



การออกแบบเครื่องเตรียมกาบกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย

Design of Banana Leaf Sheath Preparing Machine for Making Banana Rope

พิมพ์พรรณ ปรีองาม^{1*}Pimpan Pruengam^{1*}¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140¹Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University -Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-8-6504-5685, Fax: +66- 34-261-062, E-mail: fengpppn@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องเตรียมกาบกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วยได้ออกแบบเพื่อให้สามารถรีดกาบกล้วยได้เชือกหลายเส้นพร้อมกับรีดน้ำออกจากเชือกกล้วยเพื่อลดระยะเวลาการตากแห้งให้สั้นลง มีกระบวนการพ่นสารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ เพื่อให้เชือกกล้วยหลังตากแห้งมีความขาว การทำงานของเครื่องแบ่งเป็นส่วน คือ ชุดลำเลียง ชุดกรีด ชุดพ่นสารละลาย และชุดรีดน้ำ โดยที่ชุดลำเลียงประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก หมุนสวนทางกันเพื่อดึงกาบกล้วยเข้าสู่เครื่อง กาบกล้วยจะถูกลำเลียงเข้าไปเจอกับชุดกรีด ใบมีดจะกรีดกาบกล้วยให้เป็นเส้นตามความยาว กาบกล้วยจะถูกชุดลำเลียงดึงจนไปสัมผัสลิมิตสวิตช์ที่ติดตั้งไว้ด้านหลังของใบมีดกรีด รับคำสั่งให้ฉีดพ่นสารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์บนกาบกล้วย จากนั้นเข้าสู่ชุดรีดน้ำ ซึ่งชุดลูกกลิ้งสองชุดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับชุดลำเลียง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 3 mm ทำหน้าที่รีดน้ำออกจากกาบกล้วย ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 3 ระดับ คือ 25 50 และ 75 rpm ความเร็วรอบของชุดรีดน้ำเท่ากับความเร็วรอบชุดลำเลียง พบว่าที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมคือ 50, rpm มีอัตราทำงาน 184.5 kg h^{-1} ใช้ตากแห้งเวลาเพียง 1 วัน เชือกกล้วยมีค่าดัชนีความขาว และมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 70 และ 10.9 MPa ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 y ใช้เครื่องเตรียมกาบกล้วยหลังทำงาน 2,080 h มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 97,104.5 Baht y^{-1} ระยะเวลาคืนทุน 3 month และจุดคุ้มทุนเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักกาบกล้วยที่เตรียมได้ประมาณ 12.5 ton y^{-1}

คำสำคัญ: ชุดลำเลียง, ชุดกรีด, ชุดรีดน้ำ, สารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์, ความเค้นแรงดึงสูงสุด

Abstract

Banana leaf sheath preparing machine for making banana rope was designed to be able to slice the banana leaf sheath to obtain many ropes at once together with squeezing water from the cut banana leaf sheath to reduce the drying time. There was a process of spraying the sodium metabisulfite solution so that after drying the banana rope became white. It consisted of four main mechanisms: a conveyor unit, a cutting unit, a spraying unit and squeezing units. The conveyor unit consisted of 2 rollers rotating in opposite directions to pull the banana leaf sheath into the machine. The banana leaf sheath was fed to the cutting unit. The cutters sliced the banana leaf sheath along the length of the banana leaf sheath. The banana leaf sheath was conveyed continually and press the limit switch installed on the back of the slicing cutter. The spraying unit was then turned on spray sodium methadite sulfite solution on banana leaf sheath. Then the leaf sheath entered the squeezing units where the two sets of rollers had the same characteristics as the conveyor unit. The distance between the rollers was 3 mm which served to squeeze water from the banana leaf sheath. Test of the banana leaf sheath preparing machine were conducted at the speeds of the conveyor unit of 25, 50 and 75 rpm, respectively. The speed of the squeezing units was equal to the speed of the conveyor unit. Test results showed that the optimum rotational speed of the conveyor units was 50 rpm resulting in the working capacity at 184.5 kg h^{-1} . The prepared ropes took only 1 day to dry in the sun. The banana rope had a whiteness index and the maximum tensile strength equal to 70 and 10.9

Received: June 18, 2019

Revised: July 25, 2019

Accepted: July 28, 2019

Available online: November 7, 2019

MPa respectively. Economical analysis showed that the machine worked 2,080 h year⁻¹ with the average costs of 97,104.5 Baht year⁻¹, payback period 3 month and the break even point of the machine based on the prepared banana leaf sheath weight was 12.5 ton year⁻¹.

Keywords: Conveyor unit, Cutting unit, Squeezing units, Sodium metabisulfite solution, Maximum tensile strength.

1 บทนำ

ต้นกล้วยเป็นพืชที่เจริญเติบโตง่ายในทุกๆพื้นที่และมีประโยชน์มากมาย เช่น ผลและหัวปลีใช้รับประทาน ใบใช้ห่ออาหารหรือทำกระถางบายศรี หยวกใช้เป็นอาหารสัตว์ กระทั่งกาบกกล้วยก็สามารถใช้ทำเส้นเชือก โคนนากาบกล้วยลอกเอามากัดเป็นเส้นแล้วนำไปตากแดดจนแห้งก็ได้เชือกกล้วย การใช้ประโยชน์จากเชือกกล้วยมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น (1) การนำไปมัดของ (Vigneswaran et al., 2015) (2) การใช้ในงานหัตถกรรม เช่น กระเป๋า หรือกล่องใส่ของ (Kalsirisilp, 2013) พันธุ์กล้วยที่นำมาใช้ทำเชือกมีความหลากหลายตามแหล่ง เช่น เขตภาคกลางใช้กล้วยน้ำว้าและกล้วยตานี (อ่างทอง) เขตภาคเหนือใช้กล้วยไข่ (กำแพงเพชร) และเขตภาคใต้ใช้กล้วยตานี (สงขลา)

วิธีการเตรียมเชือกกล้วยโดยใช้แรงงานคน แบ่งเป็น 2 แบบ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ คือ

แบบที่ 1 จะนำกาบกล้วยที่มีความยาวประมาณ 2 m ถูตามแนวตั้ง แล้วกรีดด้วยมีดขนาดเล็กจากบนลงล่าง แต่ละเส้นจะมีความกว้างประมาณ 1 in จากนั้นพาดตากแดดบนราวไม้ไผ่โดยไม่วางซ้อนหรือทับกัน ใช้เวลาประมาณ 4-5 d นำมาเข้าเครื่องรีดที่ละเส้น เพื่อให้ความหนาเท่ากันเหมาะสมที่จะนำไปผลิตสินค้าหัตถกรรม หรือนำไปพันเชือกก่อนที่จะนำไปสาน (Meeboon, 2001)

แบบที่ 2 จะนำกาบกล้วยที่มีความยาวประมาณ 2 m ใช้ข้อสอดทอจากกล้วยให้บาง แล้วนำไปตากแดด เมื่อแห้งแล้วจึงนำมาฉีกเป็นเส้นเท่าๆกัน จากนั้นพันกับหน้าแข้งให้เป็นเชือกก่อนนำไปใช้ในงานถักสานต่างๆ (Narongwit et al., 2017)

จากงานวิจัยของ Boonpitak (2010) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชือกกล้วย ซึ่งเหมาะสมที่นำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พบว่าเชือกกล้วยน้ำว้ามีความเค้นแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 7.12 MPa และเชือกกล้วยตานีมีความแข็งแรง เท่ากับ 8.67 MPa และ Kalsirisilp (2013) ได้เตรียมเชือกกล้วยด้วยวิธีการถักเปีย โดยใช้เชือกกล้วยความกว้าง 1 in แบ่งเป็น 3 เส้น ถักเปียเพื่อเพิ่มความแข็งแรง วัดค่าได้เท่ากับ 11.13 MPa ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เชือกกล้วยซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมีความแข็งแรงทนทานเหนียวไม่ขาดง่ายเหมาะที่จะนำไปใช้สร้างสรรค์งานต่างๆ ได้รับความนิยมอย่างมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Boonpitak, 2010) แต่การเตรียมเชือกกล้วยในปัจจุบันยังอาศัยแรงงานคนในทุกขั้นตอน ต่อมา Boonrawd et al., (2017) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องรีดเชือกกล้วยให้แบบเรียบมีความสม่ำเสมอโดยใช้ลูกกลิ้งผิวเรียบสองลูกหมุนเข้าหากัน ด้วยความเร็วรอบ 41 rpm แต่ก็เป็นเพียงการรีดเชือกกล้วยแห้งเท่านั้น

ขั้นตอนการกรีด ตากแห้ง และรีดเส้นนั้น เป็นขั้นตอนที่ล่าช้าใช้เวลานาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มผลผลิตสำหรับใช้ในการแปรรูปเป็นเชือกกล้วย ซึ่งเป็นการสร้างรายได้ให้เกษตรกรเพิ่มมากขึ้น ลดการใช้แรงงานจากคนและช่วยประหยัดเวลา ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือสร้างเครื่องที่สามารถรีดกาบกล้วยได้ครั้งละหลายเส้น และในขณะเดียวกันก็รีดน้ำออกเพื่อลดระยะเวลาการตากแห้งให้สั้นลง นอกจากนี้ยังมีหัวฉีดพ่นสารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) เพื่อให้เชือกกล้วยหลังตากแห้งมีความขาว โดยเลือกใช้กาบกล้วยจากกล้วยน้ำว้าในการทดลอง

2 หลักการออกแบบและสร้างเครื่องเตรียมกาบกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย

เครื่องเตรียมกาบกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย แบ่งการทำงานออกเป็น 4 คือ 1) ชุดลำเลียง 2) ชุดกรีด 3) ชุดพ่นสารละลาย และ 4) ชุดรีดน้ำ

2.1 การออกแบบชุดลำเลียง

ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก ทำจากเหล็กทรงกระบอกกลวง แต่ละลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 mm ยาว 350 mm ทำจากท่อเหล็กมีแผ่นเหล็กกลมเชื่อมปิดหัวท้ายและร้อยด้วยเพลานาน 15 mm กลิ้งอยู่บนแบร์ริง (Figure 1) รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ Hp ถ่ายทอดผ่านโซ่เบอร์ 428 มาสู่ลูกกลิ้งตัวล่างให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา และลูกกลิ้งตัวบนหมุนตามเข็มนาฬิกา เพื่อดึงกาบกล้วยเข้าสู่เครื่อง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 5 mm บริเวณทางเข้าจะมีเหล็กแผ่นกว้าง 30 cm อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างลูกกลิ้งตลอดหน้ากว้างของเครื่องสำหรับวางกาบกล้วยพร้อมติดเหล็กฉากด้านซ้ายขวาเพื่อกันไม่ให้กาบกล้วยถูกดึงออกไปติดด้านข้าง

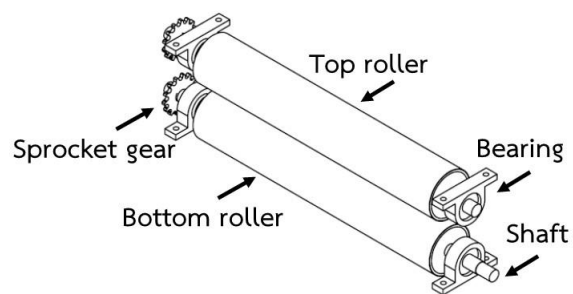


Figure 1 Components of the conveyor units.

2.2 การออกแบบชุดกรีด

เมื่อกากกล้วยถูกลำเลียงมาแล้วจะถูกกรีดด้วยมีด โดยชุดกรีดจะประกอบไปด้วยใบมีดคัตเตอร์ 7 ใบ วางห่างเป็นระยะเท่ากัน 3 cm เพื่อให้ครอบคลุมความกว้างของกากกล้วย โดยยึดหัวท้ายด้วยเหล็กกล่อง (Figure 2)

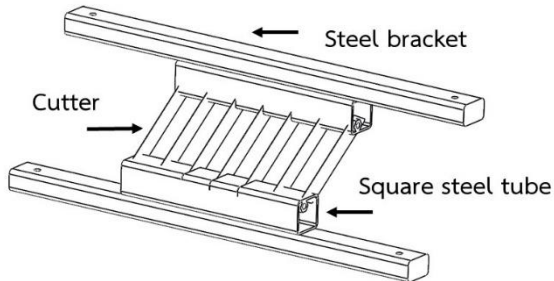


Figure 2 Components of the cutting units.

2.3 การออกแบบชุดพ่นสารละลาย

สารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ถูกออกแบบให้พ่นบนกากกล้วยหลังจากถูกกรีดเป็นเส้น ประกอบด้วยปั้มน้ำไดอะแฟรม 12V 0.65 MPa ที่สามารถทำได้ 240 l h⁻¹ โดยจะเริ่มทำงานเมื่อกากกล้วยกดโดนลิ้มิตสวิทช์ที่ติดตั้งไว้หลังใบมีดของชุดกรีดทำให้ปั้มน้ำทำงานส่งสารละลายตามสายยางเข้าในหัวฉีดพ่นเป็นละอองใส่กากกล้วย (Figure 3)

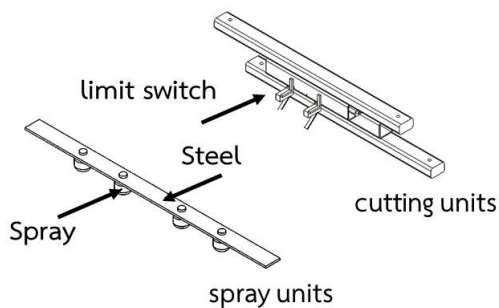


Figure 3 Components of the spray units.

2.4 การออกแบบชุดรีดน้ำ

ประกอบไปด้วยลูกกลิ้งมีลักษณะเหมือนชุดลำเลียง 4 ลูก ที่หัวเพลามีสกรูสามารถปรับตั้งระยะกดได้ แต่ในการทดลองนี้ปรับระยะคงที่ไว้ที่ 3 mm เป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนที่กากกล้วยจะออกจากเครื่อง (Figure 4)

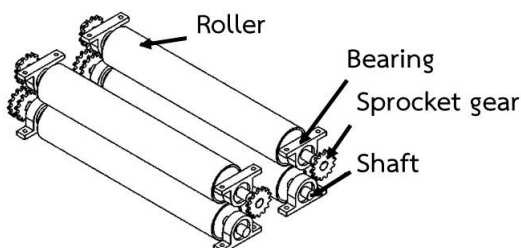


Figure 4 Components of the squeezing units.

2.5 การออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 1/2 Hp (1) ส่งกำลังไปยังเพลาเกียร์ทด 1: 60 (2) ด้วยสายพานลิ่มร่อง A เพื่อลดความเร็วรอบให้น้อยลง ก่อนส่งกำลังไปยังเพลาของลูกกลิ้งตัวล่างของชุดลำเลียง (3) ด้วยโซ่เบอร์ 428 ในขณะที่เพลาอีกด้านของตัวล่างของชุดลำเลียง (4) จะถ่ายทอดกำลังไปยังเพลาของลูกกลิ้งตัวล่างของชุดกรีด 1 (5) ซึ่งมีเฟืองร่อนคู่ (6) ถ่ายทอดกำลังไปสู่ลูกกลิ้งตัวล่างของชุดกรีด 2 (7) การถ่ายทอดกำลังในระบบตั้งแต่ (4) ไปถึงเพลาของลูกกลิ้งตัวบนของชุดลำเลียง (13) ใช้โซ่เบอร์ 35 (Figure 5) ความเร็วรอบของชุดลำเลียงเท่ากับความเร็วรอบชุดรีดน้ำ

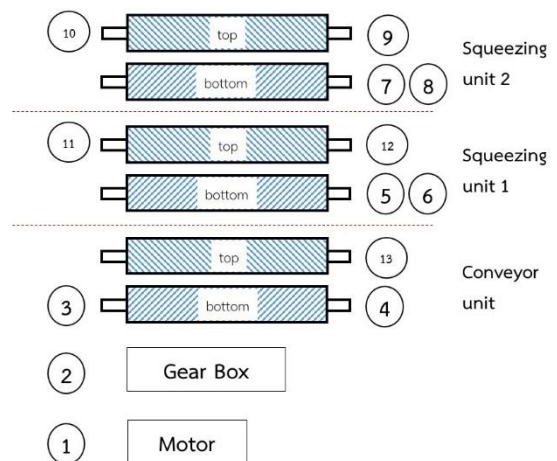


Figure 5 Schematic of power transmission system.

2.6 ลักษณะการทำงานของเครื่อง

ผู้ปฏิบัติงานป้อนกากกล้วยเข้าสู่ช่องทางเข้าชุดลำเลียง กากกล้วยจะถูกลำเลียงเข้าไป ชุดใบมีดทำหน้าที่กรีดกากกล้วยให้เป็นเส้นตามความยาว กากกล้วยจะถูกชุดลำเลียงดึงจนถึงลิ้มิตสวิทช์ที่ติดตั้งไว้ด้านหลังของใบมีดกรีด สำหรับรับคำสั่งให้ฉีดพ่นสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์บนกากกล้วย และส่งต่อไปยังชุดลูกกลิ้ง 2 ชุด เพื่อรีดน้ำออกจากกากกล้วย โดยน้ำที่รีดออกจะไหลลงไปที่ถาดรองสารละลาย ดังนั้น กากกล้วยที่ออกท้ายเครื่องจะเป็นกากกล้วยที่ถูกกรีดเป็นเส้น พร้อมทั้งผ่านการพ่นสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์และรีดน้ำออก (Figure 6)



Figure 6 The completed banana leaf sheath preparing machine.

3 อุปกรณ์และวิธีการ

ใช้ต้นกล้วยน้ำว้า ตัดสูงจากพื้น 30 cm และตัดยอด ให้ได้ความยาวกาบกล้วย 2 m (Figure 7) ใช้กาบกล้วยจำนวน 10 กาบ ต่อ 1 การทดลอง ซึ่งนำหน้ากล้วยกล้วย แล้ววัดความกว้างและความหนาสูงสุดของกาบกล้วย เพื่อใช้กำหนดความกว้างของชุดกรีดและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งชุดลำเลียง

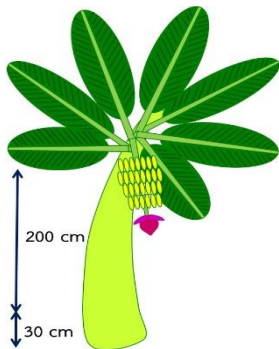


Figure 7 Cutting distance of banana leaf sheath.

ผสมสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.05 g l⁻¹ ฟนบนกาบกล้วยด้วยอัตรา 0.75 l min⁻¹

ป้อนกาบกล้วยอย่างต่อเนื่องและจับเวลาทดสอบความเร็วรอบที่ชุดลำเลียง 3 ระดับ คือ 25 rpm 50 rpm และ 75 rpm โดยคำนวณอัตราการทำงาน ดังนี้

$$\text{อัตราการทำงาน} = \frac{\text{น้ำหนักกาบกล้วยก่อนรีด}}{\text{เวลา}} \quad (1)$$

ชั่งน้ำหนักหลังการรีดกาบกล้วย โดยชั่งพร้อมกันทั้งหมด 10 กาบ คำนวณเปอร์เซ็นต์การรีดน้ำ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรีดน้ำ} = \frac{\text{นน.ก่อนรีดน้ำ} - \text{นน.หลังรีดน้ำ}}{\text{นน.ก่อนรีดน้ำ}} \times 100\% \quad (2)$$

นับจำนวนเส้นเชือกที่กรีดได้ และเส้นเชือกที่เสียหาย เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของเชือกที่เสียหาย ซึ่งเส้นเชือกที่เสียหายคือ เส้นที่ถูกลูกกลิ้งกดจนขาด (Figure 8)



Figure 8 Example of damaged banana rope.

คำนวณเปอร์เซ็นต์เชือกที่เสียหายดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เชือกที่เสียหาย} = \frac{\text{จำนวนเส้นเชือกที่เสีย}}{\text{จำนวนเส้นเชือกที่กรีดได้}} \times 100\% \quad (3)$$

วัดปริมาณสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์ที่ใช้ฟนบนเชือกกล้วย ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เปรียบเทียบอัตราการทำงานของเครื่องกับการกรีดกาบกล้วยด้วยผู้ปฏิบัติการ โดยใช้มดกรีดเชือกกล้วยเป็นเส้นด้วยมือ เพื่อเป็นค่าอ้างอิง

นำเชือกกล้วยที่เตรียมด้วยเครื่องเตรียมกาบกล้วยที่ความเร็วรอบ 25 50 และ 75 rpm และแรงงาน มาตากแดดจนกว่าจะแห้งหรือมีความชื้นเท่ากับค่าอ้างอิงหรือใกล้เคียง 8-9.68%w.b. (Boonpitak, 2010; Kalsirisilp, 2013) โดยทำการเก็บความชื้นทุกวัน เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาตากแห้ง จำนวน 3 ชั่วโมง

การหาปริมาณความชื้นของเชือกกล้วย โดยนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 6 h นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังนี้

$$\text{ความชื้น} = \frac{\text{นน.ก่อนอบ} - \text{นน.หลังอบ}}{\text{นน.ก่อนอบ}} \times 100\% \quad (4)$$

3.1 การเปรียบเทียบคุณภาพเชือกกล้วย

3.1.1 ดัชนีความขาวของเชือก

วัดค่าสีของเชือกกล้วยตากแห้งที่ได้จากเครื่องรีดและกรีดด้วยแรงงานคนในแต่ละการทดลอง โดยใช้เครื่องมือวัดสี ยี่ห้อ Spectro-guide (Sphere gloss, รุ่น BYK-Gardner, USA) วิธีการวัดค่าสี โดยรายละเอียดดังนี้ ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 และมุมผู้สังเกต คือ 10° ก่อนการวัดทุกครั้งจะต้องสอบเทียบอุปกรณ์กับแผ่นสีดำและแผ่นสีขาวมาตรฐาน (X=85.14, Y=90.40, Z=97.61)

นำเชือกกล้วยแต่ละชุดมาหาค่าสี วัดสีออกมาเป็น ค่า L* a* และ b* เมื่อ L* คือ ค่าที่แสดงถึงความสว่าง (Lightness) ของ

วัตถุ a^* คือ ค่าที่แสดงถึงความเป็นสีแดง (Redness) และสีเขียวของวัตถุ b^* คือ ค่าที่แสดงถึงความเป็นสีเหลือง (Yellowness) และสีน้ำเงินของวัตถุ คำนวณดัชนีความขาว (Pruengam et al, 2014) ดังนี้

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.1.2 การหาค่าความแข็งแรงของเชือกกล้วยต่อแรงดึง และร้อยละการยืดตัวของเชือกกล้วย

ทดสอบความแข็งแรงของเชือกกล้วยด้วยเครื่อง Universal testing machine (INSTRON 5569) ความเร็วในการทดสอบ 500 mm min⁻¹ และระยะในการทดสอบเชือกกล้วยเท่ากับ 500 mm ตามมาตรฐาน ISO 2062: 1993 (E) Method A ทำการทดสอบเชือกกล้วยทีละเส้น เครื่องจะดึงเชือกกล้วยจนขาด บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด (Maximum tensile force) และความยาวเชือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น คำนวณความเค้นแรงดึงสูงสุด (Maximum tensile strength) และร้อยละการยืดตัวของเชือกกล้วย (Percentage elongation at maximum load) ดังนี้

$$\text{ความเค้นแรงดึงสูงสุด} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดเชือกกล้วย}} \times 100\% \quad (6)$$

ร้อยละการยืดตัวของเชือกกล้วย

$$= \frac{\text{ระยะการยืดตัวของเชือกกล้วย}}{\text{ความยาวเดิมเชือกกล้วย}} \times 100\% \quad (7)$$

3.2 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

3.2.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ต้นทุนในการใช้เครื่องเตรียมกากกล้วย นั้นประกอบด้วย (1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) และ (2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่ (ต้นทุนคงที่) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้เครื่องจักร ประกอบด้วย ดอกเบี้ยจากการลงทุนสร้างเครื่องจักร และค่าเสื่อมราคา การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight-line depreciation) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะคำนวณง่าย

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องแบบเส้นตรง (baht y}^{-1}\text{)} = \frac{P-L}{N} \quad (8)$$

โดย P = ราคาเครื่องแยก (=14,300 baht)

L = ราคาซากเครื่อง (= 0.1×P baht)

N = อายุการใช้งาน (= 10 y)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน (baht y}^{-1}\text{)} = \frac{P+L}{2} \times \frac{i}{100} \quad (9)$$

โดย i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี (7.5 %)

$$FC = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน} \quad (10)$$

โดย FC = ต้นทุนคงที่รวม (baht y⁻¹)

ค่าใช้จ่ายผันแปร (ต้นทุนผันแปร) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งานประกอบด้วยค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน และค่าน้ำประปา

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (baht y}^{-1}\text{)} = \text{ราคาเครื่อง} \times \text{ค่าซ่อมแซม} \quad (11)$$

โดย อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว 10 y

ค่าซ่อมแซมประมาณ 120% ของราคาเครื่อง

ใน 1 y หยุดเสาร์-อาทิตย์ ดังนั้นทำงาน 260 d

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (baht y}^{-1}\text{)} = \text{อัตราค่าจ้าง} \times \text{วันทำงาน} \quad (12)$$

แรงงานทำงาน 1 คน

โดย อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 325 baht (ค่าแรงขั้นต่ำกรุงเทพมหานคร 1 พฤษภาคม 2562 กระทรวงแรงงาน)

ค่าไฟฟ้า (baht y⁻¹)

$$= \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} \times \text{ค่าหน่วยไฟฟ้า} \times \text{วันทำงาน} \quad (13)$$

จำนวนหน่วยไฟฟ้า (baht y⁻¹)

$$= \text{ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \quad (14)$$

โดย ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.884 kW

ใน 1 d ทำงาน 8 h

ค่าหน่วยไฟฟ้า 4 baht unit⁻¹

$$\text{ค่าน้ำประปา (baht y}^{-1}\text{)} = \text{อัตราค่าน้ำประปา} \times \text{สิ้นเปลืองน้ำ} \quad (15)$$

โดย อัตราค่าน้ำประปาพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาคเขต 3 สิ้นเปลืองน้ำ 72 l month⁻¹

$$VC = \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าน้ำประปา} \quad (16)$$

โดย VC = ต้นทุนผันแปรรวม (baht y⁻¹)

$$AC = FC + VC \quad (17)$$

โดย AC = ต้นทุนรวมทั้งหมด (baht y⁻¹)

3.2.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่ง หมายถึง จุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง

$$BEP = \frac{FC}{p-vc} \quad (18)$$

โดย BEP = จุดคุ้มทุน (ton y^{-1})
 vc = ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (baht y^{-1})
 p = ค่ารับจ้างเครื่องเตรียมกากกล้วย (baht kg^{-1})

3.2.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ เวลาที่ต้องการเพื่อให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$PBP = \frac{CF_0}{YCF} \quad (19)$$

$$YCF = R - AC \quad (20)$$

โดย CF_0 = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่อง (baht)
 YCF = กำไร (baht y^{-1})
 R = รายได้ (baht y^{-1})
 AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการเตรียมกากกล้วย (baht)
 ค่ารับจ้างเครื่องเตรียมกากกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย พิจารณาในช่วงเท่ากับ $0.3 - 4.0 \text{ baht kg}^{-1}$
 สรุปค่าตัวแปรดังรายละเอียดใน Table 1

Table 1 Factors in straight - line depreciation method.

Factor	Value
Present value	14,300 baht
Salvage value	1,430 baht
Useful life	10 Y
Interest	7.5 %
Maintenance cost	17,160 baht
Working capacity	184.5 kg h^{-1}
Working period	$2,080 \text{ h Y}^{-1}$
Labor wages	325 baht d^{-1}
Electric consumption	0.884 kW h^{-1}
Water consumption	72 l month^{-1}
Electricity rate	4 baht unit^{-1}
Service fee	$0.3 - 4.0 \text{ baht kg}^{-1}$

3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนผลของระดับความเร็วรอบชุดลำเลียงและชุดรีดน้ำต่ออัตราการทำงาน เปอร์เซ็นต์การรีดน้ำ เปอร์เซ็นต์เชือกที่เสียหาย และคุณภาพของเชือกกล้วย แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีใช้การทดสอบแบบต้นแคณ (Duncan multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

4 ผลและวิจารณ์

4.1 สมบัติทางกายภาพของกากกล้วย

การเลือกต้นกล้วยใช้เฉพาะกาบจะต้องมีอายุ 5-6 month ความสูงของต้นเฉลี่ยเกิน 2 m ขึ้นไป พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ $8.57 \pm 0.14 \text{ kg}$ ต่อ 10 กาบ มีความหนามากที่สุดเฉลี่ย $12 \pm 1.08 \text{ mm}$ ความกว้างมากที่สุดเฉลี่ย $17.3 \pm 0.89 \text{ mm}$ กาบกล้วย 1 กาบ กรีดได้ประมาณ 4-5 เส้น

4.2 ผลทดลองการทำงาน

จากผลการทดลองเตรียมเชือกกล้วยจากกากกล้วยด้วยเครื่องมีความเร็วรอบชุดลำเลียงและชุดรีดน้ำที่ความเร็วรอบ 25 50 และ 75 rpm ระยะห่างระหว่างใบมีดกรีดคองที่ 3 cm ผลของความเร็วยุทธการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบทำการวัดอัตราการทำงานหลังจากป้อนกากกล้วยเข้าสู่เครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ พบว่าอัตราการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแปรผันตามความเร็วรอบชุดลำเลียง ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 75 rpm มีอัตราการทำงานสูงสุด $261.6 \pm 38.8 \text{ kg h}^{-1}$ มากกว่าที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 25 และ 50 rpm ประมาณ 1.5 และ 3 เท่า ตามลำดับ (Figure 9) เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของผู้ปฏิบัติการซึ่งเป็นอัตราการกรีดเชือกกล้วยเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 79 kg h^{-1} พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอัตราการทำงานที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 25 rpm คือ 90 kg h^{-1}

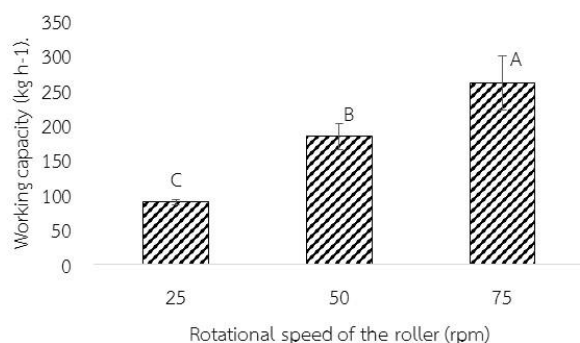


Figure 9 Working capacity (kg h^{-1}).

กากกล้วยหรือกากด้านนอกของลำต้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก หลังถูกกรีดเป็นเส้นเท่าๆ กันแล้ว จะถูกรีดให้แบนด้วยชุดลูกกลิ้งที่ความเร็วรอบ 25 50 และ 75 rpm จากผลการทดลอง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การรีดน้ำมีค่าในช่วง 13.6-15.1% ไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เป็นเพราะลูกกลิ้งบนล่างมีระยะห่างคงที่เท่ากับ 3 mm (Figure 10) และเมื่อพิจารณาจำนวนเส้นเชือกกล้วยที่เสียหายหลังการเตรียมด้วยเครื่อง พบว่าเปอร์เซ็นต์เชือกที่เสียหายไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยมีค่าในช่วง 9.6-12.4% (Figure 11)

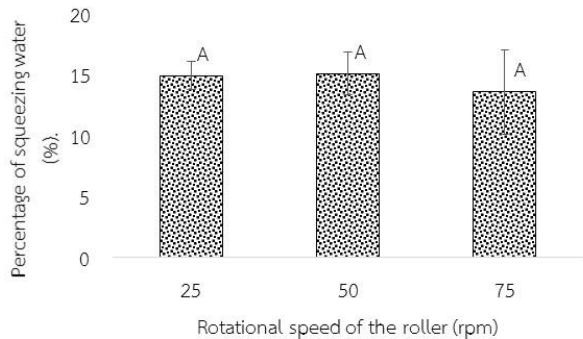


Figure 10 Percentage of squeezing water (%).

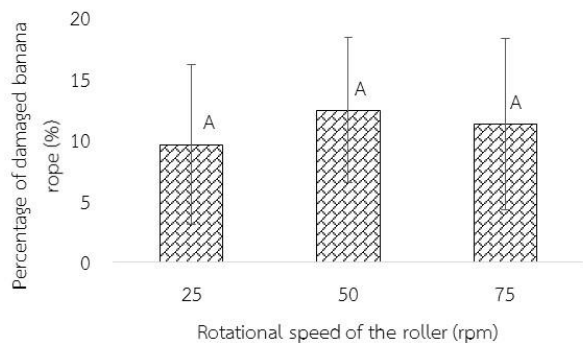


Figure 11 Percentage of damaged banana rope (%).

ถึงแม้ว่าที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 70 rpm จะมีอัตราการทำงานสูงที่สุด และมีเปอร์เซ็นต์การเสียหายและเปอร์เซ็นต์การรีดน้ำไม่ต่างกับความเร็วรอบอื่น แต่ในการทำงานจริง พบว่าถ้ากบกล้วยมีความหนาหลายๆ กบกล้วยจะติดที่หน้าเครื่อง ไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่ชุดกรีดได้

4.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพเชือกกล้วย

กบกล้วยที่นำมาทดสอบมีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 56.3%w.b. เมื่อกรีดเป็นเส้นแล้วจะนำมาตากแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ (8:00-16:00 น.) เส้นเชือกที่กรีดโดยอาศัยผู้ปฏิบัติการจะใช้เวลาตากแห้งนานถึง 4 d ในขณะที่เส้นเชือกที่เตรียมด้วยเครื่องจะใช้ตากแห้งเวลาเพียง 1 d ความชื้นสุดท้ายของเชือกกล้วยเท่ากับ 6.5%w.b.

การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขาวของเชือกกล้วยที่ได้รับผลมาจากอิทธิพลของวิธีการเตรียมเชือกกล้วย ดัชนีความขาวเป็นตัวชี้วัดของค่าสีหลักซึ่งเกี่ยวกับการวัดระดับการมองเห็นสีขาว (Visual rating of whiteness) หรือ ความขาวของตัวอย่างที่ปรากฏ (ASTM.E, 2005) หากพื้นผิวของเชือกกล้วยเป็นสีขาวหรือใกล้เคียงสีขาว ดัชนีความขาวจะแสดงค่าที่สูงขึ้น จากการทดลอง

พบว่าเชือกกล้วยที่เตรียมโดยการกรีดด้วยผู้ปฏิบัติการมีค่าดัชนีความขาวสูงสุดเท่ากับ 73.5 ± 1.9 แม้จะไม่ได้ผ่านการพ่นสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์บนเส้นเชือก ทั้งนี้เนื่องจากแรงบีบอัดที่ลูกกลิ้งชุดรีดน้ำกระทำบนกบกล้วยมีมาก จึงทำให้กบกล้วยซ้ำ เมื่อแห้งจะมีสีน้ำตาล ค่าดัชนีความขาวจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น (Figure 12) และนอกจากนี้ตำแหน่งของชุดรีดน้ำอยู่หลังชุดกรีด จึงทำให้สารละลายโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ที่พ่นบนเส้นเชือกถูกรีดออกไปพร้อมน้ำ

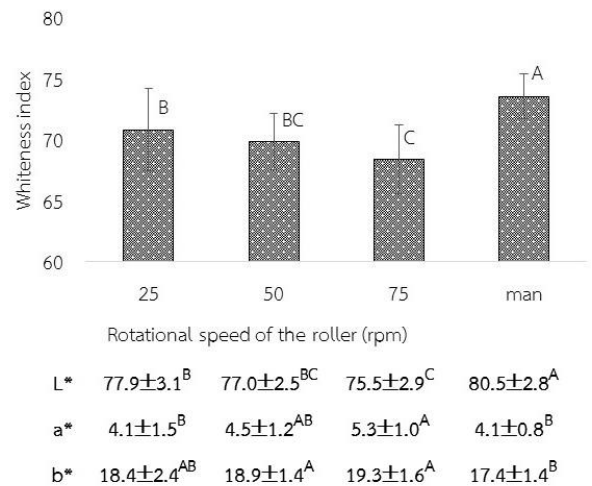


Figure 12 Whiteness index of banana rope. Note: A, B and C means followed by different capital letters in the same column are statistically different by the test of Duncan ($p \leq 0.05$).

เมื่อพิจารณาค่าความสว่างหรือ L* ของเชือกกล้วย พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าดัชนีความขาว เนื่องจากค่าความสว่างเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณค่าดัชนีความขาว (Figure 12) แต่จากงานวิจัยของ Kalsirisilp (2013) ได้วัดค่าความขาวของเชือกกล้วยที่ไม่ใช้สารฟอกขาว โดยรายงานเฉพาะค่าความสว่าง (L*) พบว่ามีค่าเท่ากับ 58.67 และเมื่อใช้สารฟอกขาวได้แก่ กระเทียม สารส้ม และคลอรีน พบว่ามีค่าความสว่าง เท่ากับ 58.34 59.93 และ 61.71 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างกันแล้วมีความแตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีความขาวนั้นต้องพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเขียว (b*) ประกอบด้วย

สมบัติเชิงกลของเชือกกล้วยซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญต่อการนำเชือกกล้วยไปใช้ในงานหัตถกรรมหรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ จากการทดสอบ (Table 2) พบว่าค่าแรงดึงสูงสุด และความเค้นแรงดึงสูงสุด ที่ความเร็วรอบ 75 rpm มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 358.1 ± 80.7 N และ 9.0 ± 2.0 MPa ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแรงที่ลูกกลิ้งบีบอัดกบกล้วย ทำให้เส้นใยบางส่วนถูกทำลายไปด้วย ส่งผลให้แรงดึงสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าดัชนีความขาว แต่ในขณะเดียวกันค่าแรงดึงสูงสุดและความเค้นแรงดึงสูงสุดของเชือกกล้วยที่ความเร็วรอบ 25

และ 50 rpm กับกรีดด้วยมือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาค่าร้อยละของการยืดตัวในแต่ละการทดลองนั้น พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเพียงร้อยละ 3.6-4.5 เชือกกล้วยที่ทดสอบมีความชื้นประมาณ 6.5%w.b.

Table 2 Mechanical properties of banana rope.

Roller speed (rpm)	Maximum tensile force (N)	Maximum tensile strength (MPa)	Percentage elongation at maximum load
25	448.8±31.1 ^A	11.2±0.8 ^A	4.5±0.1 ^A
50	435.8±35.7 ^A	10.9±0.9 ^A	4.5±0.3 ^A
75	358.1±80.7 ^B	9.0±2.0 ^B	4.2±0.2 ^A
Man	440.4±22.0 ^A	11.6±0.6 ^A	3.6±0.2 ^A

Means followed by different capital letters in the same column are statistically different by the test of Duncan ($P \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเชือกกล้วยที่ได้จากการเตรียมด้วยเครื่องกับเชือกกล้วยจากงานวิจัยอื่นๆ (Table 3) พบว่าค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่าในแตละงานวิจัยซึ่งเป็นระดับความแข็งแรงที่จะขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ (Boonpitak, 2010) แต่มีค่าร้อยละการยืดตัวน้อยกว่า ความแตกต่างนี้อาจมาจากกระบวนการเตรียมเชือกกล้วยสำหรับทดสอบ เช่น การถักเปียเชือกกล้วย ปริมาณความชื้นของเชือกกล้วย รวมทั้งความเร็วในการทดสอบ และระยะในการทดสอบเชือกกล้วยด้วย

Table 3 Compare the properties of banana rope.

Source	Maximum tensile strength (MPa)	Percentage elongation at maximum load	Moisture content (%w.b.)
Boonpitak (2010)	7.12	10.12	9.68
Kalsirisilp (2013)	11.13	9.65	8
Present study	9-11.2	4.2-4.5	6.5

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

หลังจากได้ทดสอบการทำงานของเครื่องเตรียมกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย ในขั้นตอนต่อไป ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม กำหนดให้ต้นทุนในการสร้างต้นแบบมีราคา 14,300 baht อายุการใช้งานของเครื่อง พิจารณาที่ 10 y ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง 1,287 baht y⁻¹ อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7.5 % คิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) เท่ากับ 1,871.5 baht y⁻¹ จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน พิจารณาการ

ทำงานที่ความเร็วรอบลูกกลิ้งเท่ากับ 50 rpm มีอัตราการทำงานเท่ากับ 184.5 kg h⁻¹ มีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย 0.884 kW h⁻¹ โดยพิจารณาใช้เครื่องทำงานวันละ 8 h ปีละ 260 d อัตราการรับจ้างพิจารณาจากค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ 325 baht d⁻¹ หรือเท่ากับ 84,500 baht y⁻¹ ค่าไฟฟ้า 7,356 baht y⁻¹ และค่าน้ำประปา 2,090 baht y⁻¹ คิดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร (VC) 95,233 baht y⁻¹ ดังนั้นต้นทุนรวมของเครื่องทั้งหมด (AC) 97,104.5 baht y⁻¹ เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุน พบว่าค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยเท่ากับ 0.25 baht kg⁻¹ กำหนดให้ค่ารับจ้างเครื่องเตรียมกล้วยเท่ากับ 0.3-4.0 baht kg⁻¹ จะได้จุดคุ้มทุนและระยะเวลาดังทุน (Figure 13)

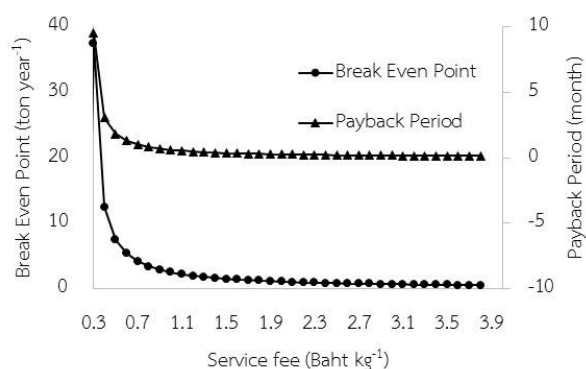


Figure 13 Break even point and payback period.

ผลการวิเคราะห์ พบว่าถ้าเครื่องเตรียมกล้วยทำงานกรณีด้วยความเร็วรอบ 50 rpm คิดค่ารับจ้าง 0.4 baht kg⁻¹ จะมีระยะเวลาดังทุนเท่ากับ 3 month และจุดคุ้มทุนเท่ากับ 12.5 ton y⁻¹

5 สรุป

จากผลการทดลองเครื่องเตรียมกล้วยสามารถกรีดได้ครั้งละ 6-8 เส้น ที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 75 rpm มีอัตราการทำงานสูงสุด แต่เชือกกล้วยที่ได้มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าค่าอ้างอิง ในขณะที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 50 rpm มีอัตราการทำงานเท่ากับ 184.5 kg h⁻¹ แต่เชือกกล้วยที่ได้มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดไม่แตกต่างจากค่าอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าดัชนีความขวมมากกว่าที่ความเร็วรอบชุดลำเลียง 75 rpm เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติการซึ่งเป็นอัตราการกรีดเชือกกล้วยเพียงอย่างเดียว พบว่าเครื่องเตรียมกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วยความเร็วรอบชุดลำเลียง 50 rpm มีอัตราการทำงานสูงกว่า 2.3 เท่า กล้วยที่ออกท้ายเครื่องจะเป็นเชือกกล้วยที่ถูกกรีดเป็นเส้น พร้อมทั้งผ่านการพันสารละลายโซเดียม เมแทไบซัลไฟต์และรีดน้ำออก ทำให้ระยะเวลาตากแห้งจาก 4 วันเหลือเพียงวันเดียว และจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 y ใช้เครื่องเตรียมกล้วยหลังทำงาน 2,080 h มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 97,104.5 baht y⁻¹ ระยะเวลาดังทุน 3 month และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 12.5 ton

ในส่วนข้อเสนอแนะ หากจะนำเชือกกล้วยไปสร้างสรรค์เป็นงานหัตถกรรม ควรมีการศึกษาระดับความเข้มข้นและอัตราการพันสารละลายโซเดียม เมแทโบซัลไฟด์ที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดสอบเครื่องต้นแบบนี้ พบว่าเชือกกล้วยที่ได้จากการเตรียมด้วยเครื่องมือยักค่าความตึงชันขาน้อย

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก พุนอุดหนุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2562 รหัสโครงการ วศ.กพส. 2/2562 เอกสารอ้างอิง

ASTM.E. 2005. E 313-05 Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates. Paint-tests for chemical, physical and optical properties.

Boonpitak, S. 2010. Study and Developing String Made of Banana Tree, For Produce Home Decoration Product. Rajamangala University of Technology Lanna, Tak Campus. *(In Thai)*

Boonrawd, W., Rattanaporn, N., Boonsong, W. 2017. Design and Creation of Rolling Machine for Banana Tree Fiber. Proceeding of the 55th Kasetsart University Annual Conference, 362-369. *(in Thai)*.

Kalsirisilp, W. 2013. Development of Bag Product from Tied Dyeing of Banana Bark String. Master's Thesis. Thanyaburi, Thailand: Department of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. *(in Thai)*

Meeboon, D. 2001. A Study of Banana-Rope Handicrafts at Baan Huakwai, Khootao Sub-district, Had Yai District, Songkhla Province. Master's Thesis. Songkhla, Thailand: Master of Arts degree in Thai Studies, Thaksin University. *(in Thai)*

Narongwit, P., Pangprasert, R. 2017. Banana Rope: From Handicraft to Product Development. Proceeding of National Conference "Assembling of Wisdom 3rd: Wisdom to the Future", 437-445. Khon Kaen University, Khonkaen, Thailand. *(In Thai)*

Pruengam, P., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., Devahastin S. 2014. Rapid drying of parboiled paddy using hot-air impinging stream dryer. Drying Technology 32, 1949-1955.

Vigneswaran, C., Pavithra, V., Gayathri, V., Mythili, K. 2015. Banana Fibers: Scope and Value Added Product Development. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management 9(2), 1-7.

Vigneswaran, C., Pavithra, V., Gayathri, V., Mythili, K. 2015. Banana Fibers: Scope and Value Added Product Development. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management 9(2), 1-7.