



## การทดสอบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝก

## Testing of Semi automatic Vetiver Grass Roofing Material Making Machine

กฤษดา สายแสง<sup>1</sup>, กระวี ตรีอำรรค<sup>1\*</sup>, เทวรัตน์ ตรีอำรรค<sup>2</sup>Kridsada Saisang<sup>1</sup>, Krawee Treeeamnuk<sup>1\*</sup>, Tawarat Treeeamnuk<sup>2</sup><sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000<sup>2</sup> 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](mailto:krawee@sut.ac.th)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ และคุณภาพของต้นหญ้าแฝกที่ได้ เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยการวางรายหญ้าบนเครื่องจากนั้นกลไกของเครื่องซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยระบบนิวแมติกส์จะทำการพับและเลื่อนต้นหญ้าเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้าเพื่อเย็บให้รายหญ้าพับยึดติดกับกันไม้และได้เป็นต้นหญ้าแฝกต่อไป ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่าการผลิตต้นหญ้าที่น้ำหนัก 0.8 kg ต่อต้น ระยะเดินฝีแบบห่าง 6 mm จะได้ต้นหญ้ามีความสมบูรณ์ที่สุด มีการใช้พลังงานในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh ต่อต้น การทดสอบการใช้งานพบว่าต้นหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ และต้นหญ้าน้ำหนัก 1 kg ต่อต้น สามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกของหลังคาประมาณ 10.85°C การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง ที่น้ำหนัก 1.0 kg ต่อต้น โดยใช้เดินฝีแบบห่าง มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr<sup>-1</sup> และอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ต้น ต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมเท่ากับ 85% จุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 ต้น ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 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 higher sun light protection and it can reduce 10.85°C of temperature between the faces of roof. The continuous test show that the average energy consumption, capacity and efficiency are 0.205 kWh hr<sup>-1</sup>, 14.9 panel h<sup>-1</sup> and 85% respectively. The break even point of this prototype are 1,925 panel year<sup>-1</sup> when operate at 11 Months of working time.

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

## 1 บทนำ

หญ้าแฝกเป็นพืชพื้นเมืองของไทยที่สามารถเติบโตได้ง่ายในทุกภูมิภาคของประเทศ คนไทยใช้ประโยชน์จากใบของหญ้าแฝก

เป็นวัสดุคลุมหลังคา เรียกรองแฝก และได้เป็นต้นหญ้าแฝกเพื่อมุ่งเป็นหลังคาได้ดัง Figure 1 เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น หากใช้ต้นหญ้าแฝกที่กรองได้อย่างสม่ำเสมอ มีความหนาเพียงพอ เมื่อนำมาคลุมหลังคาด้วยวิธีการที่เหมาะสม พบว่าหลังคา

Received: January 8, 2019

Revised: February 8, 2019

Accepted: February 18, 2019

Available online: June 10, 2019

ที่ได้มีความคงทน สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดีและมีจุดเด่นที่สำคัญคือ เป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม (Saisang et al., 2018)



Figure 1 Vetiver roofing.

ปัจจุบันปริมาณความต้องการวัสดุคลุมหลังคาจากแฝกมีสูงมาก ทั้งใช้คลุมหลังคาที่อยู่อาศัย ใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ของโรงแรม ร้านอาหารและสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการผลิตแปกทุกขั้นตอนยังใช้มือในการปฏิบัติ เพราะมีข้อจำกัดคือ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลาในการผลิตนาน ขั้นตอนการผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกด้วยมือได้แสดงใน Figure 2



(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.

เริ่มจาก (a) การตากหญ้าให้แห้งด้วยแสงแดด (b) จากนั้นมัดหญ้าที่ละกำบนก้านไม้ (เรียกการกรองหรือโพหญ้า) (c) เมื่อมัดจนเต็มความยาวของก้านไม้จะได้ (d) ดับหญ้าสำหรับใช้งานต่อไป (Suppayanadin, 2014) วิจัยของ Saisang et al. (2018) ได้แสดงการออกแบบเครื่องจักรผลิตดับหญ้าแฝกที่มีการทำงานด้วยจักรเย็บไฟฟ้าและกลไกแทนการทำได้ด้วยมือ ตัวอย่างการเย็บแสดงดัง Figure 3 และมีการใช้คำสั่ง Motion Analysis ในโปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบการทำงานและหาขนาดของต้นกำลังของแต่ละกลไกด้วย



(a) Sewing machine (b) Seam stitched

Figure 3 Sewing machine and its seam stitched.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสร้างเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับผลิตวัสดุคลุมหลังคาจากหญ้าแฝกและทดสอบการทำงานของเครื่องและคุณภาพของดับหญ้าที่ผลิตได้ตามแนวทางการออกแบบที่ Saisang et al. (2018) ได้นำเสนอไว้เพื่อช่วยเพิ่มรวดเร็วในการผลิตดับหญ้าและลดขั้นตอนการทำงานด้วยมือของคนลงโดยที่ยังคงได้ดับหญ้าที่มีคุณภาพไม่แตกต่างจากการทำด้วยมือเมื่อทดสอบใช้งานจริง

## 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 กลไกตรึงไม้ (หมายเลข 3) จะเลื่อนขึ้น เพื่อให้ทำการวางรายหญ้าแฝกไว้บนถาด (หมายเลข 6 ดังแสดงใน Figure 4 และ Figure 6a) และจัดเรียงให้ได้ความหนาและขนาดตามต้องการ หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติจะวางก้านไม้บนรายหญ้าที่ตำแหน่ง หมายเลข 7 (Figure 4 และ Figure 6b)

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

3. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ (หมายเลข 2 ดังแสดงใน Figure 4) จะเลื่อนลงเพื่อกดรายหญ้าที่พับแล้วและทำการดันคันโยกกลไกจับยึดไม้กลับตำแหน่งเดิม (Figure 6e) หลังจากนั้นกลไกการพับและกลไกตรึงไม้จะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น (Figure 6f)

4. ถาดจะเลื่อนและนำรายหญ้าที่พับทบบนก้านไม้แล้วเข้าสู่จักรเย็บไฟฟ้า (หมายเลข 4 ดังแสดงใน Figure 4) โดยมอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 5 ดังแสดงใน Figure 4) จักรเย็บไฟฟ้าจะเย็บทบรายหญ้าให้ติดกัน (Figure 6g) เมื่อเย็บเสร็จกลไกกดทับแผงหญ้าให้อยู่กับที่ก็จะเลื่อนขึ้นเพื่อให้หยิบดับหญ้าสำเร็จออกมาได้ (Figure 6h) จากนั้นขั้นตอนการผลิตนี้จะเสร็จสิ้น

5. หลังจากนั้นกลไกทั้งหมดจะย้ายกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นและรอการดำเนินการการผลิตถัดไป

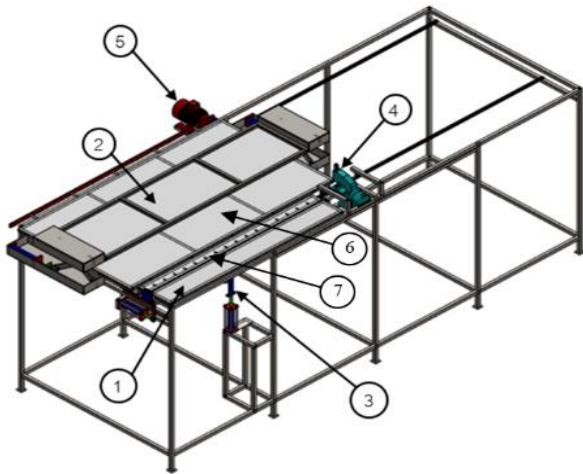


Figure 4 Component of prototype machine.



Figure 5 Prototype machine.

### 2.1.2 กลไกของเครื่องจักร

การเคลื่อนที่และต้นกำลังขับเคลื่อนของกลไกต่างๆมีการทำงานดังนี้:

1. กลไกการพับรายหญ้าทบบนแกนไม้ใช้ต้นกำลังจากกระบอกสูบนิวแมติกส์ขนาด 6.3 cm มีระยะชัก 15 cm กลไกทำงานจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยใช้กลไกเฟืองบรรทัดกับเฟืองฟันตรง (Figure 7a)
2. กลไกกดทับรายหญ้าให้อยู่กับที่ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบนิวแมติกส์ขนาด 4 cm มีระยะชัก 20 cm จำนวน 2 กระบอกติดตั้งที่ขอบของถาดทั้งสองฝั่งกลไกทำงานเปลี่ยนการเคลื่อนของกระบอกสูบในแนวนอนไปสู่การยกในแนวตั้งโดยกลไก x-lift (Figure 7b)
3. กลไกจับยึดแกนไม้ จะถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบนิวแมติกส์ขนาด 3 cm มีระยะชัก 10 cm เพื่อยกบาร์เหล็กขึ้นเพื่อขวางไม้ไม่ให้เคลื่อนที่ (Figure 7c)
4. กลไกการเย็บกลไกนี้ใช้จักรเย็บกระสอบรุ่น GK26-1A (Figure 7d) ในการทำงาน

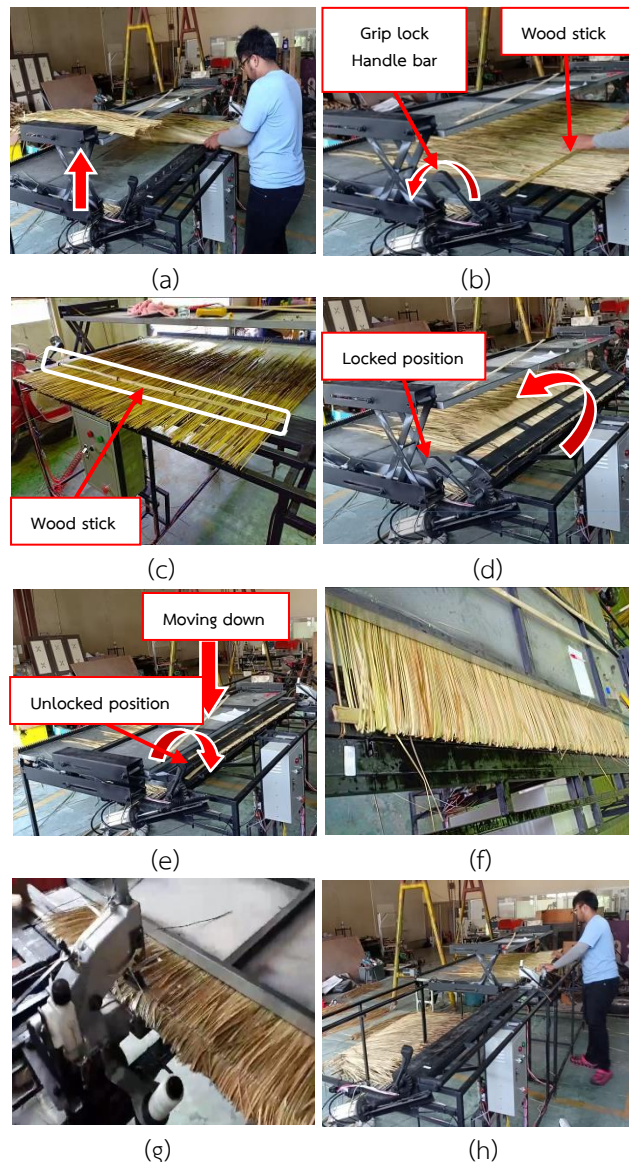


Figure 6 The operation of prototype machine.

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

6. กลไกจับยึดไม้ เป็นกลไกที่ถูกเพิ่มเข้ามาตอนสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อช่วยผ่อนแรงในการจับยึดไม้ให้แน่นยิ่งขึ้น (Figure 7f)

ใช้ลมอัดความดัน 6 bar ในการขับเคลื่อนกระบอกสูบนิวแมติกส์ ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วย PLC และอัตราการไหลของลมอัด 58.08 L min<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นไปตามที่ Saisang et al., (2018) ได้รายงานไว้แล้ว

## 2.2 การทดสอบ

### 2.2.1 การทดสอบการผลิตหญ้า

ในการทดสอบจะใช้หญ้าคาเป็นวัสดุหญ้าแทนหญ้าแฝกเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันมากและหาได้ง่ายใน

ท้องถิ่นที่ดำเนินการวิจัย โดยจะทดสอบการผลิตแบ่งตามน้ำหนัก  
แห้งของหญ้าต่อบเป็น 0.6 0.8 และ 1.0 kg และทดสอบตาม

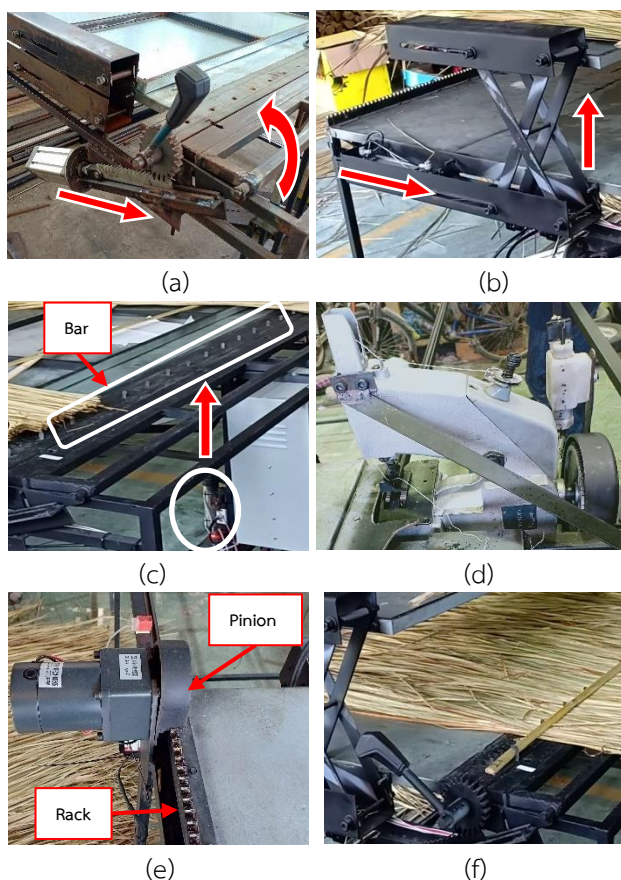


Figure 7 The operation of mechanism.

ลักษณะดินผิของจักรเย็บกระสอบโดยจะแบ่งเป็นดินผิแบบ  
ชิด (ระยะห่าง 0 mm) และดินผิแบบห่าง (ระยะห่าง 6 mm) ซึ่ง  
เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับได้ของจักรเย็บไฟฟ้า (ดังแสดงใน  
Figure 8 ) ทำการทดสอบขั้นต้นที่การผลิตหญ้าน้ำหนักต่อบ  
0.6 kg และ 0.8 kg เพื่อตัดสินใจเลือกระยะห่างของดินผิที่  
เหมาะสมโดยทดสอบผลิตจำนวน 10 ชิ้น ต่อสภาวะการทดสอบ  
ระยะห่างดินผิที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการผลิตตบหญ้าที่น้ำหนัก  
1.0 kg ต่อไป

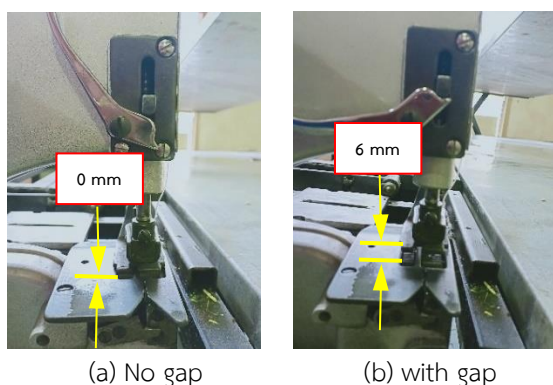


Figure 8 Presser foot gap.

ก่อนการผลิตตบหญ้าด้วยเครื่องต้นแบบต้องมีการเตรียมหญ้า  
ก่อน โดยการชั่งน้ำหนักหญ้าแห้ง (Figure 9a) ตามต้องการแล้ว  
ทำการมัดด้วยเชือกไว้เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย (Figure  
9b) และก่อนนำมาทดสอบควรมัดหญ้าไปพรมน้ำก่อนเพื่อให้  
วางรายหญ้าได้ง่าย ไม่บาดมือ และป้องกันการหักของหญ้าใน  
ขั้นตอนการพับหญ้าของเครื่อง



Figure 9 Preparation of grass.

## 2.2.2 คุณภาพของตบหญ้าที่ผลิตได้

ตบหญ้าที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขที่  
กำหนดขึ้นดังนี้

- 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป 2) แนวพับของตบหญ้าเอียง 3)  
ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ 5) เย็บ  
ไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ

## 2.2.3 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝนโดยจะทดสอบนำตบหญ้าที่  
ผลิตได้ไปมุงหลังคาและใช้หัวฝักบัวรดน้ำจำลองแทนน้ำฝน ดัง  
แสดงใน Figure 10 ในการทดสอบจะมีการแปรค่าระยะห่าง  
ระหว่างก้านไม้ของตบหญ้าออกเป็น 20 cm และ 15 cm ซึ่งใน  
การทดสอบจะปล่อยน้ำด้วยฝักบัวใส่หลังคาเป็นเวลา 30 min  
เพื่อพิจารณาการรั่วซึมของน้ำผ่านหลังคาที่ใช้ตบหญ้าที่ผลิต  
ได้เปรียบเทียบกับตบหญ้าที่ทำด้วยมือที่มีจำหน่ายในท้องตลาด



Figure 10 Leakage test by shower.

## 2.2.4 การทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์



Figure 11 Sunlight protection test.

ทดสอบนำตบหญ้าที่ผลิตได้ไปมุงหลังคาที่ระยะห่างกัน 20 cm และมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 10.5 องศา ดังแสดงใน Figure 11 ปลอ่ยให้ได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 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 เปรียบเทียบผลการทดสอบจากหลังคาที่ใช้ตบหญ้าที่ผลิตได้กับตบหญ้าที่ทำด้วยมือที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

## 2.2.5 การทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง

ใช้ระยะห่างตีนผีของจักรไฟฟ้าและน้ำหนักรดหญ้าที่ให้คุณภาพการผลิตที่ดีที่สุดมาใช้ในการทดสอบผลิตตบหญ้าแบบต่อเนื่อง จำนวน 40 kg วิเคราะห์คุณภาพของตบหญ้าตามข้อ 2.2.2 และคำนวณหา ประสิทธิภาพการผลิต (Efficiency) อัตราการทำงาน (Capacity) เปอร์เซนต์ความบกพร่อง (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 การวิเคราะห์คุณภาพของตบหญ้า

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

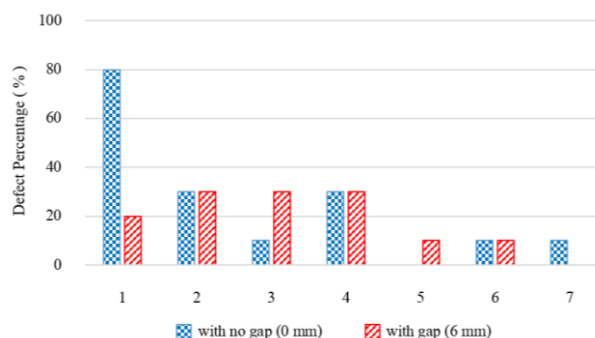


Figure 12 Defect percentage of grass roofing material weight 0.6 kg.

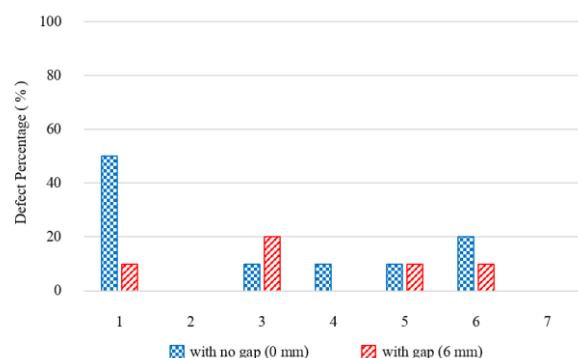


Figure 13 Defect percentage of grass roofing material weight 0.8 kg.

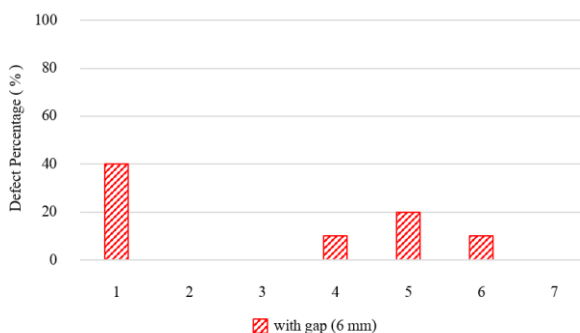


Figure 14 Defect percentage of grass roofing material weight 1.0 kg.

ปัญหา 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ 5) เย็บไม่สำเร็จ 6) ด้ายขาด สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ ปัญหา 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยมาก ปัญหา 4) การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและ 2) แนวพับของตับหญ้าเอียงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.6 kg และ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปจะเกิดขึ้นในการทดลองผลิตหญ้าที่มีดินฝิแบบชิตมากกว่าดินฝิแบบห่าง จากปัญหาและผลการทดสอบที่ได้ทำให้ทราบว่า การทดลองที่น้ำหนักหญ้าแห้ง 0.8 kg ดินฝิแบบห่าง จะผลิตตับหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักหญ้าแห้งเป็น 1 kg และปรับดินฝิแบบห่างเพื่อให้ได้ตับหญ้าใกล้เคียงกับน้ำหนักตับหญ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้ผลตาม Figure 14

พบว่าปัญหาที่สังเกตเห็นได้ชัดคือ 1) ปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพราะว่าเมื่อน้ำหนักหญ้าแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ตับหญ้ามีความหนามากขึ้นจึงวิ่งผ่านช่องว่างของการเย็บได้ยากขึ้นลักษณะปัญหาและสาเหตุมีดังนี้

1.ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูป (Figure 15) รอยเย็บเอียงเกิดจากขณะที่ตับหญ้าวิ่งเข้าสู่จักรเย็บ ดินฝิจะพยายามยกตัวขึ้นเพื่อกดตับหญ้าในจังหวะนี้จักรเย็บจะเย็บหญ้าในส่วนด้านล่างของตับหญ้าก่อนทำให้ช่วงต้นของตับหญ้ามียอยเย็บที่ผิดรูป พบสูงสุดที่ทดสอบแบบดินฝิแบบชิต เนื่องจากดินฝิยกตัวขึ้นเพื่อกดทับตับหญ้าได้ยากกว่าการทดลองโดยดินฝิแบบห่าง



Figure 15 Wrong sewing at the first of operation.

2.แนวพับของตับหญ้าเอียง (Figure 16) เกิดจาก 2 กรณี คือ 1) ขณะพับรายหญ้ามมีการเลื่อนของตับหญ้า 2) เกิดการติดขัดขณะทำการเย็บซึ่งจะส่งผลให้แนวพับของหญ้าเอียงตามการเคลื่อนที่ของถาดเลื่อน ซึ่งปัญหานี้พบมากที่การทดสอบผลิตหญ้าน้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่าร่ายหญ้ามมีความหนาน้อยเกินไปจึงไม่สามารถกดหญ้าให้แน่นได้ในขั้นตอนการพับ



Figure 16 Incline folded grass panel.

3.ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ (Figure 17) คือ ช่วงสิ้นสุดการเย็บเกิดรอยตะเข็บหลุด เกิดจากขั้นตอนการตัดด้าย หากปลายของตับหญ้าอยู่ใกล้กับจักรเย็บมากเกินไปทำให้ตัดด้ายได้ยากเกิดด้ายหลุดออกส่งผลให้หญ้าตรงปลายตับหญ้าหลุดออกมาด้วยซึ่งปัญหานี้พบได้ทุกเงื่อนไขการทดสอบ



Figure 17 Incomplete sewing at the end of operation.

4.การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ คือ หญ้ามีการกระจายตัวตลอดทั้งตับไม่เท่ากัน เกิดจากขั้นตอนการเรียงหญ้าด้วยมือ โดยปัญหานี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการทดสอบผลิตหญ้าน้ำหนัก 0.6 kg เพราะว่าร่ายหญ้ามมีจำนวนหญ้าน้อยเกินไป



Figure 18 Poor distribution of grass.

5.เย็บไม่สำเร็จ คือ มีบางส่วนของตับหญ้าเย็บไม่ได้เพราะการเย็บมีการติดขัดซึ่งปัญหานี้พบได้น้อยมาก

6.ด้ายขาด เกิดจากบางช่วงของการเย็บด้ายมีความตึงมากเกินไปทำให้ด้ายขาดขณะเย็บ ซึ่งพบปัญหานี้บ่อยมาก

7.ก้านไม้หลุดจากชุดจับ (Figure 19) เกิดจาก 1) การจับยึดไม้ไม่แน่น 2) ไม้ไม่สามารถทนแรงที่ใช้ในการตัดรายหญ้าทั้งตับได้ทำให้เกิดการบิดงอหรือหักได้ 3) ถ้าหญ้ามมีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้จับยึดไม้ได้ยากขึ้นไปด้วย



Figure 19 Fail of wood stick gripping mechanism.

จากการวิเคราะห์คุณภาพของตับหญ้า เราสามารถแบ่งคุณภาพของตับหญ้าออกได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) ตับหญ้ามสมบูรณ์ (ไม่เกิดปัญหาในการผลิตเลย) 2) ตับหญ้ามที่สามารถ

แก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้งานได้ (เกิดปัญหาตามข้อ 1-4) และ 3) ดับหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ (เกิดปัญหา 5-7 และถูกประเมินเป็นของเสีย)

### 3.2 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝน

ผลการทดสอบจาก Table 1 การรั่วซึมของน้ำฝน 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 จากการทดสอบถ้าลดระยะห่างของการมุงดับหญ้าหรือเพิ่มมุมมองของหลังคาจะทำให้การป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่จะต้องใช้ดับหญ้าในการมุงหลังคาเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้พื้นที่หลังคาในแนวระนาบเท่ากัน

### 3.3 การป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ด้านใต้และด้านบนของหลังคาเทียบกับเวลา แสดงดัง Figure 21 และ 22 ดังนี้

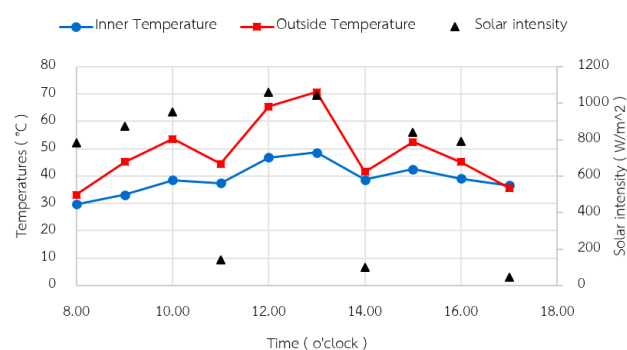


Figure 21. Relation between temperatures and solar intensity during time of grass roofing from market.

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 หลังคาที่มุงจากดับหญ้าในท้องตลาด อุณหภูมิด้านในและด้านบนของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่เวลา 13.00 น. และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 13.00 น. โดยมีค่าสูงสุดของอุณหภูมิด้านในและด้านบนเท่ากับ 48.6°C และ 70.7°C ตามลำดับ และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,060 W m<sup>-2</sup> ที่เวลา 12.00 น. จะเห็นว่าช่วงเวลา 10.00-11.00 น. และ 13.00-14.00 น. อุณหภูมิด้านในและด้านบนมีค่าลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากในช่วงเวลานั้นความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลงซึ่งเกิดจากมีเมฆบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังหลังคา โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านบนจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 9.62°C

ใน Figure 22 หลังคาที่มุงจากดับหญ้าที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบ ด้วยน้ำหนักหญ้าต่อดับ 1 kg อุณหภูมิด้านในและด้านบนของหลังคาจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิด้านในจะมีค่ามากที่สุดเวลา 12.00 น. เท่ากับ 44.2 °C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 12.00 น. อุณหภูมิด้านบนจะมีค่ามากที่สุดเวลา 11.00 น. เท่ากับ 64.3 °C และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ หลังจากเวลา 11.00 น. และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 1,020 W m<sup>-2</sup> ที่เวลา 11.00 น. โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านบนจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิด้านในประมาณ 10.85 °C

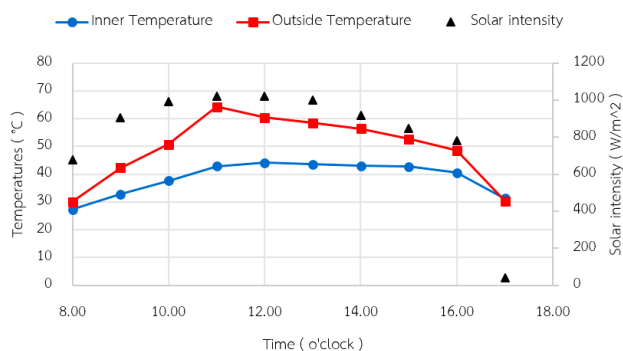


Figure 22. Relation between temperatures and solar intensity during time of grass roofing weight 1 kg per panel.

### 3.4 การทดสอบแบบต่อเนื่อง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพตามเงื่อนไขข้อ 2.2.2 และสมการ (4) ดังแสดงดัง Figure 23

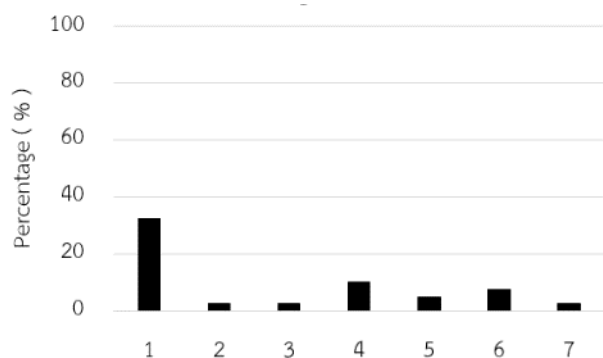


Figure 23. Defect percentage of grass roofing Material in continuous test.

โดยพบปัญหาคือ 1) ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% ซึ่งเกิดจากหญ้ามีความหนาเกินไปและปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ 2) แนวพับของด้ายหญ้าเอียง 3) ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ 7) ก้านไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ในการผลิตด้ายหญ้า 40 ตับ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการผลิตตามสมการที่ (1) จะได้ด้ายหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ด้ายหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ด้ายหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% ใช้พลังงานในการผลิตทั้งหมด 0.5513 kWh และใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 161 min 10 sec ได้อัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.0137 kWh ต่อตับ หรือ 0.205 kWh hr<sup>-1</sup> และมีอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ตับ ต่อชั่วโมง จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อ้างอิงอัตราดอกเบี้ยธนาคารแห่งประเทศไทย (Bank of Thailand, 2018) ที่ราคาเครื่องต้นแบบเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตด้ายหญ้าอยู่ที่ 8 Baht ต่อตับ (Panomrung yaka, 2018) พบว่าจุดคุ้มทุนการผลิตอยู่ที่ 1,925 ตับ ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน (Yamphean, 2003)

## 4 สรุป

จากการทดสอบการผลิตด้ายหญ้าด้วยเครื่องจักรต้นแบบพบว่าน้ำหนักหญ้า 0.8 kg ต่อตับ และสภาพดินฟ้าแบบแห้ง จะผลิตด้ายหญ้าได้คุณภาพดีที่สุด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการทดสอบจะทำให้เกิดปัญหาช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเพิ่มขึ้น มีการใช้พลังงานเฉลี่ยในการผลิตด้ายหญ้าในแต่ละตับอยู่ในช่วง 0.0060 – 0.0090 kWh และเมื่อเพิ่มน้ำหนักหญ้าในการผลิตมากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น หลังจากที่ยังด้วยด้ายหญ้าที่ผลิตได้ทุกน้ำหนักจะต้องวางห่างกันไม่เกิน 15 cm และมุมหลังคาเอียงไม่น้อยกว่า 17.35 องศา จึงจะสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ และในการทดสอบการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์พบว่า ด้ายหญ้าผลิตที่น้ำหนักแห้งของหญ้า 1 kg ต่อตับ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในและด้านนอกประมาณ 10.85°C ในการทดสอบผลิตแบบต่อเนื่อง 40 ตับ ที่น้ำหนัก 1.0 kg โดยใช้ดินฟ้าแบบแห้ง ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ช่วงต้นมีการเย็บผิดรูปเกิดขึ้นมากที่สุดที่ 32.5% และปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ แนวพับของด้ายหญ้าเอียง ปลายการเย็บไม่สมบูรณ์ และ ไม้หลุดจากชุดจับ เกิดขึ้นน้อยที่สุดที่ 2.5% ได้ด้ายหญ้าสมบูรณ์ 37.5% ด้ายหญ้าที่สามารถแก้ไขด้วยมือแล้วนำกลับมาใช้ได้ 47.5% และ ด้ายหญ้าที่ไม่สามารถแก้ไขด้วยมือได้ 15% มีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 0.205 kWh hr<sup>-1</sup> และอัตราการผลิตเท่ากับ 14.9 ตับ ต่อชั่วโมง และจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ราคาเครื่องเท่ากับ 93,320 Baht และกำไรในการผลิตด้ายหญ้าอยู่ที่ราคา 8 Baht ต่อตับ พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,925 ตับ ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11 เดือน

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนงานวิจัยนี้และขอขอบคุณกลุ่มพจนมรังษุณยาคา อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.บุรีรัมย์ ในการสนับสนุนวัสดุสำหรับทดสอบการผลิตด้ายหญ้า

## 6 เอกสารอ้างอิง

- Bank of Thailand. (2018). Deposit interest rate. Available at: [https://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrte/\\_layouts/application/interest\\_rate/in\\_rate.aspx](https://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrte/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx). Accessed on 16 December 2018.
- Kridsada, S., Krawee, T., Tawarat, T. 2018. Conceptual design study of semi-automatic Machine for the production of vetiver grass roofing. Proceedings of the 7<sup>th</sup> PHAYAO research conference, 912- 922. Phayao University. 25- 26 January 2018, Phayou, Thailand

- Kridsada, S., Krawee, T., Tawarat, T. 2018. Desirable Specification of Vetiver Grass Roofing Making Machine. Proceedings of the Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018. Art Center Kobe, Japan: The International Academic Forum (IAFOR), 8-10 June 2018, Kobe, Japan.
- Kridsada, S., Krawee, T., Tawarat, T. 2018. Limitation of Mechanism and powertrain in Vetiver Grass Roofing Making Machine. Proceeding of the 11<sup>th</sup> TSAE National conference, 275- 280. Chulabhorn International Convention Center: Kasetsart University, Hua Hin, 26-27 April 2018, Prachuap Khiri Khan Thailand. (In Thai).
- Paiboon, Y. 2003. Engineering economic. Se-education Public Company, Bangkok, Thailand. (In Thai).
- Suppayanaidi, B. 2014. How to make grass roofing material by mae thawon. Available at: [https://www.facebook.com/pg/suppayanaidin/photos/?tab=album&album\\_id=595534600500143](https://www.facebook.com/pg/suppayanaidin/photos/?tab=album&album_id=595534600500143). Accessed on 16 December 2018 (In Thai).
- Yaka, P. 2018. Grass roof. Available at: <http://www.tanachai12.com>. Accessed on 16 Desember 2018 (In Thai).