ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

RMUTT Research Journal
Science and Technology
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

การศึกษาและทดสอบเครื่องตัดใบบัวหลวง

Study and Testing of Lotus Leaves Cutting Machine

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์* สุนัน ปานสาคร รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ เกรียงไกร แซมสีม่วง และ เอกชัย บัวคลี่

Jaturong Langkapin*, Sunan Parnsakhorn, Roongruang Kalsirisilp, Grianggai Samseemoung and Akachai Buaklee

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: jaturong.l@en.rmutt.ac.th

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 5 May, 2020
Revised: 11 June, 2020
Accepted: 19 June, 2020
Available online: 25 June, 2020
DOI: 10.14456/rj-rmutt.2020.11

Keywords: lotus, lotus leaves, lotus leaves cutting machine, design

ABSTRACT

This research aimed to design and to fabricate a lotus leave cutting machine prototype that can reduce the processing time and labor cost in the lotus leaf cutting process for better lotus leave tea production. This prototype consists of the main frame, conveyor unit, cutting unit, Geneva mechanism, power transmission unit and a prime mover by 150W-gear-motor. The power of the machine started when the operator input the lotus leaves into the hind feeder of the machine. Then the lotus leaves were transported into the cutter set processed by the Geneva mechanism. The cutter set could cut the lotus leaves along the horizontal axis. After that, the lotus leaves were cut into pieces of 4x4 centimeter and released down to the outlet in front of the machine. The results revealed that the best average cutting speed of blade was 1 meter/minute in 5 layers of lotus leaves among all the trials at different average cutting speed rates of blades 0.5, 0.75 and 1 meter/minute and numbers of 1, 2, 3, 4 and 5 layers, respectively. The cutting percentage was 98.9 % with 1.1 % leaf damage and a working capacity of 8.58 kilograms/hour that consumed 92.4 Watt-hours. The

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

engineering economic analysis showed that on average it cost 5.24 baht/kilogram of lotus leaves at 1,440 hours/year with a 2.8 month payback period and 81.1 hours/year for a break-even point. This prototype could work 4.3 times faster than human labor.

บทคัดย่อ

เครื่องตัดใบบัวหลวงถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและแรงงานในการตัดใบบัวหลวงสำหรับผลิตชาใบบัวหลวง เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดป้อนลำเลียง ชุดตัดใบบัวหลวง กลไกเจนีวา และระบบส่งกำลัง โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 150 วัตต์เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนใบบัวหลวงลงในช่องป้อนทางด้านหลังของเครื่อง หลังจากนั้นใบบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดใบมีดตัดโดยการเคลื่อนที่ของกลไกเจนีวา ซึ่งชุดใบมีดตัดทำหน้าที่ตัดใบบัวหลวงให้ได้ขนาด 4x4 เซนติเมตร และปล่อยให้ใบบัวหลวงที่ถูกตัดร่วงสู่ช่องทางออกทางด้านหน้าของเครื่อง จากการทดสอบที่ความเร็วตัดของชุดลำเลียงใบบัวหลวงที่ 0.50 0.75 และ 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวง 1 2 3 4 และ 5 ชั้น ตามลำดับ พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีสุด ที่ความเร็วของชุดตัดลำเลียงใบบัวหลวง 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นใบบัวหลวง 5 ชั้น ด้วยความสามารถในการทำงาน 8.58 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง 98.9 % เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 1.1 % การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 92.4 วัตต์-ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่อใช้เครื่องตัดใบบัวหลวง 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 5.24 บาทต่อกิโลกรัมใบบัวหลวง ระยะคืนทุน 2.8 เดือน จุดคุ้มทุน 81.1 ชั่วโมงต่อปี และเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคน 4.3 เท่า

คำสำคัญ: บัวหลวง ใบบัวหลวง เครื่องตัดใบบัวหลวง การออกแบบ

บทนำ

ปัจจุบันการทำนาข้าวประสบปัญหาทั้งภัยแล้งและราคาข้าวไม่แน่นอน เกษตรกรจำนวนมากในหลายจังหวัดได้เปลี่ยนมายึดการปลูกบัวเป็นอาชีพหลักแทนการปลูกข้าว เนื่องจากนาบัวเป็นทางเลือกใหม่ทางหนึ่งที่เหมาะสมกับพื้นที่นาข้าว อีกทั้งนาบัวยังสามารถดูแลรักษาง่ายกว่านาข้าว มีโรคและแมลงรบกวนน้อย ต้นบัวหลวงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนตั้งแต่รากจนถึงใบ โดยเฉพาะดอกตูมและเมล็ดเป็นที่ต้องการของทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ภาครัฐยังได้สนับสนุนให้ปลูกบัวหลวงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ เนื่องจากบัวหลวงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย (1-3)

ใบบัวหลวงสามารถนำไปทำใบบัวอบแห้งสำหรับห่อข้าวเพื่อใช้ในร้านอาหาร ภัตตาคาร หรือการส่งออก นอกจากนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่าง ๆ ได้นำใบบัวหลวงไปแปรรูปเป็นชาใบบัว เช่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์บัวกว๊านพะเยา (รูปที่ 1) หรือกลุ่มเกษตรกรสวนบัวลัดดา ผู้ผลิตชาใบบัวจำหน่าย เป็นต้น ซึ่งชาใบบัวมีสรรพคุณช่วยบำรุงร่างกาย บำรุงโลหิต ลดไขมันในเลือด บรรเทาอาการหวัด และช่วยลดเสมหะ (4-7)

ขั้นตอนการผลิตชาใบบัวเพื่อจำหน่ายในปัจจุบัน เริ่มจากการล้างใบบัวให้สะอาด ตัดหรือหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 3-5 เซนติเมตร (รูปที่ 2) นำไปตากหรืออบให้แห้ง แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์พร้อมส่งจำหน่าย ซึ่งขั้นตอนการตัดยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก อีกทั้งยังไม่มีการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนนี้ จึงทำให้เกิดความล่าช้าและใช้แรงงานในการหั่นใบบัวจำนวนมากในกรณีที่มีความต้องการสูง ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิต

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ผลิตภัณฑ์ชาใบบัวของวิสาหกิจชุมชนให้สูงขึ้นและช่วยลดปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตัดใบบัวหลวงสำหรับการผลิตชาใบบัว

รูปที่ 1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์บัวกว๊านพะเยา (7)

รูปที่ 2 การตัดใบบัวหลวงด้วยแรงงานคน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญในการออกแบบและสร้างเครื่องตัดใบบัวหลวงสำหรับบัวหลวงที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งมีระเบียบวิธีการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ

1. ศึกษาปัญหาและวิธีการตัดใบบัวหลวง

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและวิธีการตัดใบบัวหลวงของเกษตรกรในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบและเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องตัดใบบัวหลวงให้สอดคล้องกับวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรสวนบัวลัดดา ผู้ผลิตชาใบบัวจำหน่าย ตั้งอยู่ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้ผลการศึกษา ดังนี้

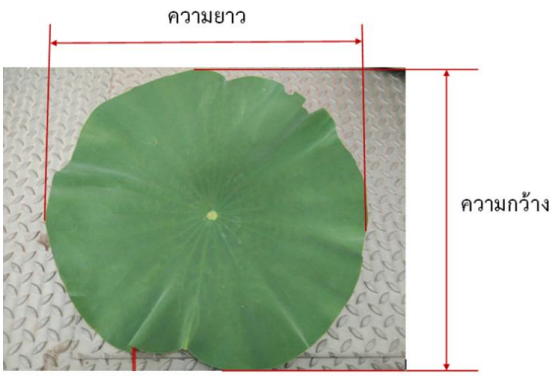
- แรงงานในกระบวนการผลิตมาจากแรงงานในชุมชน ซึ่งในปัจจุบันจำนวนแรงงานมีจำนวนลดลง
- ค่าจ้างแรงงานสำหรับตัดใบบัว 300-350 บาทต่อวัน
- ปริมาณชาบัวที่ผลิตขึ้นอยู่กับคำสั่งซื้อของลูกค้า
- แรงงาน 1 คนตัดใบบัวหลวงได้ประมาณ 2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 16 กิโลกรัมต่อวัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) การตัดใบบัวจะใช้มีดหรือกรรไกร ตัดครั้งละ 1-2 ใบ ซ้อนกันแล้วแต่ความชำนาญของคนตัด ตัดใบบัวหลวงขนาดเฉลี่ย 4x4 เซนติเมตร ซึ่งขนาดจะไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเป็นการประมาณขนาดของผู้ตัด
- ปัญหาที่พบในขั้นตอนการตัดใบบัวหลวง คือ ความเมื่อยล้าในการทำงาน ความไม่ปลอดภัยในการทำงาน เช่น เกิดอุบัติเหตุจากมีดบาด และการขาดแคลนแรงงานเมื่อต้องการกำลังผลิตสูง

2. ลักษณะทางกายภาพของใบบัวหลวง

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของใบบัวหลวงสำหรับใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง และ ความหนาของใบบัวหลวง ดังรูปที่ 3 และความชื้นของใบบัวหลวง (การหาความชื้นจะหาตามวิธีของ AOAC (8)) ซึ่งใบบัวหลวงแห้งที่สวนบัวลัดดา จังหวัดพระนครศรีอยุธยาผลิตจำหน่ายจะมี 3 ขนาด คือ ใบบัวหลวงแห้งขนาดเฉลี่ย 10 15 และ 20 เซนติเมตร เพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถใช้กับใบบัวหลวงทุกขนาด ดังนั้นจึงศึกษาใบบัวหลวงสดที่ใช้ผลิตใบบัวหลวงแห้งขนาด 20 เซนติเมตร จากการสุ่มวัดขนาดใบบัวหลวงสดจำนวน 100 ใบ จากสวนบัวลัดดา ตามตำแหน่งดังรูปที่ 3 ใบละ 1 ครั้ง ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ พบว่าความยาวและความกว้างของใบบัวหลวงสดมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง

Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Vol 19, Issue 2, 2020
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

25-35 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 30 ±5 เซนติเมตร ส่วนความหนาใบบัวหลวงมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-1.4 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 ±0.1 มิลลิเมตร และความชื้นของใบบัวหลวงสด 77.5 % w.b. ซึ่งค่าความยาวและกว้างของใบบัวหลวงจะถูกนำไปออกแบบความยาวของชุดใบมีดตัด

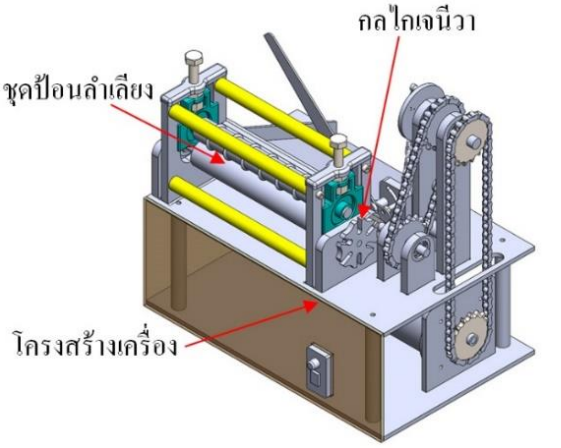


รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดลักษณะทางกายภาพของใบบัวหลวง

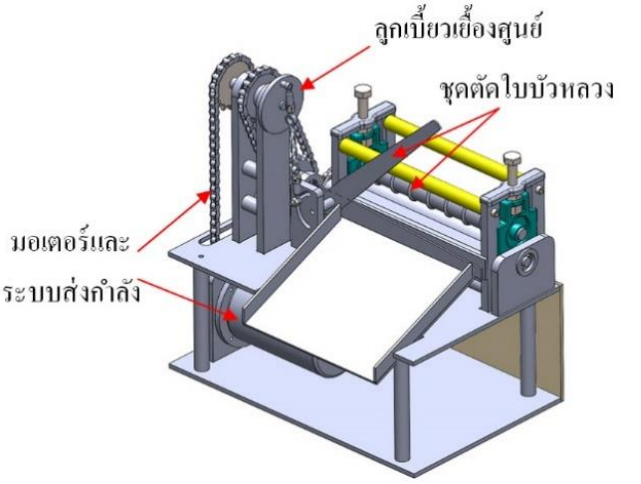
ออกแบบและสร้างเครื่องตัดใบบัวหลวง

เครื่องตัดใบบัวหลวงได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบแล้ว ยังได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกลและเครื่องจักรกลเกษตร (9, 10, 11) รวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ (12) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังรูปที่ 4 (ก) และ (ข) คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดป้อนลำเลียงใบบัว ชุดตัดใบบัว ระบบส่งกำลัง และโดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 150 วัตต์ เป็นต้นกำลัง มีรายละเอียด ดังนี้

โครงสร้างเครื่อง ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องต้นแบบ มีขนาด 362x556x531 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) สร้างจากอะลูมิเนียม เชื่อมประกอบกันเป็นโครงสร้าง โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่ถูกยึดเข้ากับโครงสร้างด้วยนัตและสกรู



ก) แบบเครื่องต้นแบบด้านหลังของเครื่อง



ข) แบบเครื่องต้นแบบด้านหน้าของเครื่อง

ค) เครื่องตัดใบบัวหลวง

รูปที่ 4 แบบและเครื่องตัดใบบัวหลวงต้นแบบ

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ชุดป้อนลำเลียงใบบัว ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก โดยลูกกลิ้งตัวล่างถูกขับด้วยกลไกล้อเจนิวา 6 ร่อง ส่วนลูกกลิ้งตัวบนจะมีชุดใบมีดร้อยอยู่บนลูกกลิ้ง และติดตั้งบนอุปกรณ์ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ซึ่งชุดป้อนลำเลียงใบบัวจะทำหน้าที่ตัดใบบัวตามแนวยาวขนาด 4 เซนติเมตร และป้อนใบบัวเข้าสู่ชุดตัดใบบัว เพื่อความแม่นยำในการตัดใบบัวหลวงและการเคลื่อนที่ของกลไกจึงใช้โซ่และเฟืองโซ่เป็นระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 150 วัตต์ เป็นต้นกำลัง

ชุดตัดใบบัวหลวง ประกอบด้วยใบมีดตัดทำจากสเตนเลส ทำหน้าที่โดยตัดใบบัวที่ถูกลำเลียงมาจากชุดป้อนเลียงใบบัวตามแนวขวาง ใช้กลไกควบคุมการตัดแบบลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์ ซึ่งกลไกนี้จะทำงานสัมพันธ์กับกลไกล้อเจนิวา 6 ร่อง

หลักการทำงานของเครื่อง เริ่มจากผู้ทำงานป้อนใบบัวหลวงในช่องป้อนใบบัวทางด้านหลังของเครื่องเข้าสู่ชุดป้อนลำเลียง ซึ่งชุดป้อนลำเลียงใบบัวจะทำหน้าที่ตัดใบบัวตามแนวยาวขนาด 4 เซนติเมตร และป้อนใบบัวหลวงเข้าสู่ชุดตัดใบบัว หลังจากนั้นใบบัวหลวงจะถูกตัดในชุดตัดใบบัวหลวงตามแนวขวางให้ได้ขนาด 4 เซนติเมตร ใบบัวหลวงที่ถูกตัดแล้วจะร่วงลงสู่ถาดรองรับทางด้านหน้าของเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 4 (ค) และปัจจุบันเครื่องต้นแบบได้จดอนุสิทธิบัตรเรียบร้อยแล้ว (เลขที่อนุสิทธิบัตร 15593)

ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

เครื่องตัดใบบัวหลวงได้ถูกทดสอบและประเมินสมรรถนะในการทำงาน รวมทั้งความคุณภาพของการตัดใบบัวหลวง โดยใช้ เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ความสามารถในการทำงาน และการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$c_t = \frac{W_1}{W} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_t = เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง (%)
W_1 = น้ำหนักของใบบัวหลวงที่มีขนาดถูกต้องหลังการตัด (kg)
W = น้ำหนักใบบัวหลวงทั้งหมด (kg)

2. เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$D_g = \frac{W_2}{W} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ D_g = เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย (%)
W_2 = น้ำหนักของใบบัวหลวงที่เสียหาย (kg)

โดยใบบัวหลวงที่ตัดไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดในการทดสอบเครื่องต้นแบบ ถือว่าเป็นใบบัวที่เสียหาย

3. ความสามารถในการทำงานจริง คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$C_a = \frac{W_1}{T} \quad (3)$$

เมื่อ C_a = ความสามารถในการทำงานจริง (kg/hr)
T = เวลาในการทำงานทั้งหมด (hr)

โดยใช้ เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Adam รุ่น AFP-3100L วัดค่าน้ำหนักของใบบัวหลวง และใช้นาฬิกา CASIO รุ่น HS-3V จับเวลาในการทำงาน

4. การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$P = \frac{\mathrm{IVt}}{1000} \quad (4)$$

เมื่อ P = การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)
I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)
t = เวลา (ชั่วโมง)

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

โดยใช้ ดิจิตอลแคลมป์ มัลติมิเตอร์ วัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะการทดสอบของแต่ละปัจจัย

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าต้องเดินเครื่องที่อัตราป้อนของเพลาขับล้อเจนิวา (ความเร็วของชุดลำเลียง) น้อยกว่า 1 เมตรต่อนาที ซึ่งถ้าความเร็วของเพลาขับล้อเจนิวาสูงกว่านี้ ใบบัวหลวงจะถูกป้อนเข้าชุดตัดใบเร็วเกินไปทำให้เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวงลดลง ส่วนจำนวนชั้นของใบบัวหลวงถ้าซ้อนกันมากเกินกว่า 5 ชั้น ใบมีดจะตัดใบบัวส่วนใหญ่ไม่ขาด ดังนั้นปัจจัยที่ทำการศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวงที่ 0.50 0.75 และ 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ 1 2 3 4 และ 5 ชั้น ตามลำดับ

การทดสอบใช้ใบบัวหลวงพันธุ์ปทุมตลอดการทดสอบ ใบบัวหลวงที่มีความยาวและความกว้างของใบใกล้เคียงกันระหว่าง 23-34 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 29 ±4.5 เซนติเมตร ส่วนความหนาใบบัวหลวงมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-1.4 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 ±0.1 มิลลิเมตร โดยแต่ละการทดสอบใช้ใบบัวหลวง 5 ชุด ชั่งน้ำหนักใบบัวหลวงแต่ละชุด ทดสอบโดยการป้อนอย่างต่อเนื่อง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด กระแสไฟฟ้า น้ำหนักใบบัวดีที่ตัดออกมาจากช่องทางออก และน้ำหนักใบบัวที่เสียหาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าชี้ผลการศึกษา ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95 % (One-way Analysis of Variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

1. การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องตัดใบบัวหลวง สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องตัดใบบัวหลวงแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนผันแปร (Variable Cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องตัดใบบัวหลวงได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10 %) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการตัดใบบัวหลวง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์จะไม่คิดต้นทุนคงที่เกี่ยวกับค่าประกันภัย ค่าภาษี ค่าโรงเรือน และค่าจ้างขนย้ายเครื่องไปทำงานตามสถานที่ต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการตัดใบบัวหลวง ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับเครื่อง ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาและค่าซ่อมแซม เป็นต้น (13)

2. การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-Back Period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องตัดใบบัวหลวงไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องตัดใบบัวหลวงหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องตัดใบบัวหลวง 5 ปี (13)

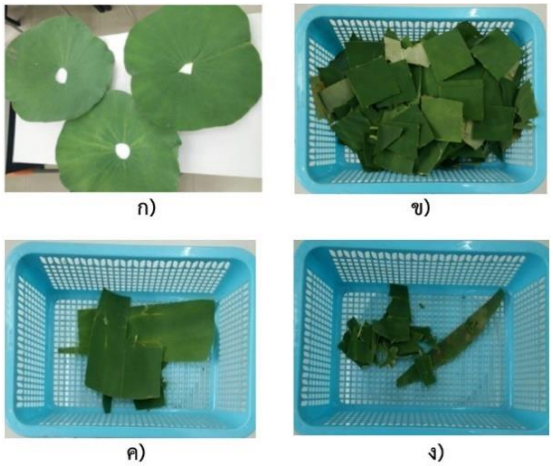
3. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Point)

เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องตัดใบบัวหลวงต้นแบบ โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการตัดใบบัวหลวงจากการใช้เครื่องต้นแบบและการตัดใบบัวหลวงด้วยแรงงานคน (13)

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รูปที่ 5 ก) แสดงใบบัวหลวงก่อนการทดสอบต้องตัดส่วนที่เป็นก้านออกก่อน (การตัดด้วยแรงงานคนจะตัดส่วนนี้ทิ้งเช่นกัน) หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องตัดใบบัวหลวงแล้ว จะได้ใบบัวหลวงที่มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ 4x4 เซนติเมตร (รูปที่ 5 ข) สามารถที่จะนำไปอบแห้งเพื่อจำหน่ายเป็นชาใบบัวได้เลย สำหรับใบบัวหลวงที่ตัดไม่ขาด (รูปที่ 5 ค) ต้องใช้แรงงานคนมาตัดใหม่อีกครั้ง ส่วนใบบัวหลวงที่ตัดไม่ได้ขนาดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นใบบัวหลวงที่เป็นเศษเหลือตามบริเวณขอบใบบัว (รูปที่ 5 ง) ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ ถือว่าเป็นใบบัวที่เสียหาย โดยสามารถนำไปผลิตเป็นชาใบบัวแบบหั่นฝอยได้แต่ราคาจะถูกกว่าใบบัวหลวงที่ตัดได้ตามขนาด



รูปที่ 5 ก) ใบบัวหลวงก่อนการทดสอบ ข) ใบบัวหลวงที่ได้จากการทดสอบ ค) ใบบัวหลวงที่ตัดไม่ขาด และ ง) ใบบัวหลวงที่ตัดไม่ได้ขนาด

ซึ่งผลการทดสอบเครื่องตัดใบบัวหลวงที่ความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นของใบบัวหลวงต่าง ๆ จะนำเสนอตามค่าชี้ผลการศึกษา ดังนี้

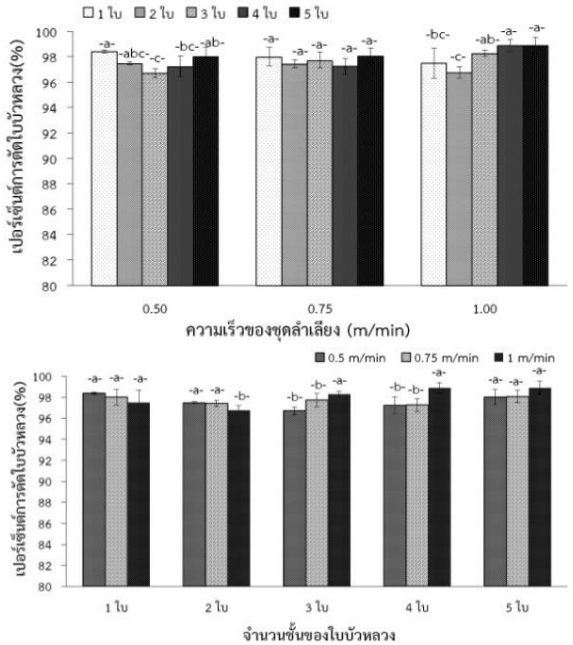
เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง

จากผลการทดสอบเครื่องตัดใบบัวหลวงดังรูปที่ 6 ที่ความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวง 0.50, 0.75 และ 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั้น ตามลำดับ พบว่าทุกช่วงของการทดสอบมีค่าเปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวงระหว่าง 96.7- 98.9 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันและเครื่องต้นแบบมีค่าเปอร์เซ็นต์การตัดเป็นที่น่าพอใจ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังรูปที่ 6 ในกรณีที่ทดสอบโดยใช้ความเร็วของชุดลำเลียงในกลุ่มเดียวกัน พบว่าจำนวนชั้นของใบบัวหลวง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ความเร็วของชุดลำเลียง 0.75 เมตรต่อนาที แต่มีความแตกต่างกันที่ความเร็วของชุดลำเลียง 0.50 และ 1 เมตรต่อนาที ส่วนในกรณีที่ทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวงในกลุ่มเดียวกัน พบว่าความเร็วของชุดลำเลียง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวง 1 และ 5 ชั้น แต่มีความแตกต่างกันที่จำนวนชั้น 2 3 และ 4 ชั้น

จากผลการทดสอบดังกล่าวเครื่องต้นแบบสามารถตัดใบบัวหลวงได้ดีที่สุดที่ความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวง 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ 5 ใบ มีเปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวงสูงที่สุด 98.9 % รวมทั้งมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายน้อย และมีความสามารถในการทำงานสูงที่สุด ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

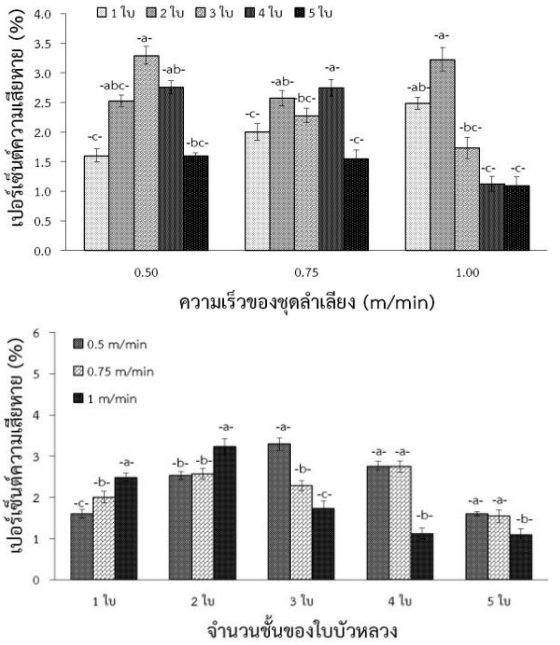


รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวงที่ความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นใบบัวหลวงต่าง ๆ (abc อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวหลวง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวหลวงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งในการทดสอบที่ความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวง และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบต่าง ๆ ดังรูปที่ 7 มีค่าระหว่าง 1.1- 3.3 %

ในกรณีที่ทดสอบโดยใช้ความเร็วของชุดลำเลียงในกลุ่มเดียวกัน พบว่าจำนวนชั้นของใบบัวหลวง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในแต่ละกลุ่มความเร็ว และยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวที่ต่ำที่สุดคือการทดสอบโดยใช้ใบบัวหลวงซ้อนกัน 5 ชั้น ส่วนในกรณีที่ทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวงในกลุ่มเดียวกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของชุดลำเลียงเมื่อทดสอบโดยใช้ใบบัวหลวงซ้อนกัน 1 และ 2 ชั้น แต่จะเสียหายลดลงเมื่อใช้ใบบัวหลวงซ้อนกัน 3 4 และ 5 ชั้น ตามลำดับ จากการสังเกตขณะการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดลำเลียงความเร็วในการตัดของใบมีดจะเพิ่มตาม โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้การตัดใบบัวหลวงของเครื่องที่ใช้กับจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ซ้อนกันน้อยจะมีความเสียหายมากกว่าชุดใบบัวหลวงที่ซ้อนกันมากขึ้น นั่นหมายความว่าความเร็วของใบมีดที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลต่อจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ซ้อนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความเร็วของชุดลำเลียงที่ทำให้ความเร็วในการตัดเหมาะสมกับจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ซ้อนกัน ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวง 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ 5 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวต่ำที่สุด 1.1 % ดังนั้นความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นที่ซ้อนกันดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องตัดใบบัวหลวง



รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบบัวหลวงที่ความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นใบบัวหลวงต่าง ๆ (abc อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

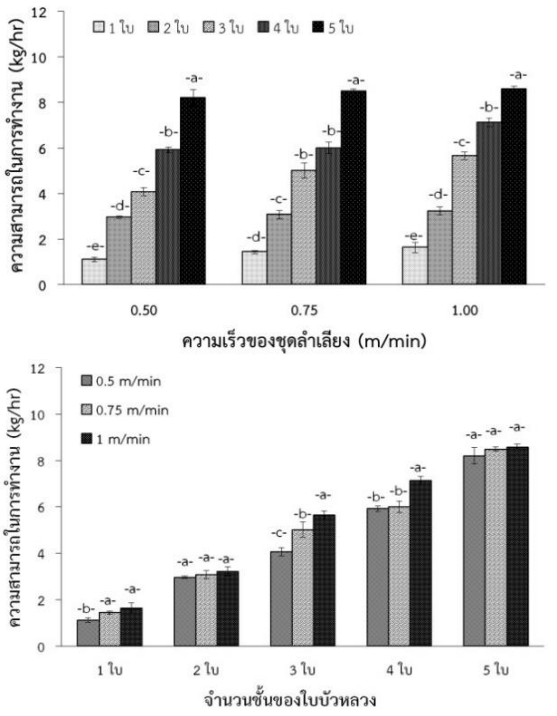
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติดังรูปที่ 8 พบว่าความสามารถในการทำงานมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ความเร็วของชุดลำเลียงต่าง ๆ ของแต่ละจำนวนชั้นของใบบัวหลวง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวง 2 และ 5 ชั้น ของแต่ละกลุ่มความเร็วของชุดลำเลียง แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวง 1 3 และ 4 ชั้น ของแต่ละกลุ่มความเร็วของชุดลำเลียง

จากผลการทดลองโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวง และความเร็วของชุดลำเลียงต่างๆ ดังรูปที่ 8 พบว่าความสามารถในการทำงานมีค่าระหว่าง 1.1-8.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งความสามารถในการทำงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นของใบบัวหลวง เนื่องจากใบบัวหลวงจะเคลื่อนที่เข้าไปตัดได้เร็วและในปริมาณมากขึ้น

จากผลการทดลองเครื่องต้นแบบสามารถตัดใบบัวหลวงได้ดีที่สุด (98.9 %) ที่ความเร็วของชุดลำเลียงใบบัวหลวง 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ 5 ชั้น มีความสามารถในการทำงานสูงที่สุด 8.58 ±0.13 กิโลกรัมชั่วโมง หรือคิดเป็น 68.64 กิโลกรัมต่อวัน (ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของเกษตรกรที่ทำงานได้ประมาณ 16 กิโลกรัมต่อวัน จะเห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้มากกว่าการทำงานของเกษตรกรถึง 52 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ความสามารถในการทำงาน 8.58 กิโลกรัมชั่วโมง ไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 8 ความสามารถในการทำงานที่ความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นใบบัวหลวงต่างๆ (abc อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

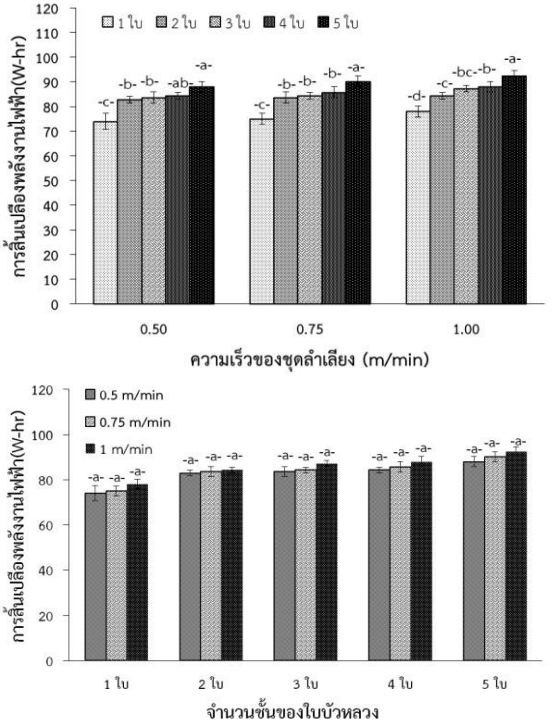
การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้ความเร็วของชุดลำเลียงต่างๆ ของแต่ละจำนวนชั้นของใบบัวหลวง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการทดสอบโดยใช้จำนวนชั้นของใบบัวหลวงต่างๆ ของแต่ละกลุ่มความเร็วของชุดลำเลียง ดังรูปที่ 9

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 9 พบว่าช่วงความเร็วที่ใช้ขับเครื่องตัดใบบัวหลวง มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความเร็วการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า และจำนวนชั้นของใบบัวหลวงมีค่าระหว่าง 74.0-92.4 วัตต์-ชั่วโมง ซึ่งจะนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับความเร็วของชุดลำเลียง 1 เมตรต่อนาที เท่ากับ 92.4

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

วัตต์-ชั่วโมง ไปเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 9 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วของชุดลำเลียงและจำนวนชั้นใบบัวหลวงต่างๆ (abc อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดสอบแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 40,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10 % ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 8.58 กิโลกรัมชั่วโมง การใช้พลังงานไฟฟ้า 92.4 วัตต์-ชั่วโมง เมื่อใช้เครื่องตัดใบบัวหลวง 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 5.24 บาทต่อกิโลกรัม ระยะคืนทุน 2.8 เดือน จุดคุ้มทุน 81.1 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน 1 คน

สรุปผล

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดใบบัวหลวง โดยใช้ค่าชี้ผลการศึกษา คือ เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ความสามารถในการทำงาน และการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องตัดใบบัวหลวงต้นแบบสามารถทำงานได้ดีสุด ที่ความเร็วของชุดตัดลำเลียงใบบัวหลวง 1 เมตรต่อนาที และจำนวนชั้นใบบัวหลวง 5 ชั้น ด้วยความสามารถในการทำงาน 8.58 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การตัดใบบัวหลวง 98.9 % เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายในการตัดใบบัวหลวง 1.1 % อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 92.4 วัตต์-ชั่วโมง และเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคน 4.3 เท่า ซึ่งเครื่องตัดใบบัวหลวงต้นแบบสามารถนำไปใช้ทดแทนแรงงานคนได้ในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณรายได้ประจำปีของคณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Lotus production situation. [Internet]. Bangkok: Department of Agriculture Extension. [updated 2017 May 16; cited 2018 Jul 9]. Available from: http://www.doae.go.th/LIBRARY/.
2. Suwannaro T. Lotus farming. Extension and Training Office. Bangkok: Kasetsart University; 2007.

3. Mueangsuk S. Lotus farming in Bueng Kan [Internet]. Bangkok: khaosod Online. [updated 2016 Feb; cited 2016 Feb 15]. Available from: https://www.khaosod.co.th /viewnewsonline.phpnewsid.

4. Jolly RS. Benefits of the lotus plant [Internet]. Mumbai; [updated 2018 Oct; cited 2019 Jan 25] . Available from: https:// caloriebee.com/nutrition/Health-Benefits-Of-Lotus-Roots-Or-Stem-Seeds-Leaves-And-Flowers.

5. Fisher S. Top 10 lotus leaf tea health benefits / effects [Internet]. [updated 2017 Oct; cited 2019 Jan 27]. Available from: https:// https://www.airytea.com /blog/lotus-leaf-tea-health-benefits-effects.

6. Wikipedia. Lotus tea [Internet]. [updated 2018 Oct; cited 2019 Feb 20]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/ Lotus-tea

7. Manojai K. Lotus leaf tea health benefits [Internet]. Bangkok: technologychaoban. [updated 2016 Nov; cited 2019 Feb 15]. Available from: https://www. technologychaoban.com/newsslide/article-7140.

8. William H, George WL. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Texas. Gaithersburg, Md.: AOAC International, 2005.

9. จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. ทฤษฎีของเครื่องจักรกลเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ด ดูเคชั่น จำกัด; 2558.

10. Krutz G, Thomson L, Claar P. Design of agricultural machinery. 1st ed. New York: John Wiley and Sons; 1994.

11. Shigley JE, Mischke CR. Mechanical engineering design. 5th ed, USA: McGraw-Hill Book Company; 1989.

12. จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks. พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด; 2560.

13. Hunt D. Farm power and machinery. 10th ed. Iowa, USA: Iowa State University Press; 2001.