ขึ้นชื่อ
จากท้องตลาด

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิด้านใน (°C)	อุณหภูมิด้านนอก (°C)	ความเข้มแสง (W/m ²)	คำอธิบาย
8.00	29.7	33.2	782	
9.00	33.2	45.1	875	
10.00	38.5	53.6	951	
11.00	37.4	44.4	140	เมฆบังแสงอาทิตย์
12.00	46.8	65.4	1060	
13.00	48.6	70.7	1042	
14.00	38.7	41.6	98	เมฆบังแสงอาทิตย์
15.00	42.5	52.5	840	
16.00	39.1	45.1	791	
17.00	36.6	35.7	44	อาคารบังแสง

ตารางผนวกที่ ก.12 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ฉนวนที่ผลิตด้วย
เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผนังหลังคาจากหญ้าคาที่การทดสอบ
น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิด้านใน (°C)	อุณหภูมิด้านนอก (°C)	ความเข้มแสง (W/m ²)	คำอธิบาย
8.00	27.3	30.1	679	
9.00	32.8	42.3	907	
10.00	37.6	50.7	991	
11.00	42.9	64.3	1020	
12.00	44.2	60.4	1019	
13.00	43.5	58.5	1000	
14.00	43	56.4	918	
15.00	42.7	52.7	848	
16.00	40.5	48.6	780	
17.00	31.3	30.3	39	อาคารบังแสง



ตารางผนวกที่ ก.13 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ฉนวนที่ผลิตด้วย
เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผนังหลังคาจากหญ้าคาที่การทดสอบ
น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 0.8 kg

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิด้านใน (°C)	อุณหภูมิด้านนอก (°C)	ความเข้มแสง (W/m ²)	คำอธิบาย
8.00	25.8	28.5	792	
9.00	30.7	42.7	945	
10.00	34.1	47.7	1006	
11.00	34.3	52.5	1039	
12.00	32.1	36.8	332	เมฆบังแสงแดด
13.00	38.6	43.6	1109	
14.00	45.9	60.1	1030	เมฆบังแสงแดด
15.00	37.6	42.4	173	
16.00	35.4	39.1	700	
17.00	32.6	32	76	อาคารบังแสงแดด

ตารางผนวกที่ ก.14 ผลการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้ฉนวนที่ผลิตด้วย
เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุฉนวนหลังจากหุ้มฉนวนที่การทดสอบ
น้ำหนักแห้งของหุ้มฉนวน 0.6 kg

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิด้านใน (°C)	อุณหภูมิด้านนอก (°C)	ความเข้มแสง (W/m ²)	คำอธิบาย
8.00	24.2	26	323	เมฆบางส่วน
9.00	30.2	40.3	917	
10.00	37.7	49.2	1012	
11.00	41	52.1	1040	
12.00	40.7	51.3	929	
13.00	36.8	45.7	1034	
14.00	43.7	59.2	1009	
15.00	42	50.2	944	
16.00	39.3	42.1	777	
17.00	33.5	31	27	อาคารบั้งแสงแดด



ตารางผนวกที่ ก.15 ผลการทดสอบการป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝน

ประเภทของดับหญ้าคา	ผล	คำอธิบายผล
1. ทดสอบหลังคาเอียง 10.5 องศา		
วางดับหญ้าคาห่างกัน 20 ซม.		
น้ำหนัก 0.6 กก.	รั่ว	รั่วหลายจุดมาก น้ำรั่วไหลเป็นสาย
น้ำหนัก 0.8 กก.	รั่ว	รั่วหลายจุด น้ำรั่วไหลเป็นหยดต่อเนื่องเร็วมาก
น้ำหนัก 1.0 กก.	รั่ว	รั่วหลายจุด น้ำรั่วไหลเป็นหยดแต่ช้ากว่าน้ำหนัก 0.8 กก.
ท้องตลาด	รั่ว	รั่วหลายจุด
วางดับหญ้าคาห่างกัน 15 ซม.		
น้ำหนัก 0.6 กก.	รั่ว	รั่วหลายจุดมาก น้ำรั่วไหลเป็นหยดต่อเนื่องเร็วมาก
น้ำหนัก 0.8 กก.	รั่ว	รั่วหลายจุด น้ำรั่วไหลเป็นหยดต่อเนื่อง
น้ำหนัก 1.0 กก.	รั่ว	รั่ว 2 จุด น้ำรั่วไหลเป็นหยดต่อเนื่อง
ท้องตลาด	ไม่รั่ว	
2. ทดสอบหลังคาเอียง 17.35 องศา		
วางดับหญ้าคาห่างกัน 15 ซม.		
น้ำหนัก 0.6 กก.	รั่ว	รั่วน้อยมาก มีน้ำหยดนานๆครั้ง
น้ำหนัก 0.8 กก.	ไม่รั่ว	
น้ำหนัก 1.0 กก.	ไม่รั่ว	
ท้องตลาด	ไม่รั่ว	

ตารางผนวกที่ ก.16 ผลการประเมินคุณภาพของต้นหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับ
ผลิตวัสดุคอกหลังจากการทดสอบการผลิตแบบต่อเนื่องน้ำหนักแห้ง
ของหญ้าคา 1.0 kg ตีนผีแบบห่าง

ลำดับ/ เงื่อนไขการ วิเคราะห์	1. ช่วง ต้นมีการ เย็บผิด รูป	2. แนว พับของ หญ้าคา เอียง	3. ปลาย การเย็บ ไม่ สมบูรณ์	4. การ กระจาย ตัวไม่ สม่ำเสมอ	5. เย็บไม่ สำเร็จ	6. ด้าย ขาด	7. ไม่ หลุด จากชุด จับ
1	X						
2						X	
3			X				
4							
5					X		
6						X	
7							
8							
9							
10							
11							X
12							
13							X
14	X						
15							
16							
17							
18							
19	X						
20							

ตารางผนวกที่ ก.16 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพของต้นหญ้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ
สำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าคาที่การทดสอบการผลิตแบบต่อเนื่อง
น้ำหนักแห้งของหญ้าคา 1.0 kg ดินพีแบบห่าง

ลำดับ/ เงื่อนไขการ วิเคราะห์	1. ช่วง ต้นมีการ เย็บผิด รูป	2. แนว พับของ หญ้าคา เอียง	3. ปลาย การเย็บ ไม่ สมบูรณ์	4. การ กระจาย ตัวไม่ สม่ำเสมอ	5. เย็บไม่ สำเร็จ	6. ด้าย ขาด	7. ไม้ หลุด จากชุด จับ
21							X
22	X						
23	X			X			
24	X						
25	X			X			
26	X						
27	X						
28							
29							
30							
31	X						
32							
33							
34							X
35	X						
36	X	X					
37						X	
38	X						
39							
40							
รวม	13	1	1	4	2	3	1
ร้อยละ (%)	32.5	2.5	2.5	10	5	7.5	2.5



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

1 การหาขนาดและอัตราการไหลของกระบอกสูบนิวแมติกส์

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดกระบอกสูบนิวแมติกส์ โดยใช้ข้อมูลจากหัวข้อ 3.1.2 ผลการทดสอบการใช้ Motion Study ของกลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้ เราได้แรงที่ใช้ในการพับเท่ากับ 1,200 N ความดันลมอัด 6 bar (1 bar เท่ากับ 100,000 Pa)

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 P$$

$$1,200 = \frac{\pi}{4} D^2 \times 600,000$$

$$D = 0.051 \text{ m}$$

ดังนั้นเลือกใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์ขนาด 0.063 m = 63 mm

จากขนาดกระบอกสูบนิวแมติกส์ที่คำนวณได้ จะถูกนำมาคำนวณหาอัตราการไหลตามโดยกำหนดให้ระยะการเคลื่อนที่ของกลไกนี้คือ 156 mm เท่ากับจังหวะช่วงชักของลูกสูบนิวแมติกส์ในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ 1 s

$$V_a = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 L \times 1000}{t}$$

$$V_a = \frac{\frac{\pi}{4} \times 0.063^2 \times 0.156 \times 1000}{1}$$

$$V_a = 0.486 \text{ liter/s}$$

เปลี่ยนหน่วยจาก liter/ s เป็น liter/min

$$V_a = 0.486 \text{ liter/s} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 29.16 \text{ liter/min}$$

ดังนั้นกระบอกสูบน้ำแมตริกัลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม่มีอัตราการใช้ลมอัดเท่ากับ 29.16 liters/min

2 การหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลจากหัวข้อ 3.1.2 ผลการทดสอบการใช้ Motion Study ของกลไกการเคลื่อนที่รถรายหญ้า เราได้แรงบิดที่ใช้ในการเท่ากับ 1,000 N·mm มีความเร็วรอบ 4.77 รอบต่อ 7.82 s

$$\text{ความเร็วรอบ } N = \frac{4.77 \text{ รอบ}}{7.82 \text{ s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 36.59 \text{ rpm}$$

ดังนั้นจาก

$$P_m = \frac{2\pi T N}{60}$$

$$P_m = \frac{2\pi \times 1 \times 36.59}{60}$$

$$P_m = 3.83 \text{ watt}$$

ดังนั้นเราจึงสามารถเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 50 watt แทนได้แต่ในการทดลองเราเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 60 watt แทนเพราะหาซื้อได้

3 การประเมินการทดสอบแบบต่อเนื่อง

3.1 ประสิทธิภาพการผลิต

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้ผลจากตารางผนวกที่ ก16 โดยในการผลิตตู้หน้า 40 อัน เราได้ตู้หน้าสมบูรณ์ 15 ตู้ ตู้หน้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 19 ตู้ และ ตู้หน้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 6 ตู้ โดยตู้หน้าที่ดีเท่ากับ $15+19 = 34$ ตู้

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Number of Good product}}{\text{Number of total product}} \times 100$$

$$\text{Efficiency} = \frac{34}{40} \times 100$$

$$\text{Efficiency} = 85\%$$

3.2 ความสามารถในการทำงาน

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบจากหัวข้อ 4.2 การทดสอบผลิตตู้หน้าแบบต่อเนื่องโดยเราใช้เวลาในการผลิตตู้หน้า 40 ตู้ เท่ากับ 2 ชั่วโมง 41 นาที 10 วินาที (2.686 ชั่วโมง)

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Number of product}}{\text{Time (hour)}}$$

$$\text{Capacity} = \frac{40}{2.686} = 14.89 \text{ panel/hr.}$$

ดังนั้นเครื่องจักรต้นแบบมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 14 ตู้/ชม.

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการทำงานจากหัวข้อ 4.2 การทดสอบผลิตดับหญ้าแบบต่อเนื่องโดยเราใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตดับหญ้า 40 ตับ เท่ากับ 0.5513 kW·h

$$\text{Specific energy consumption} = \frac{\text{Total energy (kW} \cdot \text{h)}}{\text{Number of total product}}$$

$$\text{Specific energy consumption} = \frac{0.5513}{40} = 0.0137 \text{ kWh / panel}$$

ดังนั้นความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 0.0137 kW·h/ตบ

4 การประเมินการทดสอบแบบต่อเนื่อง

4.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

กำหนดให้ ราคาเครื่องเครื่องผลิตวัสดุคอกหลังจากจากหญ้าคา (P) มีราคา 93,320 บาท มูลค่าซากเครื่องมือเมื่อสิ้นสุดปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ต่อปีเท่ากับ 7% ต่อปี (ธนาคารออมสิน, 2560)

ตารางที่ ข.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องผลิตวัสดุคอกหลังจากจากหญ้าคา

รายการวัสดุ	จำนวนเงิน
1. มอเตอร์ไฟฟ้า 60 W 24 V	3,000
2. PLC Mitsubishi รุ่น FX3S30MTDSS	6,500
3. กระบอกสูบนิวแมติกส์	14,500
4. จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A	4,200
5. ตู้ควบคุม (พร้อมอุปกรณ์)	5,000
6. ชุดเฟืองสะพาน	2,400
7. โซลินอยด์วาล์ว 4V220-08 DC 24V 5 Ways 2 Positions	2,500
8. อุปกรณ์ต่อพ่วงนิวแมติกส์	4,500
9. Fotek Proximity Sensor Switches PL-05N ตรวจจับ 5mm NPN	720
10. ค่าแรงงานและประกอบเครื่อง	50,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องจักร	93,320

$$\text{จากตารางที่ ข1 ราคาซากเครื่อง} = \left(\frac{10}{100}\right) \times 93,320 = 9,332 \text{ บาท}$$

จากสมการ (3.5)

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (De)} = \frac{(93,320 - 9,332)}{10} = 8,398.8 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ (3.6)

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} &= \left(\frac{93,320 + 8,398.8}{2}\right) \times \left(\frac{7}{100}\right) \\ &= 3,560.15 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นจะได้ต้นทุนคงที่ต่อปี (FC)} &= 8,398.8 + 3,560.15 \\ &= 11,958.96 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC)

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 10 บาท ทำงาน 200 วัน ค่าบำรุงรักษาเท่ากับ $10 \times 200 = 2,000$ บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้า (EC) หน่วยละ 4.420 บาท ลืมเปิดไฟ 0.2 หน่วย/ชั่วโมง ใน 1 ปี ทำงาน 200 วัน ค่าไฟฟ้า (EC) = $0.2 \times 4.4 \times 8 \times 200 = 1,408$ บาท/ปี

ค่าจ้างแรงงานวันละ 300 บาท ทำงาน 1 คน

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (WC)} = 1 \times 300 \times 200 = 60,000 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ (3.7)

$$(VC) = 60,000 + 1,408 + 2,000 = 63,408 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ (3.4)

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่(FC)} + \text{ต้นทุนแปรผัน(VC)} \\ &= 11,958.96 + 63,408 \text{ บาท} \\ &= 75,366.96 \approx 75,367 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

4.2 จุดคุ้มทุนของเครื่องผลิตวัสดุผงหลังจากหญาคา

กำหนดให้ราคาต่อบหญาคาเท่ากับ 15 บาทต่อบ ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 14 ตบ/hr

$$\text{ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ } 200 \times 8 \times 14 = 22,400 \text{ ตบ/ปี}$$

ต้นทุนของต่อบหญาคา (กลุ่มพ่นร้งหญาคา, 2561) ต้นทุนต่อบหญาคา 1 ตบ ราคาหญาคา 3.5 บาท ไม้ไฟ 2 บาท ราคาเชือกไนลอน 1.5 บาท จะได้ต้นทุนของต่อบหญาคา 1 ตบ เท่ากับ 7 บาท

$$\begin{aligned} \text{กำไรต่อหน่วย} &= \text{ราคาขาย} - \text{ต้นทุนของต่อบหญาคา} \\ &= 15 - 7 = 8 \text{ บาทต่อบ} \end{aligned}$$

ดังนั้นจุดคุ้มทุนของเครื่องผลิตวัสดุผงหลังจากหญาคาเมื่อพิจารณาจากสมการ (3.8)

$$\text{จะได้ } N^* = \frac{11,958.96}{\left(8 - \left(\frac{75,367}{22,400}\right)\right)} = 2,579.9 \text{ ตบ/ปี}$$

$$\approx 2,580 \text{ ตบ/ปี}$$

4.3 ระยะเวลาคืนทุน

จากกำไรจากการขายดับหญาคาที่ผลิตจากเครื่องผลิตวัสดุผงหลังจากจากหญาคาเท่ากับ 8 บาทต่อดับ ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 14 ดับ/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 22,400 ดับ/ปี ดังนั้นจึงมีรายได้ $8 \times 22,400 = 179,200$ บาท/ปี

จากสมการ (3.10)

$$\begin{aligned} \text{กำไร (Pe)} &= \text{รายได้จากดับหญาคา} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} \\ &= 179,200 - 75,367 \text{ บาท/ปี} \\ &= 103,833 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากสมการ (3.9)

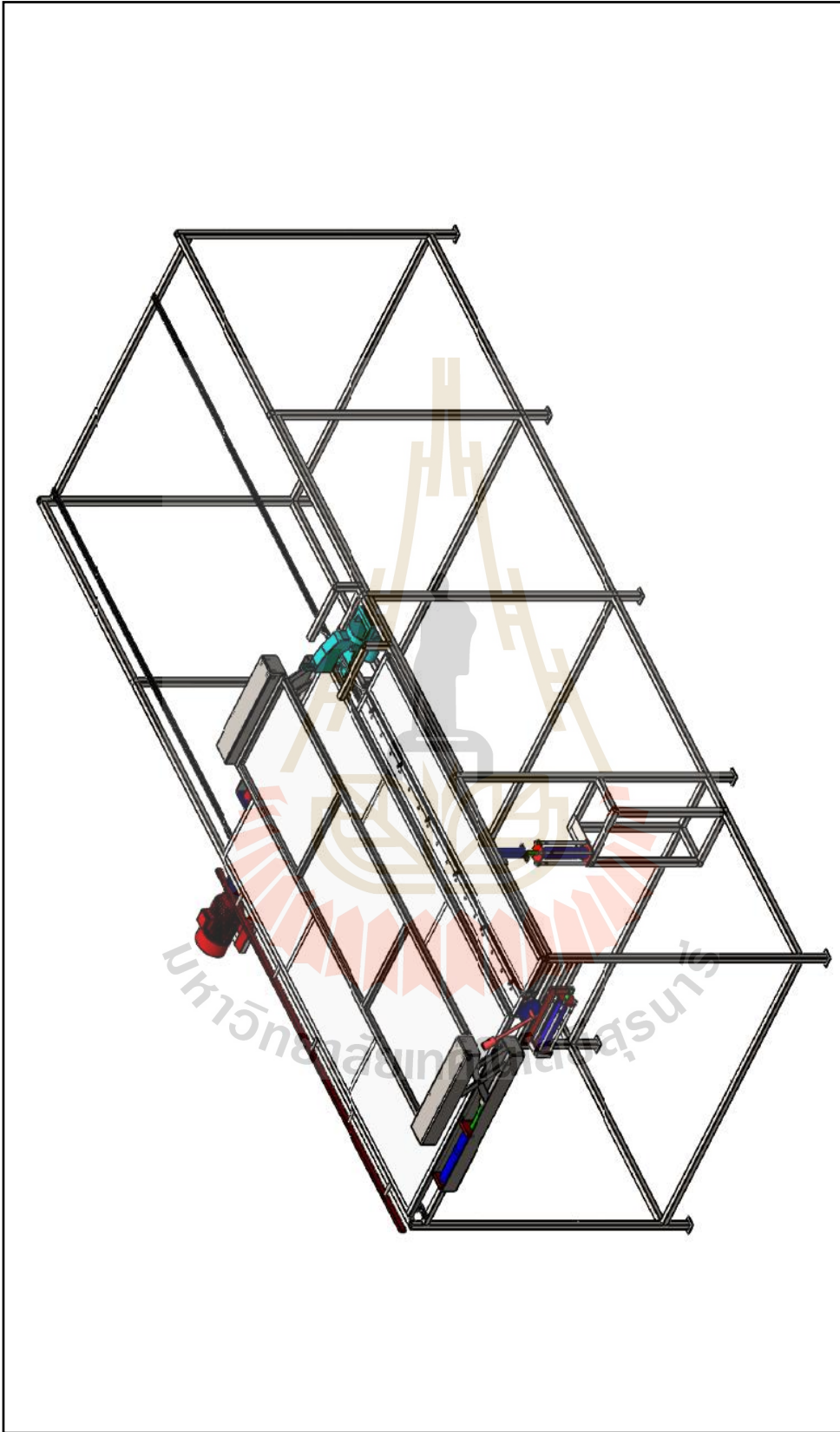
$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (Pr)} / \text{กำไร (Pe)} \\ &= 93,320 / 103,833 \\ &= 0.898 \text{ ปี} \approx 11 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การสร้างเครื่องผลิตวัสดุผงหลังจากหญาคาราคา 93,320 บาท และกำไรในการผลิตดับหญาคาอยู่ที่ราคา 8 บาท/ดับ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2,580 ดับ/ปี และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

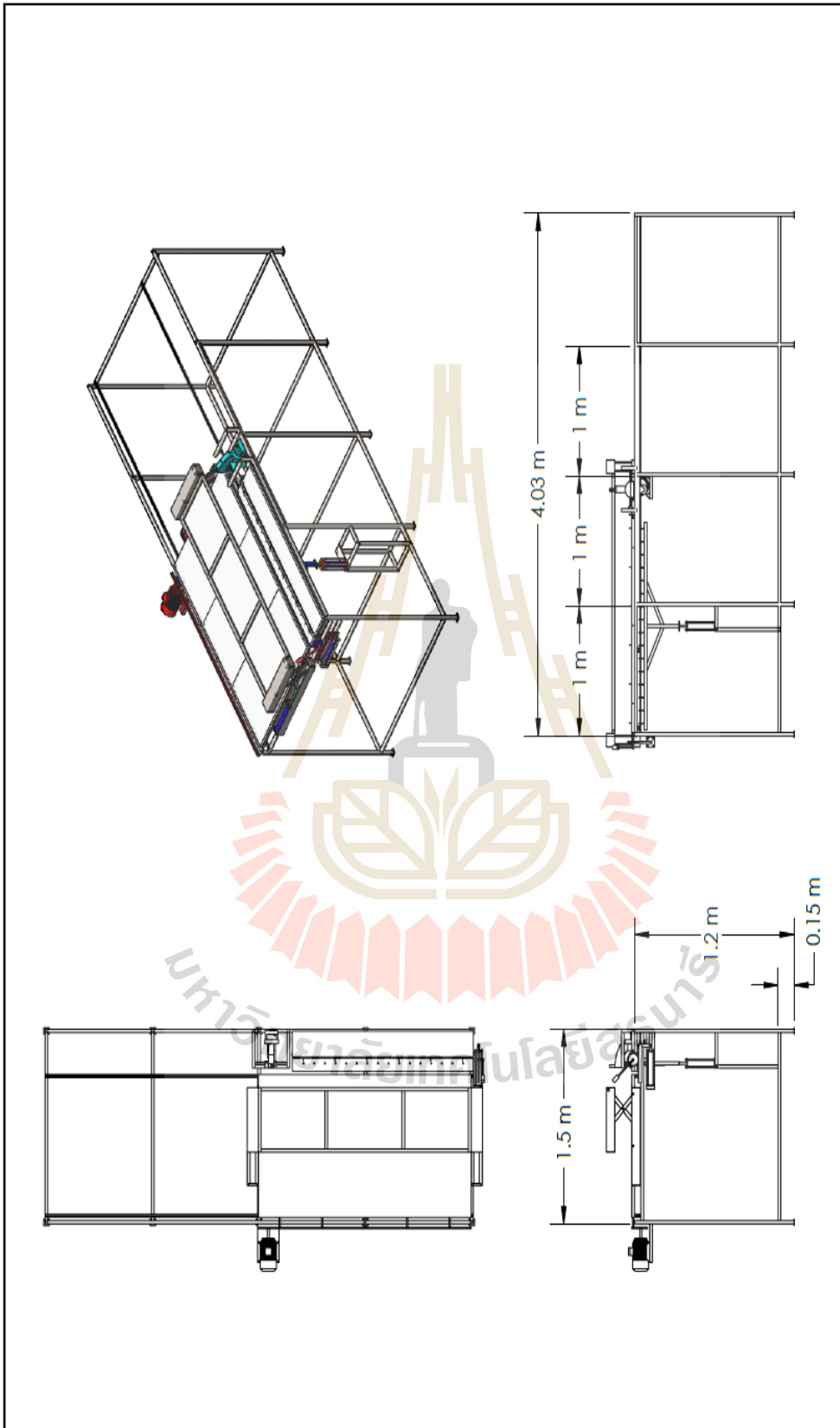


ภาคผนวก ค

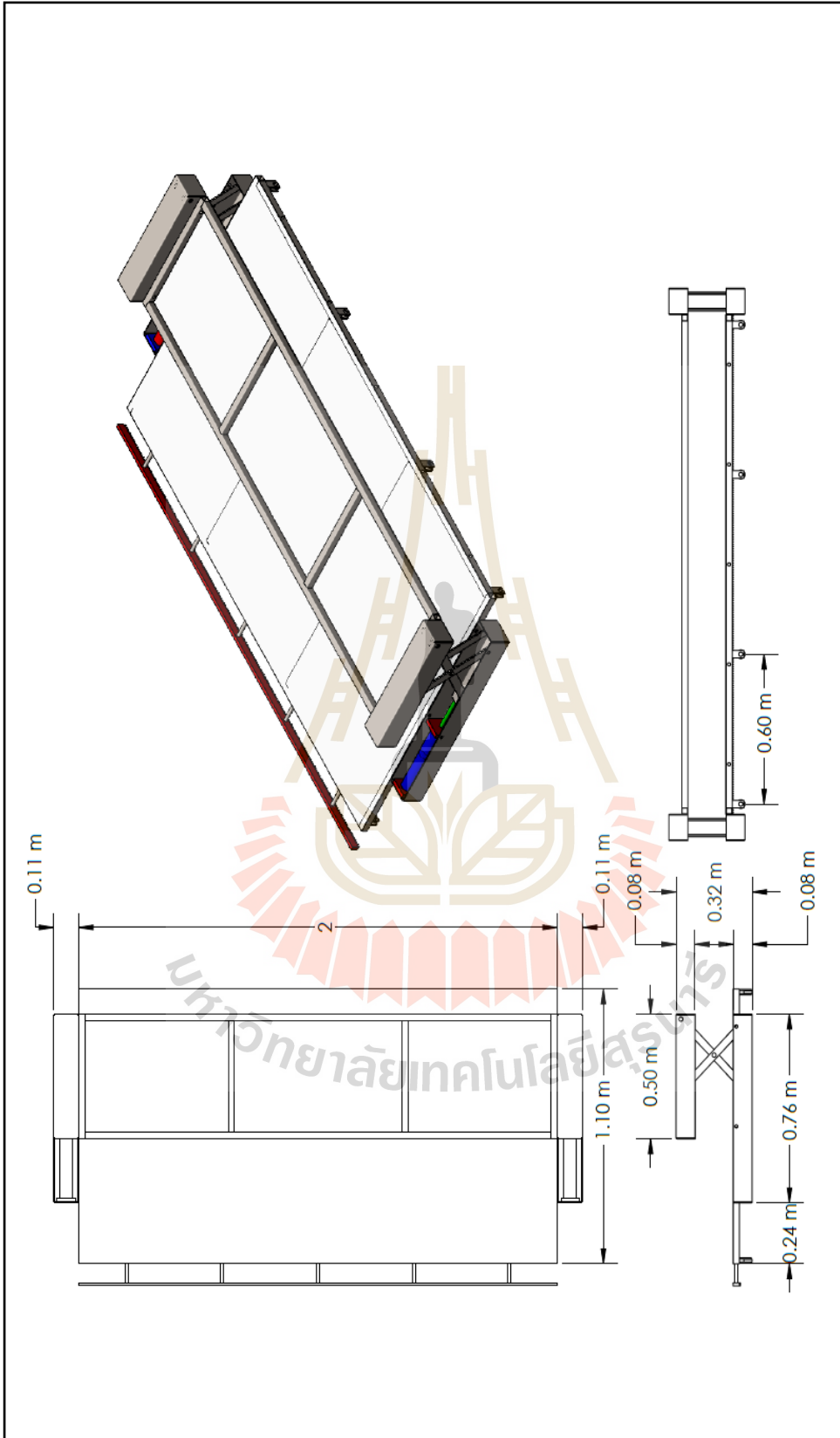
แบบเครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น



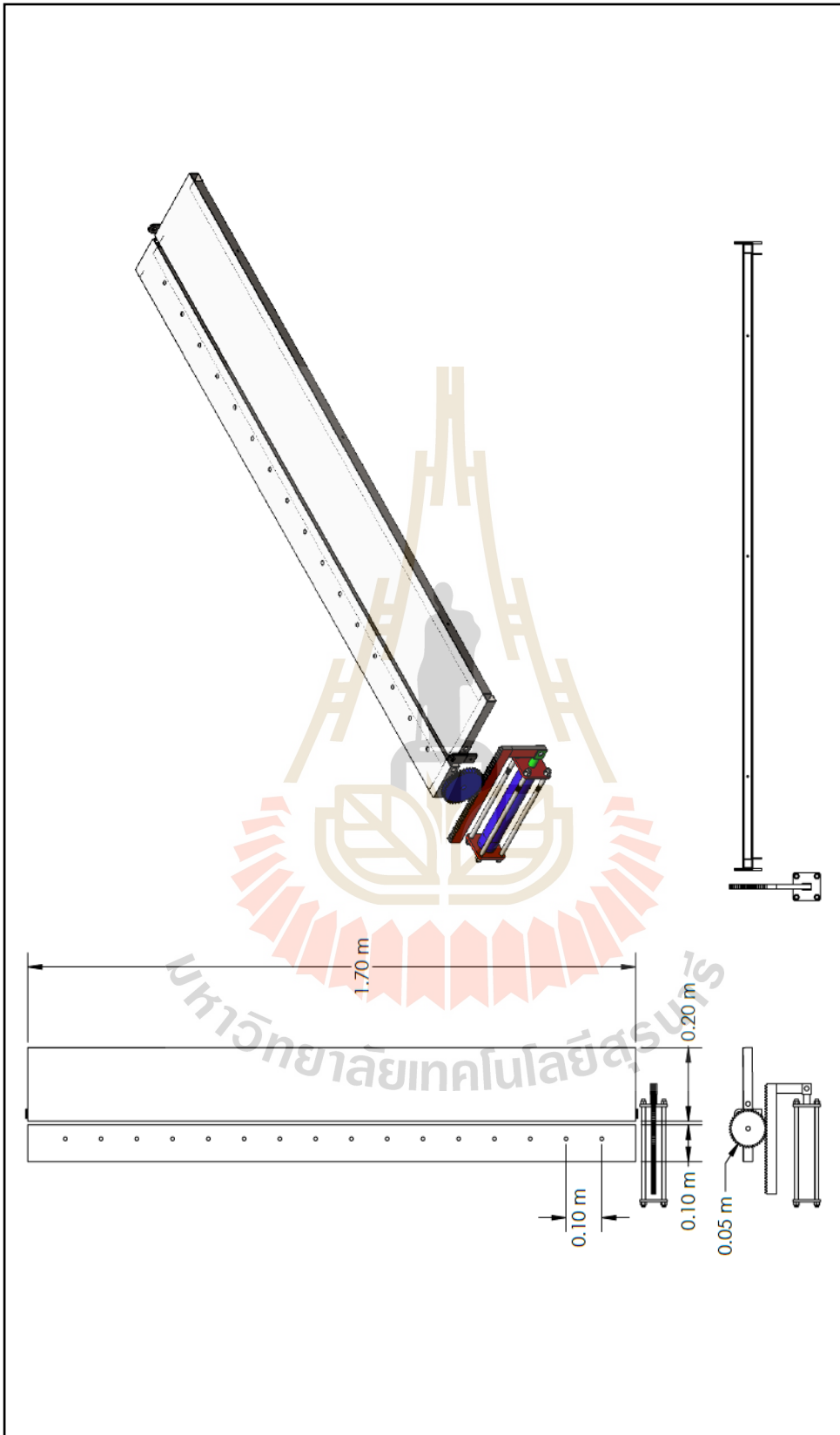
รูปผนวกที่ ค.1 แสดงภาพเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น



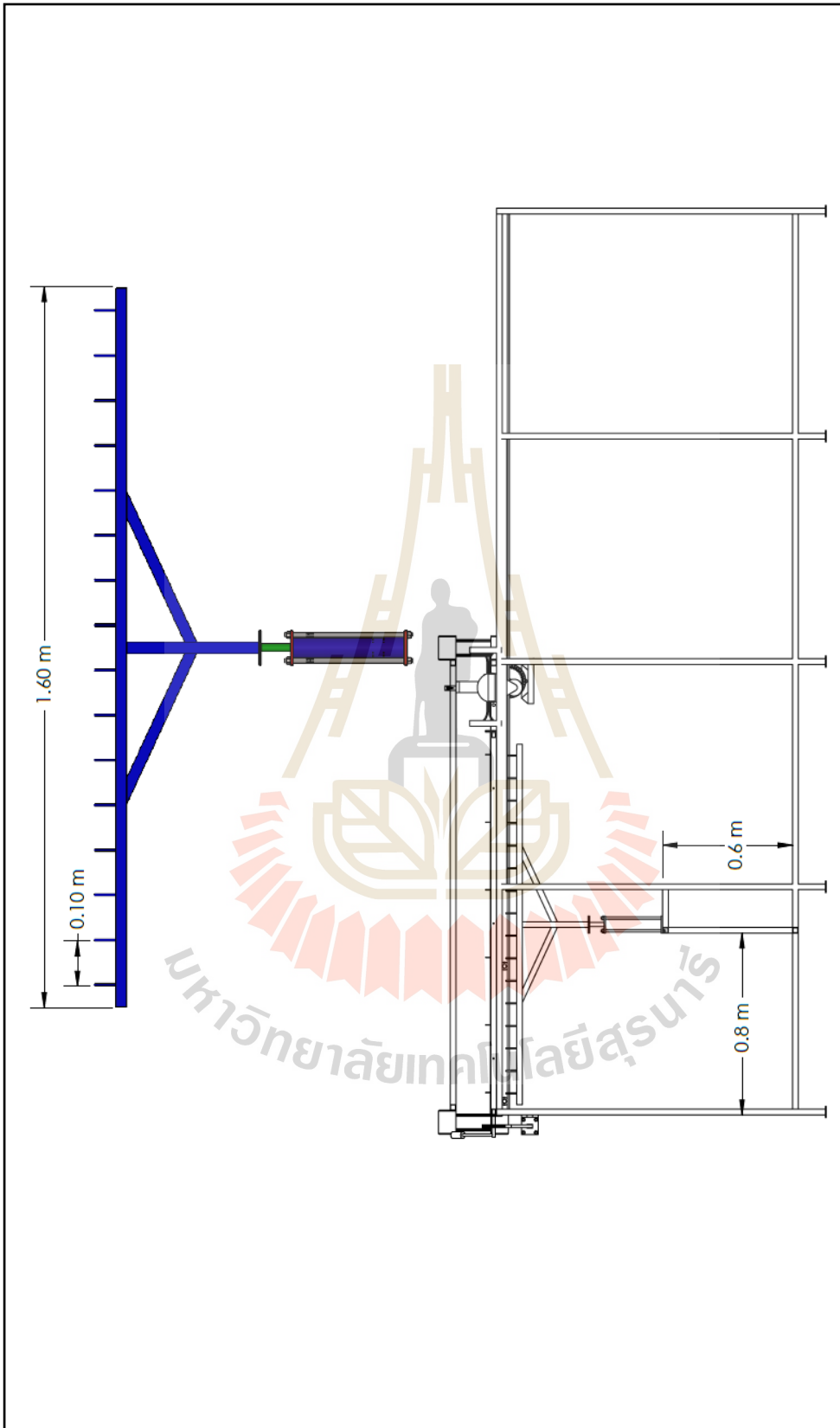
รูปผนวกที่ ค.2 แสดงภาพฉายหลายมุมมองเครื่องต้นแบบที่



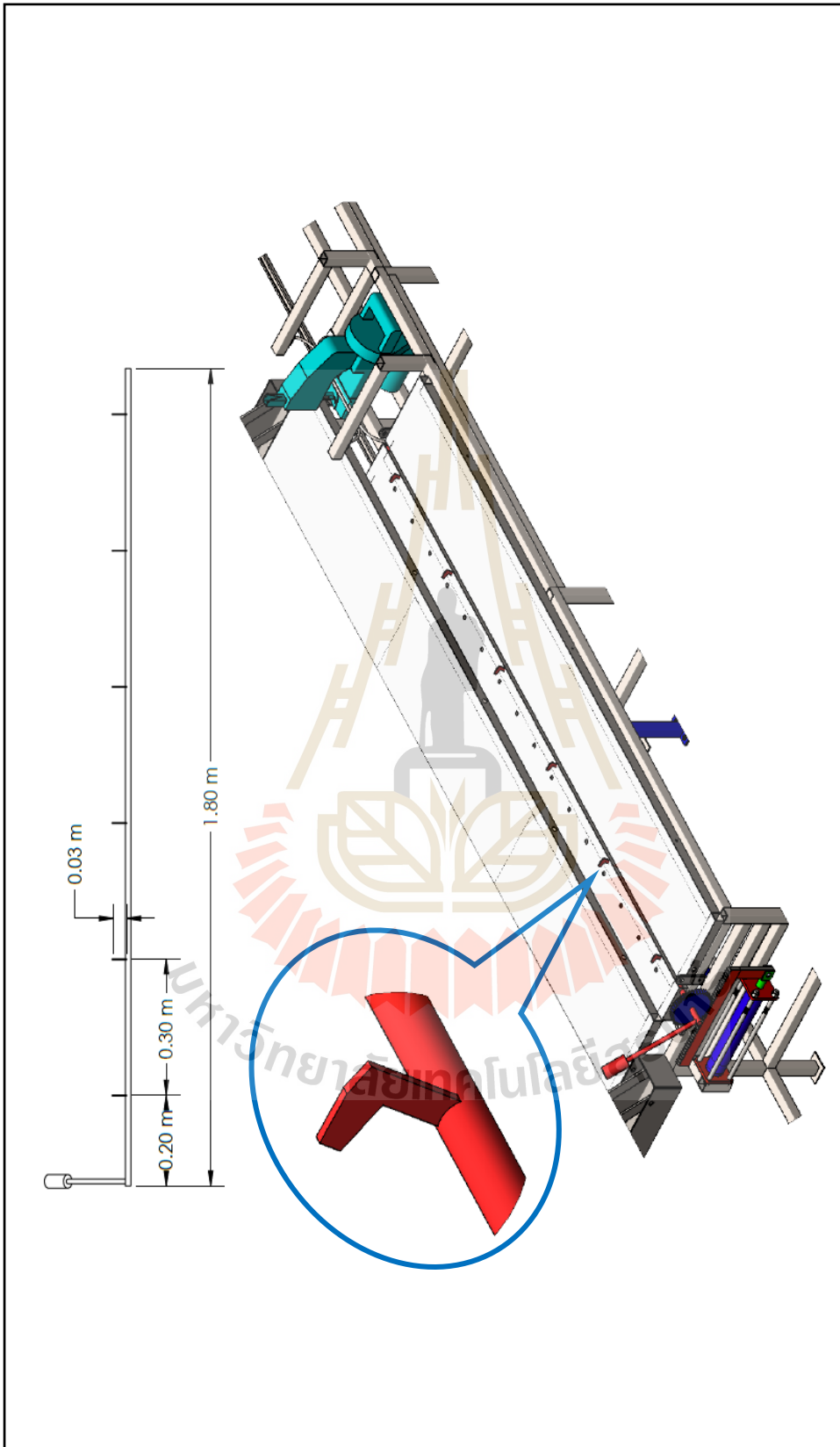
รูปผนวกที่ ค.3 แสดงภาพฉายหลายมุมมองของกลไกกดทับรายชื่อให้อยู่กับที่



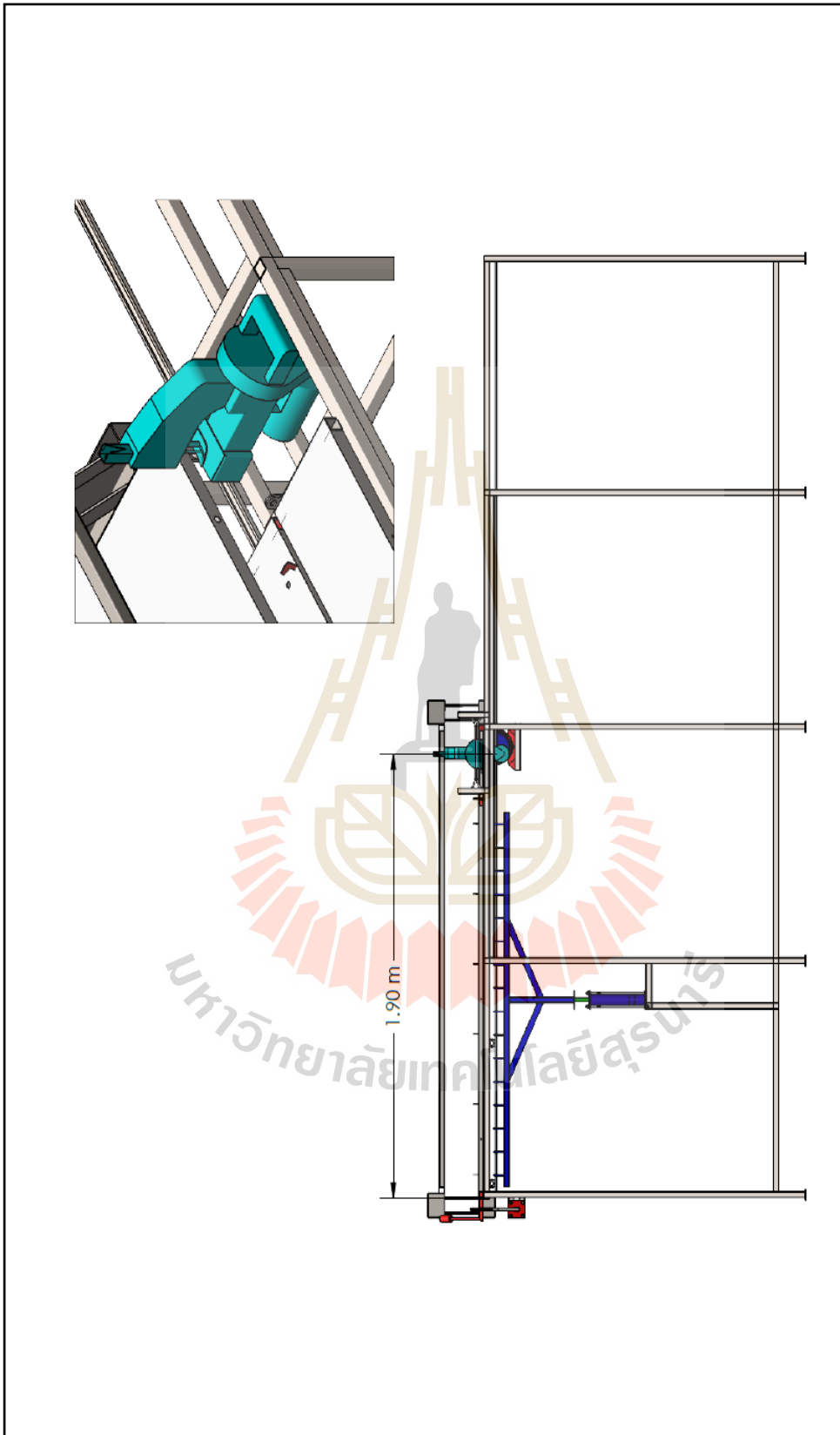
รูปผนวกที่ ค.4 แสดงภาพถ่ายหลายมุมมองของกลไกพัชราวุธที่ฐานบนแกนไม้



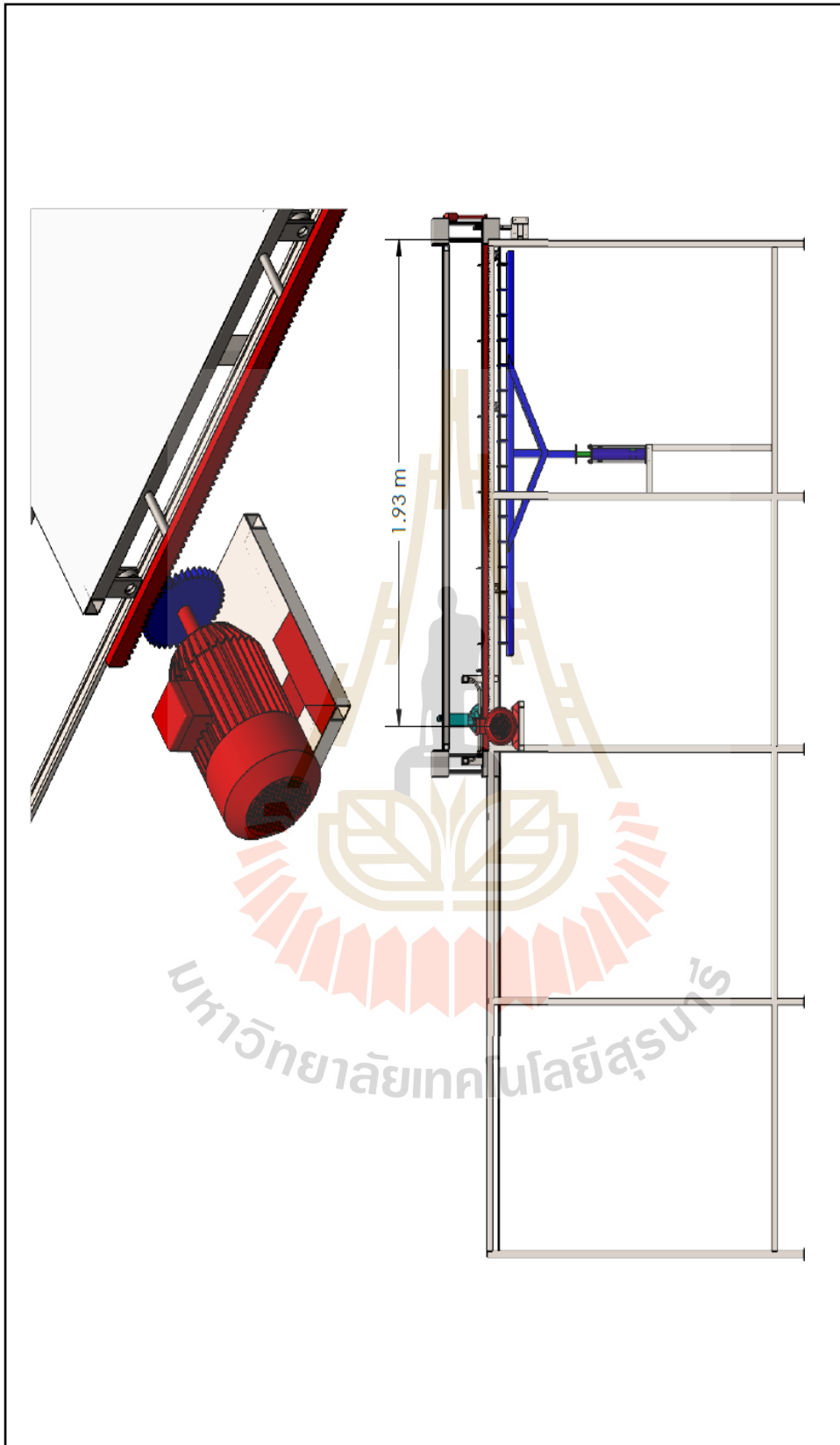
รูปผนวกที่ ค.5 แสดงภาพของกลไก เครื่องแกนนไม้



รูปผนวทที่ ค.6 แสดงภาพของกลไกเก็บขีตไม้



รูปผนวกที่ ค.7 แสดงภาพของกลไกการเข็ม



รูปผนวกที่ ค.8 แสดงภาพของกลไกการเลื่อนถาดรายหูก



ภาคผนวก ง

บทความที่ตีพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทความวิจัยเต็มรูปแบบที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

กฤษฎดา สายแสง, ทศพร จันทเมธิ, พชร ว่องไพศาลกิจ และ กระจวี ตรีอำนรรค. (2560). การศึกษาเชิงทดลองระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์. ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน 2560.

กฤษฎดา สายแสง, กระจวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2562). การทดสอบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุถุงหลังจากหญ้าแฝก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

กฤษฎดา สายแสง, กระจวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2562). เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุถุงหลังจากหญ้าแฝก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. ชลบุรี: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ระหว่างวันที่ 14 - 15 มีนาคม 2562.

บทความวิจัยเต็มรูปแบบที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Kridsada saisang, Krawee Treamnuk and Tawarat Treamnuk. (2018). **Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine.** The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment, Kobe, Japan: 8-10 June 2018.

การศึกษาเชิงทดลองระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรด
Experimental Study of Continuous Paddy Drying System by Infrared Heater

ทศพร จันทเมธิ¹, พชร ว่องไพศาลกิจ¹, กฤษดา สายแสง¹, กระวี ศรีอำรรค¹, เทวรัตน์ ศรีอำรรค²
TossapondJunthamethi, PatcharaWongpaisarnkit, KridsadaSaisang, KraweeTreeamnuk,
TawaratTreeamnuk

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Corresponding author: narm.saisang@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และอัตราการอบแห้ง (DR) ของระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องโดยใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรด ที่ควบคุมการป้อนข้าวเปลือกให้สามารถสัมผัสกับรังสีอินฟราเรดได้มากที่สุด โดยบังคับให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่เป็นรูปทรงกระบอกแบบชั้นบางประมาณ 1 cm รอบฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 650 W ที่ติดตั้งอยู่ตรงกลางของเครื่องอบแห้ง ระบบนี้ยังใช้ลมร้อนจากการระบายความร้อนส่วนเกินของฮีตเตอร์ช่วยให้เกิดการอบแห้งแบบไหลต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวางเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในการทดสอบ ข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้งมีความชื้นเริ่มต้น 17.4 %wb อัตราการไหลของข้าวเปลือก 0.42 kg/min ซึ่งจะทดสอบการอบแห้งที่อุณหภูมิในห้องฮีตเตอร์ 100 °C และ 120 °C โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 2.30 hr จากการทดสอบพบว่า การอบแห้งที่ 100 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 4.333 %wb มีอัตราการอบแห้ง 0.061 kg_{water}/hr และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.224 MJ/kg_{water} และการอบแห้งที่ 120 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 5.097 %wb มีอัตราการอบแห้ง 0.071 kg_{water}/hr และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.953 MJ/kg_{water}

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด, การอบแห้งแบบไหลต่อเนื่อง, การอบแห้งชั้นบาง

Abstract

This article presents a test of the specific energy consumption (SEC) and drying rate (DR) of the developed continuous flow paddy drying using an infrared heater. For the higher radiation mode of heat transfer in drying, the 650 Watts of rod infrared heater was installed in the center of the vertical cylindrical drying chamber and the paddy was forced to flow from top to bottom into a form of cylindrical thin-layer with thickness of 1 cm around the heater. The drying system also uses the vent excess hot air from the heater to assist the continuous cross flow drying for the increasing of drying performance. In the testing, paddy with the initial

moisture content of 17.4 %wb were used in this experiment and the paddy flowrate was specified at 0.42 kg/min. A 100°C and 120°C of the drying temperatures were selected for the drying time of 2.30 hrs. Testing found that drying the paddy at 100°C could reduce 4.333 %wb of paddy moisture content and the system gives the drying rate of 0.061 kg_{water}/hr and specific energy consumption 12.224 MJ/kg_{water}. Drying the paddy at 120°C, the moisture content was reduced in range of 5.097 %wb and the system have 0.071 kg_{water}/hr of drying rate and 12.953 MJ/kg_{water} of specific energy consumption.

Keywords: infrared dryer, continuous flow drying, thin-layer drying

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกข้าวและผลิตข้าวที่สำคัญ แทบทุกภูมิภาคสามารถเพาะปลูกข้าวและเก็บเกี่ยวข้าวได้ 2 ฤดูกาลหลัก คือข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ซึ่งข้าวที่เก็บเกี่ยวได้นั้นนอกจากถูกใช้บริโภคในประเทศแล้วส่วนที่เหลือจากการบริโภคจะถูกส่งเป็นสินค้าส่งออกและข้าวเป็นสินค้าส่งออกทางการเกษตรที่มีมูลค่ามากที่สุดของประเทศ แต่ปัญหาที่เกษตรกรต้องพบคือความชื้นในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวเปลือก จึงมีการนำวิธีการต่างๆมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือก เช่น การตากแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงแดดซึ่งในการลดความชื้นจำเป็นต้องใช้พื้นที่จำนวนมากและไม่สามารถควบคุมสภาวะในการตากแห้งได้ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนทำได้สะดวกรวดเร็วแต่ก็จำเป็นต้องใช้พลังงานสูง ทำให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตสูงตามไปด้วย การใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นระบบที่ให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้ลมร้อน อีกทั้งยังมีความเหมาะสมในการใช้งานกับวัสดุที่มีความชื้นไม่สูงมากอีกด้วย (อภิรักษ์ และไตรดา, 2552)

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย (สมชาติ, 2540) โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย เครื่องอบแห้งโดยทั่วไปหากแบ่งตามประเภทการให้ความร้อนจะแบ่งออกเป็น การให้ความร้อนโดยการพาความร้อน (convection) ตัวอย่างของการอบแห้งประเภทนี้คือ เครื่องอบแห้งแบบตู้ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น การนำความร้อน (conduction) เช่นเครื่องอบแห้งแบบ heat-shelf dryer เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) เช่นเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดซึ่งสามารถแผ่รังสีความร้อนในรูปรังสีอินฟราเรดทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวแห้ง และยังคงสมบัติของผลิตภัณฑ์ไว้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง (Glouannec et al, 2002; Nourhene et al, 2009) นอกจากนี้รังสี

อินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงานและลดระยะเวลาในการอบแห้ง (Vogt, 2007; Chua และ Chou, 2003 ; อ่ำไพศักดิ์และคักชัย, 2553)

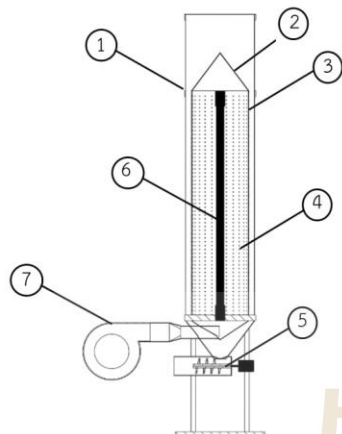
ปัญหาของการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบอินฟราเรดที่สำคัญคือ การทำให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับรังสีอินฟราเรดได้มากที่สุด ไม่เกิดการอบคั้งกันเอง เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเดินทางเป็นเส้นตรง ข้อจำกัดนี้ทำให้การใช้อินฟราเรดอบแห้งเพียงอย่างเดียวจะได้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ประกอบกับการใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแห้งซึ่งมีความสามารถในการแผ่รังสีได้รอบทิศทางสูงมาก ไม่สามารถนำมาใช้กับการป้อนข้าวเปลือกแบบชั้นบางทั้งแบบขวดและแบบต่อเนื่องด้วยสายพานลำเลียงที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้เต็มประสิทธิภาพ เพราะมีรังสีบางส่วนไม่สัมผัสกับข้าวเปลือก งานวิจัยนี้จึงต้องการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่ควบคุมการป้อนข้าวเปลือกให้สามารถสัมผัสกับรังสีอินฟราเรดได้มากที่สุด โดยบังคับให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่เป็นรูปทรงกระบอกแบบชั้นบางรอบแห้งฮีตเตอร์อินฟราเรดและรับรังสีในแนวรัศมีจากแห้งฮีตเตอร์เพื่อเป็นการใช้รังสีรอบแห้งฮีตเตอร์ได้ทั้ง 360 องศา ร่วมกับการใช้ลมร้อนจากการระบายความร้อนส่วนเกินของฮีตเตอร์ช่วยในการอบแห้งแบบไหลต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง ทั้งนี้เพื่อสร้างระบบอบแห้งด้วยอินฟราเรดแบบใหม่ซึ่งใช้พื้นที่น้อย ราคาต่ำ เพื่อช่วยแก้ปัญหาการอบแห้งข้าวเปลือกของเกษตรกรได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์การทดสอบ

รูปที่ 1 แสดงรายละเอียดของเครื่องอบแห้ง ซึ่งมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกแนวตั้ง โครงสร้างทำจากโลหะ ซึ่งประกอบด้วย (1) ห้องอบแห้งซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างท่อสังกะสีทรงกระบอกกับท่อวัสดุเสททรงกระบอกเจาะรูที่วางซ้อนกัน สามารถบรรจุข้าวได้ 3 กิโลกรัม (2) วัสดุรูปทรงกรวย (3) ท่อสังกะสีทรงกระบอก (4) ท่อวัสดุเสททรงกระบอกเจาะรู (5) สกรูลำเลียง (6) แห้งฮีตเตอร์แบบอินฟราเรดขนาด 650 วัตต์ และ (7) พัดลมดูดอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(a) รายละเอียดเครื่องอบแห้ง



(b) เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้ง

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง เป็นการอาศัยแรงโน้มถ่วงช่วยให้เกิดการไหลของข้าว ดังนั้นก่อนการอบแห้งต้องบรรจุข้าวเปลือกที่แห้งแล้วให้เต็มห้องอบแห้ง (1) ผ่านวัสดุรูปทรงกรวย (2) ที่ทำหน้าที่กระจายข้าวเปลือกให้ไหลลงช่องว่างระหว่างท่อวัสดุไหลทรงกระบอกเจาะรู (4) กับท่อสังกะสีทรงกระบอก (3) ได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งช่องว่างนี้ก็คือห้องอบแห้ง ขณะเครื่องอบแห้งทำงาน ข้าวเปลือกจะได้รับความร้อน 2 รูปแบบ คือ แบบแรกเป็นการรับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของแท่งฮีตเตอร์แบบอินฟราเรด (6) โดยตรง แบบที่สองเป็นการรับความร้อนจากลมร้อนผ่านพัดลมดูดอากาศ (7) ที่นำอากาศจากภายนอกเข้ามาระบายความร้อนในห้องฮีตเตอร์และอากาศที่รับความร้อนภายในห้องฮีตเตอร์จะถูกระบายผ่านรูของท่อวัสดุไหลทรงกระบอกเจาะรู เข้าสู่ห้องอบแห้งและถูกระบายขึ้นทางด้านบนสวนทางกับทิศทางการไหลของข้าวเปลือก และข้าวเปลือกในห้องอบแห้งจะถูกกำหนดอัตราการไหลโดยสกรูลำเลียง (5) ที่ทำหน้าที่ลำเลียงข้าวเปลือกที่อบแห้งเสร็จแล้วออกทางท่อสังกะสี

การทดสอบ

การศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้งมาแล้ว นำมาทำการเพิ่มความชื้นโดยการฉีดละอองน้ำแล้วผสมคลุกเคล้าทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นในข้าวเปลือกคงที่ ซึ่งจะได้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นก่อนการอบแห้งประมาณ 17.5 %wb ทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 100 °C กับ 120 °C โดยอัตราการไหลของข้าวเปลือกเท่ากันที่ 0.42 kg/min ในการอบแห้งทุกๆ 7 นาที ข้าวเปลือกที่ไหลออกมาจากห้องอบแห้งจะถูกเวียนขึ้นไปเติมที่ด้านบนของตัวเครื่องเพื่อทำการอบแห้งซ้ำ ซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที และในแต่ละรอบของข้าวเปลือกที่ออกมาจากห้องอบแห้งจะมีการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อนำไปหาความชื้นฐานแห้ง และมีการจดบันทึกพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

การวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตั้งแต่เริ่มอบแห้ง จนกระทั่งถึงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที โดยความชื้น (Moisture content, MC) ของผลิตภัณฑ์คำนวณจากสมการที่ (1) (อำไพศักดิ์และศักดิ์ชัย, 2553)

$$MC = \frac{(W_t - W_d)}{W_d} \times 100\% \quad (1)$$

- เมื่อ MC คือ ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง, %wb)
 W_t คือ น้ำหนักของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (กรัม, g)
 W_d คือ น้ำหนักแห้งของข้าวเปลือก (กรัม, g)

ในส่วนของ การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบอบแห้งได้กำหนดพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการศึกษาดังนี้

- 1) อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ อัตราของความชื้นที่เปลี่ยนไปเทียบกับเวลา ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) (อำไพศักดิ์และศักดิ์ชัย, 2553)

$$DR = \frac{(MC_i - MC_f)}{t} \quad (2)$$

- เมื่อ MC_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (กรัมน้ำ/กรัมมวลแห้ง)
 MC_f คือ ปริมาณความชื้นสุดท้าย (กรัมน้ำ/กรัมมวลแห้ง)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

- 2) อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ (3) (ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

$$SEC = \frac{3.6P_e}{M_w} \quad (3)$$

- เมื่อ P_e คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-hr)
 M_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง (kg)

ผลการศึกษา

การศึกษากการทดสอบระบบอบแห้งข้าวเปลือก โดยได้ทดสอบอุณหภูมิการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C ซึ่งจะแสดงในรูปของกราฟความชื้นในข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาดังรูปที่ 2

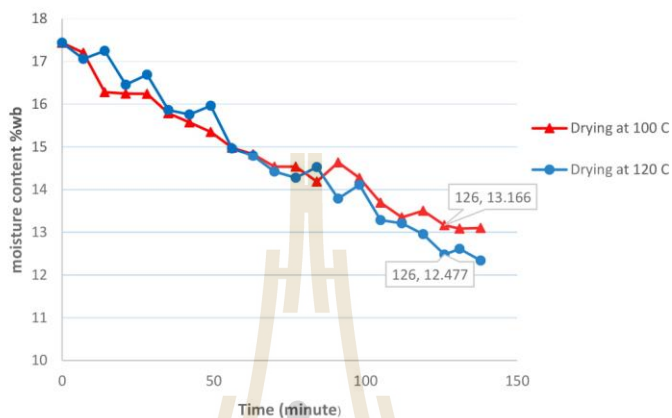


Figure 2 Show the relationship between moisture content and drying time

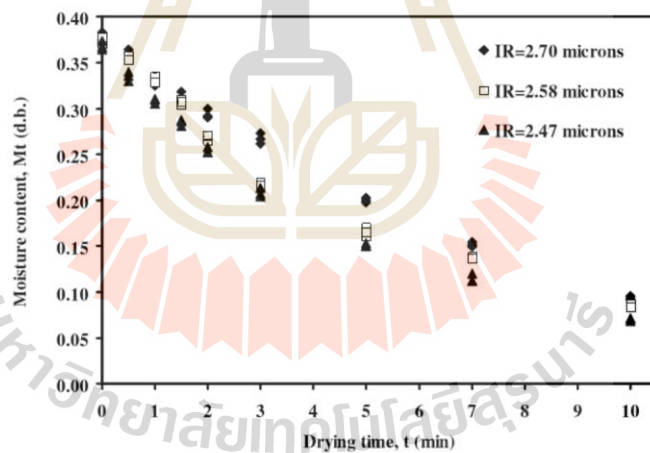


Figure 3 Show the relationship between moisture content and drying time of infrared drying
ที่มา Juckamas Laohavanich and Seree Wongpichet,2008

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่า การอบข้าวที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C จะมีแนวโน้มของความชื้นลดลงเรื่อยๆจนเวลาผ่านไปประมาณ 126 นาที การอบข้าวที่อุณหภูมิ 100 °C ความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มคงที่ เนื่องจากเครื่องอบแห้งไม่สามารถดึงความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้อีก และเมื่อเปรียบเทียบความชื้นที่ลดลงของทั้งสองอุณหภูมิจะพบว่า การอบข้าวที่อุณหภูมิ 120 °C สามารถลดความชื้นได้เท่ากับ 5.09 %wb ซึ่งมากกว่าการอบข้าวที่อุณหภูมิ 100 °C ที่สามารถลดความชื้นได้เท่ากับ 4.33 %wb เนื่องจากว่าการอบที่อุณหภูมิ 120 °C จะมีพลังงานความร้อนสูงกว่าการอบที่อุณหภูมิ 100 °C ทำให้สามารถดึงความชื้นออกมาจากข้าวเปลือกได้มากกว่า และจะเห็นว่าเส้นแนวโน้มการลดลงของความชื้นทั้งการอบแห้งทั้งสองสภาวะนั้นมีลักษณะเส้นความชื้นลดลงเป็นเส้นตรงซึ่งใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มการอบแห้งด้วยอินฟราเรดดังรูปที่ 3

การอบแห้งข้าวเปลือกเราสามารถพิจารณาการใช้พลังงานในการการอบแห้งเทียบกับเวลาได้ดังรูปที่ 4

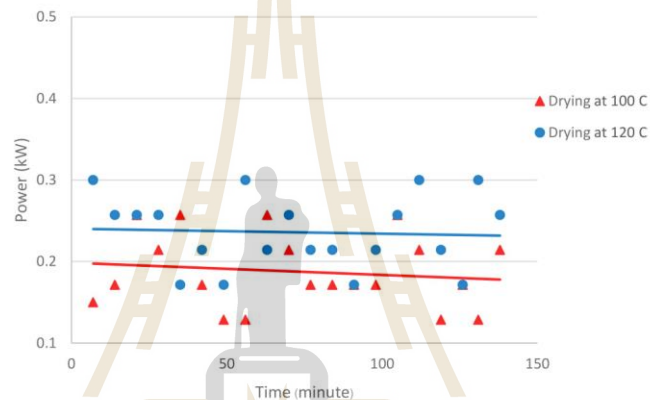


Figure 4 Show the relationship between power and drying time

จะเห็นว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C จะมีแนวโน้มค่า Power ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากปริมาณของข้าวเปลือกที่อบแห้งนั้นมีปริมาณน้อยทำให้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละช่วงของการอบแห้งนั้นแตกต่างกันน้อยมาก เราจึงไม่สามารถเห็นเส้นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเทียบกับเวลาได้ และเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการอบแห้งระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C จะพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้พลังงานมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากต้องให้พลังงานกับฮีตเตอร์เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่มากขึ้น

จากทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกโดยได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C เราสามารถคำนวณหาค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและอัตราการอบแห้งตลอดทั้งกระบวนการการอบแห้งได้ดังตารางที่ 1

Table 1 Average of Drying rate and Specific energy consumption

อุณหภูมิอบแห้ง(°C)	อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg _{water})	อัตราการอบแห้ง (kg _{water} /hr)
100	12.224	0.061
120	12.953	0.071

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C มีค่าอัตราการอบแห้งและอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C แต่กรอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C จะใช้พลังงานในการดึงความชื้นออกจากข้าวเปลือกมากกว่ากรอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C

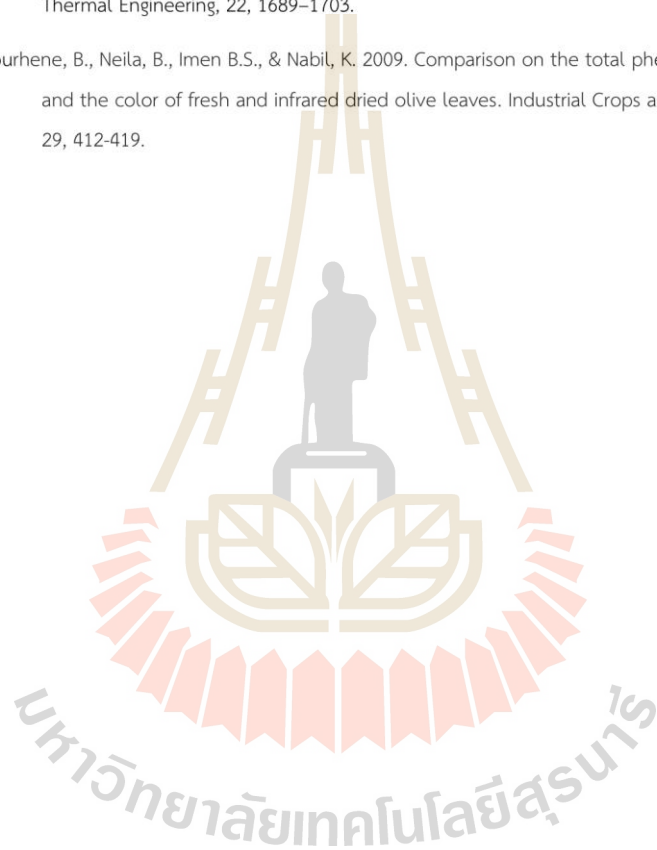
สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคงผลของระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดที่ควบคุมการป้อนข้าวเปลือกในห้องอบแห้งให้สามารถรับรังสีได้ตลอดแนวรัศมีของแท่งฮีทเตอร์อินฟราเรด ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า กรอบแห้งที่ 100 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 4.333 %wb มีอัตราการอบแห้ง 0.061 kg_{water} /hr และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.224 MJ/kg_{water} และกรอบแห้งที่ 120 °C สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 5.097 %wb มีอัตราการอบแห้ง 0.071 kg_{water} /hr และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.953 MJ/kg_{water}

เอกสารอ้างอิง

- อำไพศักดิ์ ธิบุญมา และ ศักชัย จงจำ. 2553. การอบแห้งข้าวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 15(2) : 76-86
- สมชาติ โสภณฤกษ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า.
- อภิรักษ์ วิไลภา และไครดา วิไลภา. 2552. การเปลี่ยนแปลงความชื้นและเนื้อสัมผัสของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 40(3) :85-88.
- Juckamas Laohavanich and Seree Wongpichet. 2008. Thin layer Drying model for gas-fired Infrared drying of paddy. Songklanakarín J. Sci. Technol, 30(3), 343-348.

- Chua, K.J., & Chou, S.K. 2003. Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 519-528.
- Vogt, M. 2007. Infrared drying lowers energy costs and drying times. *Plastics, Additives and Compounding*, 9, 58-61.
- Glouannec, P., Lecharpentier, D., & Noel, H. 2002. Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material. *Applied Thermal Engineering*, 22, 1689-1703.
- Nourhene, B., Neila, B., Imen B.S., & Nabil, K. 2009. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. *Industrial Crops and Product*, 29, 412-419.





การทดสอบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝก

Testing of Semi automatic Vetiver Grass Roofing Material Making Machine

กฤษดา สายแสง¹, กระจวี ตริอำนาจ^{1*}, เทวรัตน์ ตริอำนาจ²

Kridsada Saisang¹, Krawee Treeeamnuk^{1*}, Tawarat Treeeamnuk²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

² สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

² School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

*Corresponding author: Krawee Treeeamnuk Tel: +664-4224-766, E-mail: krawee@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ และคุณภาพของหญ้าแฝกที่ได้ เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยการวางรายหญ้าบนเครื่องจากนั้นกลไกของเครื่องซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์จะทำการพับและเลื่อนหญ้าเข้าสู่อุปกรณ์เย็บไฟฟ้าเพื่อเย็บให้รายหญ้าพับยึดติดกับก้านไม้และได้เป็นหญ้าแฝกต่อไป ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่าการผลิตหญ้าที่น้ำหนัก 0.8 kg ต่อตัว ระยะตีนผีแบบห่าง 6 mm จะได้หญ้าที่มีความสมบูรณ์ที่สุด มีการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh ต่อตัว การทดสอบการใช้งานพบว่าหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ และหญ้าที่น้ำหนัก 1 kg ต่อตัว สามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกของหลังคาประมาณ 10.85°C การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง ที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อตัว โดยใช้ตีนผีแบบห่าง มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr⁻¹ และอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ตัว ต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมเท่ากับ 85% จุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 ตัว ต่อปี และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

คำสำคัญ: หญ้าแฝก, วัสดุคลุมหลังคา, เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

Abstract

The aim of this research was to develop the semi automatic vetiver grass roofing material making machine and evaluate its performance and quality of finished products. The prototype is a semi automatic operation started by feed the grass on tray of the machine. After that, mechanism powered by pneumatic actuators fold the grass sheet and move them to sew by the electric sewing. Finally, the folded grass is sewn with the wood stick. Test results show that the 0.8 kg per panel of grass weight and gap 6 mm of sewing presser foot is the appropriate condition of the prototype to produces the quality grass panel and the energy consumption is in range of 0.0060 - 0.0090 kWh per panel of grass. Field roof testing of grass roofing material show that the roof can resist the shower water leaking. Weight of 1 kg per panel of grass gives a heigher sun light protection and it can reduce 10.85°C of temperature between the faces of roof. The continuos test show that the average energy consumption, capacity and efficiency are 0.205 kWh hr⁻¹, 14.9 panel h⁻¹ and 85% respectively. The break even point of this prototype are 1,925 panel year⁻¹ when operate at 11 Months of working time.

Keywords: Vetiver grass, Grass roofing material, Semi-automatic machine

1 บทนำ

หญ้าแฝกเป็นพืชพื้นเมืองของไทยที่สามารถเติบโตได้ง่ายในทุภูมิภาคของประเทศ คนไทยใช้ประโยชน์จากใบของหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา เรียกรการกรองแฝก และได้เป็นต้นหญ้าแฝกเพื่อมุ่งเป็นหลังคาได้ดัง Figure 1 เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น หากใช้ต้นหญ้าแฝกที่กรองได้อย่างสม่ำเสมอ มีความหนาเพียงพอ เมื่อนำมามุงหลังคาด้วยวิธีการที่เหมาะสม พบว่าหลังคาที่ได้มีความคงทน สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดีและมีจุดเด่นที่สำคัญคือ เป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม (Saisang et al., 2018)



Figure 1 Vetiver roofing.

ปัจจุบันปริมาณความต้องการวัสดุคลุมหลังคาจากแฝกมีสูงมาก ทั้งใช้มุงหลังคาที่อยู่อาศัย ใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ของโรงแรม ร้านอาหารและสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการผลิตต้นแฝกทุกขั้นตอนยังใช้มือในการปฏิบัติ เพราะมีข้อจำกัดคือ มีขั้นตอนที่ยุงยากและใช้เวลาในการผลิตนาน ขั้นตอนการผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกด้วยมือได้แสดงใน Figure 2



(c) bunches tied on wood rod (d) vetiver grass panel
Figure 2 The process of vetiver roofing material Manufacturing.

2

เริ่มจาก (a) การตากหญ้าให้แห้งด้วยแสงแดด (b) จากนั้นมัดหญ้าที่ละก้านกันไม้ (เรียกการกรองหรือโพหญ้า) (c) เมื่อมัดจนเต็มความยาวของก้านไม้จะได้ (d) ต้นหญ้าสำหรับใช้งานต่อไป (Bansuan suppayanaidin, 2014) วิจัยของ Saisang et al. (2018) ได้แสดงการออกแบบเครื่องจักรผลิตต้นหญ้าแฝกที่มีการทำงานด้วยจักรเย็บไฟฟ้าและกลไกแทนการทำงานด้วยมือ ตัวอย่างการเย็บแสดงดัง Figure 3 และมีการใช้คำสั่ง Motion Analysis ในโปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบการทำงานและหาขนาดของต้นก้านของแต่ละกลไกด้วย



(a) Sewing machine (b) Seam stitched

Figure 3 Sewing machine and its seam stitched.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสร้างเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและทดสอบการทำงานของเครื่องและคุณภาพของต้นหญ้าที่ผลิตได้ตามแนวทางการออกแบบที่ Saisang et al. (2018) ได้นำเสนอไว้เพื่อช่วยเพิ่มรวดเร็วในการผลิตต้นหญ้าและลดขั้นตอนการทำงานด้วยมือของคนลงโดยที่ยังคงได้ต้นหญ้าที่มีคุณภาพไม่แตกต่างจากการทำด้วยมือเมื่อทดสอบใช้งานจริง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 กลไกของเครื่องจักร

2.1.1 เครื่องต้นแบบ และ หลักการทำงาน

เครื่องจักรต้นแบบได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบ (Figure 4) และได้นำมาสร้างเครื่องต้นแบบ (Figure 5) ซึ่งมีการทำงานดังนี้

1. การทำงาน (Figure 4) เริ่มต้นด้วยกลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2) และ กลไกตรงไม้ (หมายเลข 3) จะเลื่อนขึ้น เพื่อให้ทำการวางรายหญ้าแฝกไว้บนถาด (หมายเลข 6 ดังแสดงใน Figure 4 และ Figure 6a) และจัดเรียงให้ได้ความหนาและขนาดตามต้องการ หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติจะวางก้านไม้บนรายหญ้าที่ตำแหน่ง หมายเลข 7 (Figure 4 และ Figure 6b)

2. ต้นคั้นโยกกลไกจับยึดไม้ (Figure 6b) จับยึดไม้บนรายหญ้า (Figure 6c) จากนั้นกลไกการพับ (หมายเลข 1 ดังแสดงใน Figure 4) จะหมุนพับรายหญ้าให้ทับกับก้านไม้ (Figure 6d)

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ xx ฉบับที่ x (xxxx), x-x

3. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2 ดังแสดงใน Figure 4) จะเลื่อนลงเพื่อคลายหญ้าที่พับแล้วและทำการดันคั้นโยกกลไกจับยึดไม้กลับตำแหน่งเดิม (Figure 6e) หลังจากนั้นกลไกการพับและกลไกตรงไม้จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น (Figure 6f)

4. ถาดจะเลื่อนและนำรายหญ้าที่พับทบบนกันไม้แล้วเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า (หมายเลข 4 ดังแสดงใน Figure 4) โดยมอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 5 ดังแสดงใน Figure 4) จักเย็บไฟฟ้าจะเย็บทบบรายหญ้าให้ติดกัน (Figure 6g) เมื่อเย็บเสร็จกลไกกดทับแผงหญ้าให้อยู่กับที่ จะเลื่อนขึ้นเพื่อให้หยิบดับหญ้าสำเร็จออกมาได้ (Figure 6h) จากนั้นขั้นตอนการผลิตนี้จะเสร็จสิ้น

5. หลังจากนั้นกลไกทั้งหมดจะย้ายกลับไปตำแหน่งเริ่มต้นและรอการดำเนินการการผลิตต่อไป

ทำงานจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยใช้กลไกเฟืองบรรทัดกับเฟืองฟันตรง (Figure 7a)

2. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ขนาด 4 cm มีระยะชัก 20 cm จำนวน 2 กระบอกติดตั้งที่ขอบของถาดทั้งสองฝั่งกลไกทำงานเปลี่ยนการเคลื่อนของกระบอกลูกสูบในแนวอนนไปสู่การยกในแนวตั้งโดยกลไก x-lift (Figure 7b)

3. กลไกจับยึดแกนไม้ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ขนาด 3 cm มีระยะชัก 10 cm เพื่อยกบาร์เหล็กขึ้นเพื่อขวางไม้ไม่ให้เคลื่อนที่ (Figure 7c)

4. กลไกการเย็บกลไกนี้ใช้จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A (Figure 7d) ในการทำงาน

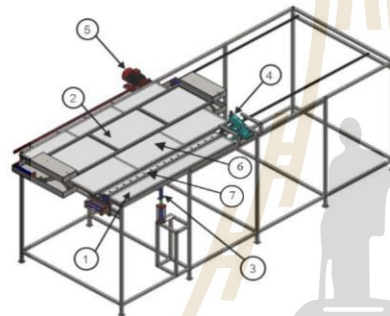


Figure 4 Component of prototype machine.



Figure 5 Prototype machine.

2.1.2 กลไกของเครื่องจักร การเคลื่อนที่และต้นกำลังขับเคลื่อนของกลไกต่างๆมีการทำงานดังนี้:

1. กลไกการพับรายหญ้าทบบนกันไม้ใช้ต้นกำลังจากกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ขนาด 6.3 cm มีระยะชัก 15 cm กลไก

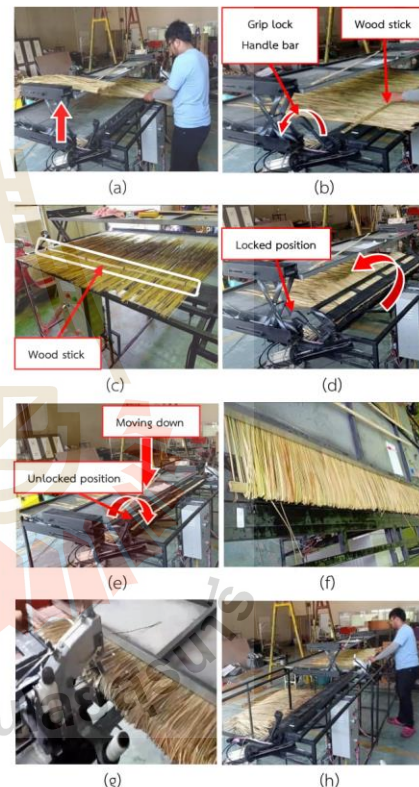


Figure 6 The operation of prototype machine.

5. กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า ถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 W 24 V ด้วยความเร็ว 21 rpm และการเคลื่อนที่เชิงเส้นของถาดจะถูกส่งผ่านด้วยกลไกเฟืองตรงและเฟืองบรรทัด (Figure 7e)

6. กลไกจับยึดไม้ เป็นกลไกที่ถูกเพิ่มเข้ามาตอนสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อช่วยผ่อนแรงในการจับยึดไม้ให้แน่นยิ่งขึ้น (Figure 7f)

ใช้ลมอัดความดัน 6 bar ในการขับเคลื่อนกระบอบสูบนิวแมติกส์ ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วย PLC และอัตราการไหลของลมอัด 58.08 L min⁻¹ ซึ่งเป็นไปตามที่ Saisang et al., (2018) ได้รายงานไว้แล้ว

2.2 การทดสอบ

2.2.1 การทดสอบการผลิตหญ้า

ในการทดสอบจะใช้หญ้าคาเป็นวัสดุหญ้าแทนหญ้าแฝก เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันมากและหาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยจะทดสอบการผลิตแบ่งตามน้ำหนักแห้งของหญ้าต่อต้นเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg และทดสอบตาม

ลักษณะดินของจักรเย็บกระสอบโดยจะแบ่งเป็นดินมีแบบชิด (ระยะห่าง 0 mm) และดินมีแบบห่าง (ระยะห่าง 6 mm) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับได้ของจักรเย็บไฟฟ้า (ดังแสดงใน Figure 8) ทำการทดสอบขั้นต้นที่การผลิตหญ้าน้ำหนักต่อต้น 0.6 kg และ 0.8 kg เพื่อตัดสินใจเลือกระยะห่างของดินที่เหมาะสมโดยทดสอบผลผลิตจำนวน 10 ชิ้น ต่อสภาวะการทดสอบ ระยะห่างดินที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการผลิตหญ้าที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อไป

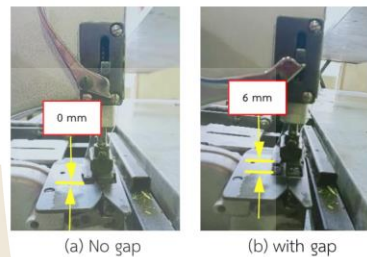


Figure 8 Presser foot gap.

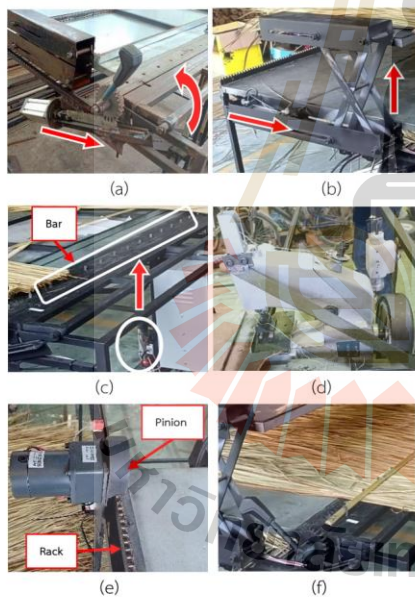


Figure 7 The operation of mechanism.

ก่อนการผลิตหญ้าด้วยเครื่องต้นแบบต้องมีการเตรียมหญ้าก่อน โดยการชั่งน้ำหนักหญ้าแห้ง (Figure 9a) ตามต้องการแล้วทำการมัดด้วยเชือกไว้เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย (Figure 9b) และก่อนนำมาทดสอบควรนำมัดหญ้าไปพรมน้ำก่อนเพื่อให้วางรายหญ้าได้ง่าย ไม่บาดมือ และป้องกันการหักของหญ้าในขั้นตอนการพับหญ้าของเครื่อง



Figure 9 Preparation of grass.

2.2.2 คุณภาพของหญ้าที่ผลิตได้
 หญ้าที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังนี้

- 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป 2) แนวพับของหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ xx ฉบับที่ x (xxxx), x-x

2.2.3 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝนโดยจะทดสอบน้ำดับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาและใช้หัวฝักบัวรดน้ำจำลองแทนน้ำฝน ดังแสดงใน Figure 10 ในการทดสอบจะมีการแปรค่าระยะห่างระหว่างก้านไม้ของดับหญ้าออกเป็น 20 cm และ 15 cm ซึ่งในการทดสอบจะปล่อยน้ำด้วยฝักบัวใส่หลังคาเป็นเวลา 30 min เพื่อพิจารณาการรั่วซึมของน้ำผ่านหลังคาที่ใช้ดับหญ้าที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับดับหญ้าที่ทำด้วยมือที่มีจำหน่ายในท้องตลาด



Figure 10 Leakage test by shower.

2.2.4 การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์



Figure 11 Sunlight protection test.

ทดสอบน้ำดับหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาที่ระยะห่างกัน 20 cm และมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 10.5 องศา ดังแสดงใน

Figure 11 ปล่อยให้ได้รับแสงอาทิตย์ตั้งเวลา 08.00-17.00 น. และทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านใต้ของหลังคา ด้วย IR Thermometer (DT-300, Taiwan) และวัดค่าความเข้มแสง โดยใช้ Solar power meter (TM-206, TENMARS, PR. China) ในการวัดจะบันทึกค่าทุกๆ 1 hr เปรียบเทียบผลการทดสอบจากหลังคาที่ใช้ดับหญ้าที่ผลิตได้กับดับหญ้าที่ทำด้วยมือที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

2.2.5 การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง

ใช้ระยะห่างดินฝักของจักรไฟฟ้าและน้ำหนักหญ้าที่ให้คุณภาพการผลิตที่ดีที่สุดมาใช้ในการทดสอบผลิตดับหญ้าแบบต่อเนื่อง จำนวน 40 kg วิเคราะห์คุณภาพของดับหญ้าตามข้อ 2.2.2 และคำนวณหา ประสิทธิภาพการผลิต (Efficiency) อัตราการทำงาน (Capacity) เปอร์เซ็นต์ความบกพร่อง (Defect percentage) และอัตราการใช้พลังงาน (Average Energy Consumption, AEC) ตามสมการ (1) (2) (3) และ (4)

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Number of good product}}{\text{Number of total product}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Number of product}}{\text{Time (hr)}} \quad (2)$$

$$\text{AEC} = \frac{\text{Total energy (kWh)}}{\text{Time (h)}} \quad (3)$$

$$\text{Defect (\%)} = \frac{\text{Incomplete product (panel)}}{\text{Total product (panel)}} \times 100 \quad (4)$$

และทำการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาจุดคุ้มทุนของการใช้งานเครื่องต้นแบบนี้

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของดับหญ้า

ดับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องจักรต้นแบบเมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขในหัวข้อ 2.2.2 และสมการ (4) โดยหมายเลข 1-7 ใน figure 12, 13 และ 14 คือ ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งได้อธิบายในลำดับถัดไป

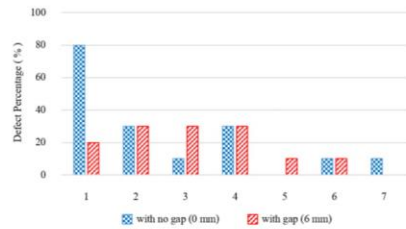


Figure 12 Defect percentage of grass roofing material weight 0.6 kg.

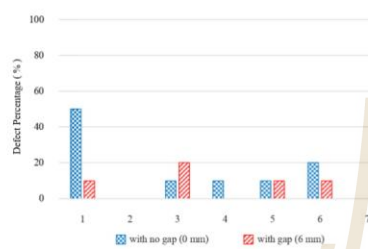


Figure 13 Defect percentage of grass roofing material weight 0.8 kg.

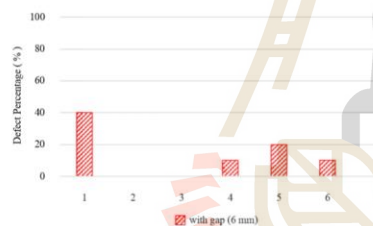


Figure 14 Defect percentage of grass roofing material weight 1.0 kg.

ปัญหา 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ ปัญหา 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยมาก ปัญหา 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและ 2) แนวพับของตับหญ้าเอียงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg และ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปจะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่มีดินผสมชนิดมากกว่าดินผสมแห้ง จากปัญหาและผลการทดสอบที่ได้ทำให้ทราบว่า การทดลองที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg ดินผสม

แห้ง จะผลิตหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักหญ้าแห้งเป็น 1 kg และปรับดินผสมแห้งเพื่อให้ได้หญ้าใกล้เคียงกับน้ำหนักหญ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้ผลตาม Figure 14

พบว่าปัญหาที่สังเกตเห็นได้ชัดคือ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพราะว่าเมื่อน้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ตับหญ้ามีความหนามากขึ้นจึงวิ่งผ่านช่องว่างของการเย็บได้ยากขึ้น ลักษณะปัญหาและสาเหตุมีดังนี้

1. ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป (Figure 15) รอยเย็บเอียงเกิดจากขณะที่ตับหญ้าวิ่งเข้าสู่จักรเย็บ ดินผสมจะพยายามยกตัวขึ้นเพื่อกดตับหญ้าในจังหวะนี้จักรเย็บจะเย็บหญ้าในส่วนด้านล่างของตับหญ้าก่อนทำให้ช่วงต้นของตับหญ้ามียอยเย็บที่ผิดรูป พบสูงสุดที่ทดสอบแบบดินผสมชนิด เนื่องจากดินผสมยกตัวขึ้นเพื่อกดทับตับหญ้าได้ยากกว่าการทดลองโดยดินผสมแห้ง



Figure 15 Wrong sewing at the first of operation.

2. แนวพับของตับหญ้าเอียง (Figure 16) เกิดจาก 2 กรณี 1) ขณะพับรายหญ้ามมีการเลื่อนของตับหญ้า 2) เกิดการติดขัดขณะทำการเย็บซึ่งจะส่งผลให้แนวพับของหญ้าเอียงตามการเคลื่อนที่ของภาคเลื่อน ซึ่งปัญหานี้พบมากที่การทดลองผลิตหญ้าน้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่าร่ายหญ้ามมีความหนาน้อยเกินไปจึงไม่สามารถกดหญ้าให้แน่นได้ในขั้นตอนการพับ



Figure 16 Incline folded grass panel.

3. ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ (Figure 17) คือ ช่วงสิ้นสุดการเย็บเกิดรอยตะเข็บหลุด เกิดจากขั้นตอนการตัดด้าย หากปลายของตับหญ้ายู่ออกใกล้กับจักรเย็บมากเกินไปทำให้ตัดด้ายได้ยาก

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ xx ฉบับที่ x (xxxx), x-x

เกิดด้วยหลอดออกส่งผลให้หน้าตรงปลายดัดหญ้าหลอดออกมาด้วย ซึ่งปัญหานี้พบได้ทุกวันในการทดสอบ



Figure 17 Incomplete sewing at the end of operation.

4. การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ คือ หญ้ามีการกระจายตัวตลอดทั้งดัดไม่เท่ากัน เกิดจากขั้นตอนการเรียงหญ้าด้วยมือ โดยปัญหานี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดสอบผลิตหญ้าที่น้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่าจำนวนหญ้าน้อยเกินไป



Figure 18 Poor distribution of grass.

5. เย็บไม่สำเร็จ คือ มีบางส่วนของดัดหญ้าเย็บไม่ได้เพราะการเย็บมีการติดขัดซึ่งปัญหานี้พบได้น้อยมาก

6. ด้ายขาด เกิดจากบางช่วงของการเย็บด้ายมีความตึงมากเกินไปทำให้ด้ายขาดขณะเย็บ ซึ่งพบปัญหานี้บ่อยมาก

7. ก้านไม้หลุดจากชุดจับ (Figure 19) เกิดจาก 1) การจับยึดไม่มั่นคง 2) ไม่สามารถทนแรงที่ใช้ในการตัดหญ้าทั้งดัดได้ ทำให้เกิดการบิดงอหรือหักได้ 3) ถ้าหญ้ามีความหนามากขึ้นจะทำให้จับยึดไม่ได้ยกขึ้นไปด้วย



Figure 19 Fail of wood stick gripping mechanism.

จากการวิเคราะห์คุณภาพของดัดหญ้า เราสามารถแบ่งคุณภาพของดัดหญ้าออกได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) ดัดหญ้าสมบูรณ์ (ไม่เกิดปัญหาในการผลิตเลย) 2) ดัดหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้งานได้ (เกิดปัญหาตามข้อ 1-4) และ 3) ดัดหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ (เกิดปัญหา 5-7 และถูกประเมินเป็นของเสีย)

3.2 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

ผลการทดสอบจาก Table 1 การรั่วซึมของน้ำฝน ที่มุมหลังคา 10.5 องศา ถ้าวางดัดหญ้าห่างกัน 20 cm หลังคาที่มุงด้วยดัดหญ้าทุกแบบมีการรั่วซึมของน้ำฝน แต่ถ้าวางดัดหญ้าห่างกัน 15 cm ดัดหญ้าจากท้องตลาดไม่เกิดการรั่ว ที่มุมหลังคา 17.35 องศา วางดัดหญ้าห่างกัน 15 cm หลังคาที่มุงด้วยดัดหญ้าแบบน้ำหนัก 0.8 kg และ 1.0 kg ไม่เกิดการรั่ว จากการทดสอบถ้าลดระยะห่างของการมุงดัดหญ้าหรือเพิ่มมุมองศาของหลังคา จะทำให้การป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่จะต้องใช้ดัดหญ้าในการมุงหลังคาเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้พื้นที่หลังคาในแนวระนาบเท่ากัน

3.3 การป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ด้านใต้และด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา แสดงดัง Figure 21 และ 22 ดังนี้

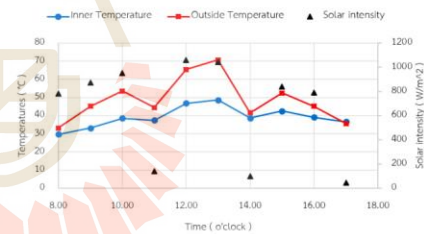


Figure 21. Relation between temperatures and solar intensity during time of grass roofing from market.

Table 1 Test results in leakage by rainwater.

1. The roof angle 10.5 degrees by horizontal		
Gap between panel is 20 cm		
Grass Weight/ panel	Leak	Description
0.6 kg	Yes	Many leakages, water flow through the panel.
0.8 kg	Yes	Many leakages, water drop continues flow very fast.
1.0 kg	Yes	Many leakages, water drop continues flow slowly.
Market	Yes	Many leakages, water drop continues flow slowly.
Gap between panel is 15 cm		
Grass Weight/ panel	Leak	Description
0.6 kg	Yes	Many leakages, water drop continues flow very fast.
0.8 kg	Yes	Many leakages, water drop continues flow slowly.
1.0 kg	Yes	Many leakages, water drop continues flow slowly.
Market	No	-
2. The roof angle 17.35 degrees by horizontal		
Gap between panel is 15 cm		
Grass Weight/ panel	Leak	Description
0.6 kg	Yes	Few leakages, water drop continues flow slowly.
0.8 kg	No	-
1.0 kg	No	-
Market	No	-

จาก Figure 21 หลังคาที่มุงจากตับหญ้าในท้องตลาด อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่เวลา 13.00 น. และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 13.00 น. โดยมีค่าสูงสุดของอุณหภูมิด้านในและด้านนอกเท่ากับ 48.6°C และ 70.7°C ตามลำดับ และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,060 W m⁻² ที่เวลา 12.00 น. จะเห็นว่าช่วงเวลา 10.00-11.00 น. และ 13.00-14.00 น. อุณหภูมิด้านในและด้านนอกมีค่าลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากในช่วงเวลานั้นความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลงซึ่งเกิดจากมีเมฆบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังหลังคา โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 9.62°C

ใน Figure 22 หลังคาที่มุงจากตับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบ ด้วยน้ำหนักหญ้าต่อตบ 1 kg อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิด้านในจะมีค่ามากที่สุดเวลา 12.00 น. เท่ากับ 44.2 °C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 12.00 น. อุณหภูมิด้านนอกจะมีค่ามากที่สุดเวลา 11.00 น. เท่ากับ 64.3 °C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 11.00 น. และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,020 W m⁻² ที่เวลา 11.00 น. โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านนอกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 10.85 °C

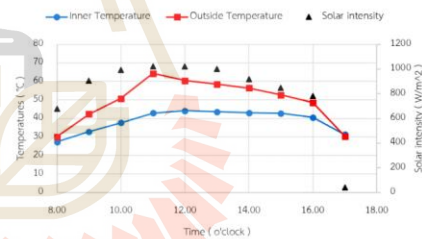


Figure 22. Relation between temperatures and solar intensity during time of grass roofing weight 1 kg per panel.

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ xx ฉบับที่ x (xxxx), x-x

3.4 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขข้อ 2.2.2 และสมการ (4) ดังแสดงดัง Figure 23

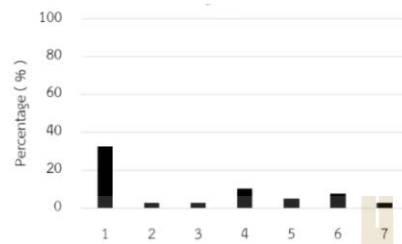


Figure 23. Defect percentage of grass roofing Material in continuous test.

โดยพบปัญหาคือ 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% ซึ่งเกิดจากหญ้ามีความหนาแน่นเกินไปและปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ 2) แนวพับของดัดหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ในการผลิตดัดหญ้า 40 ดับ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการผลิตตามสมการที่ (1) จะได้ดัดหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ดัดหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ดัดหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ใช้พลังงานในการผลิตทั้งหมด 0.5513 kWh และใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 161 min 10 sec ได้อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.0137 kWh ต่อดับ หรือ 0.205 kWh hr⁻¹ และได้อัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ดับ ต่อชั่วโมง จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อ้างอิงอัตราดอกเบี้ยธนาคารแห่งประเทศไทย (Bank of Thailand, 2018) ที่ราคาเครื่องต้นแบบเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตดัดหญ้าอยู่ที่ 8 Baht ต่อดับ (Panomrung yaka, 2018) พบว่าจุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 ดับ ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน (Yamphean, 2003)

4 สรุป

จากการทดสอบการผลิตดัดหญ้าด้วยเครื่องจักรต้นแบบพบว่าน้ำหนักหญ้า 0.8 kg ต่อดับ และสภาวะดินมีแบบทาง จะผลิตดัดหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการทดสอบจะทำให้เกิดปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพิ่มขึ้น มีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตดัดหญ้าในแต่ละดับอยู่ในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการผลิตมากขึ้นจะทำให้

ให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น หลังจากที่ยังดัดหญ้าที่ผลิตได้ทุกน้ำหนักจะต้องวางห่างกันไม่เกิน 15 cm และมุมหลังคาเอียงไม่น้อยกว่า 17.35 องศา จึงจะสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ และในการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์พบว่า ดัดหญ้าผลิตที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 1 kg ต่อดับ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกประมาณ 10.85°C ในการทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง 40 ดับ ที่น้ำหนัก 1.0 kg โดยใช้ดินมีแบบทางปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% และปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ แนวพับของดัดหญ้าเอียง ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ ไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ได้ดัดหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ดัดหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ดัดหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ได้อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr⁻¹ และได้อัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ดับ ต่อชั่วโมง และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ราคาเครื่องเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตดัดหญ้าอยู่ที่ราคา 8 Baht ต่อดับ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,925 ดับ ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนงานวิจัยนี้และขอขอบคุณกลุ่มพจนมรังษัญญา อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.บุรีรัมย์ ในการสนับสนุนวัสดุสำหรับทดสอบการผลิตดัดหญ้า

6 เอกสารอ้างอิง

- Bank of Thailand. (2018). Deposit interest rate. Available at: https://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrate/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx. Accessed on 16 December 2018.
- Bansuan suppayanaindin, 2014. How to make grass roofing material by mae thawon. Available at: https://www.facebook.com/pg/suppayanaindin/photos/?tab=album&album_id=595534600500143. Accessed on 16 December 2018. (In Thai).
- Panomrung yaka. 2018. Grass roof. Available at: <http://www.tanachai12.com>. Accessed on 16 Desember 2018. (In Thai)

Thai Society of Agricultural Engineering Journal Vol. xx No. x (xxxx), x-x

Saisang, Kridsada; Treeamnuak, Krawee; Treeamnuak,
Tawarat. 2018. Conceptual design study of semi-
automatic Machine for the production of vetiver
grass roofing. Proceedings of 7th PHAYAO research
conference 2018, 912-922: Phayao University. 25-26
January 2018. Phayao, Thailand.

Saisang, Kridsada; Treeamnuak, Krawee; Treeamnuak,
Tawarat. 2018. Desirable Specification of Vetiver
Grass Roofing Making Machine. Proceedings of the
Asian Conference on Sustainability, Energy & the
Environment 2018 Official Conference, 84. Art
Center Kobe, Japan: IAFOR.8-10 June 2018, Kobe,
Japan.

Saisang, Kridsada; Treeamnuak, Krawee; Treeamnuak,
Tawarat. 2018. Limitation of Mechanism and
powertrain in Vetiver Grass Roofing Making Machine.
Proceeding of "The 11th TSAE National conference,
275-280: Chulabhorn International Convention
Center, Kasetsart University, Hua Hin, Prachuap Khiri
Khan, 26-27 April 2018. Thailand. (In Thai).

Yampean, Paiboon. 2003. Engineering economic. Se-
education Public Company, Bangkok, Thailand. (In Thai).



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562



2019
TSAE
THAILAND

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมอาร์ตริค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at www.tsae.asia

เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝก

Semi automatic Vetiver Grass Roofing Material Making Machine

กฤษดา สายแสง^{1*}, กระวี ตรีอำรรค¹, เทวรัตน์ ตรีอำรรค²

Krudsada Saisang¹, Krawee Treeeamnuk^{1*}, Tawarat Treeamnuk²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา30000

¹School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand, 30000

² สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา30000

²School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand, 30000

*Corresponding author: Krudsada Saisang Tel: 085-1042746, E-mail: narm.saisang@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและประเมินสมรรถนะการทำงานของต้นแบบและคุณภาพของต้นหญ้าแฝกที่ได้ เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยการวางรายหญ้าบนเครื่องจากนั้นกลของเครื่องซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์จะทำการพับและเลื่อนต้นหญ้าเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้าเพื่อเย็บให้รายหญ้าพับยึดติดกับกันไม้และได้เป็นต้นหญ้าแฝกต่อไป ทดสอบการทำงานของเครื่องโดยแปรค่าน้ำหนักของหญ้าต่อต้นเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg per panel ที่ระยะห่างของต้นหญ้าเย็บไฟฟ้า 2 ค่า (0 mm และ 6 mm) พบว่าการผลิตต้นหญ้าที่น้ำหนัก 0.8 kg per panel ระยะต้นแบบห่างจะได้ต้นหญ้ามีคุณภาพดีที่สุด มีการใช้พลังงานในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh per panel การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง ที่น้ำหนัก 1.0 kg per panel โดยใช้ต้นแบบห่าง มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr⁻¹ และอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 panel h⁻¹ มีประสิทธิภาพการผลิตเท่ากับ 85% และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าจุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 panel year⁻¹ และมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

คำสำคัญ: หญ้าแฝก, วัสดุคลุมหลังคา, เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

Abstract

The aim of this research was to develop the semi automatic vetiver grass roofing material making machine and evaluate its performance and quality of finished products. The prototype is a semi automatic operation started by feed the grass on tray of the machine. After that, mechanism powered by pneumatic actuators are folded the grass sheet and move them to sew by the electric sewing. Finally, the folded grass is sewn with the wood stick. A grass weights (0, 6, 0.8 and 1.0 kg) per panel and gaps of electric sewing presser foot (0 mm and 6 mm) were varied to test the operation of prototype. The results show that the 0.8 kg per panel of grass and gap 6 mm of sewing presser foot is the appropriate condition of the prototype to produce the quality grass panel and the energy consumption is in range of 0.0060 - 0.0090 kWh per panel of grass. The continuous test show that the average energy consumption, capacity and efficiency are 0.205 kWh hr⁻¹, 14.9 panel h⁻¹ and 85% respectively. The break even point of this prototype are 1,925 panel year⁻¹ when operate at 11 Months of working time.

Keywords: Vetiver grass, Grass roofing material, Semi-automatic machine

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

1 บทนำ

หญ้าแฝกเป็นพืชพื้นเมืองของไทยที่สามารถเติบโตได้ง่ายในทุภูมิภาคของประเทศไทย คนไทยใช้ประโยชน์จากใบของหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา เรียกการกรองแฝก และได้เป็นต้นหญ้าแฝกเพื่อมุ่งเป็นหลังคาได้ดัง Figure 1 เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น หากใช้ต้นหญ้าแฝกที่กรองได้อย่างสม่ำเสมอ มีความหนาเพียงพอ เมื่อนำมามุงหลังคาด้วยวิธีการที่เหมาะสม พบว่าหลังคาที่ได้มีความคงทน สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดีและมีจุดเด่นที่สำคัญคือ เป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม (Saisang et al., 2018a)



Figure 1. Vetiver roofing.

ปัจจุบันปริมาณความต้องการวัสดุคลุมหลังคาจากแฝกมีสูงมาก ทั้งใช้มุงหลังคาที่อยู่อาศัย ใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ของโรงแรม ร้านอาหารและสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการผลิตต้นแฝกทุกขั้นตอนยังใช้มือในการปฏิบัติ เพราะมีข้อจำกัดคือ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลานานในการผลิตนาน ขั้นตอนการผลิตวัสดุหลังจากจากหญ้าแฝกด้วยมือได้แสดงใน Figure 2 เริ่มจาก (a) การตากหญ้าให้แห้งด้วยแสงแดด (b) จากนั้นมัดหญ้าที่สะก้านไม้ (เรียกการกรองหรือโพหญ้า) (c) เมื่อมัดจนเต็มความยาวของก้านไม้จะมัดได้ (d) ต้นหญ้าสำหรับใช้งานต่อไป (Bansuan suppayanaidin, 2013) จากงานวิจัยของ Saisang et al. (2018b) ได้แสดงการออกแบบเครื่องจักรผลิตต้นหญ้าแฝกที่มีการทำงานด้วยจักรเย็บกระสอบไฟฟ้าและกลไกแทนการทำด้วยมือ ตัวอย่างการเย็บแสดงดัง Figure 3 และมีการใช้คำสั่ง Motion Analysis ในโปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบการทำงานและหาขนาดของต้นกล้าของแต่ละกลไกด้วย



(a) Grass drying



(b) Lace a grass bunch



(c) bunches tied on wood rod (d) vetiver grass panel

Figure 2. The process of vetiver roofing material manufacturing



(a) Sewing machine (b) Seam stitched

Figure 3. Sewing machine and its seam stitched.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสร้างเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและทดสอบการทำงานของเครื่องและคุณภาพของต้นหญ้าที่ผลิตได้ตามแนวทางการออกแบบที่ Saisang et al. (2018b) ได้นำเสนอไว้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 กลไกของเครื่องจักร

2.1.1 เครื่องต้นแบบ และ หลักการทำงาน

เครื่องจักรต้นแบบได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบ

(Figure 4) และได้นำมาสร้างเครื่องต้นแบบ (Figure 5) ซึ่งมีการทำงานดังนี้

1. การทำงาน (Figure 4) เริ่มต้นด้วยกลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2) และ กลไกตรงไม้ (หมายเลข 3) จะเลื่อนขึ้น เพื่อให้ทำการวางรายหญ้าแฝกไว้บนถาด (หมายเลข 6 ใน Figure 4 และ Figure 6a) และจัดเรียงให้ได้ความหนาและขนาดตามต้องการ หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติจะวางก้านไม้บนรายหญ้าที่ตำแหน่ง หมายเลข 7 (Figure 4 และ Figure 6b)
2. ต้นคั้นโยกกลไกจับยึดไม้ (Figure 6b) จับยึดไม้บนรายหญ้า (Figure 6c) จากนั้นกลไกการพับ (หมายเลข 1 Figure 4) จะหมุนพับรายหญ้าให้ทับกับคั้นไม้ (Figure 6d)
3. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2 Figure 4) จะเลื่อนลงเพื่อกดรายหญ้าที่พับแล้วและทำการคั้นต้นโยกกลไกจับยึดไม้กลับตำแหน่งเดิม (Figure 6e) หลังจากนั้นกลไกการพับและกลไกตรงไม้จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น (Figure 6f)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

4. ถาดจะเลื่อนและนำรายหญ้าที่พับบนกันไม้แล้วเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า (หมายเลข 4 ใน Figure 4) โดยมอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 5 ใน Figure 4) จักเย็บไฟฟ้าจะเย็บทบรายหญ้าให้ติดกัน (Figure 6g) เมื่อเย็บเสร็จกลไกกดทับแผงหญ้าให้อยู่กับที่ จะเลื่อนขึ้นเพื่อให้หยิบพับหญ้าสำเร็จออกมาได้ (Figure 6h) จากนั้นขั้นตอนการผลิตนี้จะเสร็จสิ้น

5. หลังจากนั้นกลไกทั้งหมดจะย้ายกลับไปตำแหน่งเริ่มต้น และรอการดำเนินการการผลิตต่อไป

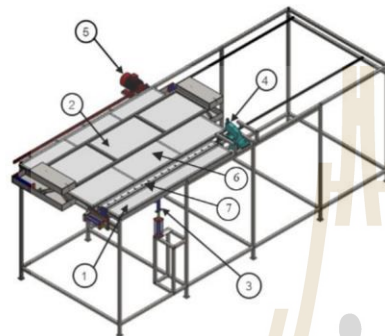


Figure 4. Component of prototype machine.



Figure 5. Prototype machine.

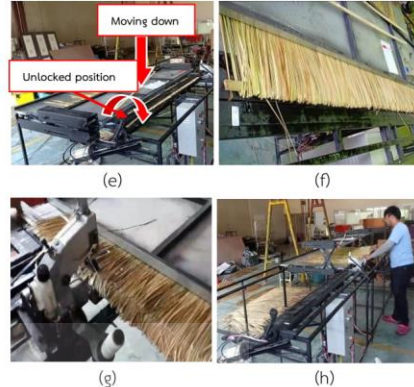
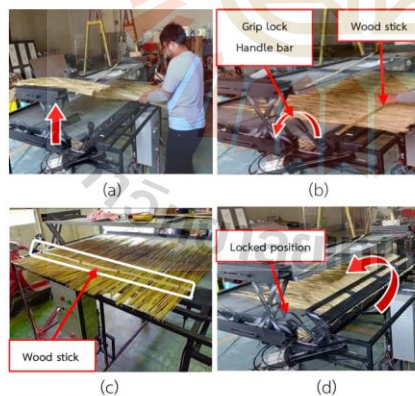


Figure 6. The operation of prototype machine.

2.1.2 กลไกของเครื่องจักร

การเคลื่อนที่และต้นกำลังขับเคลื่อนของกลไกต่างๆมีการทำงานดังนี้:

1. กลไกการพับรายหญ้าทบบนกันไม้ใช้ต้นกำลังจากกระบอกลูกสูบแมตคัสขนาด 6.3 cm มีระยะชัก 15 cm กลไกทำงานจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยใช้กลไกเฟืองบรรทัดกับเฟืองฟันตรง (Figure 7a)
2. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกลูกสูบแมตคัสขนาด 4 cm มีระยะชัก 20 cm จำนวน 2 กระบอกติดตั้งที่ขอบของถาดทั้งสองฝั่งกลไกทำงานเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบในแนวอนไปสู่การยกในแนวตั้งโดยกลไก x-lift (Figure 7b)
3. กลไกตรึงไม้ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกลูกสูบแมตคัสขนาด 3 cm มีระยะชัก 10 cm เพื่อยกบาร์เหล็กขึ้นเพื่อขวางไม้ไม่ให้เคลื่อนที่ (Figure 7c)
4. กลไกการเย็บกลไกนี้ใช้จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A (Figure 7d) ในการทำงาน
5. กลไกการเลื่อนถาดรายหญ้า ถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 W 24 V ด้วยความเร็ว 21 rpm และการเคลื่อนที่เชิงเส้นของถาดจะถูกส่งผ่านด้วยกลไกเฟืองตรงและเฟืองบรรทัด (Figure 7e)
6. กลไกจับยึดไม้ เป็นกลไกที่ถูกเพิ่มเข้ามาตอนสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อช่วยผ่อนแรงในการจับยึดไม้ให้แน่นยิ่งขึ้น (Figure 7f)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ใช้ลมอัดความดัน 6 bar ในการขับเคลื่อนกระบอบสูบนิวแมติกส์ ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วย PLC และอัตราการไหลของลมอัด 58.08 L min^{-1} ซึ่งเป็นไปตามที่ Saisang et al., (2018c) ได้รายงานไว้แล้ว

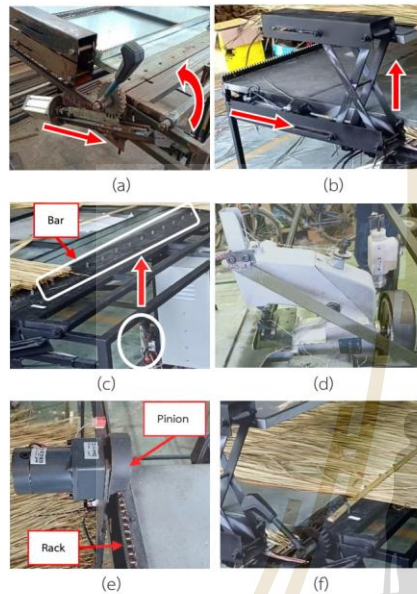


Figure 7. The operation of mechanism.

2.2 การทดสอบ

2.2.1 การทดสอบการผลิตต้นหญ้า

การทดสอบจะใช้หญ้าคาแทนเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันมากและหาได้ง่ายในท้องถิ่นที่ดำเนินการวิจัย โดยจะทดสอบการผลิตแบ่งตามน้ำหนักแห้งของหญ้าต่อต้นเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg และทดสอบตามลักษณะดินของจักรเย็บกระสอบโดยจะแบ่งเป็นดินผิบบด (ระยะห่าง 0 mm) และดินผิบบ้าง (ระยะห่าง 6 mm) (ดังแสดงใน Figure 8) ทำการทดสอบนำ (Pilot test) ที่การผลิตหญ้าน้ำหนักต่อต้น 0.6 kg และ 0.8 kg เพื่อตัดสินใจเลือกระยะห่างของดินผิที่เหมาะสมโดยทำซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ ต่อ 1 การทดสอบ ระยะห่างดินผิที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการผลิตต้นหญ้าน้ำหนัก 1.0 kg ต่อไป

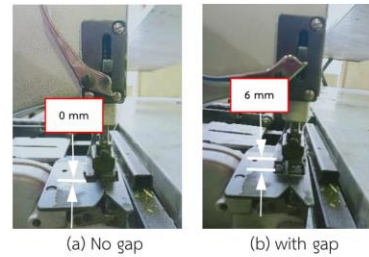


Figure 8. Presser foot gap.

ก่อนการผลิตต้นหญ้าด้วยเครื่องต้นแบบต้องมีการเตรียมหญ้าก่อน โดยการชั่งน้ำหนักหญ้าแห้ง (Figure 9a) ตามต้องการแล้วทำการมัดด้วยเชือกไว้เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย (Figure 9b) และก่อนนำมาทดสอบควรนำมัดหญ้าไปพรมน้ำก่อนเพื่อให้วางรายหญ้าได้ง่าย ไม่บาดมือ และป้องกันการหักของหญ้าในขั้นตอนการพับหญ้าของเครื่อง



Figure 9. Preparation of grass.

2.2.2 คุณภาพของต้นหญ้าที่ผลิตได้

ต้นหญ้าที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังนี้

- 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป 2) แนวพับของต้นหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ

2.2.3 การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง

ใช้ระยะห่างของดินผิจักรไฟฟ้าและน้ำหนักหญ้าที่ให้คุณภาพการผลิตที่ดีที่สุดมาใช้ในการทดสอบผลิตต้นหญ้าแบบต่อเนื่องจำนวน 40 kg วิเคราะห์คุณภาพของต้นหญ้าตามข้อ 2.2.2 และคำนวณหา ประสิทธิภาพการผลิต (Efficiency) อัตราการทำงาน (Capacity) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ตามสมการ (1) (2) และ (3)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Number of Good product}}{\text{Number of total product}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Number of product}}{\text{Time (hour)}} \quad (2)$$

$$\text{SEC} = \frac{\text{Total energy (kWh)}}{\text{Number of total product}} \quad (3)$$

จะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่ตีตีแบบชิดและเกิดมากขึ้น เมื่อทดสอบผลิตที่น้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้น จากปัญหาและผลการทดสอบที่ได้ทำให้ทราบว่า การทดลองที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg ตีตีแบบห่าง จะผลิตหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยเพิ่มโดยการเพิ่มน้ำหนักหญ้าแห้งเป็น 1 kg และปรับตีตีแบบห่างเพื่อให้ได้หญ้าใกล้เคียงกับน้ำหนักหญ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้ผลตาม Figure 14

และทำการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาจุดคุ้มทุนของการใช้งานเครื่องตีตีแบบนี้

3 ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์คุณภาพของหญ้า

หญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องจักรตีตีแบบเมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขข้อ 2.2.2 ได้ผลตาม figure 12 และ figure 13

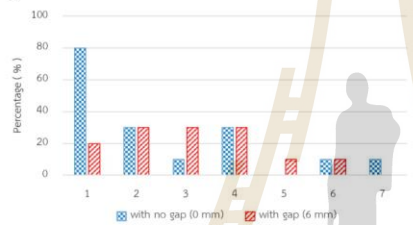


Figure 12. Incomplete percentage of grass roofing material weight 0.6 kg

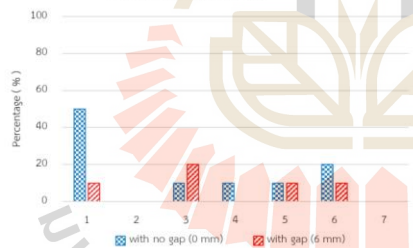


Figure 13. Incomplete percentage of grass roofing material weight 0.8 kg

ปัญหา 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด 7) กำมันหลุดจากชุดจับ สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ ปัญหา 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและ 2) แนวพับของหญ้าเอียงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg และ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป

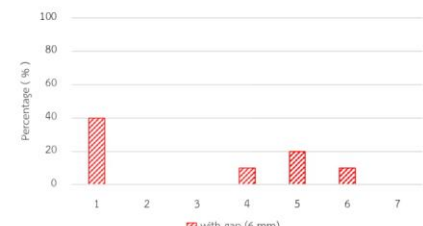


Figure 14. Incomplete percentage of grass roofing material weight 1.0 kg

พบว่าปัญหาที่สังเกตเห็นได้ชัดคือ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพราะว่าเมื่อน้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้หญ้ามีความหนาแน่นขึ้นจึงวิ่งผ่านช่องว่างของการเย็บได้มากขึ้นลักษณะปัญหาและสาเหตุดังนี้

1. ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป (Figure 15) รอยเย็บเอียงเกิดจากขณะที่ตีหญ้าวิ่งเข้าสู่จักรเย็บ ตีตีจะพยายามยกตัวขึ้นเพื่อกดตีหญ้าในจังหวะนี้จักรเย็บจะเย็บหญ้าในส่วนด้านล่างของตีหญ้าก่อนทำให้ช่วงต้นของตีหญ้ามีรอยเย็บที่ผิดรูป พบสูงสุดที่ทดสอบแบบตีตีแบบชิด เนื่องจากตีตีชิดตัวขึ้นเพื่อกดตีตีหญ้าได้ยากกว่าการทดลองโดยตีตีแบบห่าง



Figure 15. Wrong sewing at the first of operation.

2. แนวพับของหญ้าเอียง (Figure 16) เกิดจาก 2 กรณีคือ 1) ขณะพับหญ้ามีการเลื่อนของตีตี 2) เกิดการติดขัดขณะทำการเย็บซึ่งจะส่งผลให้แนวพับของหญ้าเอียงตามการ

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

เคลื่อนที่ของถาดเลื่อน ซึ่งปัญหานี้พบมากที่สุดที่การทดสอบผลิตหญ้า 6. **ด้ายขาด** เกิดจากบางช่วงของการเย็บด้ายมีความตึงมากเกินไปทำให้ด้ายขาดขณะเย็บ ซึ่งพบปัญหานี้บ่อยมาก

น้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่ารายหญ้ามีความหนาแน่นเกินไปจึงไม่สามารถกดหญ้าให้แน่นได้ในขั้นตอนการพับ



Figure 16. Incline folded grass panel

3. **ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์** (Figure 17) คือ ช่วงสิ้นสุดการเย็บเกิดรอยตะเข็บหลุด เกิดจากขั้นตอนการตัดด้าย หากปลายของด้ายหญ้าอยู่ใกล้กับจักรเย็บมากเกินไปทำให้ตัดด้ายได้ยาก เกิดด้ายหลุดออกส่งผลให้หญ้าตรงปลายด้ายหลุดออกมาด้วย ซึ่งปัญหานี้พบได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ



Figure 17. Incomplete sewing at the end of operation

4. **การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ** คือ หญ้ามีการกระจายตัวตลอดทั้งด้ายไม่เท่ากัน เกิดจากขั้นตอนการเรียงหญ้าด้วยมือ โดยปัญหานี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดสอบผลิตหญ้าที่น้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่ามีจำนวนหญ้าน้อยเกินไป



Figure 18. Poor distribution of grass.

5. **เย็บไม่สำเร็จ** คือ มีบางส่วนของด้ายหญ้าเย็บไม่ได้เพราะการเย็บมีการติดขัดซึ่งปัญหานี้พบได้น้อยมาก

7. **ก้านไม้หลุดจากชุดจับ** (Figure 19) เกิดจาก 1) การจับยึดไม่แน่น 2) ไม่สามารถทนแรงที่ใช้ในการตัดหญ้าทั้งด้ายได้ ทำให้เกิดการบิดงอหรือหักได้ 3) ถ้าหญ้ามี่ความหนาแน่นมากขึ้นจะทำให้จับยึดไม้ได้ยากขึ้นไปด้วย



Figure 19. Wood stick fell from the mechanism

จากการวิเคราะห์คุณภาพของด้ายหญ้า เราสามารถแบ่งคุณภาพของด้ายหญ้าออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) ด้ายหญ้าสมบูรณ์ (ไม่เกิดปัญหาในการผลิตเลย) 2) ด้ายหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ (เกิดปัญหาตามข้อ 1-4) และ 3) ด้ายหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ (เกิดปัญหา 5-7)

การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขข้อ 2.2.2 ดังแสดงใน Figure

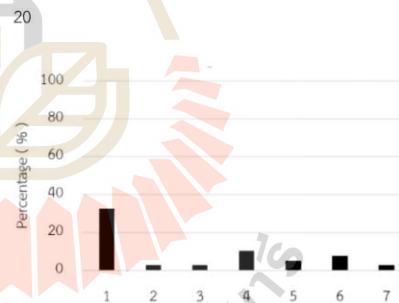


Figure 20. Incomplete percentage of grass roofing Material in continuous test

โดยพบปัญหาคือ 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% ซึ่งเกิดจากหญ้ามี่ความหนาแน่นมากเกินไปและปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ 2) แนวพับของด้ายหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

สมบูรณ์ และ 7) ก้านไม่หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ในการผลิตตับหญ้า 40 อัน เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการผลิตตามสมการที่ (1) จะได้ตับหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ตับหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ตับหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ใช้พลังงานในการผลิตทั้งหมด 0.5513 kWh และใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 161 min 10 sec ได้อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.0137 kWh per panel หรือ 0.205 kWh hr⁻¹ และมีอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 panel hr⁻¹ จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อ้างอิงอัตราดอกเบี้ยธนาคารแห่งประเทศไทย (Bank of Thailand, 2018) ที่ราคาเครื่องต้นแบบเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตตับหญ้าอยู่ที่ 8 Baht per panel (Panomrung yaka, 2018) พบว่าจุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 panel year⁻¹ และมีระยะเวลาก่อนคืนทุนอยู่ที่ 11 month (Yampean, 2003)

4 สรุป

จากการทดสอบการผลิตตับหญ้าด้วยเครื่องจักรในแต่ละน้ำหนัก และลักษณะดินของจักรเย็บกระสอบพบว่าการผลิตที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg ตีนผีแบบห่าง จะผลิตตับหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการทดสอบจะทำให้เกิดปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพิ่มขึ้น มีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตตับหญ้าในแต่ละตับอยู่ในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการผลิตมากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น ในการทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง 40 ตับ ที่น้ำหนัก 1.0 kg โดยใช้ตีนผีแบบห่าง ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% และปัญหาที่เจ็มน้อยที่สุดคือ แนวพับของตับหญ้าเอียง ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ ไม่หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ได้ตับหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ตับหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ตับหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr⁻¹ และอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 panel per hr และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ราคาเครื่องเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตตับหญ้าอยู่ที่ราคา 8 Baht per panel พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,925 panel year⁻¹ และมีระยะเวลาก่อนคืนทุนอยู่ที่ 11 month

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- Bank of Thailand. (2018). Deposit interest rate. Available at: https://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrates/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx. Accessed on 16 December 2018.
- Bansuan suppayanaindin. 2013. How to make grass roofing material by mae thawon. Available at: https://www.facebook.com/pg/suppayanaindin/photos/?tab=album&album_id=595534600500143. Accessed on 16 December 2018. (In Thai).
- Panomrung yaka. 2018. Grass roof. Available at: <http://www.tanachai12.com>. Accessed on 16 Desember 2018. (In Thai)
- Saisang, Kridsada; Treeamnuk, Krawee; Treeamnuk, Tawarat. 2018a. Conceptual design study of semi-automatic Machine for the production of vetiver grass roofing. Proceedings of 7th PHAYAO research conference 2018, 912-922: Phayao University. 25-26 January 2018. Phayao, Thailand.
- Saisang, Kridsada; Treeamnuk, Krawee; Treeamnuk, Tawarat. 2018b. Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine. Proceedings of the Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018 Official Conference, 84. Art Center Kobe, Japan: IAFOR.8-10 June 2018, Kobe, Japan.
- Saisang, Kridsada; Treeamnuk, Krawee; Treeamnuk, Tawarat. 2018c. Limitation of Mechanism and powertrain in Vetiver Grass Roofing Making Machine. Proceeding of "The 11th TSAE National conference, 275-280: Chulabhorn International Convention Center, Kasetsart University, Hua Hin, Prachuap Khiri Khan, 26-27 April 2018. Thailand. (In Thai).
- Yampean, Palboon. 2003. Engineering economic. Se-education Public Company, Bangkok, Thailand. (In Thai).

Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine

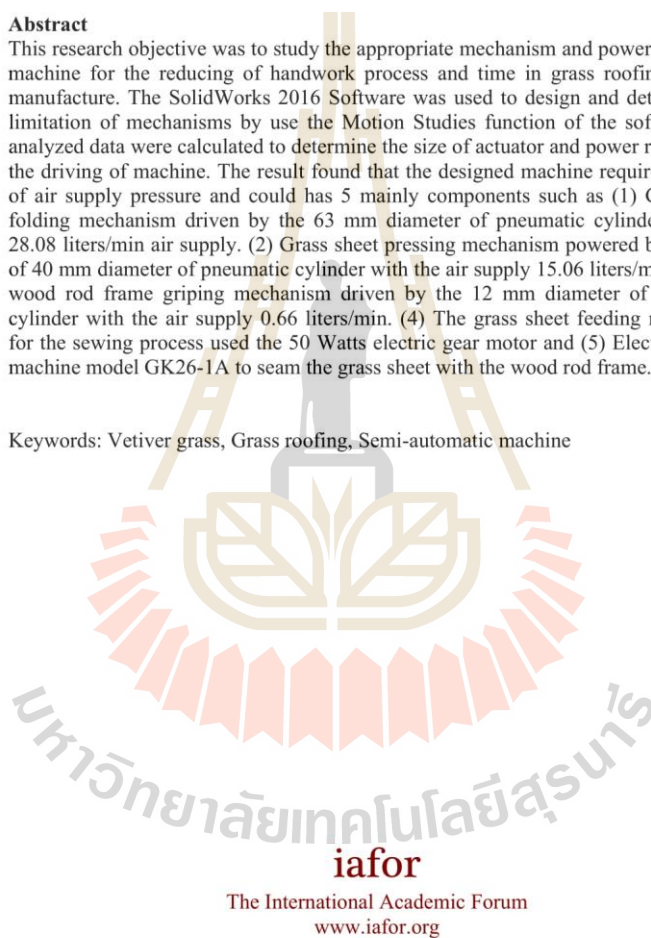
Kridsada Saisang, Suranaree University of Technology, Thailand
Krawee Treeamnuak, Suranaree University of Technology, Thailand
Tawarat Treeamnuak, Suranaree University of Technology, Thailand

The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018
Official Conference Proceedings

Abstract

This research objective was to study the appropriate mechanism and powertrain of the machine for the reducing of handwork process and time in grass roofing material manufacture. The SolidWorks 2016 Software was used to design and determine the limitation of mechanisms by use the Motion Studies function of the software. The analyzed data were calculated to determine the size of actuator and power required for the driving of machine. The result found that the designed machine required a 6 bars of air supply pressure and could has 5 mainly components such as (1) Grass sheet folding mechanism driven by the 63 mm diameter of pneumatic cylinder with the 28.08 liters/min air supply. (2) Grass sheet pressing mechanism powered by a couple of 40 mm diameter of pneumatic cylinder with the air supply 15.06 liters/min. (3) The wood rod frame gripping mechanism driven by the 12 mm diameter of pneumatic cylinder with the air supply 0.66 liters/min. (4) The grass sheet feeding mechanism for the sewing process used the 50 Watts electric gear motor and (5) Electric sewing machine model GK26-1A to seam the grass sheet with the wood rod frame.

Keywords: Vetiver grass, Grass roofing, Semi-automatic machine



Introduction

Vetiver is a Thai local grass that grows easily in all regions of the country. Thai people knew the usefulness of vetiver for a long time such as, the using of vetiver leaves in a soil mulching to maintain the moisture for planting, the using of vetiver leaves as a material in handicrafts. Currently, they are many innovations about the usefulness of vetiver leaves for example, the planting materials, decomposing plant pots, the insulator from vetiver leaves for construction materials and the multipurpose particleboard etc. Another important of vetiver leaves usefulness is a roofing material (called vetiver roof in Fig.1) because it is a locally available material. If the vetiver roof was produced by the proper method the roof has been durable and can prevent the leakage of rainwater very well and it is an excellent material in thermal protection.



Figure 1. Vetiver roofing.

Today, the demand of vetiver roof in the house building and decorating business is very high especially hotel and restaurant decoration. However, all the vetiver roof producing are the handicraft activities. It found that there was a limitation in labor skill because there are complicated and time consumed work. The concisely process of vetiver roofing material manufacturing by operator was shown in Fig. 2. It has an attempt to design the semi-automatic machine or equipment to assist the vetiver roof manufacture. An assisted equipment prototype by Saisang K., Treeamnuk K. and Treeamnuk T. in vetiver roofing material production was reported that it is a folding plate to fold a grass sheet (prepared by sorting a stalk grass on the plate to a grass sheet layer form) with a wood rod. The grass bunch lacing by hand was replaced by sewing the grass sheet by a needle and mechanism. The prototype can help an operator to reduce the fatigue in working and able to increase the productivity. It can reduce a 3 minute/vetiver panel in producing time. But, the sewing by needle mechanism also takes a long time and has the tangled thread problem so, the electric sewing machine GK26-1A is replaced use in this study (Fig. 3).



Figure 2. The process of vetiver roofing material manufacturing

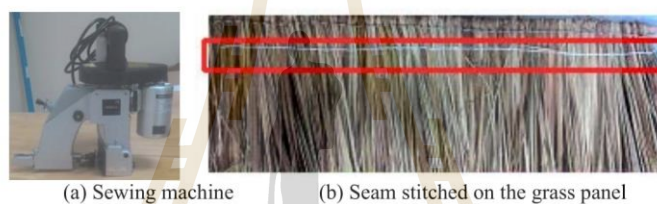


Figure 3. Sewing machine and its seam stitched

For the development of the vetiver roofing making machine, Ján Vavro, Jr., Ján Vavro, Petra Kováčiková and Radka Bezedová reported the using of SolidWorks in motion study in kinetic and dynamic of continuous mechanism. The using results are significant reliability and it is an effective method to monitor all kinetic parameters of mechanism and can also identify loads for any power drive in the system. Therefore, it is effective way to use the motion studies function from SolidWorks software to determine the limitation of movement in terms of kinematics and specify their necessary powertrain too.

This research proposes to determine the limitation of mechanism and powertrain of the vetiver roofing making machine. The intention of this article is to apply this results study with the prototype machine that will be fabricate in the next project research.

Mechanism and Powertrain studies

1) Mechanism and Powertrain Studies

1.1) Prototype and operation

The components and concept operation of machine prototype (Fig. 4) was described as a following.

1. The operation begins by operator feed the vetiver grass into machine tray (No. 6 in Fig. 4 and Fig. 5a) and sort it in form of grass sheet layer. After that, the operator inserts a wood rod frame on the vetiver grass sheet at position (No. 7 in Fig. 4 and Fig. 5b).

2. The wood rod frame gripping mechanism (No. 3 in Fig. 4 and Fig. 5c) gripes the rod standing on the grass sheet by nails (Fig. 5b). Then, grass sheet folding mechanism (No. 1 in Fig. 4) folds and enfolds the wood rod frame by the grass sheet layer (Fig. 5d – 5e).

3. The grass sheet pressing mechanism (No. 2 in Fig. 4) is sliding down to press the folded grass sheet (Fig. 5e). After that, the tray just slides and carry the grass sheet feed into the electric sewing machine (No. 4 in Fig. 4) by the electric motor (No. 5 in Fig. 4)

4. The sewing machine just stitches the grass sheet layers seamed together (Fig. 5f). Then, the process is finished.

5. After that, all mechanism will move back to the begin position and wait for next operation starting.

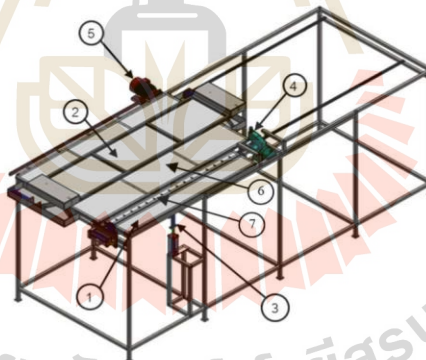


Figure 4. Component of prototype machine

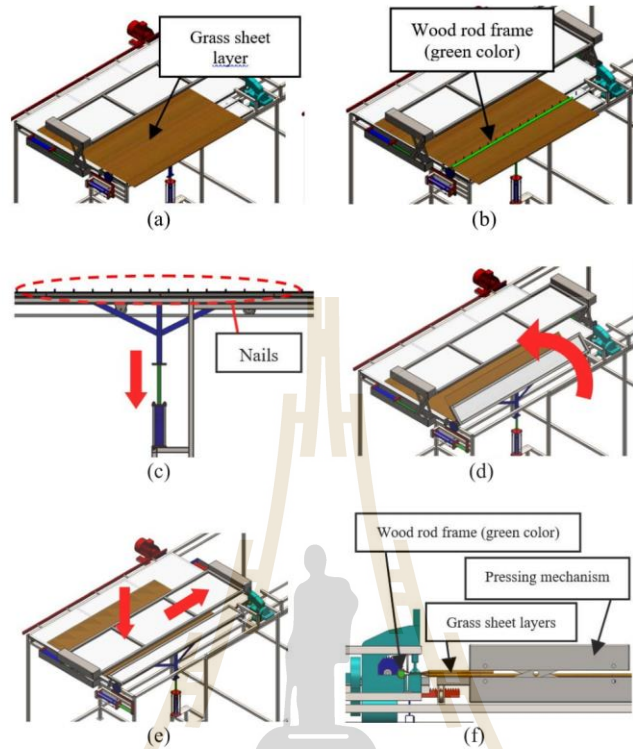


Figure 5. The operation of prototype machine

1.2) Mechanism

The motion and the power drive of mechanisms are:

1. Grass sheet folding mechanism was driven by pneumatic cylinder. It transforms a rectilinear motion to rotation motion by rack and pinion mechanism (Fig. 6a).
2. Grass sheet pressing mechanism was driven by the pneumatic cylinder. It transforms a horizontal sliding motion to vertical lifting motion by x-lift mechanism (Fig. 6b).
3. Wood rod frame gripping mechanism was driven by pneumatic cylinder to lift the nails bar up and lay down to gripe the wood rod (Fig. 5c).
4. Sewing mechanism, this mechanism uses an electric sewing machine model GK26-1A.

5. Grass sheet feeding mechanism was driven by electric motor and the rectilinear motion of the machine tray was transmitted thru pinion and rack mechanism (Fig. 6c).

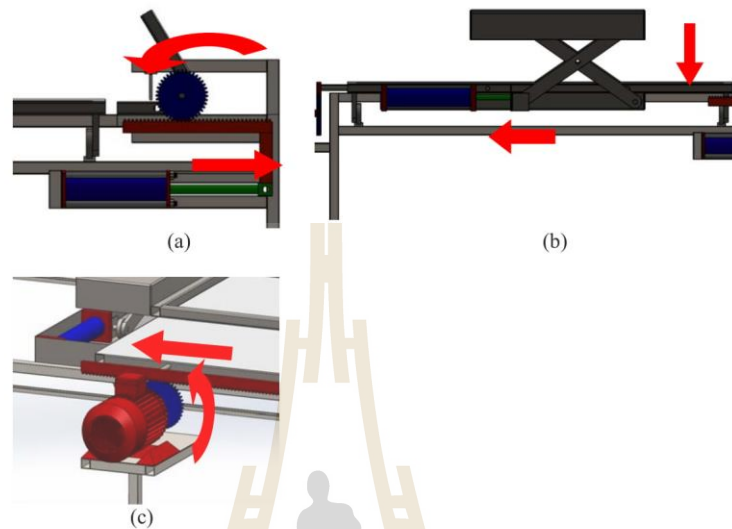


Figure 6. (a) Grass sheet folding mechanism (b) Grass sheet pressing mechanism and (c) Grass sheet feeding mechanism

1.3) Sequence of operation.

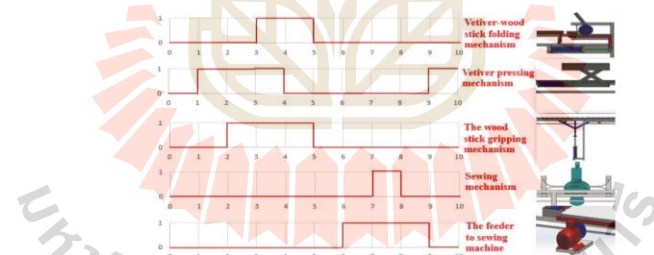


Figure 7. Sequence operation of the prototype machine

The components mechanism and sequence operation were described by the diagram in Fig. 7 where “0” and “1” on vertical axis are rest position and active position of an actuator respectively. Position “1” on horizontal axis is the start point of an operation and position “10” is the finish point. For the sequent order working, the feedback

signals in each driver unit were used for control an operation of actuators and motor with Programmable Logic Control (PLC) module.

2) Mechanism and Powertrain Studies

2.1) Inertia force

The inertia force and inertia torque in mechanism was affected by an acceleration of machine motion described by (1) and (2) for rectilinear and rotating motion respectively.

$$F_o = ma \quad (1)$$

Where F_o is Inertia force (N)
 m is Mass of mechanism (kg)
 a is Acceleration (m/s^2)

$$T_o = I\alpha \quad (2)$$

Where T_o is Inertia torque (N·m)
 I is Inertia of mechanism ($kg \cdot m^2$)
 α is Angular acceleration (rad/s^2)

2.2) X lift (Scissor lift)

X-lift or jaw mechanism is a lifting mechanism. The applied force on the leg when system is balance shown in (3).

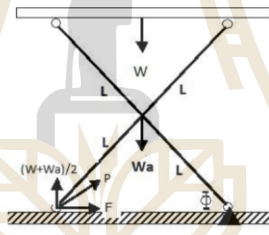


Figure 8. X-lift mechanism

$$F = \frac{(W + W_a) / 2}{\tan \Phi} \quad (3)$$

Where F is Applied force used (N)
 W is Load weight (N)
 W_a is Total arm frame weight (N)
 ϕ is Angle between frame and arm (degree)

2.3) Electric motor power

A required motor power can determine by (4)

$$P = T\omega \quad (4)$$

Where P is Power of motor (W)
 T is Torque (N·m)
 ω is Angular velocity (rad/s)

2.4) Pneumatic supply system

When supply the compressed air to a system, the force (F in N) required at the actuator can determine by the pressure of system (P in Pa) and the area of the piston (A in m^2) by (5).

$$A = \frac{F}{P} \quad (5)$$

The air flow rate Q in liter/min can calculate by the displacement volume of cylinder (V in m^3) divided by the time (t in minute). The formula for flow rate is (6) [5].

$$Q = \frac{V}{t} \quad (6)$$

And displacement volume is the product of the piston area and the stroke (L in m) (7).

$$V = AL \quad (7)$$

2.5) Motion studies in SolidWorks

1. Mechanical properties of vetiver grass was tested by use the vetiver grass specimen under the Universal Testing Machine (UTM) for evaluate bending force (Fig. 9). This bending force was used to calculate the necessary torque for grass sheet folding mechanism.

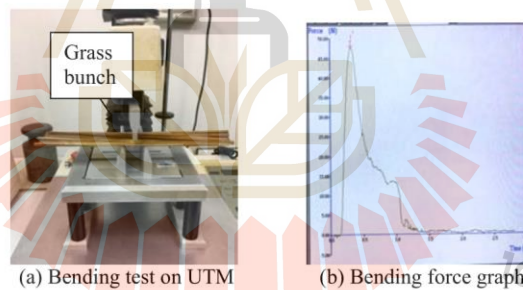


Figure 9. Bending test of vetiver bunch

2. CAD files of the prototype (SLDASM file) designed from SolidWorks software was analyzed by the motion studies function to determine the magnitude of force of the driving element in each mechanism. The external force, gravity, material properties of every elements and limitation of element movement were specified in the function for calculation. This method take a less time in processing and provides

an appropriate calculation results that are equal to hand calculation with (1) to (3) for the value of interesting variables.

3. The calculated force magnitude results in each driver element from program were used to evaluate the limitation of powertrain in the machine by (4) to (7).

Results and Discussion

Based on the motion studies from SolidWorks when the range and time of motion is specified, the magnitude of force to overcome the inertia and gravity of motion are as follows.

(1) Vetiver grass sheet folding mechanism

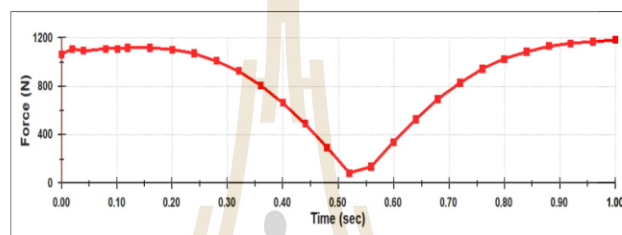


Figure 10. Relation between force change and time of grass sheet folding mechanism

From Fig. 10, the range of movement in this mechanism is 156 mm equaled to stroke of pneumatic power drive piston. At the motion times 1 s, the maximum force required for this mechanism was 1,200 N. At the time 0.55 s, an applied force is smallest because in this time the folding mechanism is in the perpendicular position with the line of piston motion and gives shortly radius of moment so, the moment is smallest too. For the air supply pressure 6 bars the necessary bore size of power drive pneumatic for this mechanism are 63 mm in diameter and it need an air supply rate 28.08 liters/min.

(2) Grass sheet pressing mechanism

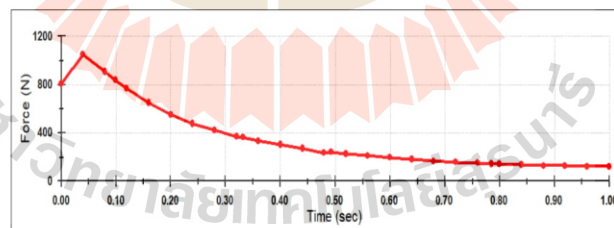


Figure 11. Relation between force change and time of grass pressing mechanism.

From Fig. 11, the result found that the maximum force required to lifting this mechanism is 1,100 N, and it have a decreasing trend when the time increases. The necessary bore side of pneumatic power drive is 40 mm in diameter and the supply air should be 15.06 liters/min when their supplied pressure is 6 bars.

(3) The wood stick gripping mechanism

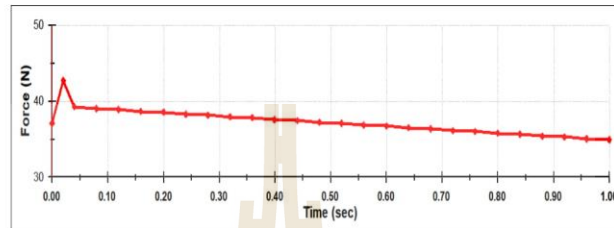


Figure 12. Relation between force change and time of the wood rod frame gripping mechanism.

In Fig. 12, the pneumatic a piston displacement is 100 mm and the moving time is 1 s in movement of the mechanism. It found that the maximum force required for this mechanism is 43 N at time 0.025 s. After that, the apply force will change with a constant rate of decreasing. The diameter of required pneumatic piston should be 12 mm with the air supply of 0.66 liters /min at 6 bars of air pressure.

(4) The grass sheet feeder mechanism

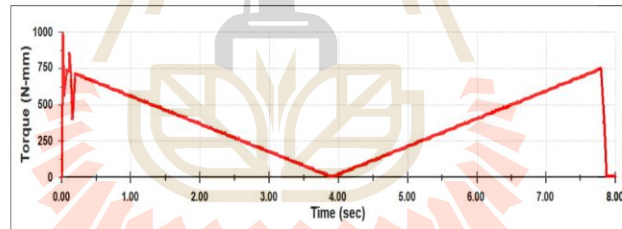


Figure 13. Torque changes by the time of feeder mechanism motion.

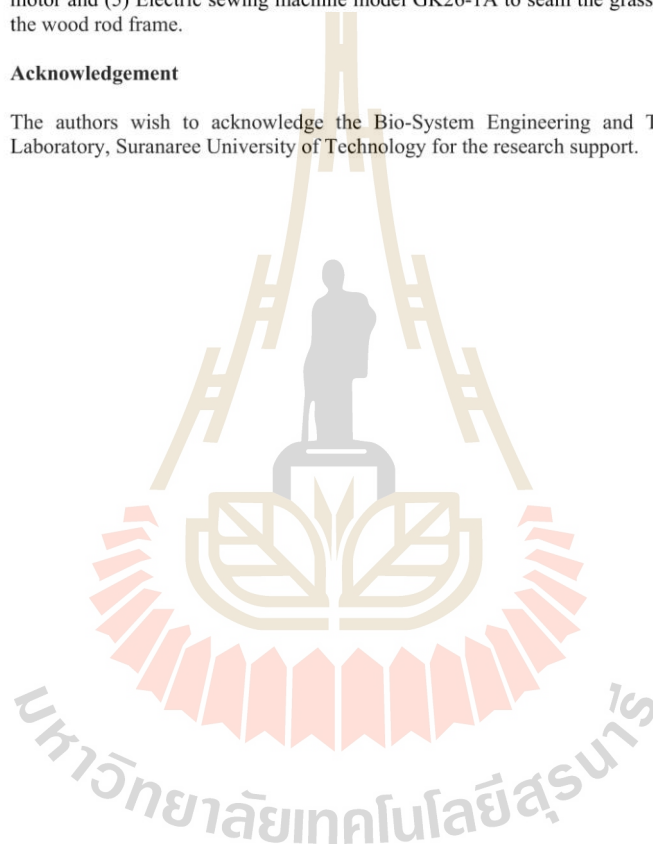
From Fig. 13, the driver pinion was specified 1,718.8 degrees of angular distance movement (equal to required 1.8 meters in rectilinear range of vetiver panel that will feed to the sewing machine). The pinion just rotates at 1,718.8 degrees in 7.82 s time (equal to Angular velocity 3.83 rad/s). Found that the maximum torque required for drive the pinion in this mechanism is 1,000 N • mm (1 N • m). On the first half of 8.00 s moving time, the pinion just starts rotating and need a maximum torque to turn all mechanism. After that, the last 4 s of moving time the system needs a maximum torque again to stop the rotating and rest in finally. The motor power calculation show that the system required a 50 Watts of power.

Conclusions

The using of SolidWorks 2016 Software to design and determine the limitation of mechanisms and powertrain by the Motion Studies function found that the designed machine required a 6 bars of air supply pressure and could has 5 mainly components as following (1) Grass sheet folding mechanism driven by the 63 mm diameter of pneumatic cylinder with the 28.08 liters/min air supply. (2) Grass sheet pressing mechanism powered by a couple of 40 mm diameter of pneumatic cylinder with the air supply 15.06 liters/min. (3) The wood rod frame griping mechanism driven by the 12 mm diameter of pneumatic cylinder with the air supply 0.66 liters/min. (4) The grass sheet feeding mechanism for the sewing process used the 50 Watts electric gear motor and (5) Electric sewing machine model GK26-1A to seam the grass sheet with the wood rod frame.

Acknowledgement

The authors wish to acknowledge the Bio-System Engineering and Technology Laboratory, Suranaree University of Technology for the research support.



References

Saisang K., Treeamnuk K. & Treeamnuk T. (2018). Conceptual Design Study of Semi-automatic Machine for the Production of Vetiver Grass Roofing. Presented at the 7th PHAYAO Research Conference, Phayao, Thailand. January 25-26, 2018.

Ján Vavro, Jr., Ján Vavro, Petra Kováčiková & Radka Bezdedová. (2017). Kinematic and dynamic analysis of planar mechanisms by means of the SolidWorks software. *Procedia Engineering*, 177, 476 – 481.

Mabie H. H. & Reinholtz C. F. (1986). *Mechanisms and Dynamics of Machinery*. (4th ed.). United State of America: John Wiley & Sons Inc.

James A. Sullivan. (1998). *Fluid Power Theory and Applications*. (4th ed). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Contact email: krawee@sut.ac.th, tawarat@sut.ac.th,
narm.saisang@gmail.com.



ประวัติผู้เขียน

นายกฤษดา สายแสง เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2537 เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสหราษฎร์วิทยา ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนกระเทียมวิทยา ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2558

ปี พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย :

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ IAMBEST ครั้งที่ 2, 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร. การศึกษาเชิงทดลองระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรด.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ PHAYAO RESEARCH CONFERENCE ครั้งที่ 7, 25-26 มกราคม พ.ศ. 2561, หอประชุมพญาภิรมย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา. การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผสมหลังคาจากหญ้าแฝก.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19, 26-27 เมษายน พ.ศ. 2561, Wora Wana Hua Hin Hotel & Convention มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. การกำหนดกลไกและระบบส่งกำลังในเครื่องจักรผลิตวัสดุผสมหลังคาจากหญ้าแฝก.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ Energy & the Environment 2018 Official Conference. Conference Place & Date: Art Center Kobe, Japan: IAFOR. 8-10 June 2018. Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine.

ได้เสนอบทความตีพิมพ์เผยแพร่ วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. การทดสอบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุผสมหลังคาจากหญ้าแฝก.

ได้เสนอขอความร่วมมือเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 20, 14-15 มีนาคม พ.ศ. 2562, โรงแรมฮาร์ดีร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. เครื่องจักร
กึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคูลงหลังจากหญ้าแฝก.

