



ผลของรูปแบบรูตะแกรงกะเทาะและความเร็วลูกกะเทาะที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะถั่วดาวอินคาโดยใช้ลูกกะเทาะแบบแถบแนว

Effect of Concave Sieve Type and Drum Speed on Performance of Inca Peanut Shelling Unit with Rasp Bar Threshing Drum

วารี ศรีสอน^{1*}, จาริณี จงปลื้มปิติ¹, สาวิตรี ประภาการ¹, ขนิษฐา ชัยบรรดิษฐ์¹, จันท์เพ็ญ ประกำแหง²

Waree Srison^{1*}, Jarinee Jongpluempiti¹, Sawitree Prapakarn¹, Khanittha Chiabandit¹, Janpen Prakamhang²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

¹Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

²สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

²Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

*Corresponding author: Tel: +66-8-5006-5029, E-mail: waree.sr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดกะเทาะถั่วดาวอินคาโดยใช้ลูกกะเทาะแบบแถบแนว ประเมินสมรรถนะการทำงานของชุดกะเทาะจากเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ และความสามารถในการทำงาน ศึกษาเปรียบเทียบรูตะแกรงกะเทาะ 3 รูปแบบ (ตะแกรงรูกลม ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม และตะแกรงแถบเหล็ก) และความเร็วลูกกะเทาะ 3 ระดับ (130 165 และ 200 rpm) ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ และความเร็วลูกกะเทาะ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ และความสามารถในการทำงาน โดยการใช้ตะแกรงกะเทาะรูกลม และความเร็วลูกกะเทาะในช่วง 130-165 rpm มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการทำงานของชุดกะเทาะ ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มอยู่ในช่วงร้อยละ 83.55 - 89.27 มีเมล็ดแตกหักอยู่ในช่วงร้อยละ 1.88 - 10.10 เมล็ดไม่กะเทาะอยู่ในช่วงร้อยละ 6.35 - 8.85 และความสามารถในการทำงาน 73.41-74.45 kg h⁻¹

คำสำคัญ: ถั่วดาวอินคา, ชุดกะเทาะ, ลูกกะเทาะแบบแถบแนว

Abstract

This project aimed to find out proper operating factors of rasp bar threshing drum Inca peanuts shelling unit. There are three concave sieve types including round-hole sieve, square-hole sieve, and steel-bar sieve and three drum speeds 130, 165 and 200 rpm. Performance was evaluated from whole kernel, damaged kernel, un-shelled nuts percentage and output capacity. The results suggested that concave sieve type and drum speed significantly impact all indicators. The round hole concave sieve with drum speeds of 130-165 rpm are suitable operating factors of the shelling unit, providing nuts percentage, broken nut, Un-shelled nuts, and capacity about 83.55-89.27%, 1.88-10.10%, 6.35-8.85%, and 73.41-74.45 kg h⁻¹, respectively.

Keywords: Inca peanut, Shelling unit, Rasp bar threshing drum

1 บทนำ

ถั่วดาวอินคา (Inca Peanut) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. เป็นพืชที่อยู่ในตระกูลยางพารา สบู่ดำ และมันสำปะหลัง (Dostert et al, 2009 และ Gutiérrez et al, 2011)

เป็นพืชอาหารชนิดใหม่ที่อุดมด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นแหล่งของโปรตีน โอเมก้า 3 6 9 วิตามินเอ และวิตามินอี (Fernández et al, 2015, Nui et al, 2014 และ Vicente et al, 2015) ถั่วดาวอินคาจัดเป็นพืชน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 35-60% และ โปรตีน 27% (Yehuda et al, 1999) เป็นพืชที่มี

Received: April 20, 2021

Revised: August 12, 2021

Accepted: August 13, 2021

Available online: January 26, 2022

คุณค่าทางโภชนาการที่ดี ซึ่งน้ำมันถั่วดาวอินคา มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับด้านการใส่ใจและความจำ (ธนภุต, 2559) นอกจากนี้ ถั่วดาวอินคายังมีวิตามินเอสูง (981 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) วิตามินอี (17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Hazen and Duclos, 1980) การกะเทาะถั่วดาวอินคา มีทั้งการกะเทาะด้วยแรงงานคนและการกะเทาะด้วยเครื่องจักร ซึ่งการกะเทาะโดยใช้แรงงานคนจะได้คุณภาพเมล็ดสูงเนื่องจากเกิดการแตกหักน้อย แต่มีความสามารถในการทำงานต่ำประมาณ 10 กิโลกรัมเมล็ดในต่อวันต่อคน หรือประมาณ 1.5 กิโลกรัมเมล็ดในต่อชั่วโมง (สุพรรณ และคณะ, 2559) ส่วนการกะเทาะโดยใช้เครื่องกะเทาะมีความสามารถในการทำงาน 70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีปริมาณแตกหัก 3.26 เปอร์เซ็นต์ (Khamprapai et al, 2018) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความสามารถในการทำงานของเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคาสูงกว่าการกะเทาะโดยใช้แรงงานคน แต่มีปริมาณเมล็ดแตกหักค่อนข้างสูง

การกะเทาะเมล็ดถั่วดาวอินคา มีความแตกต่างจากการกะเทาะเมล็ดพืชอื่น ๆ เนื่องจากลักษณะเปลือกหุ้มของถั่วดาวอินคา มีหลายชั้น (Fig.1) ทำให้กระบวนการกะเทาะมีหลายขั้นตอน (ซึ่งต้องแยกขั้นตอนกะเทาะออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การกะเทาะเปลือกนอกและเปลือกกลางเป็นเมล็ดน้ำตาล และการกะเทาะเปลือกหุ้มสีน้ำตาลเป็นเมล็ดในสีขาว (Nuttaphon et al, 2018 และ ญัฐพล และคณะ, 2561) แต่งานวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการกะเทาะเปลือกนอกและเปลือกกลางเป็นเมล็ดน้ำตาล ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ง่ายและมีราคาสูงกว่าการขายทั้งฝัก โดยการขายทั้งฝักราคาอยู่ที่ 50-70 Baht kg⁻¹ และราคาเมล็ดน้ำตาลอยู่ที่ 100-120 Baht kg⁻¹ (สมเกียรติ, 2562) การศึกษาสมรรถนะของชุดกะเทาะถั่วดาวอินคา จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมากะเทาะถั่วดาวอินคา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ และความเร็วลูกกะเทาะ ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดถั่วดาวอินคา ซึ่งเป็นแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคาให้มีความสามารถในการทำงานที่ดีขึ้น และลดปริมาณเมล็ดแตกหักให้น้อยลง



Figure 1 Inca peanut.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ถั่วดาวอินคาที่ใช้ในการทดสอบเป็นถั่วดาวอินคาที่ตากแดดเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 4.56%wb ทำการวัดขนาดตัวอย่างเมล็ดเต็ม 100 เมล็ด วัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ mitutoyo รุ่น Absolute Digimatic 6 in, Japan ได้ค่าเฉลี่ยความยาว 1.567 cm ความกว้าง 1.885 cm และความหนา 0.767 cm ตามวิธีของ Nuttaphon et al. (2018) ซึ่งขนาดความกว้างของเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ได้จะนำไปใช้อ้างอิงในการออกแบบขนาดของรูตะแกรงกะเทาะ

2.2 การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคา

เครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคาที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องกะเทาะถั่วดาวอินคาที่ใช้ลูกกะเทาะแบบแถบหวด (Fig.2) มีขนาดเล็ก โดยโครงสร้างเครื่องมีขนาดกว้าง 70 cm ยาว 80 cm และ สูง 147 cm ซึ่งใช้ลูกกะเทาะแบบแถบหวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 cm และยาว 50 cm (Fig.3) ต้นกำลังที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.75 kW (1 hp) สามารถปรับความเร็วลูกกะเทาะได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์ มีระยะห่างระหว่างลูกกะเทาะกับตะแกรงกะเทาะ 5 cm

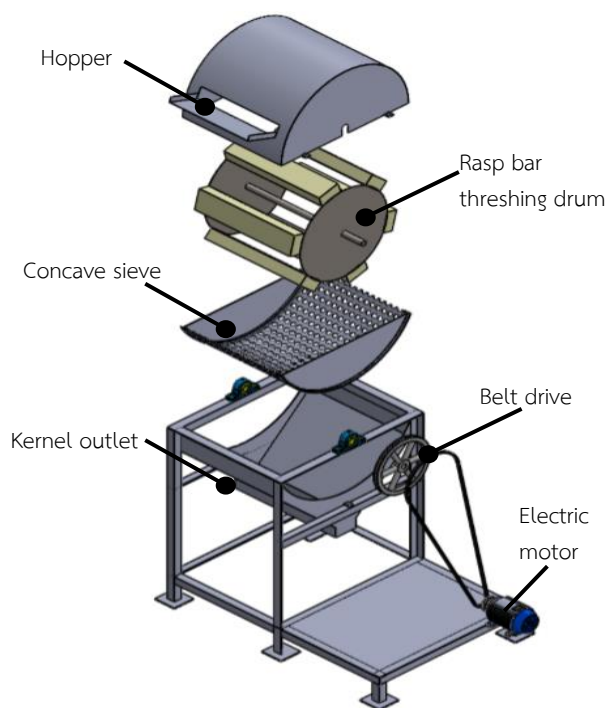


Figure 2 The Inca peanut sheller machine.



Figure 3 The Rasp bar threshing drum.

ตะแกรงกะเทาะมีเฉพาะตะแกรงด้านล่างสามารถถอดเปลี่ยนได้ โดยมีตะแกรงกะเทาะ 3 รูปแบบดังนี้

1) ตะแกรงกะเทาะรูปกลม รูปตะแกรงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ขนาดของตะแกรงมีความกว้าง 60 cm ความยาว 50 cm และความลึก 30 cm (Fig.4)



Figure 4 The round-hold sieve

2) ตะแกรงกะเทาะรูสี่เหลี่ยม รูปตะแกรงมีขนาดความกว้าง x ยาว 2 x 2 cm ขนาดของตะแกรงมีความกว้าง 60 cm ความยาว 50 cm และความลึก 30 cm (Fig.5)



Figure 5 The square-hold sieve.

3) ตะแกรงแถบเหล็ก มีระยะห่างระหว่างซี่ตะแกรง 2 cm ขนาดของตะแกรงมีความกว้าง 60 cm ความยาว 50 cm และความลึก 30 cm (Fig.6)



Figure 6 The steel-bar sieve.

2.3 ปัจจัยที่ศึกษาและแผนการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ ทดสอบโดยใช้รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ 3 รูปแบบ ได้แก่ ตะแกรงรูปกลม ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม และตะแกรงแถบเหล็ก และความเร็วลูกกะเทาะ 3 ระดับ ได้แก่ 130, 165 และ 200 rpm การวางแผนการทดสอบแบบ 3*3 Factorial analysis in CRD ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ ทำการชั่งน้ำหนักถั่วดาวอินคาเตรียมไว้ในถุง ๆ ละ 500 กรัม เพื่อใช้ในการทดสอบ และในการทดสอบใช้อัตราการป้อน 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ทำการป้อนถั่วดาวอินคาเข้าไปในช่องป้อนให้หมดภายในเวลา 6 วินาที) และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) โดยใช้การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติแบบ Duncan's multiple range test (DMRT)

2.4 วิธีการทดสอบ

1. เตรียมถั่วดาวอินคา โดยการชั่งตัวอย่างถั่วดาวอินคาตัวอย่างละ 500 g โดยใช้เครื่อง Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A, China

2. ทำการปรับตั้งชุดกะเทาะถั่วดาวอินคาตามปัจจัยที่ศึกษาแสดงดัง Table 1 วัดความเร็วรอบโดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ Tachometer digicon รุ่น DT- 250TP, Japan จับเวลาตั้งแต่เริ่มป้อนทำการกะเทาะจนกระทั่งถั่วดาวอินคาทั้งหมดถูกขับออกจากชุดกะเทาะจนหมด (เมล็ดถั่วดาวอินคาหลุดผ่านรูตะแกรงจนหมด) แล้วจึงหยุดเครื่อง

Table 1 Experimental units based on a 3*3 Factorial analysis in CRD design for the variables concave sieve types and drum speeds.

No.	Ref.	Concave sieve types	Drum speeds (rpm)
1	2	Round-hold sieve	165
2	1	Square-hold sieve	130
3	1	Steel-bar sieve	200
4	3	Steel-bar sieve	130
5	2	Square-hold sieve	130
6	3	Square-hold sieve	200
7	1	Round-hold sieve	200
8	3	Round-hold sieve	130
9	1	Steel-bar sieve	165
10	2	Square-hold sieve	165
11	1	Round-hold sieve	130
12	2	Steel-bar sieve	200
13	2	Steel-bar sieve	165
14	3	Square-hold sieve	130
15	1	Steel-bar sieve	130
16	1	Round-hold sieve	165
17	2	Steel-bar sieve	130
18	3	Square-hold sieve	165
19	3	Round-hold sieve	165
20	3	Steel-bar sieve	200
21	2	Round-hold sieve	130
22	1	Square-hold sieve	165
23	2	Square-hold sieve	200
24	3	Steel-bar sieve	165
25	3	Round-hold sieve	200
26	2	Round-hold sieve	200
27	1	Square-hold sieve	200

3. นำเมล็ดที่กะเทาะแล้วมาคัดแยกเป็นเมล็ดถั่วดาวอินคา เมล็ดเต็ม เมล็ดแตกหัก และเมล็ดที่ไม่กะเทาะ (Fig.7) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่อง Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A, China

4. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ และความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะถั่วดาวอินคา ดังสมการที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

- เปอร์เซนต์เมล็ดเต็ม (%)

$$= \frac{W_{SH}}{W_T} \times 100 \quad (1)$$

- เปอร์เซนต์เมล็ดแตกหัก (%)

$$= \frac{W_{GB}}{W_T} \times 100 \quad (2)$$

- เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะ (%)

$$= \frac{W_{USH}}{W_T} \times 100 \quad (3)$$

- ความสามารถในการทำงาน (kg h⁻¹)

$$= \frac{W}{t} \quad (4)$$

เมื่อ W_{SH} คือน้ำหนักถั่วดาวอินคาเต็มเมล็ด (kg)

W_{GB} คือน้ำหนักเมล็ดแตกหัก (kg)

W_{USH} คือน้ำหนักเมล็ดที่ไม่กะเทาะ (kg)

W_T คือน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด (kg)

W คือน้ำหนักเมล็ดที่ป้อนเข้า (kg)

t คือเวลาที่ใช้ในการกะเทาะ (h)



Figure 7. a) Inca peanut seed b) Damaged Inca peanut c) Inca peanut pod.

3 ผลและการวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของรูปแบบรูตะแกรงกะเทาะและความเร็วลูกกะเทาะ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ และความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะถั่วดาวอินคา มีรายละเอียดดังนี้

3.1 เปอร์เซนต์เมล็ดเต็ม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม แสดงดัง Table 2 พบว่า รูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 2 Analysis of variance of concave sieve types and drum speeds on percentage of whole kernel.

SOV	df	SS	MS	F
Concave sieve type (A)	2	14436.418	7218.209	474.451*
Drum speed (B)	2	1897.014	948.507	62.341*
A x B	4	177.851	44.463	2.923 ^{ns}
Error	1	273.849	15.214	
Total	2	85215.315		
	6			

Note: * Significant ($p < 0.05$), ns Non-Significant.

จาก Table 3 แสดงการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม พบว่า รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะทุกรูปแบบ (ตะแกรงรูกกลม ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม และตะแกรงแถบเหล็ก) และความเร็วลูกกะเทาะทุกระดับ (130 165 และ 200 rpm) ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วลูกกะเทาะ 130 rpm ทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมีค่ามากที่สุด และการใช้ตะแกรงรูกกลมทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมีค่ามากที่สุด 89.27% รองลงมาคือตะแกรงรูสี่เหลี่ยม 47.13% และตะแกรงแถบเหล็ก 44.20% ตามลำดับ และเมื่อความเร็วลูกกะเทาะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล และคณะ (2562) ด้วยลักษณะเมล็ดถั่วดาวอินคาที่มีเปลือกหลายชั้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วลูกกะเทาะเป็นการเพิ่มแรงและจำนวนครั้งในการฟาดตี ซึ่งการฟาดตีที่แรงและเร็วเกินไปจะทำให้เมล็ดเกิดการแตกหักมากขึ้นส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมีแนวโน้มลดลง (Fig. 8)

Table 3 The percentage of whole kernel at three different concave sieve type and three different drum speed.

Concave sieve type	drum speed (rpm)		
	130	165	200
Round-hold sieve	89.27 ^{aA} ±1.66	83.55 ^{aB} ±2.09	75.12 ^{aC} ±1.66
Square-hold sieve	47.13 ^{bA} ±7.74	41.68 ^{bB} ±2.87	26.98 ^{bC} ±5.27
Steel-bar sieve	44.20 ^{cA} ±4.22	28.13 ^{cB} ±3.23	17.04 ^{cC} ±1.70

Note: Values in each column followed by the same letter in capital and in each row followed by the same letter in small letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to DMRT. All data were reported as mean standard deviation ($n=3$).

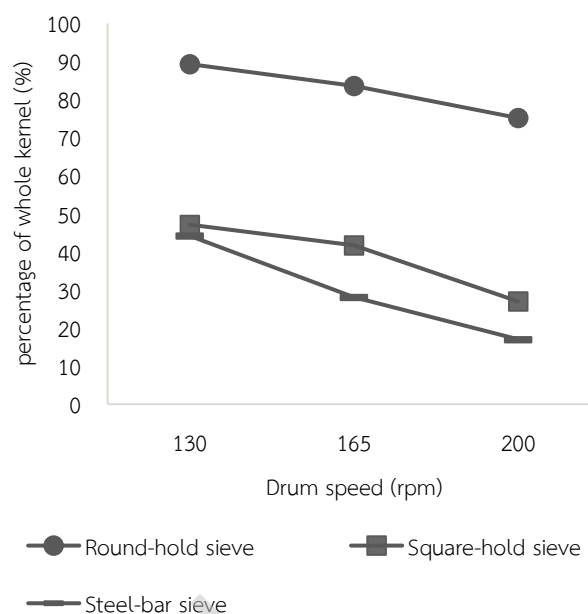


Figure 8. Effect of concave sieve types and drum speeds on percentage of whole kernel.

3.2 เปอร์เซนต์เมล็ดแตกหัก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก แสดงดัง Table 4 พบว่า รูปแบบรูตะแกรง ความเร็วลูกกะเทาะ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 4 Analysis of variance of concave sieve types and drum speeds on percentage of damaged kernel.

SOV	df	SS	MS	F
Concave sieve type (A)	2	11347.468	5673.734	1061.350*
Drum speed (B)	2	3660.818	1830.409	342.403*
A x B	4	638.341	159.585	29.853*
Error	18	96.224	5.346	
Total	26	49932.384		

Note: * Significant ($p < 0.05$).

จาก Table 5 แสดงการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก พบว่า รูปแบบรูตะแกรงทุกรูปแบบและความเร็วลูกกะเทาะทุกระดับส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วลูกกะเทาะ 130 rpm ทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักมีค่าน้อยที่สุด โดยการใช้ตะแกรงแถบเหล็กทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักมีค่ามากที่สุด 47.64% รองลงมาคือตะแกรงรูสี่เหลี่ยม 11.90% และตะแกรงรูกกลม 1.88% ตามลำดับ และเมื่อความเร็วลูกกะเทาะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล และคณะ (2562) จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วลูกกะเทาะเป็นการเพิ่มแรงและจำนวนครั้งในการฟาดตี

ซึ่งการพาดตีที่แรงและเร็วเกินไปทำให้เมล็ดเกิดการแตกหักมากขึ้น (Fig. 9)

Table 5 The percentage of damaged kernel at three different concave sieve type and three different drum speed.

concave sieve type	drum speed (rpm)		
	130	165	200
Round-hold sieve	1.88 ^{CC} ±1.13	10.10 ^{CB} ±1.14	19.10 ^{CA} ±0.96
Square-hold sieve	11.90 ^{BC} ±2.6	39.33 ^{BB} ±1.44	56.22 ^{BA} ±1.07
Steel-bar sieve	47.64 ^{AC} ±3.1	62.97 ^{AB} ±2.39	71.11 ^{AA} ±4.27

Note: Values in each column followed by the same letter in capital and in each row followed as the same letter in small letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to DMRT. All data were reported as mean standard deviation (n=3).

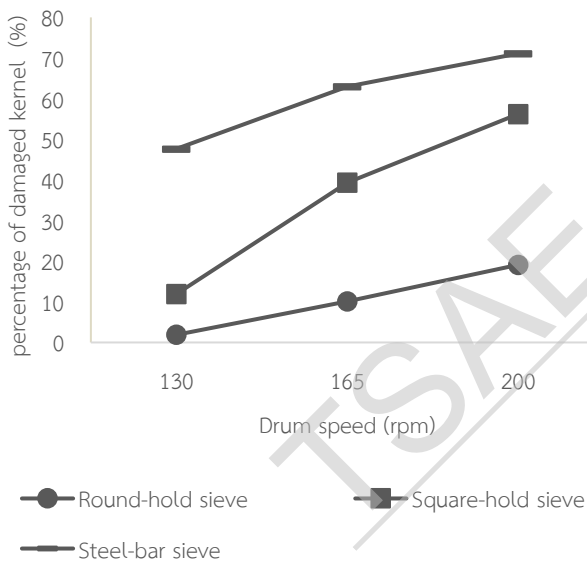


Figure 9. Effect of concave sieve types and drum speeds on percentage of damaged kernel.

3.3 เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะที่มีผลต่อเปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะ แสดงดัง Table 6 พบว่า รูปแบบรูตะแกรง ความเร็วลูกกะเทาะ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะ มีผลกระทบต่อเปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 6 Analysis of variance of concave sieve types and drum speeds on percentage of un-shelled nuts.

SOV	df	SS	MS	F
Concave sieve type (A)	2	1819.746	909.873	69.909*
Drum speed (B)	2	372.644	186.322	14.316*
A x B	4	737.903	184.476	14.174*
Error	18	234.271	13.015	
Total	26	8511.868		

Note: * Significant ($p < 0.05$).

จาก Table 7 แสดงการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะ พบว่า รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ และความเร็วลูกกะเทาะส่งผลให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะแตกต่างกัน ความเร็วลูกกะเทาะ 130 rpm ทำให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะมีค่าน้อยที่สุด โดยการใช้ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมทำให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะมีค่ามากที่สุด 40.96% รองลงมาคือตะแกรงรูกลม 8.85% และตะแกรงแถบเหล็ก 8.16% ซึ่งการใช้ตะแกรงรูกลมและตะแกรงแถบเหล็กไม่มีความต่างต่างกันทางสถิติ สำหรับการเลือกใช้ตะแกรงรูกลมและตะแกรงรูสี่เหลี่ยม เมื่อความเร็วลูกกะเทาะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาณุวัฒน์ (2561) จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วลูกกะเทาะเป็นการเพิ่มแรงและจำนวนครั้งในการพาดตี ซึ่งการพาดตีที่แรงและเร็วทำให้เมล็ดถูกกะเทาะมากขึ้นส่งผลให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะมีแนวโน้มลดลง แต่การใช้ตะแกรงแถบเหล็ก เมื่อความเร็วลูกกะเทาะเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซนต์เมล็ดไม่กะเทาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดจากรูปแบบตะแกรงมีช่องว่างให้เมล็ดถ่วงดาวอเนกตลอดผ่านได้เยอะกว่าตะแกรงรูกลม และตะแกรงรูสี่เหลี่ยม (Fig. 10)

Table 7 The percentage of un-shelled nuts at three different concave sieve type and three different drum speed.

Concave sieve type	Drum speed (rpm)		
	130	165	200
Round-hold sieve	8.85 ^{BA} ±1.90	6.35 ^{BB} ±2.97	5.78 ^{BB} ±1.50
Square-hold sieve	40.96 ^{AA} ±6.43	18.97 ^{AB} ±2.26	16.81 ^{AB} ±6.32
Steel-bar sieve	8.16 ^{BB} ±1.62	10.90 ^{BA} ±0.88	11.86 ^{BA} ±3.57

Note: Values in each column followed by the same letter in capital and in each row followed as the same letter in small letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to DMRT. All data were reported as mean standard deviation (n=3).

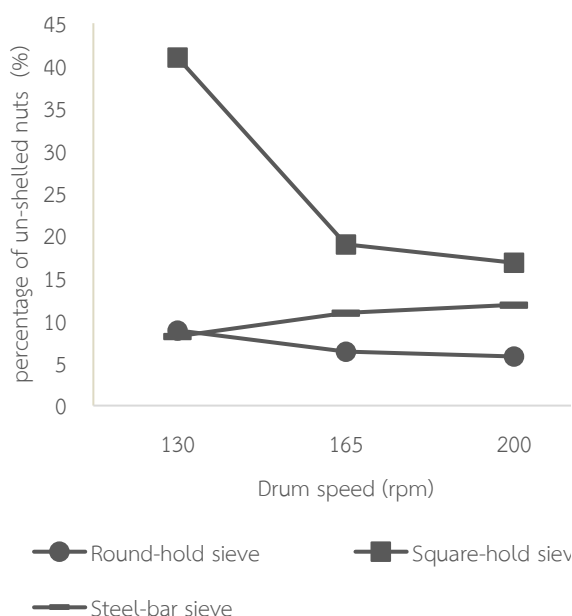


Figure 10. Effect of concave sieve types and drum speeds on percentage of un-shelled nuts.

3.4 ความสามารถในการทำงาน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะที่มีผลต่อความสามารถในการทำงาน แสดงดัง Table 8 พบว่า รูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะมีผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะต่อความสามารถในการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 8 Analysis of variance of concave sieve type and drum speed on the capacity (kg h^{-1}).

SOV	df	SS	MS	F
Concave sieve type (A)	2	2934.618	1467.309	72.627*
Drum speed (B)	2	336.792	168.396	8.335*
A x B	4	236.039	59.010	2.921 ^{ns}
Error	18	363.660	20.203	
Total	26	105015.126		

Note: * Significant ($p < 0.05$), ns Non-Significant.

จาก Table 9 แสดงการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการทำงาน พบว่า รูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะ ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วลูกกะเทาะ 200 rpm ทำให้ความสามารถในการทำงานมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือที่ความเร็วลูกกะเทาะ 130 และ 165 rpm ซึ่งไม่มีความต่างต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ตะแกรงรูปกลมทำให้ความสามารถในการทำงานมีค่ามากที่สุด 79.90% รองลงมาคือตะแกรงรูสี่เหลี่ยม 65.39% และตะแกรงแถบเหล็ก 62.72% ซึ่งการใช้ตะแกรงรูสี่เหลี่ยมและตะแกรงแถบเหล็กไม่มีความต่างต่างกันทางสถิติ และเมื่อ

ความเร็วลูกกะเทาะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Fig. 11) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภาณุวัฒน์ (2561) และณัฐพล และคณะ (2562) จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วลูกกะเทาะเป็นการเพิ่มแรงและจำนวนครั้งในการพาดตี ซึ่งการพาดตีที่แรงและเร็วทำให้เมล็ดลูกกะเทาะได้มากขึ้นและเร็วขึ้นด้วย

Table 9 The capacity (kg h^{-1}) at three different concave sieve type and three different drum speed.

concave sieve type	drum speed (rpm)		
	130	165	200
Round-hold sieve	73.41 ^{ab} ±1.82	74.45 ^{ab} ±1.08	79.90 ^{aA} ±4.38
Square-hold sieve	54.75 ^{bb} ±3.48	53.80 ^{bb} ±4.99	65.39 ^{bA} ±2.58
Steel-bar sieve	54.68 ^{bb} ±5.78	51.75 ^{bb} ±8.27	62.72 ^{bA} ±3.57

Note: Values in each column followed by the same letter in capital and in each row followed as the same letter in small letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to DMRT. All data were reported as mean standard deviation ($n=3$).

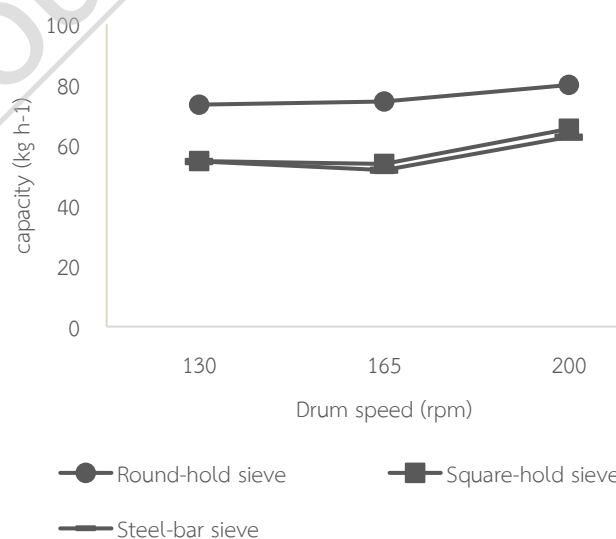


Figure 11. Effect of concave sieve types and drum speeds on percentage of capacity (kg h^{-1}).

4 สรุป

การศึกษารูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ 3 รูปแบบ คือ ตะแกรงรูปกลม ตะแกรงรูสี่เหลี่ยม และตะแกรงแถบเหล็ก และความเร็วลูกกะเทาะ 3 ระดับ คือ 130 165 และ 200 rpm พบว่า รูปแบบรูตะแกรงกะเทาะ และความเร็วลูกกะเทาะ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ และความสามารถในการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบรูตะแกรงและความเร็วลูกกะเทาะมี

ผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก และเปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และความสามารถในการทำงาน โดยการใช้ตะแกรงกะเทาะรูกกลม และความเร็วลูกกะเทาะในช่วง 130-165 rpm มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของชุดกะเทาะมากที่สุด ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม 83.55-89.27% เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 1.88-10.10% เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่กะเทาะ 6.35-8.85% และความสามารถในการทำงาน 73.41-74.45 kg h⁻¹

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไปประจำปีงบประมาณ 2562 รวมถึงสาขาวิศวกรรมเครื่องกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ และสาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และที่สนับสนุน สถานที่และเครื่องมือทดสอบในการทำวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

ณัฐพล โสภกุลละ, ศักดิ์ดา จำปานา, กิตติพงษ์ ลาลูน, จักรพันธ์ ดั่งคำจันทร์, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ, สมโภชน์ สุตาจันทร์. 2561. การออกแบบและสร้างเครื่องปลิดแยกฝักสำหรับผลดาวอินคา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (ฉบับพิเศษ) 49(4), 299-302.

ณัฐพล โสภกุลละ, กิตติพงษ์ ลาลูน, ศักดิ์ดา จำปานา, สมโภชน์ สุตาจันทร์, นิวัติศักดิ์ คงทน. 2562. ผลของระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 19(3), 61-71.

ชนกฤต ศิลปะธรากุล. 2559. ประสิทธิภาพของอาหารเสริมจากน้ำมันถั่วดาวอินคาในรูปปรับปรนทานต่อการทำงานของสมองตานสติปัญญา. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 ก้าวสู่ทศวรรษที่ 2: บูรณาการงานวิจัย ใช้องค์ความรู้ สู่ความยั่งยืน วันที่ 17 มิถุนายน 2559, ณ วิทยาลัยนครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา.

ภาณุวัฒน์ ขามประไพ. 2561. การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สมเกียรติ สุขุมพันธ์. 2562. การส่งเสริมศักยภาพการผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วดาวอินคาเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 13(1), 37-52.

สุพรรณ ยั่งยืน, เชิดพงษ์ เขียวชาญวัฒนา, บรรลุ เพียชิน, กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธ์. 2559. เครื่องกะเทาะและทำความสะอาด

ถั่วดาวอินคา. โครงการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่ ประจำปีงบประมาณ 2559. ภายใต้โครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยอุทยานวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Dostert, N., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torre, M. 2009. Inca Peanut Botanical Data Sustainable Rural Development Programme. Lima: Deutscha GTZ GmbH.

Fernández, Y., Obregón, A., Medina, M., Martiáez, E., Navarro, E. 2015. Obtaining Cheese with milk mixture and Inca Peanut (*Plukenetia Volubilis*). Journal of Chemical Engineering 9, 537-553.

Gutiérrez, L.F., L.M. Rosada, A. Jiménez. 2011. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. GRASAS Y ACEITES 62(1), 76-83.

Hazen, Duclos. 1980. Guidelines for the establishment and operation of vegetable oil factors. E.E.U.U.: Cornell University, United States.

Khamprapai, P., Chiawchanwattana, C., Laohavanich, J. and Yangyuen, S. 2018. A Cleaning and Grading Machine for Inca Peanut Seeds after Shelling Process. Mahasarakham International Journal of Engineering Technology 4(2), 37-40.

Nui, L., J. Li, M.S. Chen, Z.F. Xu. 2014. Determination of oil contents in Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) seed at different developmental stages by two method: soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. Industrial Crops and Products 56, 187-190.

Nuttaphon, S., Kittipong, L., Sakda, C., Somposh, S. 2018. Characteristic and some physical properties of dried ripe fruit of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Proceedings of the 11th Thai Society of Agricultural Engineering International Conference, 164-168. Kasetsart University. 26-27 April 2018, Hua Hin, Prachuap Khiri Khan, Thailand.

Vicente, J., M. G. Carvalho, E. E. Garcia-Rojas. 2015. Fatty acids profile of Sacha Inchi oil and blends by 1H NMR and GC-FID. Food Chemistry 181, 215-221.

Yehuda, S., Rabinovitz, Mostofsky, D., I. 1999. Essential fatty acids are mediators of brain biochemistry and cognitive functions. Journal of Neuroscience Research, Wiley 56, 565- 570.



การออกแบบและสร้างชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม

Design and Fabrication of the Indoor Aeroponics Cultivation Systems with Artificial Light

สุเมธ ตรีศักดิ์ศรี^{1*}, ธนิสร์ แก้วน้อย²Sumet treesaksri^{1*}, Tanison Kaewnuy²^{1,2}ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520^{1,2}Department of Agricultural Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Zip code 10520*Corresponding author: Tel: +66-8-6568-0538, E-mail: sumet.tr@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้คนในเขตเมืองสามารถปลูกผักรับประทานในครัวเรือนที่มีพื้นที่จำกัด โดยพัฒนาชุดปลูกให้น้ำหนักเบา ราคาถูก มีประสิทธิภาพเพียงพอและสามารถควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ได้ด้วยสมาร์ตโฟน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ คือ 1) ออกแบบและสร้างชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม และ 2) ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดปลูกผักที่สร้างขึ้นกับชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้า โดยวางแผนการทดสอบแบบ T-test ทำการทดสอบโดยเพาะเมล็ดคะน้าใบหยิก(เคล) ในแผ่นฟองน้ำเพาะกล้าเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการย้ายไปปลูกในชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม และชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้าเป็นเวลา 42 วัน สังเกตการเจริญเติบโต และบันทึกน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวรากของคะน้าใบหยิก(เคล) ในขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดปลูกผักพบว่าชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมที่สร้างขึ้นสามารถปลูกผักได้ 9 ต้น มีน้ำหนัก 6 กิโลกรัม สามารถควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ได้ด้วยสมาร์ตโฟน และมีต้นทุนการผลิตประมาณ 2,000 บาท สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของชุดปลูกผักที่สร้างขึ้นผลการทดสอบพบว่า คะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบปลูกรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม มีน้ำหนักสด 269.67 ± 5.11 กรัม มีน้ำหนักแห้ง 13.48 ± 0.25 กรัม มีความยาวราก 55.88 ± 2.82 เซนติเมตร ในขณะที่คะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบปลูก DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้า มีน้ำหนักสด 276.30 ± 6.15 กรัม มีน้ำหนักแห้ง 13.83 ± 0.16 กรัม มีความยาวราก 38.81 ± 1.15 เซนติเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ T-test พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบปลูกทั้ง 2 ระบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ความยาวรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยคะน้าใบหยิกที่ปลูกในชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมมีรากที่ยาวกว่าคะน้าใบหยิกที่ปลูกในชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้า

คำสำคัญ: ชุดปลูกผักในอาคาร , แอโรโปนิคส์, ชุดปลูกผักในอาคารด้วยแสงเทียม

Abstract

Design and fabrication of the indoor aeroponics cultivation systems with artificial light has an objective to respond to the needs of people who are living in urban areas which are limited space. It has been developed to be lightweight, inexpensive, efficacy enough and control the cultivation systems with a smartphone. The process has consisted of 1) design and fabrication of the indoor aeroponics cultivation systems with artificial light and, 2) the efficacy testing was done by comparing it with the commercial DRFT cultivation systems with artificial light. The efficacy testing was lying out in the T-test and done by sowing the seed of kale for 7 days and then transfers the seedling to both types of cultivation systems for 42 days. The growth of kale was observed and collected to determine the fresh weight, dry weight, and root length of each stem. For the design and fabrication process, the indoor aeroponics cultivation system with artificial light has nine planting channels with six kilograms overall weight,

Received: July 9, 2021

Revised: July 27, 2021

Accepted: December 19, 2021

Available online: February 1, 2022

can be controlled with a smartphone, and fabrication cost is about Baht 2,000. For the efficacy testing, it was found that the kale grown on the indoor aeroponics cultivation systems with artificial light had fresh weight, dry weight, and root length as 269.67 ± 5.11 gram, 13.48 ± 0.25 gram, and 55.88 ± 2.82 centimeter respectively. While, the kale that grown on the commercial DRFT cultivation systems with artificial light had fresh weight, dry weight, and root length as 276.30 ± 6.15 gram, 13.83 ± 0.16 gram, and 38.81 ± 1.15 centimeter respectively. The kale that grown on both cultivation systems has shown no significant difference in fresh weight and dry weight. However, there was a significant difference at a 99% confidence level in root length. The kale that grown on the indoor aeroponics cultivation systems with artificial light had longer roots than the kale that grown on the commercial DRFT cultivation systems with artificial light.

Keywords: Indoor cultivation systems, Aeroponics, Indoor cultivation systems with artificial light

1 บทนำ

ผักเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถปลูกได้ตลอดปี รูปแบบการผลิตพืชผักในประเทศไทยมีความหลากหลายทั้งในลักษณะพื้นที่การผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต และเป้าหมายของการผลิต เช่น การผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน การผลิตเพื่อจำหน่ายในเขตชานเมืองแบบประณีต การผลิตผักหลังฤดู ทำนา และการผลิตผักอินทรีย์ โดยแหล่งผลผลิตพืชผักกระจายอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศ (วิสกา, 2559) การปลูกผักโดยปกตินั้นมีการใช้สารเคมีในการปราบศัตรูพืชกันมาก จึงทำให้มีสารที่ปนเปื้อนในผักและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคโดยแทนที่จะได้รับสารอาหารจากผักที่บริโภคกลับกลายเป็นได้รับสารเคมีที่ตกค้างจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชแทน จึงทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ในการผลิตผักที่สะอาดปลอดภัย มีคุณภาพ เหมาะสมต่อการบริโภค การปลูกพืชไร้ดิน (Soilless culture) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่แก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยเป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดินหรือปลูกลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช (นพดล, 2546) ปัจจุบันการปลูกพืช ไร้ดินมีอยู่มากมายหลายระบบ เนื่องจากการพัฒนาขึ้นมาเป็นเวลานาน เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของประเทศต่างๆ อย่างไรก็ตามระบบต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมีพื้นฐานมาจากระบบหลักๆ ตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารแก่บริเวณรอบๆ รากพืช จำนวน 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการปลูกแบบรากสัมผัสอากาศ (Aeroponics) ระบบการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture) และระบบการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร (Hydroponics) (ดิเรก, 2547) ระบบการปลูกแบบรากสัมผัสอากาศ (Aeroponics) เป็นระบบการปลูกที่ประหยัดพื้นที่และสารละลายธาตุอาหารได้ร้อยละ 95-98 นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณผลผลิตถึงร้อยละ 45-75 (Johnstone et al, 2011) ซึ่งรากพืชที่ปลูกด้วยระบบการปลูกแบบรากสัมผัสอากาศจะไม่ถูกน้ำท่วมขัง (water logging) และไม่ขาดออกซิเจน (อุดมพงษ์, 2552) นอกจากนี้ระบบการปลูกนี้ยังช่วยให้พืชมีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณรากได้ดี อีกทั้งยังช่วยให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้นช่วยลดปริมาณการสะสมของไนเตรดในใบพืชซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Luo et al, 2009) มากไปกว่านั้น

ระบบการปลูกแบบรากสัมผัสอากาศยังเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผักคะน้าใบหยิกสีแดง (Red Kale) (Chandra et al, 2014) ช่วยกระตุ้นการสะสมของวิตามินซีในพืชสมุนไพรของเอเชีย 4 ชนิด คือ โหระพา โหระพาเวียตนาม กระเพรา และงาหมื่น (Bohme and Pinker, 2014) โดยในปัจจุบันคนไทยหันมาดูแลสุขภาพมากขึ้นโดยการหันมาบริโภคผักปลอดสารพิษ ซึ่งการปลูกผักแบบรากสัมผัสอากาศเป็นการปลูกผักแบบปลอดสารพิษชนิดหนึ่ง (ธรรมศักดิ์, 2551) อีกทั้งยังลดค่าใช้จ่ายและช่วยลดความเสี่ยงในการบริโภคสารพิษที่ปนเปื้อนมากับพืชผัก ทำให้ได้ผักที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค (วิสกา, 2559) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดปลูกระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม ที่มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ราคาถูก มีประสิทธิภาพเพียงพอและสามารถควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ได้ด้วยสมาร์ทโฟนเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถสร้างเองได้ในครัวเรือน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดปลูกผักแบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียม เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถสร้างเองได้ในครัวเรือน จึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดปลูกผัก ที่มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ราคาถูกและใช้วัสดุที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด โดยดำเนินการออกแบบชุดปลูกดังภาพที่ 1

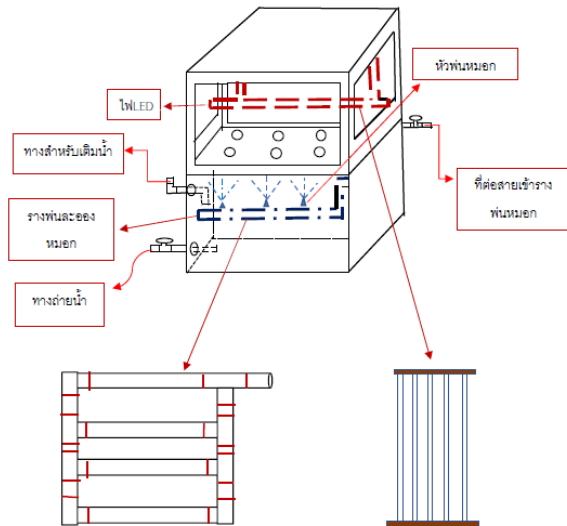


Figure 1 The indoor aeroponics cultivation systems model.

2.1 โครงสร้างชุดปลูก

นำกล่องพลาสติกขนาด 104 ลิตร จำนวน 2 ใบ โดยใบที่ 1 มาทำการตัดเปิดด้านข้างออกทั้งสี่ด้านเพื่อเป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้งแสงเทียม และกล่องพลาสติกใบที่ 2 ใช้สำหรับเป็นถังสารละลาย โดยนำมาทำการเจาะรูที่ฝากล่องจำนวน 9 รูเพื่อเป็นหลุมปลูก จากนั้นนำกล่องทั้ง 2 ใบ ยึดติดเข้าด้วยกันด้วยน็อต จะได้โครงสร้างของชุดปลูกดังภาพที่ 2

2.2 ระบบพ่นฝอยสารละลาย

นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว มาตัดให้ได้ขนาด 70 เซนติเมตร จำนวน 3 ท่อน แต่ละท่อนเจาะรูเพื่อใส่หัวพ่นฝอย ท่อนละ 3 หัว และขนาด 20 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน แล้วนำทั้งหมด มาประกอบเข้าด้วยกันด้วยข้อต่อ 90 องศาและข้อต่อ 3 ทาง ตามแบบที่ร่างไว้ จากนั้นทำการต่อกับปั้มน้ำไดอะแฟรม (รุ่น 2203-2 ยี่ห้อ EARTH ประเทศจีน) แรงดันไฟ 12 โวลต์ กระแสไฟ 3.0 แอมแปร์ อัตราการไหล 4.0 ลิตรต่อนาที ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังภาพที่ 3



Figure 2 Indoor aeroponics cultivation systems structure assembled.



Figure 3 Water spray system structure assembled.

2.3 อุปกรณ์ทำระบบแสงเทียม

นำไฟ LED (รุ่น SMD A5630 ยี่ห้อ BOGDAN LED ประเทศไทย) แบบเส้นแข็ง แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 12.5 วัตต์ ขนาดยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 15 เส้น มาทำการต่อแบบขนาน นำไปประกอบกับโครงกล่องด้านบนโดยติดตั้งให้มีความสูง 30 เซนติเมตรจากแผ่นปลูก แล้วทำการวัดแสงให้ได้ความเข้มแสง 250 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที

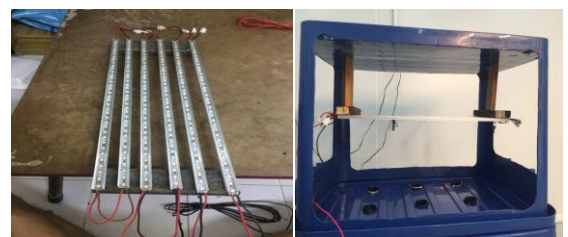


Figure 4 Artificial lighting system structure assembled.

2.4 อุปกรณ์ควบคุมการฉีดพ่นสารละลายและเปิด-ปิดแสงเทียม

ระบบควบคุมการฉีดพ่นสารละลายและเปิด-ปิดแสงเทียม ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU esp 8266 (รุ่น v3 ยี่ห้อ Lolin ประเทศจีน) บอร์ดขยายขา Node

MCU (รุ่น v1 ยี่ห้อ Lolin ประเทศจีน) รีเลย์แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ 2 ช่อง (รุ่น 2 relay module ยี่ห้อ TONGLING ประเทศจีน) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ (รุ่น GM 25 ยี่ห้อ GVE ประเทศจีน) ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ (รุ่น IWC 20 A ยี่ห้อ IWACHI ประเทศจีน) ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้ปั้มน้ำไดอะแฟรมและไฟ LED จากนั้นทำการประกอบและติดตั้งโปรแกรมควบคุมระบบปลูกด้วยโปรแกรมอาดูโนโอดีดี โดยทำการตั้งค่าการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่ พัก 4 นาทีตลอด 24 ชั่วโมง และควบคุมไฟ LED โดยกำหนดช่วงเวลารับแสงไม่ได้รับแสง คือ 16:8 ชั่วโมงต่อวัน ระบบสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมการเปิดและปิดได้ผ่านสมาร์ตโฟน มีบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 5

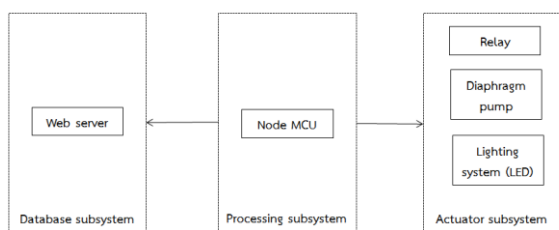


Figure 5 Block diagram.

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดปลูก

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดปลูก วางแผนการทดสอบโดยการเปรียบเทียบระบบการปลูก 2 ระบบและวิเคราะห์ผลการทดสอบแบบ T-test ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 ชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมที่สร้างขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย ไฟ LED (รุ่น SMD A5630 ยี่ห้อ BOGDAN LED ประเทศไทย) ให้ค่าความเข้มแสง 250 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาทีที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตรจากแผ่นปลูก และกรรมวิธีที่ 2 ชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้าของบริษัทศูนย์เกษตรกรรมบางไทรจำกัด ซึ่งประกอบไปด้วย ไฟ LED (รุ่น 24818HN1 ยี่ห้อ AGROWLAB ประเทศไทย) ให้ค่าความเข้มแสง 250 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาทีที่ระดับความสูง 45 เซนติเมตรจากแผ่นปลูก โดยทั้ง 2 กรรมวิธีกำหนดช่วงเวลารับแสง:ไม่ได้รับแสง คือ 16:8 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้ต้นคะน้าใบหยิกได้รับค่าปริมาณแสงที่ได้รับต่อวัน (Daily light integral:DLI) เท่ากันคือ 14.4 โมลต่อตารางเมตรต่อวัน ดำเนินการทดสอบโดยเพาะเมล็ดคะน้าใบหยิกในฟองน้ำเป็นเวลา 7 วัน ในวันที่ 8 ทำการย้ายต้นกล้ามาปลูกในชุดปลูกผักทั้ง 2 ระบบปลูก เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพและสังเกตการเจริญเติบโตของคะน้าใบหยิก โดยในระหว่างการทดสอบใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรของบริษัท เอซีเค ไฮโดรฟาร์ม จำกัด วัดและปรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ระหว่าง 1.5 -2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย

ระหว่าง 5.5-6.5 เป็นประจำทุกวัน ควบคุมอุณหภูมิของห้องปลูกที่ 25 ± 3 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 42 วัน จากนั้นทำการเก็บผักคะน้าใบหยิกมาทำการชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และวัดความยาวรากแล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ T-test

3 ผลและวิจารณ์

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศ ทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบชุดปลูกที่สร้างขึ้นกับชุดปลูกระบบ DRFT ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการโรงงานผลิตพืชภาควิทยาศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากการสังเกตระบบปลูกเป็นประจำทุกวัน ผลการทดลองพบว่า ปั้มน้ำจะเริ่มทำงานฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่ พัก 4 นาทีตลอด 24 ชั่วโมง โดยบันทึกผลการทดสอบ 3 ช่วงเวลา คือ 9.00 12.00 และ 18.00 นาฬิกาและนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยทุกๆ 7 วัน พบว่าปั้มน้ำมีการทำงานตามที่โปรแกรมกำหนด

Table 1 Diapharm pump testing.

Day	pump opened	pump closed
1	1.0133±0.00882	4.0200±0.00577
7	1.0167±0.00333	4.0133±0.00333
14	1.0167±0.00333	4.0200±0.00577
21	1.0167±0.00333	4.0200±0.00000
28	1.0133±0.00333	4.0167±0.01155
35	1.0133±0.00333	4.0233±0.001155
42	1.0200±0.00577	4.0267±0.00577

ในด้านลักษณะการเจริญเติบโตทางกายภาพของคะน้าใบหยิกเมื่อผักปลูกบนโต๊ะอนุบาลในวันที่ 7 ของการปลูกใบมีสีเขียวอ่อนๆ ขนาดทรงพุ่มไม่ใหญ่มากนัก รากงอกออกมาจากถ้วยปลูกมีความยาวเพียงเล็กน้อย ในวันที่ 8 ของการปลูก นำผักจากโต๊ะอนุบาลขึ้นปลูกบนระบบปลูกทั้งสองระบบ เมื่ออายุ 7 วัน หลังย้ายปลูก (14 วันนับจากวันเพาะเมล็ด) คะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบรากสัมผัสอากาศจะมีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าในระบบ DRFT เนื่องจากรากของแต่ละต้นยังมีจำนวนน้อย สีของใบยังคงสีเขียวอ่อน จากนั้น สีของใบเข้มขึ้นทรงพุ่มใหญ่ขึ้น รากมีจำนวนและความยาวเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการปลูกบนระบบปลูกที่สร้างขึ้นเป็นเวลา 42 วัน (49 วันนับจากวันเพาะเมล็ด) ทรงพุ่มกว้างเต็มที่ สีใบเข้ม จึงทำการเก็บผักคะน้าใบหยิกจากระบบปลูกทั้งสองระบบๆ ละ 9 ต้น มาทำการชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และวัดความยาวราก ผลการทดลองพบว่า ผักคะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบปลูกรากสัมผัสอากาศ มีน้ำหนักสด 269.67 ± 5.11 กรัม มีน้ำหนักแห้ง 13.48 ± 0.25 กรัม มีความยาวราก 55.88 ± 2.82 เซนติเมตร ในขณะที่ผักคะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบปลูก DRFT มีน้ำหนักสด 276.30 ± 6.15 กรัม มีน้ำหนักแห้ง 13.83 ± 0.16 กรัม

มีความยาวราก 38.81 ± 1.15 เซนติเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ T-test พบว่า ค่ะน้ำใบหยิกที่ปลูกบนระบบปลูกทั้ง 2 ระบบ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Qiansheng et al.(2018) ที่ทำการทดลองปลูกผักสลัดในระบบการปลูกต่างๆ พบว่า ระบบการปลูกมีผลต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและความยาวของราก โดยผักสลัดที่ปลูกในระบบปลูกที่ใช้สารละลายธาตุอาหาร (Hydroponic) จะมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งที่มากกว่าระบบปลูกรากสัมผัสอากาศ (Aeroponics) ในขณะที่งานทดลองของ Chandra et al.(2014) ทำการทดลองเปรียบเทียบการปลูก ค่ะน้ำใบหยิกสีแดงบนระบบรากสัมผัสอากาศกับระบบการปลูกบนดิน พบว่าการปลูกบนระบบรากสัมผัสอากาศให้ผลผลิต น้ำหนักสดที่มากกว่าการปลูกบนดิน ซึ่งแม้ในการทดลองนี้การปลูกในระบบรากสัมผัสอากาศจะให้ผลผลิตน้ำหนักสดที่น้อยกว่าการปลูกในระบบ DRFT แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นชุดปลูกผักที่สร้างขึ้นในการวิจัยนี้จึงมีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนในด้านความยาวรากพบว่า ค่ะน้ำใบหยิกที่ปลูกบนระบบปลูกทั้ง 2 ระบบ มีค่าเฉลี่ยความยาวรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดย ค่ะน้ำใบหยิกที่ปลูกในระบบรากสัมผัสอากาศจะมีรากที่ยาวกว่า ค่ะน้ำใบหยิกที่ปลูกในระบบ DRFT ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anita (2006) ซึ่งได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการปลูกพืชสมุนไพร (Medicinal herb) พืชที่มีเหง้า (Rhizome) และ พืชหัว (Root crops) โดยปลูกด้วยระบบปลูกแบบรากสัมผัสและระบบปลูกแบบสารละลายธาตุอาหาร ผลการทดลองพบว่าพืชสมุนไพรที่ปลูกด้วยระบบปลูกแบบรากสัมผัสอากาศมีผลผลิตรากที่ดีกว่าที่ปลูกด้วยระบบปลูกแบบสารละลายธาตุอาหาร และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qiansheng et al.(2018) ที่ทำการทดลองปลูกผักสลัดในระบบการปลูกต่างๆ พบว่าระบบการปลูกมีผลต่อความยาวของราก โดยผักสลัดที่ปลูกในระบบปลูกแบบรากสัมผัสอากาศจะมีรากที่ยาวกว่าที่ปลูกในระบบปลูกแบบสารละลายธาตุอาหารถึง 3 เท่า นอกจากนี้ยังกล่าวว่า แม้ผักสลัดที่ปลูกระบบปลูกรากสัมผัสอากาศจะมีรากที่ยาวกว่า ก็ไม่ได้ทำให้น้ำหนักผลผลิตดีกว่าระบบปลูกแบบสารละลายธาตุอาหาร แต่เป็นการปลูกพืชสมัยใหม่ที่ใช้ น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตสูงสุด จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าประสิทธิภาพของระบบปลูกแบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งในด้านน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและความยาวราก

Table 2 Fresh weight, dry weight, and root length of Kale grown on two cultivation systems.

Treatment	Fresh Weight (g $\pm$ S.E.)	Dry Weight (g $\pm$ S.E.)	Root Length (cm $\pm$ S.E.)
Aeroponics	269.67 $\pm$ 5.11	13.48 $\pm$ 0.25	51.26 $\pm$ 2.38
DFRT	276.30 $\pm$ 6.15	13.83 $\pm$ 0.16	38.81 $\pm$ 1.15
	ns	ns	**
p-value	0.431	0.435	0.01

ns = not significant at $p < 0.05$

** = $p < 0.01$

4 สรุป

ชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมที่สร้างขึ้นออกแบบเพื่อต้องการให้คนเมืองสามารถปลูกผักรับประทานในครัวเรือนที่มีพื้นที่จำกัดเป็นหลัก โดยพัฒนาชุดปลูกผักให้มีน้ำหนักเบา ราคาถูก และมีประสิทธิภาพเพียงพอที่ผู้บริโภคสามารถสร้างเองได้ในครัวเรือน โดยมีต้นทุนการผลิตประมาณ 2,000 บาท สามารถสั่งการเปิดปิดชุดปลูกผักผ่านสมาร์ตโฟน ซึ่งมีความเหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดปลูกผักที่สร้างขึ้นกับชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้ำ พบว่าชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมให้ผลผลิตด้านน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งที่น้อยกว่าเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้ำ ขณะที่ชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมให้ผลผลิตด้านความยาวรากที่ยาวกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กับชุดปลูกผักระบบ DRFT ภายในอาคารด้วยแสงเทียมแบบการค้ำ ดังนั้นชุดปลูกผักระบบรากสัมผัสอากาศภายในอาคารด้วยแสงเทียมที่สร้างขึ้นจึงเป็นการปลูกพืชสมัยใหม่ที่ใช้ น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตสูงสุด



Figure 6 The growth of Kale on two cultivation systems for 42 days (A) Aeroponics (B) DRFT.

5 เอกสารอ้างอิง

ดิเรก ทองอราม. 2547. การปลูกพืชไม่ใช้ดินหลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ธรรมรักษการพิมพ์

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2551. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ. : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชา พฤษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิสกา ดวงอ่อนนาม. 2559.ชุดปลูกผักไร้ดิน KUS-58 สำหรับสภาพพื้นที่จำกัดในเขตเมือง.วารสารวิชาการเกษตร 34(2),150-160.

อุดมพงษ์ ดวงประยงค์. 2552. การพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Anita L.H. 2006. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. Horticulture Science 41(3), 536-538.

Bohme, M., Pinker, I. 2014. Asian leafy vegetables and herbs cultivated in substrate culture and aeroponics in Greenhouse. Acta Horticulturae 1034, 155-162.

Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M.H., Elsohly, M.A., Khan, I.A. 2014. Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: a comparative study. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine 253875, 1-9.

Johnstone, P.R., Nichols, M.A., Fisher, K.J., Reid, J. 2001. Nutritional studies with processing tomato grown in aeroponic. Acta Horticulturae 542, 143-150.

Li, Q., Li, X., Tang, B., Gu, M. 2018. Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. Horticulturae 4(4), 1-9.

Luo H.Y., Lee S.K., He J. 2009. Integrated effects of root-zone temperatures and phosphorus levels on aeroponically-grown lettuce (*lactuca sativa* L.) in the tropics. The Open Horticulture Journal 2, 6-12.



การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

The Development of Walking Mower with Cordless Electric Driving System

คมกริช จิตตา¹, ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์^{1*}, สิรินาถ น้อยพิทักษ์¹Komgrit Jitta¹, Siwalak Pathaveerat^{1*}, Sirinad Noypitak¹¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University - Kamphaengsaen, Nakhon Pathom, 73140

* Corresponding author: Tel: +66-8-6147-2656, Fax: +66-0-3435-1896, E-mail: fengslp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย เพื่อช่วยลดภาระการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ 1) ชุดต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2) ชุดเฟืองทด และเฟืองโซ่ส่งกำลัง 3) ชุดสไปรอลคลัตช์ และมือบีบ 4) ชุดเพลาล้อหลัง เพลาล้อหน้า และที่ปรับระดับของใบมีดเครื่องตัดหญ้า 5) ชุดโครงเครื่องยนต์ของเครื่องตัดหญ้า และใบมีดตัดหญ้านำกว้างในการตัด 50 cm เงื่อนไขในการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 2000 และ 2500 rpm ทำการทดสอบในสนามหญ้า และสวนผลไม้แบบยกร่อง ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า เงื่อนไขที่เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย สามารถทำงานได้ดีที่สุด คือ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm ทั้งในสนามหญ้า และในสวนผลไม้แบบยกร่อง มีความเร็วการเคลื่อนที่ 2.64 และ 1.78 km h⁻¹ ตามลำดับ อัตราการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วย 0.70 และ 1.58 kWh rai⁻¹ ตามลำดับ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.10 และ 1.49 L rai⁻¹ ตามลำดับ ความสามารถในการทำงานต่อไร่ 0.68 และ 0.46 rai h⁻¹ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย ช่วยลดการใช้แรงงานกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องออกแรงผลักในขณะที่ตัดหญ้า เนื่องจากมีชุดสไปรอลคลัตช์ ช่วยในการบังคับเลี้ยว ทำให้การบังคับเลี้ยวทำได้ง่ายขึ้นจึงสามารถลดภาระการทำงานของผู้ปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: เครื่องตัดหญ้าเดินตาม, ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย, สไปรอลคลัตช์

Abstract

The objective of this research aims to develop the walking mower with cordless electric driving system to reduce the workload of the operator. This mower consists of 5 main parts are 1) power source from a DC motor 2) gear reducer and transmission chain 3) spiral clutch and control lever 4) rear wheel and adjustable front wheel for adjust the cutting height 5) engine to drive cutting blade with 50 cm cutting width. The test conditions with blade rotating speed were 1500, 2000 and 2500 rpm. The experiment was tested at field grass and orchards, respectively. The results showed that the optimum condition of rotating speed of engine was 2500 rpm in both field grass and orchard. The moving speed of the mower were 2.64 and 1.78 km h⁻¹, respectively. The electric consumption was 0.70 and 1.58 kWh rai⁻¹, respectively. The fuel consumption rate was 1.10 and 1.49 L rai⁻¹, respectively. The working capacity of this mower were 0.68 and 0.46 rai h⁻¹, respectively. The result found that the walking lawn mower of cordless electric driving system reduced operating work and help operator pushing machine. This mower reduced cost of cutting grass in the orchard. The spiral clutch made the mower easy turning. Therefore, it can reduce the workload of the operator as well

Keywords: Walking mower, Cordless electric driving system, Spiral clutch

Received: August 19, 2021

Revised: September 11, 2021

Accepted: September 24, 2021

Available online: February 1, 2022

1 บทนำ

วัชพืช หมายถึง พืชที่ขึ้นในที่ที่ไม่ต้องการให้ขึ้น ไม่มีประโยชน์ โดยที่จะทำความเสียหายพืชที่ปลูก มีคุณสมบัติในการขยายพันธุ์ แพร่พันธุ์ได้ดี และทนทานต่อการควบคุมกำจัด (พรชัย, 2540) วัชพืช เป็นพืชที่ขึ้นมาเองตามธรรมชาติในไร่นา โดยที่ผู้ดูแลไม่ต้องการ ส่วนใหญ่ไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ หรือมีน้อยมาก มักสร้างความเสียหายให้พืชหลัก เช่น แย่งอาหาร บังแสงแดด เป็นที่อยู่อาศัยของแมลง และโรคพืช ทั้งยังทำให้การทำงานในสวนมีความลำบาก อย่างไรก็ตาม วัชพืชที่ไม่ต้องการนั้นก็อาจจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารต่างๆ ทั้งธาตุหลัก และ ธาตุรองอย่างครบถ้วน อีกทั้งยังสามารถตัดมาหมักเพื่อทำปุ๋ยได้ (พิสุทธ์, 2553) วัชพืช เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการทำสวนผลไม้ เนื่องจากวัชพืชเป็นต้นไม่มีชีวิตเช่นเดียวกับพืชปลูก ฉะนั้นย่อมต้องการปุ๋ย น้ำ แสงสว่าง เพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน วัชพืชที่ขึ้นในสวนผลไม้จะทำให้ผลผลิตลดลงถึงร้อยละ 30 - 35 เนื่องจากวัชพืชมีการแย่งธาตุอาหารในดิน ทำให้พืชที่ปลูกได้ปุ๋ยและน้ำน้อยลง ไม่เจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตไม่สมบูรณ์ (อำไพ, 2520) วัชพืชมีการพัฒนาตนเองเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตและสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี (รัชดากร, 2551)

ในการกำจัดวัชพืชนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมี การกำจัดวัชพืชโดยการเผา (Burning) การกำจัดวัชพืชโดยการคลุมดิน (Mulching) การกำจัดวัชพืชโดยการปล่อยน้ำท่วม (Flooding) การกำจัดวัชพืชโดยใช้ชีวอินทรีย์ (Biological Methods) การกำจัดวัชพืชโดยใช้วิธีกล (Mechanical Methods) เป็นต้น ซึ่งการกำจัดวัชพืชโดยใช้วิธีกล เป็นการควบคุมกำจัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ ไปจนถึงการใช้เครื่องจักรกลต่างๆ (รัชดากร, 2551) โดยเครื่องจักรกลที่เป็นที่นิยมในการใช้กำจัดวัชพืช คือ เครื่องตัดหญ้า เครื่องตัดหญ้าที่ใช้ตัดหญ้าในปัจจุบันมีหลายแบบ เช่น เครื่องตัดหญ้าแบบสะพาย เครื่องตัดหญ้าชนิดใช้แรงคนเข็น เครื่องตัดหญ้าชนิดนั่งขับ เครื่องตัดหญ้าชนิดติดพ่วงรถแทรกเตอร์ โดยการใช้เครื่องตัดหญ้าแบบสะพาย เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรผู้ทำสวนผลไม้แบบยกร่องมากที่สุด แต่เกษตรกรผู้ปฏิบัติงานต้องใช้แรงงานในการตัดหญ้ามาก และเครื่องตัดหญ้าชนิดนั่งขับไม่สามารถเข้าไปทำงานได้เนื่องจากในสวนผลไม้แบบยกร่องมีพื้นที่ในการทำงานจำกัด

การใช้งานเครื่องตัดหญ้าที่มีขายในท้องตลาด และเครื่องตัดหญ้าที่พัฒนาขึ้นในอดีตเกษตรกรต้องออกแรงเข็นในการทำงานตัดหญ้าทำให้ต้องใช้แรงงานมากในการทำงานบางเครื่องมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากทำให้การทำงานในสวนผลไม้แบบยกร่องยากลำบากเนื่องจากในสวนผลไม้ไม่มีพื้นที่การทำงานจำกัด ประกอบกับต้องใช้การดูแลรักษาที่ยุ่งยาก ทั้งยังมีราคาที่สูง ในอดีต มงคล (2537) ได้ออกแบบและสร้างรถตัดหญ้านั่งขับขนาดเล็กมีเกียร์เดินหน้า 2 เกียร์ ถอยหลัง 1 เกียร์ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 hp เป็นต้นกำลัง ความเร็วเดินหน้าขณะทำงานอยู่ที่ 4

km h⁻¹ หน้ากว้างการทำงาน 80 cm มีความสามารถในการทำงาน 1.4 rai h⁻¹ เป็นรถตัดหญ้านั่งขับขนาดใหญ่ไม่สามารถทำงานในสวนผลไม้แบบยกร่องได้ สกล (2548) ได้ออกแบบและสร้างรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับโดยใช้เครื่องยนต์เบนซินเป็นต้นกำลัง สามารถตัดหญ้าในสนามหญ้าได้ 400 m² h⁻¹ โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 L แต่มีข้อจำกัดที่สามารถควบคุมการทำงานของรถตัดหญ้าได้ในรัศมีไม่เกิน 50 m วรภูมิ และคณะ (2549) ได้พัฒนาเครื่องตัดหญ้าแบบเดินตามสำหรับสวนผลไม้ มีความเร็วขับเคลื่อน 2.4 km h⁻¹ ใช้ใบมีดตัดหญ้าขนาด 60, 52 และ 48 cm ในการทดสอบ สามารถปฏิบัติงานได้ 0.9, 0.78, และ 0.72 rai h⁻¹ ตามลำดับ เครื่องตัดหญ้าแบบเดินตามสำหรับสวนผลไม้ไม่มีชุดขับเคลื่อนที่ใหญ่ มีน้ำหนักมาก และชุดส่งกำลังหลายชิ้นส่วนซึ่งยากต่อการซ่อมบำรุง ศรีณย์ (2552) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าอาหารสัตว์แบบเดินตามเพื่อเกษตรกรรายเล็ก มีความเร็วเคลื่อนที่สูงสุดคือ 1.7 km h⁻¹ ความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 0.6 rai h⁻¹ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2.7 L h⁻¹ หน้ากว้างการทำงาน 40 cm เครื่องตัดหญ้ามี่ขนาดใหญ่ไม่สามารถทำงานในสวนผลไม้แบบยกร่องได้ Nkakini and Yabefa (2014) ได้ออกแบบสร้าง เครื่องตัดหญ้าใบมีดเกลียว มีหน้ากว้างในการตัดหญ้า 40 cm ทำการทดสอบตัดหญ้าในสนาม มีความเร็วการเคลื่อนที่ 2.88 km h⁻¹ มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 0.46 rai h⁻¹ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm เจนวิทย์ (2560) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าเดินตามในสวนผลไม้ ที่มีหน้ากว้างในการทำงาน 60 cm มีความสามารถในการทำงานสูงสุดเฉลี่ย 0.88 rai h⁻¹ ความเร็วเคลื่อนที่สูงสุดเฉลี่ย 2.89 km h⁻¹ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1 L h⁻¹ สามารถปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ และความเร็วเคลื่อนที่ได้หลายระดับ ทำให้ชุดขับเคลื่อนมีชิ้นส่วนมาก ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก Adubika and Adebayo (2020) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีหน้ากว้างในการตัดหญ้า 40 cm ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.08 km h⁻¹ สามารถทำงานได้ 0.68 rai h⁻¹ ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 3000 rpm ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากเนื่องจากต้องติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ กนก ัญญากร และคณะ (2563) ได้สร้างรถตัดหญ้าบังคับวิทยุ โดยใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเหวี่ยง เครื่องยนต์ 4 จังหวะ 3.5 hp เป็นต้นกำลัง หน้ากว้างในการตัด 42 cm สามารถทำงานได้เฉลี่ย 0.24 rai h⁻¹ มีรัศมีในการบังคับที่ 80 m ซึ่งการทำงานตัดหญ้าในสวนผลไม้แบบยกร่องนั้นเกษตรกรต้องควบคุมเครื่องตัดหญ้าอยู่ตลอดเวลาทำให้ทำงานในสวนผลไม้แบบยกร่องได้ไม่สะดวก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย ที่มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานในสวนผลไม้แบบยกร่องมากกว่า และยังสามารถทำงานในสนามหญ้าที่มีความหนาแน่นของวัชพืชได้เป็นอย่างดี ใช้งานง่าย เพราะ มีกลไกการทำงานไม่ยุ่งยาก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน สามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ ทำให้ช่วยลดภาระในการออกแรงเข็นเครื่องตัดหญ้าแบบก่อนๆได้ และมี

ชุดสไปรอลคลัตช์ ช่วยในการบังคับเลี้ยว ทำให้สามารถบังคับเลี้ยวได้ง่าย ตัวเครื่องมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาว่า ทั้งยังมีราคาไม่แพง ทำให้การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อเกษตรกรผู้ปฏิบัติงาน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย (Figure 1) มีความกว้าง 75 cm ความยาว 110 cm ความสูง 120 cm ถูกออกแบบโดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน คือ

2.1.1 ต้นกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V 250 W 300 rpm โดยรับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดแห้งขนาด 12 V 10 Ah 2 ก้อน ต่ออนุกรมกัน ควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยชุดควบคุมความเร็ว รุ่น 10-50V/40A/2000W (DC motor speed control, Shenzhen electronics shop, China) (Figure 2) ด้วยการหมุนที่สวิตช์ปรับความเร็ว

2.1.2 ชุดส่งกำลังรับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปยังชุดเฟืองทดที่มีอัตราทดที่ 5:1 (Figure 3a) จากนั้นส่งไปยังเฟืองขับที่มีเฟือง 15 ฟัน ส่งกำลังผ่านโซ่ไปยังเฟืองตามที่มีฟันเฟือง 30 ฟัน (Figure 3b) ที่ติดกับเพลาส่งกำลังไปยังล้อขับเคลื่อน

2.1.3 ชุดสไปรอลคลัตช์ และมือบีบสำหรับช่วยบังคับเลี้ยว (Figure 4) ใช้สำหรับส่งกำลัง และตัดกำลังจากเพลาส่งไปยังล้อสามารถปลดกำลังโดยการบีบชุดมือบีบที่ติดตั้งเพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงาน

2.1.4 ชุดล้อขับเคลื่อนใช้ล้อแบบสับลมขนาด 13 inch (Figure 5a) ล้อหน้าใช้ล้อแบบยางตันขนาด 8 inch ติดตั้งตัวปรับระดับความสูงของเครื่องตัดหญ้าสามารถปรับระดับความสูงของใบมีดตัดหญ้าได้ตั้งแต่ 2-7 cm โดยการคลายตัวล็อกเพื่อหมุนปรับระดับความสูงของเครื่องตัดหญ้า (Figure 5b)

2.1.5 ตัวเครื่องตัดหญ้านั้นดัดแปลงจากเครื่องตัดหญ้าสนาม Honda GXV 160 5.5 Hp (Figure 6a) เสริมความแข็งแรงของโครงรถโดยการเพิ่มโครงเหล็กรอบคัน เพื่อให้สามารถทำงานในสวนผลไม้แบบยกทรงได้ ติดตั้งใบมีดตัดหญ้าขนาด กว้าง 5.5 cm ยาว 50 cm (Figure 6b)

2.1.6 ทำการทดสอบตัดหญ้าในสนามหญ้า (Figure 7a) และสวนผลไม้แบบยกทรง (Figure 7b) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สำหรับขับใบมีดตัดหญ้า 1500, 2000 และ 2500 rpm ตามลำดับ จำนวน 3 ซ้ำ

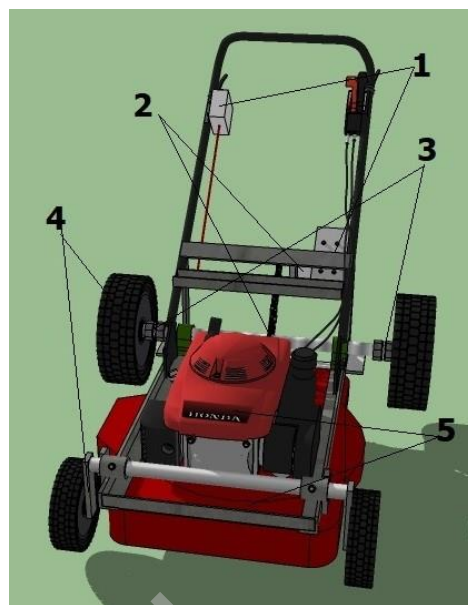


Figure 1 Walking mower with cordless electric driving system. 1) power system 2) transmission system 3) spiral clutch 4) wheel and leveler 5) engine mower and grass cutting blade.



Figure 2 Speed control unit.

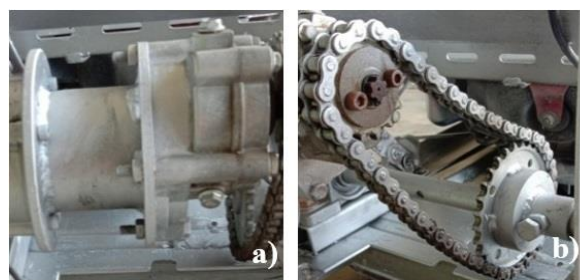


Figure 3 Transmission system a) gear reducer b) chain and sprocket.



Figure 4 a) spiral clutch b) hand squeeze.



Figure 5 Wheel a) rear wheel b) front wheel and level adjustable.



Figure 6 a) 5.5 hp engine b) grass cutting blade.



Figure 7 a) cutting at filed grass b) cutting at orchard.

2.2 ทฤษฎีการออกแบบ

ในการคำนวณการออกแบบอัตราทด (M_w) กำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อน ในการคำนวณอัตราทดของชุดขับเคลื่อนอยู่ที่ 350 rpm ผ่านชุดทดเกียร์ที่มีอัตราทด 5:1 ได้ความเร็วรอบที่ออกจากชุดทดเกียร์ 70 rpm ส่งกำลังต่อมาที่ชุดเฟืองโซ่ที่มีเฟืองขับ 15 ฟัน เฟืองตาม 30 ฟัน เพลาคขับเคลื่อนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 35 rpm ส่งกำลังไปยังล้อขับเคลื่อนขนาด

13x3 inch ซึ่งเมื่อล้อยหมุน 1 รอบ ได้ระยะทางประมาณ 1.04 m หาอัตราทด (M_w) ได้จากสมการที่ (1)

$$M_w = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

เมื่อ M_w = อัตราทด

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลย์ตัวขับ หรือ

จำนวนฟันเฟืองตัวขับ

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลย์ตัวตาม

หรือ จำนวนฟันเฟืองตัวตาม

N_1 = ความเร็วรอบของตัวขับ

N_2 = ความเร็วรอบของตัวตาม

$$M_w = \frac{30T}{15T} = 2$$

$$N_2 = \frac{70\text{rpm}}{2} = 35 \text{ rpm}$$

หาความเร็วในการเคลื่อนที่ (V_f) โดยใช้สมการที่ (2)

$$V_f = \frac{s}{t} \quad (2)$$

เมื่อ V_f = ความเร็วในการเคลื่อนที่ (km h^{-1})

s = ระยะทาง (m)

t = เวลา (s)

$$V_f = \frac{35 \text{ rpm} \times 1.04 \text{ m} \times 60 \text{ min h}^{-1}}{1000 \text{ m km}^{-1}}$$

$$= 2.18 \text{ km h}^{-1}$$

หากำลังงานขับเคลื่อน (P_M) ของมอเตอร์ไฟฟ้าจากสมการที่ (3)

$$P_M = \frac{2\pi NT}{60} \quad (3)$$

เมื่อ P_M = กำลังของมอเตอร์ (W)

N = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

T = แรงบิด (Nm)

$$T = \frac{(250\text{w})(60)}{2\pi \times 350\text{rpm}} = 6.28 \text{ Nm}$$

แรงบิดที่ได้จะช่วยให้เครื่องตัดหญ้าเดินทางตามแบบไฟฟ้าไร้สาย มีอัตราเร่งที่ดีกว่าการใช้แรงจากมอเตอร์อย่างเดียวโดยไม่มีอัตราทด ไม่มีแรงบิด ทำให้สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีหญ้าหนาและสูงได้ดี

2.3 การออกแบบและการทำงานของชุดสไปรอลคลัตช์ ในเครื่องตัดหญ้าเดินทางขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

ชุดสไปรอลคลัตช์ สำหรับบังคับเลี้ยวออกแบบให้มีลักษณะเป็นเฟืองแบบฟันปลาขบกัน สามารถหมุนฟรีอิสระจากกันได้ 1 ทิศทางป้องกันเครื่องตัดหญ้าถอยหลังเพื่อความปลอดภัยในการทำงานในขณะส่งกำลังเฟืองฟันปลาจะขบกันทำหน้าที่ส่งกำลังจากเพลาลูกโซ่ไปยังล้อขับเคลื่อน (Figure 8a) เมื่อต้องการบังคับเลี้ยวด้านใดด้านหนึ่งสามารถใช้มือบีบด้านที่ต้องการเลี้ยวขึ้นเพื่อปลดกำลังจากชุดสไปรอลคลัตช์ ทำให้เฟืองฟันปลาจากกันกำลังที่ถูกส่งมาจากเพลาลูกโซ่จะไม่สามารถส่งไปยังล้อขับเคลื่อนได้ ความเร็วของล้อด้านที่ใช้มือบีบจะเป็น 0 rpm ทำให้ความเร็วของล้อทั้งสองข้างไม่เท่ากัน ทำให้เครื่องตัดหญ้าเดินทางขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายสามารถเลี้ยวได้โดยสะดวกในขณะทำงาน (Figure 8b) เครื่องตัดหญ้าแบบไฟฟ้าไร้สายจะสามารถถอยหลังได้โดยการออกแรงดึงถอยหลังในขณะที่ปลดกำลังของสไปรอลคลัตช์ทั้งสองข้าง

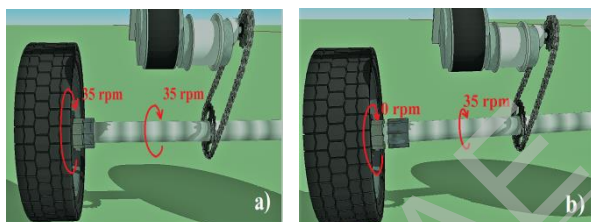


Figure 8 The work of spiral clutch show a) engage transmission b) disengage transmission.

2.4 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดหญ้าเดินทางขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

ทดสอบโดยทำการเก็บค่าความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงทดสอบในสนามหญ้า และแปลงทดสอบแบบสวนผลไม้แบบกร่องโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมขนาด 50 x 50 cm ทำการสุ่มนับจำนวนต้นของวัชพืช 3 ซ้ำ ต่อการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยวัดระยะทางในการทดสอบเป็นระยะทาง 20 m ติดตั้งไซริงค์ (Syringe) ขนาด 60 ml ที่ถังน้ำมันเพื่อวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องตัดหญ้า และวัดอัตราการใช้ไฟฟ้าจากโดยใช้แอมป์มิเตอร์พร้อมทั้งจับเวลาในการทดสอบในแต่ละรอบ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยการทดสอบใช้ผู้ปฏิบัติงานคนเดียวกันหาความเร็วในการเคลื่อนที่ (V_f) ในการทดสอบแต่ละรอบจากสมการที่ (2)

หาปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อไร่ (F_c) ของชุดตัดหญ้าจากสมการที่ (4)

$$F_c = \frac{F_{cr}}{F_w} \quad (4)$$

เมื่อ F_c = ปริมาณใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ($L \text{rai}^{-1}$)

F_{cr} = อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ($L \text{h}^{-1}$)

F_w = ความสามารถในการทำงานต่อไร่ (rai h^{-1})

นำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาความสามารถในการทำงานต่อไร่ (F_w) จากสมการที่ (5)

$$F_w = \left(\frac{V_f \times 1000 \times w}{1600} \right) (E_{fc}) \quad (5)$$

เมื่อ V_f = ความเร็วเคลื่อนที่ขณะตัด (km h^{-1})

w = ความกว้างในการตัด (m)

E_{fc} = ประสิทธิภาพการทำงาน (%)

กำหนดให้ $E_{fc} = 0.825$

วัดอัตราการใช้ไฟฟ้าของมอเตอร์ชุดขับเคลื่อนของรถตัดหญ้าโดยใช้แอมป์มิเตอร์วัด และหาค่ากำลังไฟฟ้า (P) จากสมการที่ (6)

$$P = EI \quad (6)$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (W)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

E = แรงดันไฟฟ้า (V)

หาการใช้หน่วยไฟฟ้า (E_u) จากสมการที่ (6) จากนั้นหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ (Baht) จากสมการที่ (7)

$$E_u = P_t \quad (7)$$

เมื่อ E_u = หน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh)

P = กำลังไฟฟ้า (W)

t = เวลา (h)

หาค่าไฟฟ้า (E_b) จากสมการที่ (8)

$$E_b = E_u E_c \quad (8)$$

เมื่อ E_b = ค่าไฟฟ้า (bath)

E_u = หน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh)

E_c = ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (bath kWh^{-1})

2.5 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วันชัย และขุ่ม (2538) กล่าวว่าเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการ หรือบริการ ซึ่งมีความมุ่งหมายเพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่า และก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายในที่นี้คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อ หรือไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกัน โรงเรือน และอื่น ๆ

2.5.1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

2.5.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการ คือค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost; FC) คือค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุน ในเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงตัดหญ้า

2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost; VC) คือค่าใช้จ่าย ที่แปรไปตามปริมาณการผลิตเช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณวัชพืชที่กำจัดด้วยเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงตัดหญ้า

2.5.3. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย (Average Cost; AC) ในการกำจัดวัชพืชในแปลงตัดหญ้า

$$AC = FC + VC \quad (9)$$

เมื่อ AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการกำจัดวัชพืช (Baht Year⁻¹)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงตัดหญ้า (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M) ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

$$D = \frac{(P - S)}{L} \quad (10)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

$$R = \left(\frac{(P + S)}{2} \right) \times i \quad (11)$$

โดยที่ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องกำจัดวัชพืช (Baht)

L = อายุการใช้งานเครื่องกำจัดวัชพืช = 10 (year)

S = ราคาเครื่องมือใช้งานครบ 10 ปี = 0.1P (Baht)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (Baht year⁻¹)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (Baht year⁻¹)

i = อัตราดอกเบี้ยที่ 10% ต่อปี

2.5.4. จุดคุ้มทุน

Blank and Tarquin (1998) เสนอสมการหาจุดคุ้มทุนไว้ดังนี้

$$BEPS = \frac{FC}{(SUU - VCU)} \quad (12)$$

เมื่อ BEPS = จุดคุ้มทุน (rai year⁻¹)

VCU = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (Baht year⁻¹)

SUU = ค่าจ้างต่อหน่วย (Baht rai⁻¹)

2.5.5. ระยะเวลาในการคืนทุน

$$PBP = \frac{MC}{p} \quad (13)$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

MC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่อง (Baht)

p = กำไร (Baht)

2.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายด้วยวิธีทางสถิติ

การประเมินคุณภาพของระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายในรถตัดหญ้าเดินตามพิจารณาจากความเร็วรอบของใบมีดตัดหญ้า ความเร็วการเคลื่อนที่ (V_f) ความสามารถในการทำงานต่อไร่ (F_w) และค่าใช้จ่ายต่อไร่ ด้วยการวิเคราะห์แบบ Completely Randomized Design (CRD) และทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรม SPSS version 11.5

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบการตัดหญ้าของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

จากการสุ่มนับความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงทดสอบสนามหญ้า และในสวนผลไม้แบบยกทรง มีความหนาแน่นอยู่ที่ 968 plant m⁻² โดยส่วนใหญ่จะเป็นหญ้าหนวดฤๅษี และหญ้าตีนกา มีความสูงตั้งแต่ 20 – 50 cm และ 1114 plant m⁻² โดยส่วนใหญ่จะเป็นหญ้าตีนกา หญ้ากะเม็ง และหญ้าเถาต่างๆ มีความสูงตั้งแต่ 20 – 60 cm ตามลำดับ จาก Table 1 พบว่าความเร็วเครื่องยนต์สำหรับขับใบมีดตัดหญ้าที่ 2500 rpm เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย สามารถทำงานตัดหญ้าได้ดีที่สุด เพราะตัดหญ้าขาดได้เรียบร้อยสม่ำเสมอที่สุด ทั้งการตัดในสนามหญ้า และสวนผลไม้แบบยกทรง แต่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ในการตัดในสนามหญ้าที่เหมาะสมที่สุด คือ 2000

rpm เนื่องจากการใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 2500 rpm จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงในการทำงานมากเกินความจำเป็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของเกษตรกรผู้ปฏิบัติงาน

3.2 ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานต่อไร่ของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

จากผลการทดสอบการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องตัดหญ้าเดินตามด้วยไฟฟ้าไร้สายในสนามหญ้า และในสวนผลไม้แบบยกทรงที่เงื่อนไขความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 rpm มีความเร็วการเคลื่อนที่ คือ 2.64 และ 1.78 km h⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าความเร็วการเคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ การทดสอบในสนามเป็นพื้นที่เรียบทำให้สามารถใช้ความเร็วได้ดี และสามารถปรับความสูงของเครื่องตัดหญ้าให้สามารถตัดหญ้าได้สั้นมากกว่าการทดสอบในสวนผลไม้แบบยกทรง และเนื่องจากแปลงทดสอบในสวนผลไม้แบบยกทรงเป็นพื้นที่ที่ยากต่อการทำงานทำให้การใช้ความเร็วในการทำงานได้ช้าลง แต่ก็สามารถทำงานได้ดี พร้อมทั้งสามารถตัดหญ้าที่มีความสูง และมีความหนาแน่นได้ดี

ผลการทดสอบอัตราการใช้ไฟฟ้าสำหรับการเคลื่อนที่ของรถตัดหญ้าเดินตามแบบไฟฟ้าไร้สายในสนามหญ้า และในสวนผลไม้แบบยกทรง ที่เงื่อนไขความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 rpm คือ 0.70 และ 1.58 kWh rai⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติ อัตราการใช้ไฟฟ้าต่อไร่ มีความแตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง คือ 0.71 และ 1.36 L rai⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง มีความแตกต่างกันแบบไม่มีนัยสำคัญ ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานต่อไร่ คือ 0.68 และ 0.46 rai h⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าความสามารถในการทำงานต่อไร่มีความแตกต่างกันแบบไม่มีนัยสำคัญ (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าเดินตามแบบระบบส่งกำลังการขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์ ที่มีขนาด กว้าง 117 cm ยาว 210 cm สูง 116 cm ซึ่งมีระบบเกียร์ส่งกำลังหลายชั้น มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก ทำงานไม่คล่องตัว ความเร็วการเคลื่อนที่สูงสุดที่ 1.039 km h⁻¹ สามารถทำงานได้ได้สูงสุดที่ 0.38 rai h⁻¹ (ศรีณย์, 2552) เปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าใบมีดเกลียว มีหน้ากว้างในการตัดหญ้า 40 cm ความเร็วการเคลื่อนที่ 2.88 km h⁻¹ มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 0.46 rai h⁻¹ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ในปี 2557 (Nkakini and Yabefa, 2014) พบว่าเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายนี้ มีขนาดเล็กกว่าและสามารถทำงานได้ดีกว่าและเมื่อเปรียบเทียบกับ รถตัดหญ้าบังคับวิทยุ โดยใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเหวี่ยง เครื่องยนต์ 4 จังหวะ 3.5 hp เป็นต้นกำลัง หน้ากว้างการตัด 42 cm สามารถทำงานได้เฉลี่ย 0.24 rai h⁻¹ (นกนกัญญากร และคณะ, 2563) ที่มีรัศมีในการควบคุมเป็นข้อจำกัดในการ

ทำงาน และไม่สามารถบังคับให้ทำงานในสวนผลไม้แบบยกทรงได้ เนื่องจากการทำงานในสวนผลไม้แบบยกทรงมีความจำเป็นที่เกษตรกรต้องควบคุมเครื่องตัดหญ้าในระยะใกล้อยู่ตลอดเวลาในการทำงาน

3.3 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย

ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อไร่ในการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายในสนามหญ้า และสวนผลไม้แบบยกทรง ที่เงื่อนไขความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2500 rpm มีค่าใช้จ่ายรวมต่อไร่ คือ 25.66 และ 34.37 baht rai⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อไร่ ในการตัดหญ้าในสนามที่ระดับความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm สูงกว่าการใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 และ 1500 rpm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายรวมต่อไร่ในการตัดหญ้าในสวนผลไม้แบบยกทรงของการใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ทั้ง 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การตัดในสวนผลไม้แบบยกทรง มีอุปสรรคในการทำงานมาก เช่น สภาพพื้นผิวในการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ หญ้าขึ้นหนา ขนาดของร่องสวนแคบ มีกิ่งไม้ รากของต้นไม้เป็นจำนวนมาก การใช้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สำหรับขับใบมีดตัดหญ้าที่สูง จะให้คุณภาพในการตัดหญ้าได้ดีกว่าการใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ การตัดด้วยความเร็วรอบของเครื่องยนต์สำหรับขับใบมีดตัดหญ้าที่ต่ำในบางครั้งไม่สามารถตัดวัชพืชให้ขาดได้

เมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้าระบบขับเคลื่อนของเครื่องตัดหญ้า จากการทำงานในสวนผลไม้แบบยกทรง เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2500 และ 2000 rpm นั้น ประหยัดกว่าการใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อัตรา 1.06, 1.05 และ 1.08 baht rai⁻¹ ตามลำดับ หากพิจารณาจากค่าใช้จ่ายภาพรวมพบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าไฟฟ้าจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์สำหรับขับใบมีดตัดหญ้าที่สูงสามารถเคลื่อนที่ได้ไวกว่าเพราะสามารถตัดวัชพืชให้ขาดได้ดีกว่าและค่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลในการคิดค่าใช้จ่ายมากกว่าค่าไฟฟ้า (Table 3)

3.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาในการสร้างเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย 21,800 Baht (Table 4) ได้รับการประเมินจากผู้ผลิตเครื่องตัดหญ้า (Table 1) อายุการใช้งานของเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย พิจารณาที่ 10 year โดยการประเมินอัตราดอกเบี้ย 10% ค่าเสื่อมราคา 1962 Baht year⁻¹ คิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่ 3161 Baht year⁻¹ จากการทดสอบผู้ใช้ 1 คน สามารถทำงานในสนามหญ้าและในสวนผลไม้แบบยกทรง 0.68 และ 0.46 rai h⁻¹ ตามลำดับ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.70 และ 1.58 kWh h⁻¹ ตามลำดับ อัตราการใช้น้ำมัน

เชื้อเพลิง 1.10 และ 1.49 L rai⁻¹ ตามลำดับ คิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ที่หน่วยละ 5 Bath ค่าน้ำมันลิตรละ 30 Baht ทำงานวันละ 8 h ปีละ 300 day ค่าจ้างแรงงานในการรับจ้างตัดหญ้าวันละ 300 Baht หรือเท่ากับ 90,000 Baht year⁻¹ ค่าไฟฟ้า 5,712 และ 8,722 Baht year⁻¹ ตามลำดับ ค่าน้ำมัน 53,856 และ 49,349 Baht year⁻¹ ตามลำดับ คิดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปรหรือต้นทุนผันแปร 153,408 และ 151,911 Baht year⁻¹ ตามลำดับ ดังนั้น ต้นทุนรวมของเครื่องทั้งหมด 156,569 และ 155,072 Baht

year⁻¹ ตามลำดับ นำเครื่องตัดหญ้าเดินตามซบเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ไร่สายนี้ไปรับจ้างทำงานตัดหญ้า กำหนดให้ค่ารับจ้างในการตัดหญ้า 220 และ 300 Baht rai⁻¹ ตามลำดับ จะได้ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง 512 และ 507 Bath day⁻¹ ตามลำดับ ระยะเวลาคืนทุน 41 และ 46 day ตามลำดับ และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 30 และ 19.5 rai year⁻¹ ตามลำดับ

Table 1 Grass cutting efficiency of walking lawn mower cordless electric driving system.

Test Area	Engine speed (rpm)	(Grass cutting efficiency)		
		Result 1	Result 1	Result 1
Field Grass	1500	1	2	2
	2000	2	3	3
	2500	3	3	3
Raised Orchards	1500	1	2	1
	2000	2	3	2
	2500	3	3	3

Note: level 1 not cut; level 2 rouhty cut; level 3 clean cut

Table 2 Ability to work of cordless electric driving system for walking mower.

Test Area	Engine speed (rpm)	Parameter (unit)			
		Movement speed (km h ⁻¹)	Ability to Work (rai h ⁻¹)	Fuel consumption (L rai ⁻¹)	Electricity consumption (kWh rai ⁻¹)
Field Grass	1500	2.02±0.12 ^a	0.52±0.03 ^a	0.71±0.12 ^a	1.15±0.15 ^b
	2000	2.18±0.07 ^a	0.56±0.02 ^a	0.84±0.11 ^a	1.01±0.07 ^b
	2500	2.64±0.12 ^b	0.68±0.03 ^b	1.10±0.11 ^b	0.70±0.06 ^a
Raised Orchards	1500	1.23±0.07 ^a	0.32±0.02 ^a	1.36±0.20 ^a	3.34±0.28 ^c
	2000	1.42±0.09 ^b	0.37±0.03 ^a	1.42±0.11 ^a	2.41±0.31 ^b
	2500	1.78±0.13 ^c	0.46±0.04 ^b	1.49±0.30 ^a	1.58±0.23 ^a

Note: Difference lowercase superscripts in the same column are significantly difference (p<0.05) by Duncan's multiple range test

Table 3 Cost of cordless electric driving system for walking mower.

Test Area	Engine speed (rpm)	Parameter (unit)		
		Fuel cost (baht rai ⁻¹)	Electricity cost (baht rai ⁻¹)	Total cost (L rai ⁻¹)
Field Grass	1500	16±2.31 ^a	1.00±0.01 ^a	16.93±2.51 ^a
	2000	19±2.89 ^a	1.04±0.01 ^b	19.86±2.50 ^a
	2500	25±2.31 ^b	1.04±0.015 ^b	25.66±2.50 ^b
Raised Orchards	1500	30±4.50 ^a	1.08±0.02 ^b	31.49±4.32 ^a
	2000	32±2.89 ^a	1.05±0.02 ^{ab}	32.90±2.52 ^a
	2500	33±6.66 ^a	1.06±0.01 ^a	34.37±6.63 ^a

Note: Difference lowercase superscripts in the same column and are significantly difference (p<0.05) by Duncan's multiple range test

Table 4 Cost of making a prototype cordless electric walk-behind mower.

Item	Cost (Baht)
Lawn mower frame and engine	13,000
Two 12 V 10 Ah dry batteries	1,300
24 V electric motor	850
Two 13 inch rubber wheels	700
Two 8 inch rubber wheels	600
Two wheels axle	600
Motor speed control	250
Transmission chain sprocket and spiral clutch	3,000
Other expenses	1,500
ToTal	21,800

4 สรุป

เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย สามารถปฏิบัติงานได้ดีทั้งสนามหญ้า และในสวนผลไม้แบบยกทรง มีความสามารถในการทำงานที่ดีที่สุดที่เงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm มีความเร็วเคลื่อนที่ 2.64 และ 1.78 km h⁻¹ ตามลำดับ ความสามารถในการทำงานต่อไร่ 0.68 และ 0.46 rai h⁻¹ ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายในการทำงานต่อไร่ 25.66 และ 34.37 baht rai⁻¹ ตามลำดับ และการทดสอบในสนามหญ้าสามารถใช้ความเร็วเครื่องยนต์ที่ 2000 rpm เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้อีกโดยมีค่าใช้จ่ายต่อไร่คือ 19.86 baht rai⁻¹ และเป็นความเร็วที่เพียงพอในการทำงานในสนามหญ้า แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานในการเลือกใช้ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำงานต่อไร่ นั้น เป็นค่าใช้จ่ายที่น้อยมาก ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 year เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายทำงาน 2400 h มีค่าใช้จ่ายจากการทำงานในสนามหญ้า และสวนผลไม้แบบยกทรง 156,569 และ 155,072 Baht year⁻¹ ตามลำดับ ระยะเวลาในการคืนทุน 41 และ 46 day ตามลำดับ และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 30 และ 19.5 rai year⁻¹ ตามลำดับ เครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้านี้ ยังช่วยลดการใช้แรงงานของเกษตรกรผู้ปฏิบัติงานได้ เพราะไม่ต้องออกแรงขึ้นในขณะทำงาน มีชุดสไปรอลคลัทช์ และมือบีบช่วยในการบังคับเลี้ยวและถอยหลัง จึงช่วยผ่อนแรงและอำนวยความสะดวกของเกษตรกรผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ทำงานได้คล่องตัวมากขึ้น อีกทั้งตัวเครื่องตัดหญ้ามี่ขนาดเล็ก จึงสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไปทำงาน

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6 เอกสารอ้างอิง

- กนกกัญญากรณ พรวราขจรกุล, ชาญวิทย์ ราชกระโทก, เตมีย์ วงษ์ศรี, ศุภวัชร นิยมพันธุ์. 2563. รถตัดหญ้าบังคับวิทยุ. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 5(2), 51-60.
- เจนวิทย์ จิตรใจเย็น. 2560. การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามสำหรับสวนผลไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2540. วัชพืชศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ลิ้นคอรัน.
- พิสุทธ์ เอกอานวย. 2553. โรคและแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ. เชียงใหม่: สวนสัตว์แมลงสยาม พิมพ์ครั้งที่ 3
- มงคล กวางวโรภาส. 2537. การวิจัยและพัฒนาการตัดหญ้าชนิดนั่งขับขนาดเล็ก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. 28(4), 608-615.
- รัชดากร พลภักดี. 2551. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการป้องกันการกำจัดศัตรูพืช ภาคทฤษฎี. ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วันชัย ริจิรวนิช, ช่อม พลอยมีค่า. 2538. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- วรวิมล แก่นแก้ว, เวชพล ตันเจริญ, อุทัย สันบุญ. 2549. การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามสำหรับสวนผลไม้. โครงการวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต กำแพงแสน.
- ศรัณย์ ธงสันเทียะ. 2552. การศึกษาและพัฒนาเครื่องตัดหญ้าอาหารสัตว์แบบเดินตามเพื่อเกษตรกรรายเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สกล นันทศรีวิวัฒน์. 2548. การพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุ
บังคับ. งานวิจัยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราช
ภัฏเทพสตรี.

อำไพ ยงบุญเกิด. 2520. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนไทยโดย
พระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 3 เรื่อง
ที่ 8 วัชพืช ความเสียหายที่เกิดจากวัชพืช.

Adebika, O.A., Adebayo, S.D. 2020. Design and fabrication
of a solar operated lawn mower. International Journal
of Innovative Science and Research Technology.
Journal of Stored Products Research 5, 1161-1166.

Blank, L.T., Tarquin, A.J. 1998. Engineering economy, (4th
ed.). McGraw-hill, Singapore.

Nkakini, S.O., Yabefa, B.E. 2014. Design fabrication and
evaluation of a spiral blade lawn mower, Faculty of
Engineering, Nigeria: Rivers State University of Science
and Technology.

TSAE Journal



เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล

Semi-Automatic Coconut Dehusking Machine Controlled by Programmable Logic Controller

บุญฤทธิ์ บัวระบัด^{1*}, ไกรสร รวยป้อม¹Boonyarid Buarabut^{1*}, Krisorn Ruaypom¹¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี, จันทบุรี, 22210¹Department of Mechanical Technology, Faculty of Agricultural Industrial Technology, Raja Mangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus, Chanthaburi, 22210

*Corresponding author: Tel: +66-8-7148-3234, E-mail: boonyarid_bu@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมีความสูง 210 cm ความกว้าง 80 cm ความยาว 100 cm น้ำหนัก 75 kg ความยาวใบมีด 10 cm และมีระยะชักลูกสูบสูงสุด 30 cm ทำงานโดยปั๊มไฮดรอลิกส์ DC 24 Volt 2 kw ขนาดความจุ 0.01 m³ ตันกระบอกสูบไฮดรอลิกส์แบบสองทาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm จำนวน 2 กระบอก ด้วยอัตราการไหล 0.1383 m³ s⁻¹ มีความเร็วกระบอกสูบ 4.2 m s⁻¹ ใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ ทำการทดสอบกับมะพร้าว 100 nuts พบว่ามีความสามารถในการปอกเปลือกมะพร้าวเฉลี่ย 10.68 s nut⁻¹ มีค่าความสามารถของเครื่องเฉลี่ย 336 nuts h⁻¹ มีเปลือกมะพร้าวติดค้างเฉลี่ยน้อยกว่า 20 % ประสิทธิภาพของเครื่องโดยรวม 96.75 % โดยมีจุดคุ้มทุนที่ 79.6 h year⁻¹ และมีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรที่ 1.6 เดือน

คำสำคัญ : มะพร้าว, เครื่องปอก, ไฮดรอลิกส์, กึ่งอัตโนมัติ

Abstract

This research aims to create and evaluate the performance of a semi-automatic coconut dehusking machine controlled by a Programmable Logic Controller (PLC). The machine-specific features are height 210 cm Width 80 cm, Length, 100 cm, Weight 75 kg, Blade length 10 cm, and maximum stroke cylinder 30 cm Hydraulic system (DC 24 Volt 2 kw and 0.010 m³ tank capacity) was used as power unit to drive 2 double-acting cylinders of 2.54 cm diameter with a flow rate of 0.1383 m³ s⁻¹ and speed of 4.2 m s⁻¹ PLC was selected to controlled the device in this system. Test results with 100 nuts coconuts sample found that the dehusking time is 10.68 s nut⁻¹, operating capacity is 336 nut h⁻¹ the husk remained on nut is less than 20% and Overall Equipment Effectiveness (OEE) is 96.75% The break-even point period is 79.6 h year⁻¹ when operate at 1.6 months.

Keywords: Coconut, Dehusking machine, Hydraulic, Semi-Automatic

1 บทนำ

ปัจจุบัน ความต้องการมะพร้าวทั้งในประเทศและต่างประเทศนั้นมีความต้องการสูงมาก เนื่องด้วยสามารถนำไปแปรรูปได้หลากหลายทั้งอาหารคาว อาหารหวาน และผลิตภัณฑ์เสริมความงาม ซึ่งล้วนต้องใช้มะพร้าวเป็นส่วนประกอบในการผลิตทั้งสิ้น และยังมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นทุกปี สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2563) ได้คาดการณ์ความต้องการและปริมาณผลผลิตมะพร้าวในปี พ.ศ.2564 ว่ามีปริมาณภาพรวมผลผลิต

ใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2563 ซึ่งมีผลผลิต 0.846 ล้านตัน มีความต้องการใช้มะพร้าว 1.092 ล้านตัน แบ่งเป็นใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปกะทิสำเร็จรูป 73 % มะพร้าวชูด 25 % และอื่น ๆ 2 % สถาบันวิจัยพืชสวน (2563) ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์มะพร้าวไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ในปี พ.ศ.2562 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปมากที่สุด โดยมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 12,766 ล้านบาท ประเทศคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย แคนาดา เนเธอร์แลนด์ และ เยอรมนี จาก

Received: June 22, 2021

Revised: October 27, 2021

Accepted: October 27, 2021

Available online: March 18, 2022

ความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น และโอกาสทางธุรกิจที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะช่วยให้เกษตรกรที่ปลูกมะพร้าว และผู้ประกอบการมีศักยภาพในการดำเนินธุรกิจและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยการลดระยะเวลาในการแปรรูป (ปอกเปลือกนอก) และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รวมถึงลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน เนื่องด้วยปัจจุบันการปอกเปลือกมะพร้าว มีทั้งการใช้แรงงานคนและเครื่องจักร โดยเฉพาะเครื่องจักรที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นเครื่องที่ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องจักร และการส่งกำลังเป็นแบบโซ่ และสายพาน ซึ่งค่อนข้างอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวนั้นมีตั้งแต่การใช้เครื่องทุ่นแรงที่ไม่ใช่เครื่องต้นกำลัง (S.D.S et al. 2016) ได้สร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวโดยไม่ใช้เครื่องจักรต้นกำลัง ซึ่งมีความสามารถในการปอกเปลือกมะพร้าวได้ 105 nuts h^{-1} และมีการนำเครื่องจักรมาเป็นต้นกำลังโดย (Yohanes, 2016) ได้ทำการศึกษาวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนลูกกลิ้งใบมีดทำการปอกเปลือกมะพร้าวให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าด้วยหลักการ Quality Function Deployment (QFD) ซึ่งเครื่องปอกสามารถทำได้ตามความต้องการ จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเครื่องพรวนลักษณะในการปอกเปลือกมะพร้าว จำเป็นต้องใช้แรงที่ตึงมากในการปอกเปลือก ซึ่งจะช่วยลดแรงที่ใช้ในการปอกเปลือกได้ และช่วยลดปริมาณการเกิดเส้นใยที่ผิวของมะพร้าว (ชัยยะ และ ศิวลักษณ์, 2562) ซึ่งปัจจุบันมีการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวโดยอาศัยหลักการทำงานด้วยการหมุนของชุดลูกกลิ้งใบมีดปอกเปลือกมะพร้าว ซึ่งหมุนและฉีกเปลือกมะพร้าวออกโดยสามารถทำการปอกเปลือกมะพร้าวได้ 16 nuts s^{-1} (นนทวัฒน์ และคณะ, 2562) และหลักการปอกเปลือกด้วยลูกกลิ้งใบมีด (Nwankwojike et al. 2012) ยังสามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ 79 nuts h^{-1} และมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 93.45% ซึ่งผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับงานของ (Jibin and Rajesh, 2012) ที่สามารถปอกเปลือกมะพร้าวด้วยเครื่องปอกเปลือกแบบลูกกลิ้งใบมีด $120\text{--}150 \text{ nuts h}^{-1}$ และจากการทดสอบ (Nijaguna, 1988) เครื่องจักรสามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ 250 nuts h^{-1} โดยเปรียบเทียบกับคนที่มีความชำนาญในการปอกโดยสามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้เพียง 75 nuts h^{-1} ซึ่งหากเปรียบเทียบกันแล้ว เครื่องจักรมีความสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการปอกเปลือกมะพร้าวที่ดีกว่า โดยปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการปอกเปลือกมะพร้าว ด้วยการนำระบบไฮดรอลิกส์เข้ามาใช้ในการปอกเปลือก โดย (มงคล, 2535) ได้ทำการปอกเปลือกมะพร้าวด้วยระบบไฮดรอลิกส์ ใช้เวลาในการปอก 22.2 s nut^{-1} ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถบ่งบอกได้ว่า เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานได้คุ้มค่ากับเวลา และเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวนั้นยังเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่ทำการแปรรูปมะพร้าวในเชิงอุตสาหกรรม และมีทิศทางการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวในอนาคตให้เป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ทุกขนาด (Dany, 2017)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (Programmable Logic Control, PLC) รวมถึงการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจลงทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของมะพร้าว

ศึกษาสมบัติต่างๆของมะพร้าวผลแก่ (มะพร้าวแก่) ที่มีอายุผลตั้งแต่ 11 เดือนขึ้นไป (มกษ. 18-2554) โดยผลมะพร้าวมีลักษณะ แบ่งเป็น 5 ชั้นคือ (1) Exocarp/Epicarp, (2) Mesocarp, (3) Endocarp, (4) Endosperm, (5) Embryo. (Fig. 1) (Victor, 2013) ใช้ผลมะพร้าวจำนวน 100 nuts นำมาทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของมะพร้าว ก่อนและหลังปอกเปลือก และวัดขนาดของกะลามะพร้าว ด้วยแถบวัดความยาว และจากการศึกษาสมบัติทางกลของแรงกดที่ใช้ในการเจาะเปลือกมะพร้าว ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ด้วยวิธีการกดแบบเกือบสถิตย์ โดยใช้หัวกดแบบแบน ขนาด 10 mm ความเร็วการกดคงที่ 100 mm min^{-1} พบว่ามีค่าเฉลี่ยของแรงกดที่สามารถเจาะเปลือกมะพร้าวได้ คือ 15.33 kg cm^{-2} (Terdwongworakul, 2009) (Fig. 2)

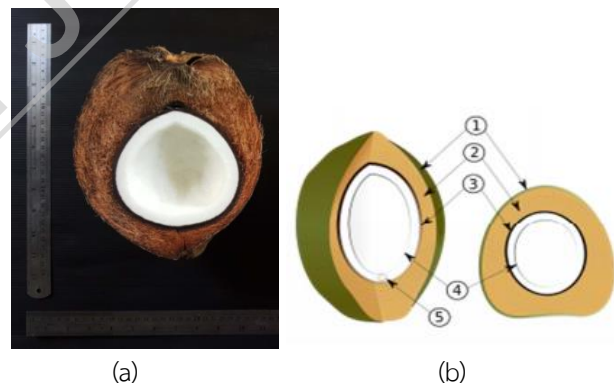


Figure 1 a) Dimension of coconut fruit and b) Layers of the coconut fruit.



Figure 2 Quasi-static compression test by Universal Testing Machine.

2.2 การสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล

สร้างด้วยเหล็กหน้าตัดจัตุรัสขนาด 50 x 50 มม. 2.5 มม. ชูกลาวไนซ์ มีความกว้าง 80 ซม. ความยาว 100 ซม. และมีความสูง 210 ซม.



Figure 3 The components of prototype machine.

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล มีข้อมูลจำเพาะของเครื่องดัง Table 1

Table 1 Specifications of the coconut dehusking machine.

	Dimension
Width	80 cm
Length	100 cm
Height	210 cm
Weight	75 kg
Blade length	10 cm
Stroke cylinder	30 cm

2.2.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล มีส่วนประกอบการทำงานที่สำคัญคือระบบส่งกำลัง (Fig. 3) (1) โดยรับกำลังมาจากปั๊มไฮดรอลิกส์ DC 24 Volt 2 kw ความจุถังน้ำมัน 0.01 m³ ส่งน้ำมันไฮดรอลิกส์ผ่าน Directional Control Valve 4/3 ควบคุมการทำงานวาล์วด้วยไฟฟ้า และส่งผ่านน้ำมันไฮดรอลิกส์เข้าสู่กระบอกลูกสูบที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm ซึ่งให้แรงดัน 260 kg cm⁻² เพียงพอต่อความต้องการในการใช้แรงสำหรับฉีกเปลือกมะพร้าวจากการทดสอบเบื้องต้นด้วย UTM ที่มีค่าทดสอบแรงกดในการฉีกเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 15.33 kg cm⁻² และทำการดันลูกมะพร้าวเข้าสู่ใบมีดปอกเปลือกมะพร้าว (Fig. 3) (2) ตามขนาดความสูงที่ตั้ง Limit Switch ไว้ และน้ำมันไฮดรอลิกส์อีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าสู่

กระบอกลูกสูบที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm เพื่อทำหน้าที่กดใบมีด ด้วยหลักการส่งแรงจากจุดศูนย์กลาง ขึ้นลงในแนวตรงผ่านตัวลูกปืนบริเวณข้อต่อเพื่อลดแรงเสียดทาน พร้อมทั้งกระจายแรงออกเท่ากันทุกด้าน จากนั้นจึงกางใบมีดออกเพื่อฉีกเปลือกมะพร้าว (Fig. 3) (3) และ (4) โดยควบคุมการทำงานชุดฉีกเปลือกมะพร้าวด้วย PLC แบบสวิทช์เท้าเหยียบ (Fig. 3) (5) และ (6) ด้วยวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง (Fig. 4)

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4} \quad (1)$$

โดยที่

A = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (cm²)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ (cm)

ความเร็วของลูกสูบ

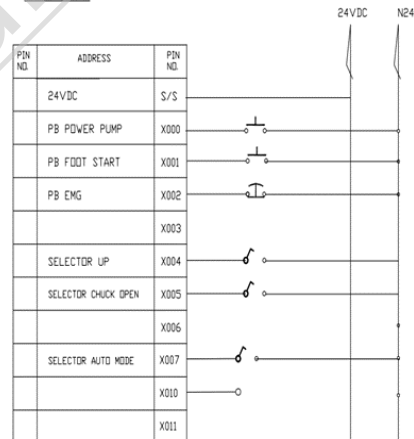
$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

โดยที่

V = ความเร็วของลูกสูบ (m min⁻¹)

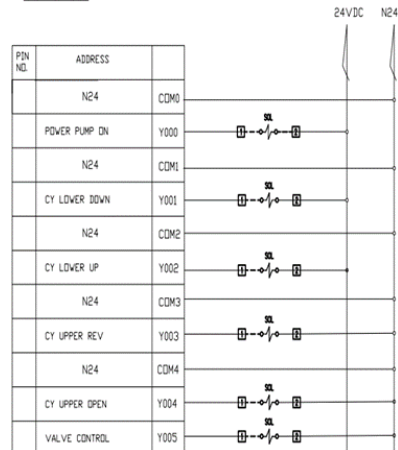
Q = อัตราการไหลของน้ำมันที่ไหลเข้าลูกสูบ (l min⁻¹)

FX 20MT



(a)

FX 20MT



(b)

Figure 4 Ladder Diagram a) Input b) Output.

Table 2 Variable to control using Ladder language with PLC program.

Category	Variable	Command
Input	X000	Start signal to Y000
	X001	Foot-pedal command system
	X002	Order cylinder 1 working send a signal to Y001
	X004	Order cylinder 2 working send a signal to Y002
	X005	Open valve send signal to Y003
Output	X007	Automatic on-off system send signals to Y004 and Y005
	Y000	Hydraulic pump starts
	Y001	Cylinder 1 moves down
	Y002	Cylinder 2 moves upwards
	Y003	Oil flow back to tank
	Y004	Open oil tank
	Y005	Working valve control unit

2.2.2 ตัวอย่างมะพร้าวที่ใช้ในการทดสอบ

ทำการทดสอบกับมะพร้าวพันธุ์ทับสะแก อายุการเก็บเกี่ยวไม่น้อยกว่า 11 เดือน โดยทำการคัดลูกมะพร้าวในการทดสอบจากความสูง 20-30 cm จำนวน 100 nuts ทำการทดสอบปอกเปลือกมะพร้าวด้วยวิธีการคละกัน แบบต่อเนื่อง ทดสอบและบันทึกข้อมูลโดยผู้สร้างเครื่องต้นแบบ

2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของลูกมะพร้าวและความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว

โดยใช้มะพร้าวในการทดสอบจำนวน 100 nuts วิเคราะห์ด้วยสมการ (3) (4) (5)

$$\text{Mean } (\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

$$\text{Standard Deviation (S.D.)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$\text{Coefficient of Variation (C.V.)} = \frac{\text{S.D.}}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่

$\sum_{i=1}^n x_i$ = ผลรวมของข้อมูลจากการวัดมะพร้าว (Diameter, Heigh)

n = จำนวนลูกมะพร้าว (100 nuts)

2.2.4 การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวต้นแบบ

ประเมินด้วยสมการ (6) (7) (8) (9) และ (10) (อนุศักดิ์, 2557) ดังนี้

$$\text{Availability Rate (A)} = \frac{L}{T} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Performance Efficiency (P)} = \frac{N}{T} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Quality Rate (Q)} = \frac{O}{q} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{OEE} = \frac{A}{100} \times \frac{P}{100} \times \frac{Q}{100} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{Capacity (C)} = \frac{c}{t} \quad (10)$$

โดยที่

T = เวลาที่เครื่องจักรปอกเปลือกมะพร้าว (h)

L = เวลาการเดินเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว (h)

N = เวลาเดินเครื่องสุทธิ (h) = (เวลาเดินเครื่องเปล่า - L)

O = จำนวนมะพร้าวที่ปอกเปลือกได้ตามข้อกำหนด (nut)

q = จำนวนมะพร้าวที่ปอกเปลือกทั้งหมด (nut)

OEE = Overall Equipment Effectiveness (%)

c = จำนวนมะพร้าว (nut)

t = เวลาในการปอกเปลือกมะพร้าว (h)

2.2.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วิเคราะห์การใช้เครื่องปอกเปลือกมะพร้าว ดังสมการ (11) และ (12) (จตุรงค์, 2563)

ระยะเวลาคืนทุนเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว (Pay-back period)

$$\text{PBP} = \frac{P}{R} \quad (11)$$

โดยที่

PBP = ระยะเวลาคืนทุน (year)

P = ราคาเครื่องจักร (Baht)

R = กำไรสุทธิต่อปี (Baht year⁻¹)

จุดคุ้มทุนเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว (Break-even point)

$$\text{BEP} = \frac{F_c}{B - V_c} \quad (12)$$

โดยที่

BEP = จุดคุ้มทุน (h year⁻¹)

Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht)

B = อัตราการรับจ้าง (Baht h⁻¹)

Vc = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Baht h⁻¹)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล

ทำงานโดยปั๊มไฮดรอลิกส์ DC 24 Volt 2 kw ความจุถึงน้ำมัน 0.01 m³ ไหลผ่าน Directional Control Valve 4/3 ควบคุมการทำงานวาล์วด้วยไฟฟ้า และส่งผ่านน้ำมันไฮดรอลิกส์เข้าสู่กระบอสูบที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm ด้วยอัตราการไหล 0.1383 m³ s⁻¹ ความเร็วกระบอสูบ 4.2 m s⁻¹ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1) และ (2) ทำการดันลูกมะพร้าวเข้าสู่ใบมีดปอกเปลือกมะพร้าว (Fig. 5a) ตามขนาดความสูงที่ตั้ง Limit Switch ไว้ และน้ำมันไฮดรอลิกส์อีกส่วนจะไหลเข้าสู่กระบอสูบที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm เพื่อทำหน้าที่กดใบมีดฉีกเปลือกลูกมะพร้าว (Fig. 5b) ด้วยอัตราการไหล 0.1383 m³ s⁻¹ ที่ความเร็วกระบอสูบ 4.2 m s⁻¹ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2) และทำให้เปลือกมะพร้าวถูกฉีกออก (Fig. 5c) ควบคุมการทำงานชุดฉีกเปลือกมะพร้าวด้วยระบบ PLC แบบสวิตซ์เท้าเหยียบ และนำมะพร้าวที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว (Fig. 5d) มาวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผลต่อไป

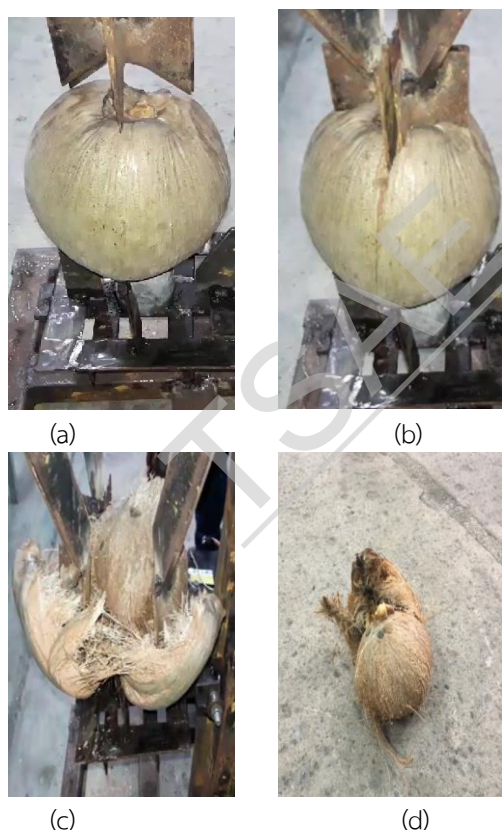


Figure 5 Operation of prototype a) Prepare the coconut on the dehusing b) Press blade c) Dehusing d) Dehusing coconut.

3.2 ลักษณะทางกายภาพของลูกมะพร้าวและความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว

จากการทดสอบมะพร้าวจำนวน 100 nuts ด้วยแรงกดเฉลี่ย 15.33 kg cm⁻² ได้ผลดัง Table 3

Table 3 Prototype capacity and dimension of coconut.

	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	%C.V.
Diameter	16.00	21.00	18.06	1.34	0.07
Heigh	20.00	30.00	25.37	2.54	0.10
Time	7.95	13.00	10.68	0.98	0.09
Capacity	276.92	452.83	336.81	32.49	0.95

3.3 การวัดประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลดัง Table 4

Table 4 Overall Machine Effectiveness (OEE).

Availability Rate (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
99.87	99.87	97.00	96.75

Table 5 Details and price to build a prototype.

Component	Price (Baht)
Structure	6,500
Hydraulic Pump	14,000
Directional Control Valve	9,500
Cylinder	7,000
Control box	3,000
Total	40,000

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล มีต้นทุนคงที่ 40,000 บาท ดัง Table 5 และค่าจ้างเมื่อรับจ้างปอกเปลือกมะพร้าวที่ราคา 0.6 Baht nut⁻¹ พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 1.6 month และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 79.6 h year⁻¹ หากทำการเปรียบเทียบกับวิธีการปอกแบบต่างๆที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น การปอกโดยคนที่สามารถปอกได้วันละเฉลี่ย 600-700 ลูกต่อคน (มติชน, 2557) การปอกโดยเครื่องแบบลูกกลิ้งที่สามารถปอกได้ 2,000 ลูกต่อวัน (Nijaguna, 1988) และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการทำงานกับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลที่สร้างขึ้นที่สามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ 2,688 ลูกต่อวัน ซึ่งมากกว่า ใช้คนปอกถึง 4 เท่า ผู้วิจัยจึงคาดหวังว่าหากนำเครื่องปอกเปลือก

มะพร้าวไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม จะเป็นผลดีกับเกษตรกรและ ผู้ที่สนใจ ในการเพิ่มรายได้อีกทางหนึ่ง

4 สรุป

เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรม เมเบิลลอจิกคอนโทรล ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการ ปอกเปลือกมะพร้าวเฉลี่ย 336 nuts h⁻¹ ที่ความเร็วในการปอก เปลือกเฉลี่ย 10.68 s nut⁻¹ มีความแปรปรวนของ ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางลูกมะพร้าว ความสูงลูกมะพร้าว เวลาในการปอก เปลือกมะพร้าว และความสามารถในการปอกเปลือกมะพร้าว “0.07, 0.10, 0.09 และ 0.95 ตามลำดับ” และมีเปลือกติดค้าง กับกะลามะพร้าวเฉลี่ยน้อยกว่า 20 % โดยมีระยะเวลาคืนทุนของ เครื่องจักรที่ 1.6 month และมีจุดคุ้มทุนที่ 79.6 h year⁻¹ ซึ่งผล การทดสอบมีทิศทางสอดคล้องกับ (นนทวัฒน์, และคณะ 2562) ที่สร้างและหาประสิทธิภาพของการปอกเปลือกมะพร้าวแห่ง แบบใช้ใบมีดหมุน โดยมีค่าความสามารถในการทำงานของเครื่อง ปอกเปลือกมะพร้าว 249.6 nut h⁻¹ ผลการประเมินประสิทธิภาพ การทำงานโดยรวมของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัติ ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลมีค่า 96.75 % ซึ่งมีความสามารถค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่าหากมีการนำเครื่อง ปอกเปลือกมะพร้าวกึ่งอัตโนมัตินี้ไปใช้ในการทำงาน หรือมีการ ประยุกต์การทำงานให้เป็นระบบอัตโนมัติ จะสามารถลด ค่าใช้จ่าย และเวลาในการดำเนินงานเพิ่มรายรับ รวมถึงเพิ่ม ศักยภาพในการผลิตให้กับผู้ประกอบการ สำหรับการแข่งขันทาง ธุรกิจได้

5 กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลตะวันออก ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางผู้วิจัยจึง ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

6 เอกสารอ้างอิง

จตุรงค์ ลังกาพันธุ์. 2563. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเบื้องต้น. ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. น. 2-5.
ชัยยะ จันทรา, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2562. การทดสอบหาสภาวะ ที่เหมาะสมของการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยเครื่องปอก แบบใบมีดชัก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 25(2), 28-35.
นนทวัฒน์ ลาภกุล, วิทยา ดาถ่า, ยุทธศิลป์ ชัยสิทธิ์. 2562. การ สร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวแห่ง.

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์ นวัตกรรมเพื่อชุมชน” ครั้งที่ 1 ประจำปี 2562, 169-172. เลย: คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. 20 เมษายน 2562, เลย.

มิติน. 2557. หญิงชุมพรทำได้ไม่น้อยหน้าผู้ชาย รวมตัวรับจ้าง ปอกมะพร้าว. แหล่งข้อมูล: <https://mgronline.com>. เข้าถึงเมื่อ 14 กันยายน 2564.

มาตรฐานสินค้าเกษตร. 2555. มะพร้าว. สำนักงานมาตรฐาน สินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. 8.

มงคล กวางวโรภาส. 2535. การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องปอก มะพร้าวไฮดรอลิกส์. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์) 26(4), 400-408.

อนุศักดิ์ ฉันทไพศาล. 2557. การบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร: ซี เอ็ดดูเคชั่น. น. 42-44.สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ราคามะพร้าวแกงพุ่ง 26

บาท/ผล เหตุฝนทิ้งช่วง ทำผลผลิตลด 40% คาด ปีหน้าราคายังสวຍ ระบุหากปลายปีนี้ได้รับน้ำฝนเพียงพอผลผลิตจะเพิ่มขึ้นได้อีก. ข่าวที่ 141/2563. ส่วนประชาสัมพันธ์. สำนักวิจัยเศรษฐกิจ การเกษตร. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th>. เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2563.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2563. สถานการณ์การผลิตมะพร้าว. กรม วิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 11 พฤษภาคม 2563.

Anaconda3 5.2.0. 2020. Python 3.6 Version. Available at: <https://www.Anaconda.com/download/> Accessed on 17 January 2020.

Terdwongworakul, A., Chaiyapong, S., Jarimopas, B., Meeklangsaen, W 2009. Physical properties of fresh young Thai coconut for maturity sorting. Biosystems Engineering 103 (2), 208-216.

Nijaguna, B.T. 1988. Coconut dehusker. Journal of Food Engineering. 8 (4), 287-301.

Thomas, D., Ajmal, K., Devassia, D. 2017. Design and fabrication of low cost coconut dehusking machine. International Journal of Engineering Research and General Science., 5 (3), 292-297.

Jacob, J., Rajesh, K. S. 2012. Design and fabrication of coconut dehusking machine. In 2012 International Conference on Green Technologies (ICGT) 155-159.

Piyatissa, S.D.S., Kahandage, P.D. 2016. Introducing an appropriate mechanical way for coconut Dehusking. Procedia Food Science 6, 228-229.

Nwankwojike B.N, Onuba O, Ogbonna U. 2012. Development of a Coconut Dehusking Machine for Rural Small Scale

- Farm Holders. International Journal of Innovative Technology & Creative Engineering. 3 (2), 1-7.
- Victor Emojevwe. 2013. Cocos nucifera (coconut) Fruit: A Review of Its Medical Properties. Advances in Agriculture, Sciences and Engineering Research: 3 (3), 718-723.
- Prashant, Y., Gopinath, C., Ravichandran, 2014. Design and development of coconut fiber extraction machine. SASTech-Technical Journal of RUAS, 13(1), 64-72.

TSAE Journal



การจัดลำดับความสำคัญของประตูระบายน้ำ กรณีศึกษาโครงการชลประทานปทุมธานี

Prioritization of Floodgate: Pathumthani Provincial Irrigation Office Case Study

พรณิภา ดั่งเกิด^{1,2 *} วรารุธ วุฒินิชย์¹ และไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์¹

Pannipa Duangkert^{1,2 *}, Varawoot Vudhivanich¹, Chaiyapong Theprasit¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, จังหวัดนครปฐม, 73140

² โครงการชลประทานปทุมธานี สำนักงานชลประทานที่ 11 กรมชลประทาน, จังหวัดปทุมธานี, 12130

¹ Department of Irrigation Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

² Pathumthani Provincial Irrigation Office, Regional Irrigation Office 11, Royal Irrigation Department, Pathumthani, 12130, Thailand

* Corresponding author: Tel: +66-85-601-2739, E-mail: Pannipa.du@ku.th

บทคัดย่อ

การจัดลำดับความสำคัญของประตูระบายน้ำ เพื่อจัดลำดับความสำคัญในการบำรุงรักษาและบริหารจัดการประตูระบายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ในการประเมินประตูระบายน้ำ ทั้ง 38 แห่ง ในพื้นที่รับผิดชอบของโครงการชลประทานปทุมธานี ภายใต้เกณฑ์การประเมินทั้งเกณฑ์หลักและรอง ซึ่งเกณฑ์การประเมินหลัก ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม แต่ละเกณฑ์การประเมินหลักจะมีเกณฑ์การประเมินรองที่มีรายละเอียดเพิ่มขึ้น ซึ่งผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่จะประเมินประสิทธิภาพของประตูระบายน้ำโดยการให้ค่าถ่วงน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ (ค่าน้ำหนักอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ 1 จะแสดงให้เห็นถึงความสำคัญมากที่สุด) ประกอบการจัดลำดับความสำคัญของประตูระบายน้ำต่อไป ผลการจัดลำดับความสำคัญของประตูระบายน้ำสูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ประตูระบายน้ำคลองบางหลวงเชียงราก (0.614) ประตูระบายน้ำคลองบ้านพร้าว (0.546) และประตูระบายน้ำคลองวัดดอกไม้ (0.385) ผลจากการศึกษานี้เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการและการวางแผนในการบำรุงรักษาประตูระบายน้ำ ในมิติของการจัดสรรบุคลากรและงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญโดยการพิจารณาหลายปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของประตูระบายน้ำ ใช้เป็นแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญในการบำรุงรักษาประตูระบายน้ำในพื้นที่อื่น ๆ

คำสำคัญ: การจัดลำดับความสำคัญ, การบำรุงรักษาประตูระบายน้ำ, วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Abstract

To facilitate proper management of floodgates, prioritization is essential to identify the ones that require more urgent attention. In this study, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is employed to analytically evaluate 38 floodgates in the responsible area of the Pathumthani Provincial Irrigation Office. The assessment criteria are pre-defined at two levels. The primary criteria include three broad categories, namely engineering, economic and social indicators. Each category is then branched into secondary indicators which are more tangible. Each indicator (primary and secondary) is given a weight based on its importance. To evaluate the performance, a scoring system is employed, where local water management experts rate the floodgates for each given indicator. Finally, the

Received: January 21, 2022

Revised: March 28, 2022

Accepted: March 29, 2022

Available online: May 21, 2022

individual scores are weighted and aggregated to an index (between 0 and 1, with 1 being the most prioritized floodgate), leading to a hierarchy in terms of the derived indices. Results reveal that the three most prioritized floodgates (indices in parentheses) are Bang Luang Chiang Rak (0.614), Ban Phrao canal (0.546) and Wat Dok Mai canal (0.385). Such results are useful for both management and planning, as it allows the authority to divert more attention to the maintenance of these floodgates and allocate manpower and funds accordingly when dealing with tight budgets. As demonstrated in the results, this methodology provides a comprehensive technique to evaluate the priority of the floodgates while considering multiple factors that can affect their performance. Being highly customizable, this method can be adapted to other study areas as well.

Keywords: Prioritization, Floodgate maintenance, Analytic Hierarchy Process

1 บทนำ

กรมชลประทานได้ดำเนินการพัฒนาโครงการชลประทานไว้จำนวนมาก มีลักษณะงานประเภทต่าง ๆ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝาย ประตูระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ เป็นต้น ทั้งที่เป็นอาคาร ห้วยงาน และในระบบส่งน้ำมาเป็นระยะเวลากว่าร้อยปี การบำรุงรักษาการทำงานประเภทต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พร้อมใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากปล่อยทิ้งไว้ไม่มีการดูแลบำรุงรักษาย่อมไม่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม (สำนักงานบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2561) ประตูระบายน้ำถือเป็นงานประเภทหนึ่งที่ต้องดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็ก หากขาดการบำรุงรักษาหรือบำรุงรักษาไม่ถูกวิธีจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง (สมบัติ มีลักษณะสม และคณะ, 2563) ซึ่งเมื่อเกิดน้ำหลากหรืออุทกภัยในเขตโครงการจะทำให้การควบคุมปริมาณน้ำไม่ทันเวลาและไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ อาจส่งผลให้เกิดน้ำท่วมในบริเวณกว้างและเกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก และในฤดูแล้งอาจทำให้คุณภาพน้ำในลำน้ำธรรมชาติไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานจนส่งผลเสียหายต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม (วรชัย เชื้อจันทิก และคณะ, 2564; อธิการ แสนสุวรรณศรี และคณะ, 2564)

การบริหารจัดการน้ำในพื้นที่รับผิดชอบของโครงการชลประทานปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ตลอดระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร 2 ฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ครอบคลุมพื้นที่ 78,000 ไร่ เพื่อป้องกันปัญหาการลุดล้ำของน้ำทะเล น้ำท่วม และน้ำเสีย (กรมทรัพยากร กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) โดยมีประตูระบายน้ำควบคุมปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ เนื่องจากด้วยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชุมชนและอุตสาหกรรม จึงประสบปัญหาเรื่องน้ำเสียรวมทั้งเป็นจุดสูบน้ำดิบของการประปานครหลวง ปัญหาการลุดล้ำของน้ำทะเล จึงมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำดิบ

สำหรับน้ำประปา โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอจากพื้นที่ตอนบนต่อการผลักดันน้ำเค็ม เนื่องจากน้ำเสียพื้นที่จังหวัดปทุมธานีค่อนข้างราบมีความสูงประมาณ 2.30 เมตร เหนือระดับ น้ำทะเลปานกลาง ในช่วงฤดูฝนมีการระบายน้ำจากตอนบนของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ส่งผลให้เกิดน้ำล้นตลิ่งและเกิดผลกระทบต่อประชาชน การระบายน้ำของคลองระบายน้ำในพื้นที่ อาศัยการบังคับน้ำ โดยการบริหารจัดการประตูระบายน้ำ ควบคุมทิศทางไหลของน้ำให้ส่งผลกระทบต่อประชาชนทั้งในพื้นที่และชุมชนใกล้เคียงน้อยที่สุด (สำนักงานบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2561)

ประตูระบายน้ำในความรับผิดชอบของโครงการชลประทานปทุมธานีมีจำนวน 38 ประตู ซึ่งใช้งานมาแล้วมากกว่า 10 ปี จะส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการในช่วงสภาวะวิกฤตและความมั่นคงแข็งแรงของ ประตูระบายน้ำและส่วนประกอบจากความเสื่อมสภาพของวัสดุจากอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาให้อาคารอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและมีความมั่นคงแข็งแรง ด้วยระเบียบของกรมชลประทานในการบำรุงรักษา จำเป็นต้องมีการจัดตั้งค่าของงบประมาณ จากสำนักงบประมาณ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณของประเทศ จึงไม่สามารถบำรุงรักษาประตูระบายน้ำให้มีความพร้อมทั้งหมดได้ภายในระยะเวลาเดียวกัน

ปัจจุบันการตั้งค่าขอในการซ่อมแซมประตูระบายน้ำจะตั้งล่วงหน้า 2 ปี วิธีการสำรวจความเสียหายสภาพอาคารชลประทานโดยการเดินสำรวจ (Walk thru) ด้วยวิธีทางสายตา (Visual Inspection) (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา ส่วนปรับปรุงบำรุงรักษา, 2563) ซึ่งการตรวจสอบสภาพระบบชลประทานเป็นการตรวจ โดยการสังเกตข้อบกพร่องของลักษณะทางกายภาพของระบบชลประทานว่ามีสิ่งผิดปกติข้อบกพร่องหรือสัญญาณอื่นใดที่อาจทำให้เกิดความเสียหายหรือเป็นอันตรายต่อความมั่นคงของระบบชลประทาน ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนด

แนวทางการดำเนินการที่ถูกต้องและรวดเร็วเมื่อเกิดปัญหา โดยการเดินสำรวจต้องทำอย่างละเอียดถี่ถ้วน มองเห็นสภาพ/ความเสียหายชัดเจนกว่าการใช้ยานพาหนะ ซึ่งจำนวนผู้สำรวจขึ้นอยู่กับจำนวนบุคลากรในหน่วยงานนั้น ๆ และจะต้องมีความเข้าใจในองค์ประกอบของอาคาร โดยนำผลที่ได้มาจัดทำประมาณการเพื่อของบประมาณการดูแลบำรุงรักษาการซ่อมแซม และการปรับปรุงต่อไป

สำหรับการบำรุงรักษาเป็นการซ่อมแซมหรือตกแต่งส่วนของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ชำรุดเสียหายให้มีสภาพดีดังเดิมตามทีออกแบบไว้ งานบำรุงรักษาจะแตกต่างจากงานปรับปรุง คือ จะดำเนินการแก้ไขหรือซ่อมแซมให้กลับคืนสู่สภาพเดิม หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบ (พรพศุทธิ์ ธิติทรัพย์อุดม และคณะ, 2564)

การซ่อมแซมบำรุงรักษาแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ การซ่อมแซมเล็กน้อยการซ่อมแซมประจำปีและการซ่อมแซมฉุกเฉิน ซึ่งเป็นการมองด้านวิศวกรรมเพียงอย่างเดียว หากประทุษร้ายน้ำเสียหายในช่วงวิกฤตอาจส่งผลกระทบต่อประชาชนคนในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมจนอาจเกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ต้องมองผลกระทบเศรษฐกิจและสังคมเข้ามาพิจารณาด้วย (มลจิรา ทองเทพ และคณะ, 2562)

ดังนั้นเพื่อให้วางแผนการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำ โดยวิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ในพื้นที่โครงการชลประทานปทุมธานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับความสำคัญการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานี เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบในการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารและเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงานการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานีสอดคล้องกับข้อจำกัดในการจัดสรรงบประมาณประจำปีรวมทั้งตอบสนองความต้องการของพื้นที่ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมและยั่งยืน

การศึกษานี้ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์และการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี จำนวน 38 ประตุ ภายใต้การบริหารจัดการของโครงการชลประทานปทุมธานี โดยประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ซึ่งพิจารณาเฉพาะ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนในการบำรุงรักษาประทุษร้ายน้ำต่อไป

2 พื้นที่ศึกษาและวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของประทุษร้ายน้ำกรณีศึกษาโครงการชลประทานปทุมธานี มีจำนวน 38 ประตุครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอสามโคก ดังแสดงใน Figure 1

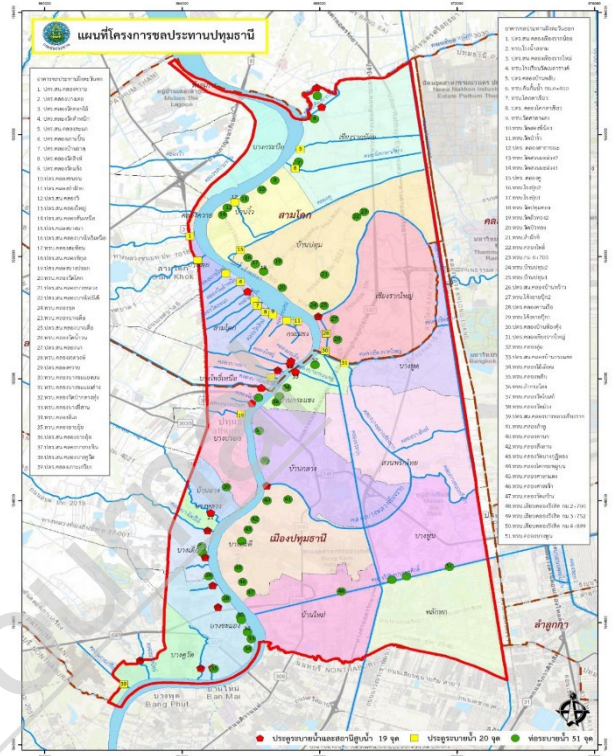


Figure 1 Location of floodgates in the responsible area of the Pathumthani Provincial Irrigation Office Source: Pathumthani Provincial Irrigation Office.

2.2 วิธีการวิจัย

การจัดลำดับความสำคัญของประทุษร้ายน้ำ กรณีศึกษาโครงการชลประทานปทุมธานี ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty ในปี 1970 ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้าน Multiple Criteria Decision Making (MCDM) (Sahoo et al., 2001) กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) สามารถช่วยในกระบวนการตัดสินใจซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการเชื่อถือยอมรับและใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการตัดสินใจกรณีที่มีปัจจัยหลายๆ อย่างเกี่ยวข้อง โดยมีหลักการง่าย ๆ คือ แบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้น ๆ ชั้นแรก คือ การกำหนดเป้าหมาย แล้วจึงกำหนดเกณฑ์หลัก เกณฑ์ย่อย และทางเลือกตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุด (ณภัทร ศรีนวล และคณะ, 2559) สามารถใช้ได้กับการตัดสินใจที่มีความยุ่งยากซับซ้อน โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบรายคู่ ช่วยทำให้เกิดการ

ตัดสินใจที่ดีในสถานการณ์ที่ต้องเลือก โดยการให้คะแนนตามความสำคัญ จากนั้นจะให้คะแนนเพื่อจัดลำดับสำคัญของเกณฑ์ แล้วจึงพิจารณาวิเคราะห์ทางเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์ หากการให้คะแนนความสำคัญนั้น สมเหตุสมผลจะสามารถจัดลำดับทางเลือกเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดได้ ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการจัดลำดับสำคัญทำให้การตัดสินใจทำได้ง่ายขึ้น (Saaty, 1980 และอนุชา ทิพย์อุทัย, 2559)

สำหรับการจัดลำดับสำคัญของประตู่ระบายน้ำ กรณีศึกษาโครงการชลประทานปทุมธานี โดยวิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การศึกษาทฤษฎีและพัฒนาหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับความสำคัญ

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะทำให้ทราบถึงการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในการจัดลำดับความสำคัญของงานทางวิศวกรรมชลประทาน ทำให้สามารถกำหนดเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาตามความเหมาะสม โดยการพัฒนาหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับความสำคัญมีเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้คือ แบบสัมภาษณ์ (Interview Form) โดยการสร้างแบบสัมภาษณ์ได้ ทำการศึกษาข้อมูลจากทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การระบุเกณฑ์ที่มีผลกระทบต่อประตู่ระบายน้ำ ซึ่งแบบสัมภาษณ์เบื้องต้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ส่วนที่ 2 การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์หลักด้านต่าง ๆ

ส่วนที่ 3 การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ย่อยในแต่ละเกณฑ์หลัก ได้แก่

1) ด้านวิศวกรรม โดยพิจารณาปัจจัยที่ทำให้ประตู่ระบายน้ำไม่สามารถบริหารจัดการได้ และปัจจัยหรือข้อจำกัดในการบริหารจัดการ คือ อายุของประตูใช้งานมาแล้วกี่ปี ปีที่ซ่อมประตูครั้งล่าสุด ความจุของลำน้ำและพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม

2) ด้านเศรษฐกิจ โดยพิจารณาปัจจัยถ้าหากประตู่ระบายน้ำไม่สามารถบริหารจัดการได้จะส่งผลกระทบต่อความเสียหายเป็นปริมาณเท่าใด โดยการประเมินมูลค่าความเสียหายจากเกณฑ์ 3 ด้าน คือ มูลค่าความเสียหายต่อชุมชน มูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่เกษตร และมูลค่าความเสียหายต่ออุตสาหกรรม

3) ด้านสังคม เป็นการคำนึงถึงผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ (ภาณุวัฒน์ ศรีชัย, 2562) โดยพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินของ

ประชาชนในความรับผิดชอบของแต่ละประตู่ระบายน้ำเป็นพื้นที่ที่จะส่งผลกระทบต่อประชาชนโดยตรง คือ พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่ชุมชน และความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่

2.2.2 การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (เสาวรินทร์ เลขาผล, ขวเลข วนิชเวทินและเรืออากาศเอกพิพัฒน์ สอนวงษ์, 2564) ซึ่งเป็นการสุ่มโดยใช้ดุลพินิจของผู้วิจัยเอง โดยผู้เชี่ยวชาญที่เลือกจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งเป็นผู้บริหารและหัวหน้าส่วน/ฝ่าย/ของโครงการชลประทานในจังหวัดปทุมธานี จำนวน 9 ราย โดยเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และมีความเข้าใจในการบริหารจัดการประตู่ระบายน้ำ

2.2.3 การพิจารณาความเหมาะสมของหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประตู่ระบายน้ำการพิจารณาความเหมาะสมของหลักเกณฑ์

โดยการนำแบบสัมภาษณ์ที่ได้จัดทำขึ้นไปสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่ได้คัดเลือก เพื่อทำการปรับแก้หรือเพิ่มเติมหลักเกณฑ์ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประตู่ระบายน้ำ

2.2.4 การจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์การบำรุงรักษาประตู่ระบายน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี

โดยวิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) โดยใช้แบบสัมภาษณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนความสำคัญ โดยการเปรียบเทียบ (เกณฑ์หรือทางเลือก) ทีละคู่ (Pairwise Comparison) โดยตัวอย่างการเปรียบเทียบปัจจัยและคำอธิบายดังแสดงใน Table 1 โดยเริ่มจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างซึ่งแบ่งระดับความสำคัญ (AHP Measurement Scale) ออกเป็น 9 ระดับเพื่อบอกระดับความสำคัญด้วยตัวเลข 1-9 ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งค่าตัวเลข 1 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยทั้งสองมีความสำคัญมาก โดยค่าตัวเลขจะลดหลั่นตามความสำคัญของทั้งสองปัจจัย และค่าตัวเลข 9 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งอย่างชัดเจน ทั้งนี้เมื่อได้ค่าถ่วงน้ำหนักตามแต่ละเกณฑ์จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูลเพื่อไม่ให้มีการขัดแย้งกันของข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ โดยการคำนวณความสอดคล้องกันของเหตุผลของข้อมูล (Consistency Ratio, CR) หาก $CR > 0.1$ แสดงว่า ข้อมูลคะแนนความสำคัญที่ได้เปรียบเทียบไม่สมเหตุสมผลจะต้องปรับคะแนนความสำคัญในการเปรียบเทียบของเป็นคู่ใหม่

Table 1 Example of factor comparison and explanation

Example of factor comparison	Explanation
(x)A1 compare with (x) A2 level of importance...1...	You give equal importance to factors A1 and A2.
(x) A1 compare with (x) A2 level of importance...3...	You gave factor A1 more than A2 moderately.
(x) A1 compare with (x) A2 level of importance...4...	You give more importance to factor A1 than A2, it is moderate to strong.

ที่มา : สุรชัย และคณะ (2561)

Table 2 Explanation of important level

Intensity of important	Definition	Explanation
1	Equal important	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate important	An element is moderate important than another
5	Strong important	An element is strong important than another
7	Very strong important	An element is very strong important than another
9	Extreme important	An element is extreme strong important than another
2,4,6,8	Can be used to express intermediate	

ที่มา : สุรชัย และคณะ (2561)

การพิจารณาลำดับความสำคัญของเกณฑ์การบำรุงรักษา ประดูระบายน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยการให้คะแนนตามค่าน้ำหนักของเกณฑ์หลักและเกณฑ์รอง

โดยน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือทางเลือกในแต่ละชั้นจะคำนวณได้จากสมการ

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (1)$$

เมื่อ A คือ สแควร์เมทริกซ์แสดงความเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญ ซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

w คือ Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกัน หรือกลุ่มของที่อยู่ภายใต้ของในลำดับชั้นที่สูงกว่า

$\lambda_{\max}$ คือ ค่าเจาะจงสูงสุด (Maximum eigenvalue)

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูลและความคิดเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบของเป็นคู่บางครั้งอาจไม่สมเหตุสมผลหรือมีข้อผิดพลาด (Error) ในการแสดงความเห็นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบ ความสมเหตุสมผลของข้อมูล โดยการคำนวณหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio, CR) ถ้า $CR > 0.1$ แสดงว่าข้อมูลคะแนนความสำคัญได้จากการเปรียบเทียบเป็นคู่ไม่สมเหตุสมผล (Sahoo, 1998) จะต้องมีการปรับคะแนนการเปรียบเทียบเป็นคู่ใหม่ก่อนวิเคราะห์ในลำดับชั้นถัดไป ดังสมการที่ (2) และ สมการที่ (3)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (3)$$

เมื่อ CI คือ ดัชนีความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Index) ที่วัดผลต่างระหว่าง $\lambda_{\max}$ และ n

RI คือ ดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสุ่ม (Random Consistency Index) โดยมีค่าเฉลี่ย RI ที่ใช้กับจำนวนสมาชิกในการเปรียบเทียบความสำคัญ ดังแสดงใน Table 3

n คือ ขนาดของสแควร์เมทริกซ์แสดงความเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญ

Table 3 Random Consistency Index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46

2.2.5 พิจารณาลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประดูระบายน้ำโครงการชลประทานปทุมธานี

การพิจารณาลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประดูระบายน้ำ โดยการให้คะแนนตามค่าน้ำหนักของเกณฑ์หลักและเกณฑ์รอง และจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประดู

ระบายน้ำใช้วิธีการทำข้อมูลให้เป็นปกติ (data normalization) ในกระบวนการเตรียมข้อมูล (data preparation) คือ

1) วิธีน้อย-มาก (min-max) ซึ่งเป็นการปรับค่าของคุณลักษณะของข้อมูลให้อยู่ในช่วงค่าน้อย และค่ามากที่กำหนด โดยนิยมใช้ค่าน้อยเป็น 0 และค่ามากเป็น 1 บางครั้งนิยมเรียกวิธีการนี้ว่า การทำข้อมูลให้เป็นปกติแบบ 0-1 (0-1 normalization) วิธีการแปลงค่าคำนวณได้จากสมการที่ 4 และตัวอย่างการคำนวณ ดังแสดงใน Table 4

$$X^* = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (4)$$

โดยที่ X^* คือ ค่าที่จะทำให้เป็นปรกติมาตรฐานของ ตัวแปร X
 $X_{\max}$ คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร X
 $X_{\min}$ คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร X

Table 4 Example of min-max approach

Floodgate	Age	Normalization
A	10	$(10-3)/(10-3)=1$
B	5	$(5-3)/(10-3) = 0.3$
C	3	$(3-3)/(10-3) = 0$
D	8	$(8-3)/(10-3) = 0.7$
Xmin	3	0
Xmax	10	1

2) วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighting Factor Method) โดยเป็นการประเมินเชิงสมการทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ เพื่อการจัดลำดับความสำคัญของประตุน้ำ โดยพิจารณาร่วมกับปัจจัยต่าง ๆ ค่าคะแนนตามลำดับความสำคัญต่อผลลัพธ์ของปัญหา ผลรวมของคะแนนปัจจัยหลักประกอบด้วย คำนวณน้ำหนักคุณคะแนนของแต่ละปัจจัยรวมกัน โดยใช้การคำนวณจากสมการที่ 5 และตัวอย่างผลการคำนวณด้านวิศวกรรม ดังแสดงใน Table 5

$$S = W_1 R_1 + W_2 R_2 + W_3 R_3 + \dots + W_n R_n \quad (5)$$

เมื่อ S คือ ผลรวมของคะแนนจากทุกปัจจัย (คะแนนปัจจัยหลัก)

W คือ น้ำหนักของปัจจัย

R คือ ระดับคะแนนของแต่ละปัจจัย

ซึ่งประตุน้ำที่มีค่าคะแนนสูงสุด แสดงว่ามีความสำคัญมากที่สุด จำเป็นต้องดำเนินการบำรุงรักษาก่อนประตุน้ำที่มีค่าคะแนนน้อยกว่า สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา

จัดลำดับในการของงบประมาณในการวางแผนงานบำรุงรักษาประตุน้ำโครงการชลประทานปทุมธานี

Table 5 Example of Weighting Factor Method

Engineering (0.5)			
Floodgate	Age (0.2)	Normalization	Weighted
A	10	$(10-3)/(10-3)=1$	$0.5*0.2*1=0.1$
B	5	$(5-3)/(10-3) = 0.3$	$0.5*0.2*0.3=0.03$
C	3	$(3-3)/(10-3) = 0$	$0.5*0.2*0.0=0.0$
D	8	$(8-3)/(10-3) = 0.7$	$0.5*0.2*0.7=0.7$
Xmin	3	0	
Xmax	10	1	

3 ผลและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์การบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ดังแสดงใน Table 6

3.1.1 ผลการพิจารณาค่าน้ำหนักเกณฑ์การประเมินหลัก 3 ด้าน

ได้แก่ ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม โดยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) จากการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 ราย พบว่าด้านวิศวกรรมมีความสำคัญมากที่สุด (0.586) รองลงมาคือ ด้านสังคม (0.228) และด้านเศรษฐกิจ (0.186) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 6 จะเห็นได้ว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านวิศวกรรมมากที่สุด รองลงมา คือ ด้านสังคม และด้านเศรษฐกิจ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะประตุน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีมีการก่อสร้างและใช้งานมาเป็นเวลานานอาจมีสภาพการเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะ การทรุดตัว และการแตกร้าวตามธรรมชาติ เป็นต้น โดยความเสียหายดังกล่าวนี้มีผลต่อการปฏิบัติงานชัดเจนจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา การซ่อมแซมหรือปรับปรุงโดยทันที (นันทนัฐ เยื่อบางไทร และคณะ, 2563) และประตุน้ำมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็ก หากการขาดบำรุงรักษาหรือบำรุงรักษาไม่ถูกวิธีย่อมทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของประตุน้ำลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุรัชย์ นานาผล และคณะ (2561) ได้ศึกษาเรื่องการจัดลำดับความสำคัญของการพัฒนาโครงการชลประทานโดยวิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้น : กรณีศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปากพองล่าง พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าควรมีการพัฒนาโครงการในพื้นที่ดังกล่าวในด้านวิศวกรรมมาก

ที่สุด และสอดคล้องกับการศึกษาของ ทองเปลว กองจันทร์ (2546) ที่ศึกษากระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อการจัดสรรน้ำจากอ่างเก็บน้ำ : กรณีศึกษาในลุ่มน้ำมูลตอนบน พบว่า ปัจจัยด้านวิศวกรรมชลประทานและด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำมีความสำคัญต่อการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำตอนบนมากที่สุด และการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล โดยการคำนวณหาค่า

อัตราส่วนความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio, CR) ค่าเฉลี่ยของเกณฑ์การประเมินปัจจัยหลักทั้ง 3 ด้าน จากการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 ราย ค่าเฉลี่ย CR < 0.1 แสดงว่าข้อมูลคะแนนความสำคัญได้จากการเปรียบเทียบเป็นคู่สมเหตุสมผล ซึ่งสามารถนำคะแนนจาก Table 6 เพื่อจัดอันดับความสำคัญเกณฑ์การประเมินหลักได้ ดังแสดงใน Table 7

Table 6 The weighted of the three majority factors

Major factor	Weighted by experts										Adjust
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average	
Engineering	0.156	0.082	0.455	0.778	0.773	0.747	0.747	0.747	0.747	0.469	0.586
Economic	0.185	0.682	0.091	0.111	0.139	0.119	0.119	0.119	0.119	0.149	0.186
Social	0.659	0.236	0.455	0.111	0.088	0.134	0.134	0.134	0.134	0.182	0.228
Total weight										0.800	1.000

Table 7 The average of the three majority factors

Factor	Weighted by experts									Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\lambda_{\max}$	3.029	3.002	3.000	3.000	3.054	3.013	3.013	3.013	3.013	3.015
CI	0.015	0.001	0.000	0.000	0.027	0.000	0.006	0.006	0.006	0.007
CR	0.025	0.001	0.000	0.000	0.047	0.011	0.011	0.011	0.011	0.013

3.1.2 ผลการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัยเกณฑ์การประเมินรอง

โดยการใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินปัจจัยหลักทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม พบว่า มีรายละเอียดผลการศึกษา ดังแสดงใน Table 8 ดังนี้

1) ด้านวิศวกรรม พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญต่ออายุของประตูปรับน้ำ มีค่าน้ำหนักมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.333 ซึ่งให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า ควรมีการบำรุงรักษาประตูปรับน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีมากที่สุด ส่วนปัจจัยรองลงมาทั้ง 3 ปัจจัยมีความสำคัญใกล้เคียงกัน ได้แก่ ด้านพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.235 ด้านความจุคลอง มีค่าน้ำหนัก

เท่ากับ 0.230 และปีที่ซ่อมประตูปรับน้ำล่าสุด มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.202 ตามลำดับ

2) ด้านเศรษฐกิจ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญมูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่ชุมชนมีค่าน้ำหนักมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.427 ซึ่งแสดงว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นว่าหากประตูน้ำเกิดการชำรุดเสียหายหรือไม่มีการบำรุงรักษาประตูปรับน้ำจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ชุมชนมากที่สุด ส่วนปัจจัยรองลงมา ได้แก่ มูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่อุตสาหกรรม มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.319 และมูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่เกษตร มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.254 ตามลำดับ

3) สำหรับการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินปัจจัยหลักด้านสังคม พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญต่อพื้นที่ชุมชน มีค่าน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งแสดงว่า ประตูปรับน้ำในพื้นที่ดังกล่าวมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อชุมชนมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ

0.469 ปัจจัยรองลงมา คือ จำนวนประชากร มีค่าเท่ากับ 0.338 และพื้นที่อุตสาหกรรม มีค่าเท่ากับ 0.193 ตามลำดับ

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล โดยการคำนวณหาอัตราส่วนความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio, CR) ค่าเฉลี่ยของเกณฑ์การประเมินปัจจัยรองทั้ง 3 ด้าน

จากการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 ราย โดยค่าเฉลี่ย $CR < 0.1$ แสดงว่าข้อมูลคะแนนความสำคัญได้จากการเปรียบเทียบเป็นคู่สมเหตุสมผล ซึ่งสามารถนำคะแนนจาก Table 8 เพื่อจัดอันดับความสำคัญเกณฑ์การประเมินหลักได้ ดังแสดงใน Table 9

Table 8 The weighted of the secondary factors

Factor	Weighted by experts									Average	Adjust
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1. Engineering											
1.1 Age floodgate	0.074	0.091	0.207	0.623	0.133	0.178	0.542	0.630	0.542	0.250	0.33
1.2 Last year of floodgate repair	0.549	0.048	0.161	0.187	0.046	0.462	0.129	0.148	0.129	0.151	0.202
1.3 canal capacity	0.248	0.201	0.069	0.152	0.267	0.295	0.154	0.137	0.154	0.172	0.230
1.4 flood prone area	0.129	0.660	0.563	0.037	0.554	0.065	0.175	0.085	0.175	0.176	0.235
Total weight										0.750	1.00
2. Economic											
2.1 The value of damage to the community area	0.487	0.272	0.400	0.290	0.139	0.139	0.550	0.594	0.550	0.335	0.427
2.2 The Value of damage to agricultural area	0.078	0.067	0.200	0.655	0.773	0.088	0.210	0.249	0.210	0.200	0.254
2.3 The value of the damage to the area	0.435	0.661	0.400	0.055	0.088	0.773	0.240	0.157	0.240	0.250	0.319
Total weight										0.785	1.000
3. Social											
3.1 Industrial area	0.114	0.594	0.169	0.105	0.113	0.333	0.114	0.114	0.200	0.170	0.193
3.2 community area	0.481	0.249	0.443	0.799	0.179	0.333	0.481	0.481	0.600	0.413	0.469
3.3 Population	0.405	0.157	0.387	0.096	0.709	0.333	0.405	0.405	0.200	0.298	0.338
Total weight										0.881	1.000

Table 9 The average of the secondary factors

Factor	Weighted by experts									Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Engineering										
$\lambda_{\max}$	4.204	4.212	4.233	4.267	4.244	4.267	4.158	4.255	4.158	4.222
CI	0.068	0.071	0.078	0.089	0.081	0.089	0.053	0.085	0.053	0.074
CR	0.076	0.079	0.086	0.099	0.091	0.099	0.059	0.094	0.059	0.082
2. Economic										
$\lambda_{\max}$	3.013	3.044	3.000	3.081	3.054	3.054	3.018	3.054	3.018	3.038
CI	0.006	0.022	0.000	0.041	0.027	0.027	0.009	0.027	0.009	0.019
CR	0.011	0.038	0.000	0.070	0.047	0.047	0.016	0.046	0.016	0.032
3. Social										
$\lambda_{\max}$	3.029	3.054	3.018	3.007	3.054	3.000	3.029	3.029	3.000	3.025
CI	0.015	0.027	0.009	0.004	0.027	0.000	0.015	0.015	0.000	0.012
CR	0.025	0.046	0.016	0.006	0.047	0.000	0.025	0.025	0.000	0.021

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัยเกณฑ์การประเมินรอง โดยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) ซึ่งให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญ ให้ความสำคัญ ลำดับที่ 1 คือ ด้านวิศวกรรม คือ อายุของประตูละบายน้ำมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอายุการใช้งานมายาวนาน ทำให้วัสดุเกิดการเสื่อมสภาพจึงจำเป็นต้องได้รับการดูแลและบำรุงรักษา ได้แก่ การซ่อมแซม ปรับปรุง บำรุงรักษาเพื่อให้ประตูละบายน้ำในพื้นที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและมีความมั่นคง เพื่อลดอัตราเสี่ยงต่อการวิบัติของอาคารชลประทาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สัญญา แสงพุ่มพงษ์ (2561) ได้ศึกษาการตรวจและประเมินสภาพอาคารชลประทานหัวงาน ประเภทฝายและประตูระบายน้ำ พบว่า ประตูระบายน้ำ/เขื่อนระบายน้ำ/ทดน้ำ และฝายทดน้ำ ปัจจุบันมักเริ่มประสบปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของอาคารจำนวนมากขึ้น เช่น การเสื่อมสภาพของวัสดุที่มีอายุการใช้งานมายาวนาน เป็นต้น จำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ลำดับที่ 2 ด้านเศรษฐกิจ คือ มูลค่าความเสียหายต่อพื้นที่ชุมชนและลำดับที่ 3 ด้านสังคม คือ ด้านพื้นที่ชุมชน เนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดปทุมธานีส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง คิดเป็นร้อยละ 30.12 ของพื้นที่ที่ดินทั้งหมด (สำนักงาน

บริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2561) ซึ่งให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญ มีความเห็นว่าควรมีการบำรุงรักษาประตูน้ำในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายต่อพื้นที่ชุมชนหากเกิดการเสื่อมสภาพของประตูระบายน้ำจะไม่สามารถควบคุมการไหลของน้ำได้จนส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการน้ำของโครงการและท้ายที่สุดย่อมสร้างความเสียหายต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ชุมชนและส่งผลกระทบต่อด้านสังคมและเศรษฐกิจตามมาได้ ที่สุด ดังเช่นการศึกษาของ ลักษณะพร โรจน์พิทักษ์กุล (2553) ที่ศึกษาเรื่องยุทธศาสตร์ส่งเสริมการบริหารจัดการน้ำท่วมซ้ำซากของ 14 ตำบล ฝั่งซ้ายแม่น้ำบางปะกง-ปราจีนบุรีในมิติชุมชน พบว่า ปัญหาน้ำท่วม มีผลกระทบต่อประชาชนทำให้ขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ผลผลิตทางการเกษตรได้รับความเสียหายและยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยรวม

ดังนั้นในการจัดลำดับความสำคัญของการพัฒนาโครงการชลประทานในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีผู้เชี่ยวชาญจึงได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมมากที่สุด เพราะปัจจัยทางด้านวิศวกรรมเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประชาชนในพื้นที่ส่วนปัจจัยด้านสังคมและด้านเศรษฐกิจ มีน้ำหนักความสำคัญรองลงมา เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางอ้อมจึงมีความสำคัญในลำดับรองลงมา

Table 10 Prioritizing the maintenance of 38 floodgates

Floodgate	District	Weight	Score	Prioritize
Bang Luang Chiang Rak Floodgate	Mueang	0.614	61.40	1
Ban Phrao Canal Floodgate	Sam Khok	0.546	54.60	2
Wat Dok Mai Canal Floodgate	Sam Khok	0.385	38.50	3
Wat Tamnak Canal Floodgate	Sam Khok	0.383	38.30	4
Khu Canal Floodgate	Sam Khok	0.383	38.30	5
Chiang Rak Yai Canal Floodgate	Sam Khok	0.376	37.60	6
Ban Krachaeng Canal Floodgate	Mueang	0.375	37.50	7
Bangka Chin Canal Floodgate	Mueang	0.369	36.90	8
Yai Yui Canal Floodgate	Mueang	0.368	36.90	9
Bang Luang Canal Floodgate	Mueang	0.356	35.60	10
Bang Pho Tai Canal Floodgate	Mueang	0.356	35.60	11
Chiang Rak Noi Canal Floodgate	Sam Khok	0.346	34.60	12
Sakae Temple Canal Floodgate	Sam Khok	0.337	33.70	13
Bang Khu Wat Canal Floodgate	Mueang	0.337	33.70	14
Na Canal Floodgate	Mueang	0.334	33.40	15
Bang Pho Nuea Canal Floodgate	Sam Khok	0.329	32.90	16
Wat Chaeng Canal Floodgate	Sam Khok	0.327	32.70	17
Bang Prok Canal Floodgate	Mueang	0.324	32.40	18
Bang Dua Canal Floodgate	Mueang	0.320	32.00	19
Ban That Canal Floodgate	Sam Khok	0.311	31.10	20
Chiang Rak Mai Canal Floodgate	Sam Khok	0.309	30.90	21
Khlong Print Canal Floodgate	Sam Khok	0.304	30.40	22
Wat Chaeng Canal Floodgate	Sam Khok	0.299	29.90	23
Bang Toei Canal Floodgate	Sam Khok	0.298	29.80	24
Bangna Canal Floodgate	Sam Khok	0.296	29.60	25
Yai Canal Floodgate	Sam Khok	0.290	29.00	26
Phikun Canal Floodgate	Mueang	0.284	28.40	27
Khlong Koh Krieng Floodgate	Mueang	0.276	27.60	28
Pa Fai Canal Floodgate	Sam Khok	0.275	27.50	29
Khanon Canal Floodgate	Sam Khok	0.273	27.30	30
Public canal Floodgate	Sam Khok	0.272	27.20	31
Khan Nuea	Sam Khok	0.262	26.20	32
Kwai Canal Floodgate	Sam Khok	0.262	26.20	33
Khan Ruea Canal Floodgate	Sam Khok	0.256	25.60	34
Ban Thong Kung Canal Floodgate	Sam Khok	0.217	21.70	35
Wi Canal Floodgate	Sam Khok	0.214	21.40	36
Khok Ta Khiao Canal Floodgate	Sam Khok	0.192	19.20	37
Ban Plub Canal Floodgate	Sam Khok	0.191	19.10	38

3.2 ผลการจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานปทุมธานีโดยประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

การจัดลำดับความสำคัญของประตุน้ำในโครงการชลประทานปทุมธานี มีจำนวน 38 ประตู ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอสองแคว ดังแสดงใน Table 10 พบว่า โครงการที่มีค่าคะแนนสูงและมีลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงในลำดับต้น ลำดับที่ 1 คือ ประตูระบายน้ำคลองบางหลวงเชียงราก มีค่าคะแนนเท่ากับ 0.614 คิดเป็นร้อยละ 61.40 ทั้งนี้ ประตูระบายน้ำดังกล่าวอยู่ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นย่านชุมชนและย่านเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดปทุมธานี หากเกิดการชำรุดเสียหายย่อมก่อให้เกิดความเสียหายและผลกระทบต่อชาวบ้านและผู้ประกอบการธุรกิจร้านค้าในพื้นที่ได้ กรมชลประทานจึงควรเร่งดำเนินการบำรุงรักษาประตูน้ำดังกล่าว ลำดับที่ 2 คือ ประตูระบายน้ำคลองบ้านพร้าว มีคะแนนเท่ากับ 0.546 คิดเป็นร้อยละ 54.60 ลำดับที่ 3 คือ ประตูระบายน้ำคลองวัดดอกไม้ มีคะแนนเท่ากับ 0.385 คิดเป็นร้อยละ 38.50

ดังนั้น จากผลการศึกษาผลการจัดลำดับความสำคัญการบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานี กรมชลประทานสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนงานการบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่โครงการให้สอดคล้องกับข้อจำกัดในการจัดสรรงบประมาณประจำปีและสามารถตอบสนองความต้องการของพื้นที่ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

4 สรุป

การจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยวิธีการหาค่าคะแนนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) มีค่าน้ำหนักเกณฑ์การประเมินหลักด้านวิศวกรรมมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม ตามลำดับ ซึ่งในด้านวิศวกรรมมีค่าน้ำหนักเกณฑ์การประเมินย่อยด้านอายุของประตูน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมด้านความจุคลอง และปีที่ซ่อมประตูระบายน้ำล่าสุด ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่

การจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาประตุน้ำในพื้นที่โครงการชลประทานปทุมธานี จำนวน 38 โครงการ โดยประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญ พบว่า โครงการที่มีค่าคะแนนสูงและมีลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงรักษามากที่สุด คือ ประตูระบายน้ำ

คลองบางหลวงเชียงราก รองลงมา คือ ประตูระบายน้ำคลองบ้านพร้าว และประตูระบายน้ำคลองวัดดอกไม้

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหาร หัวหน้าส่วน หัวหน้าฝ่าย หัวหน้างานของสำนักงานชลประทานปทุมธานี ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและพิจารณาความเหมาะสมของหลักเกณฑ์ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. การดูแลบำรุงรักษาแหล่งน้ำขนาดเล็กและการจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำ. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ณภัทร ศรีนวล. 2559. การจัดลำดับแผนงานบำรุงรักษาทางหลวง โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น AHP (Analytical Hierarchy Process) : กรณีศึกษาแขวงทางหลวงสกนครที่ 1. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. นครราชสีมา: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ทองเปลว กองจันทร์. 2546. กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำ : กรณีศึกษาในลุ่มน้ำมูลตอนบน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นันทนัฐ เอื้อบางไทร. 2563. การประเมินสภาพฝายด้วยเทคนิควิธีดัชนีสภาพและกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 30(3), 389-405.
- พรพศุทธิ์ อิตติทรัพย์อุดม สมยศ อวเกียรติ และसानิต ศิริวิศิษฐ์กุล. 2564. ปัจจัยการจัดการองค์การโดยรวมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของสำนักงานชลประทานที่ 11-13. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 15(1), 75-87.
- ภาณุวัฒน์ ศรีชัยและฉนิศา รุ่งแจ้ง. 2562. การศึกษาปัจจัยจัดลำดับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กโดยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น. การประชุมวิชาการด้านการชลประทานและการระบายน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 12, 168-178.
- มลจิรา ทองเทพ ขวเลข วณิชเวทิน และพิพัฒน์ สอนวงษ์. 2562. ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการบำรุงรักษาแบบชลประทาน: กรณีศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. วิศวกรรมสาร มก. 107(32), 39-52.

- ลักขณาพร โจนันท์พิทักษ์กุล. 2553. ยุทธศาสตร์ส่งเสริมการบริหารจัดการน้ำท่วมซ้ำซากของ 14 ตำบลฝั่งซ้ายแม่น้ำบางปะกง-ปราจีนบุรีในมิติชุมชน. วารสารศึกษาศาสตร์ 21(1), 67-79.
- วรัชยา เชื้อจันทิก, ไกรศักดิ์ รักพินิจ, กาญจนา คำผา. 2564. แนวทางการบริหารเครือข่ายกลุ่มผู้ใช้น้ำชลประทานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการภาครัฐด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. วารสารการบริหารปกครอง 10(2), 212-232.
- สมบัติ มีลักษณะสม แดนวิชัย สายรักษา และรังสรรค์ สิงห์เลิศ. 2563. กลยุทธ์การส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการใช้ประโยชน์จากน้ำช่วงฤดูแล้งเขตพื้นที่โครงการชลประทาน จังหวัดชัยภูมิ. วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 17(1), 571-582.
- สัญญา แสงพุ่มพงษ์. 2561. การตรวจและประเมินสภาพอาคารชลประทานหัวงานประเภทฝายและประตูระบายน้ำ. กรุงเทพมหานคร : กรมชลประทาน.
- สำนักงานบริหารโครงการ กรมชลประทาน. (2561). รายงานแผนหลักการพัฒนาลุ่มน้ำจังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : กรมชลประทาน.
- สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา ส่วนปรับปรุงบำรุงรักษา. 2563. สรุปผลดำเนินการโครงการสำรวจตรวจสอบอาคาร/ระบบชลประทานโดยวิธีการ Walk Thru ประจำปี พ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล : <http://hydrology.rid.go.th/imd/main/index.php/2018-08-26-14-33-10/291-walk-thru-2563>. เข้าถึงเมื่อ 26 ธันวาคม 2564.
- สุรัชย์ นานาผล, ปกรณ์ ดิษฐกิจ, ณัฐพล แก้วทอง. 2561. การจัดลำดับความสำคัญของการพัฒนาโครงการชลประทานโดยวิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้น : กรณีศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาปากพนัง. รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 9 มีนาคม 2561, ขอนแก่น.
- เสาวรินทร์ เลขาผล, ชวเลข วณิชเวทินและเรืออากาศเอกพิพัฒน์ สอนวงษ์, 2564. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพงานก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก: ในเขตสำนักงานชลประทานที่ 12 กรมชลประทาน. การประชุมวิชาการด้านการชลประทานและการระบายน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 14, 141-150.
- อธิการ แสนสุวรรณศรี ละมัย ร่มเย็น และสัญญาครณ์ สวัสดิ์ไธสง. 2564. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์การปฏิบัติราชการของโครงการชลประทานสกลนคร. Journal of Graduate School 18(81), 92-102.
- อนุชา ทิพย์อุทัย. 2559. การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งของคลังสินค้า. วารสารธุรกิจปริทัศน์ 8(2), 89-90.
- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Sahoo. G. B., R. Loof., C. L. Abernethy., S. Kazama. 2001. Reservoir Release Policy for Large Irrigation System. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 127, 302-310.



การประเมินประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำโดยใช้ปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไปเป็นกังหันน้ำ

Evaluating the Efficiency of Hydroelectric Power Generation by a Commercially Available Pump as a Turbine

จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี*, วรารุท วุฒิวณิชย์

Chirakarn Sirivithamtrie*, Varawoot Vudhivanich

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

Lecturer, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakorn Pathom, Thailand, 73140

*Corresponding author: Tel 089-665-9984, E-mail: fengcrk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ทรัพยากรน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะไม่สร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงสันเป็ลืองที่ใช้แล้วหมดไปได้อย่างดี การวิจัยนี้จึงเลือกปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไปมาใช้เป็นกังหันน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยไม่มีการดัดแปลงแก้ไขใดๆ กับตัวปั๊มน้ำโดยใช้วิธีการ Pump As Turbine (PAT) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์เพื่อหา Water Horsepower (WHP), Break Horsepower (BHP) และทำการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 808.5 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานงานน้ำไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ 57.66% ซึ่งหลังจากคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงการนี้เปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 1 ปี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปั๊มน้ำที่มีขายทั่วไป สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่ ทำให้การทำโครงการลักษณะนี้น่าจะขยายขึ้นมาก เพราะนอกจากจะมีต้นทุนที่ต่ำแล้ว วัสดุทั้งหมดที่ใช้ในโครงการเป็นของที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ผลอย่างดี โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงแก้ไขชิ้นส่วนใดๆ ทำให้วัสดุมีความคงทน สามารถประหยัดแรงงานและเวลาได้มาก

คำสำคัญ: ปั๊มน้ำเป็นกังหันน้ำ, ไฟฟ้าพลังงานน้ำ, พลังงานหมุนเวียน

Abstract

Water resources are renewable energy sources that can be used to generate electricity efficiently. It can also be used as a good replacement for the fossil fuel and do not produce pollution to the environment. In this research, a commercial centrifugal pump was used without any modifications as water turbines for generating electricity by using the Pump As Turbine (PAT) method. In the hydraulic laboratory experiment, the Water Horsepower (WHP), Break Horsepower (BHP) and the electricity generation experiments were conducted. The maximum power output of 808.5 Watts with 57.66% hydro-to-electricity conversion efficiency were achieved. The one year break-even point of the project was calculated based on the investment cost and to the electricity produced. The results show that the commercially available pumps can be used as water turbines effectively without any modification or need of a turbine constructed. This project can be easily implemented by using the commercial available materials with several advantages such as low cost, the availability of parts and materials, durability, time saving and no modification.

Keyword: Pump as turbine, Hydroelectric power, Renewable energy

Received: August 15, 2021

Revised: September 10, 2021

Accepted: September 11, 2021

Available online: May 23, 2022

1 บทนำ

ทรัพยากรน้ำ เป็นทรัพยากรที่หมุนเวียนไปเรื่อย ๆ อย่างไม่มีวันหมดสิ้น หรือที่เรียกว่าทรัพยากรหมุนเวียนธรรมชาติ (Renewable Natural Resource) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทรัพยากรเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันหรือถ่านหินที่มีปริมาณจำกัดและต้นทุนสูง ทรัพยากรน้ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาเป็นต้นทุนพลังงานเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองประเภทอื่นๆ

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ ทุกปีอย่างต่อเนื่อง เกิดจากการเจริญเติบโตทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปัจจุบันสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศส่วนใหญ่เป็นก๊าซธรรมชาติถึง 60.74% ถ่านหินลิกไนต์ 20.54% พลังงานหมุนเวียน (พลังงานน้ำ, อื่นๆ) 16.2% น้ำมันเตา 0.1% น้ำมันดีเซล 0.1% อื่นๆ (สบ.ลาว, มาเลเซีย, ลำตะคองชลภาวัฒนา) 0.32% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) จะเห็นได้ว่าการนำพลังงานหมุนเวียนตามธรรมชาติมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นยังมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

ในพื้นที่ทางไกลที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าเข้าถึงแต่เพียงพร้อมด้วยทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกังหันน้ำ โดยการใช้ปั๊มน้ำเป็นกังหันน้ำ (Pump As Turbine, PAT) และหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าในการทดลองนี้ใช้ปั๊มน้ำแบบเซนติฟูกัลที่มีขายอยู่ทั่วไป มาใช้เป็นกังหันน้ำ โดยไม่มีการดัดแปลงชิ้นส่วนใดๆ ของปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำดังกล่าวนี้มีข้อดีคือสามารถหาซื้อได้ทั่วไป มีความคงทน มีอะไหล่สำรอง และประหยัดเวลาในการสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่

2 อุปกรณ์และวิธีการ

ในการพิจารณาแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องมีปริมาณน้ำและความดันที่จะผลิตพลังงานได้เพียงพอและคุ้มค่ากับการลงทุน การประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำสามารถทำการประมาณค่าพลังงานที่แหล่งน้ำมีโดยอาศัยสมการที่ 1 (Carravetta et al., 2018) เพื่อประมาณค่าพลังงานออกมาในเบื้องต้นได้ดังนี้

$$P = 9,810HQ\eta \quad (1)$$

โดยที่ P = พลังงาน (Watt)
 Q = อัตราการไหล ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 η = ประสิทธิภาพ
 H = ความดันน้ำ (m)

ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ปั๊มน้ำไฟฟ้าขนาด 5.5 kW สองตัวเป็นแหล่งน้ำจ่ายให้ปั๊มน้ำที่ใช้เป็นกังหันน้ำเพื่อทำการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ โดยทำการทดสอบ

ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และจากนั้นจึงทำการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้า

2.1 ส่วนอุปกรณ์และเครื่องมือ

การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงใน Figure 1. ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

1) ปั๊มน้ำขนาด 5.5 kW 2 เครื่อง ขนาดท่อ 4 นิ้ว มีค่า Power factor ($\cos\theta$) = 0.75 ปั๊มน้ำทั้งสองตัวต่ออนุกรมกันทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานน้ำต้นทุน จำลองพลังงานน้ำที่ความความดันต่าง ๆ

2) ปั๊มน้ำแบบเซนติฟูกัล ขนาดท่อเข้าและออกขนาด 3 นิ้ว 1 เครื่องที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ดังแสดงใน Figure 2. ทำหน้าที่เป็นกังหันน้ำ ให้น้ำไหลผ่านในทิศย้อนกลับ โดยจะต่อท่อเข้าที่ทางออกของปั๊มน้ำ น้ำจะไหลออกที่ช่องตรงศูนย์กลางใบพัด ความดันน้ำจะทำให้ใบพัดในตัวเรือนปั๊มหมุน การวัดความเร็วรอบการหมุนจะวัดที่มู่leyที่เชื่อมต่อกับใบพัด

3) เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตัว เชื่อมต่อกับสายพานเพื่อวัดแรงดึงของสายพานที่คล้องมู่leyขณะใบพัดหมุน เพื่ออ่านค่าแรงดึงเครื่องชั่งทั้งสองข้าง เพื่อคำนวณพลังงานที่ผลิตได้

4) ถังน้ำ 2 ถังใช้ในการเก็บน้ำและใช้ตวงปริมาณน้ำที่ไหลออกจากกังหันน้ำ

5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 3 kW 1 เครื่อง เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

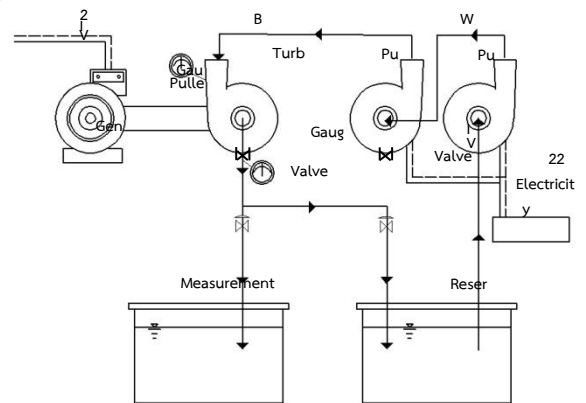


Figure 1 Experimental diagram.

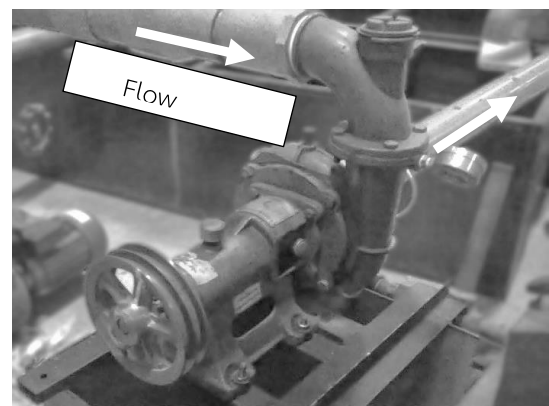


Figure 2 A commercial pump used as a turbine.

การทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มเป็นกังหันน้ำนี้ มีการออกแบบให้สามารถใช้ทดสอบได้ใน 3 กรณีคือ 1. การทดสอบหา Water Horsepower เป็นการหาพลังงานของแหล่งพลังงานน้ำ 2. การทดสอบหา Break Horsepower เพื่อหากำลังของกังหันน้ำ และ 3. การทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการใช้ปั๊มน้ำเป็นกังหันน้ำ

2.2 วิธีการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบเพื่อหาค่า Water Horsepower (WHP) ของระบบที่มีความดันต่าง ๆ

แหล่งน้ำจำลองที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบ ถูกควบคุมความดันด้วยวาล์วน้ำก่อนที่จะเข้าสู่กังหันน้ำ ทำการวัดความดันที่ทางเข้าและออกของกังหันน้ำและใช้การตรวจปริมาณน้ำในถังวัดน้ำ เพื่อตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวปั๊ม ตัวกังหันน้ำที่ใช้เป็นกังหัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 23 cm. มีใบพัดภายใน(Main blade) ทั้งหมด 8 ใบ มีความหนาของใบพัด (Blade width) 2.5 cm. ดังแสดงใน Figure 3.

การทดลองจะเริ่มจากความดันสูงสุดที่ 2.4 bar แล้วทำการวัดค่าระดับน้ำในถังวัดเพื่อวัดอัตราการไหลต่อเวลา เพื่อคำนวณหาอัตราการผลิตและพลังงานที่ได้ออกมา ในการทดสอบนี้จะค่อยๆ ปรับลดความดันน้ำลงครั้งละ 0.2 bar ทำซ้ำจนค่าความดันเหลือ 0.80 bar โดยพลังงานที่คำนวณได้มาจากการคำนวณของวิธี Water Horsepower จะใช้สมการที่ 2 (Matthias et al., 2019) ดังนี้

$$WHP = \gamma QH \quad (2)$$

โดยที่ WHP = กำลังตามทฤษฎี (Watt)
 γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (Nm^{-3})
 Q = อัตราการไหล (m^3s^{-1})
 H = ความดันน้ำ (m)

การหาประสิทธิภาพของระบบ สามารถหาได้จากสมการที่ 3 และ 4 (Phuttrat, 2019) ดังนี้

$$P_{input} = \sqrt{3} \times PF \times I_{input} \times V_{input} \quad (3)$$

โดยที่ P_{input} = กำลังไฟฟ้า 3 เฟส (Watt)
 PF = Power factor ($\cos\theta$)
 I_{input} = กระแสไฟฟ้า (A)
 V_{input} = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

$$\text{และ } Efficiency_{WHP} = \frac{WHP}{P_{input}} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ $Efficiency_{WHP}$ = ประสิทธิภาพ (%)

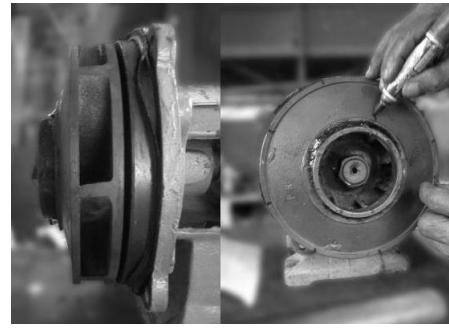


Figure 3 Pump propeller.

2.2.2 การทดสอบเพื่อหาค่า Break Horsepower ของระบบที่มีความดันต่าง ๆ

หลังจากการทดสอบหาค่า Water Horsepower ของระบบแล้ว จึงนำชุดเครื่องซึ่งติดตั้งและสายพานมาติดตั้งเข้ากับมู่เล่ย์ด้านท้ายของตัวกังหันน้ำ ในการทดสอบ Break Horsepower (BHP) นี้จะทำการควบคุมความดันน้ำด้านต้นทางก่อนเข้าสู่ตัวกังหันน้ำ โดยเริ่มต้นที่ความดันน้ำสูงสุดที่ 2.4 bar อ่านค่าความดันหลังจากออกจากกังหันน้ำ ได้ประมาณ 0.7 bar ได้ผลต่างความดันน้ำระหว่างทางเข้าและออกกังหันน้ำสุทธิที่ 1.7 bar การอ่านค่าความเร็วรอบการหมุนของมู่เล่ย์ แสดงใน Figure 4. ใช้เครื่องวัดรอบแบบออปติคัล อ่านด้านข้างมู่เล่ย์ที่ตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายเอาไว้ ทำซ้ำสามครั้ง การอ่านค่าแรงดึงของเครื่องซึ่งน้ำหนักทั้งสองที่คล้องสายพานรอบเพลลา ดังแสดงใน Figure 5. จะใช้การอ่านค่าน้ำหนักสามครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหารเพื่อหาค่าเฉลี่ย การตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ รอกจนกว่าระบบทำงานได้คงที่ กังหันน้ำหมุนที่ความเร็วคงที่ หรือไม่เปลี่ยนแปลงมาก ถึงจะทำการปรับทิศทางการไหลของน้ำลงสู่ถังวัดปริมาณแล้วจับเวลา นำค่าต่างๆ ที่บันทึกได้จากการทดลองมาคำนวณหา ค่าพลังงานตรวจวัดจากกังหันน้ำ จากนั้นจึงเพิ่มแรงดึงของเครื่องซึ่งให้มากขึ้น ความเร็วการหมุนของกังหันน้ำจะลดลง อ่านค่าผลต่างของเครื่องซึ่งและความเร็วรอบการหมุนนำมาคำนวณพลังงานที่ได้ออกมาเหมือนเดิม เมื่อทำซ้ำโดยการเพิ่มแรงดึงที่เครื่องซึ่งขึ้นไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าค่าความเร็วรอบของมู่เล่ย์ที่หมุนจะลดลงเรื่อยๆ



Figure 4 Pulley speed measurement.

การคำนวณพลังงานที่ได้จากการวัดความเร็วรอบและค่าแรงดึงของเครื่องชั่งของการทดลอง Break Horsepower จะใช้สมการที่ 5 ดังนี้ (นิมิตร, 2543)

$$BHP = 2\pi r n F \quad (5)$$

โดยที่ BHP = กำลังที่ขับเคลื่อนใบพัด (Watt)
 r = รัศมีของมู่เลย์ (m)
 n = จำนวนรอบต่อวินาที (rps)
 F = ผลต่างแรงดึงของตาชั่งดิจิตอล(N)

การหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำในสภาวะมีภาระที่สายพาน ($Efficiency_{turbine}$) สามารถหาได้จากสมการ ที่ 6 และ 7 (นิมิตร 2543) ดังนี้

$$WHP_2 = (Gauge_{in} - Gauge_{out}) \times 10.2 \times Q \times 9,810 \quad (6)$$

โดยที่ WHP_2 = กำลังที่นำไปใช้ (Watt)
 $Gauge_{in}$ = ความดันน้ำเข้ากังหันน้ำ (bar)
 $Gauge_{out}$ = ความดันน้ำออกจากกังหันน้ำ (bar)
 Q = อัตราการไหล ($m^3 s^{-1}$)

$$Efficiency_{turbine} = \frac{BHP}{WHP_2} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่ $Efficiency_{turbine}$ = ประสิทธิภาพกังหัน (%)

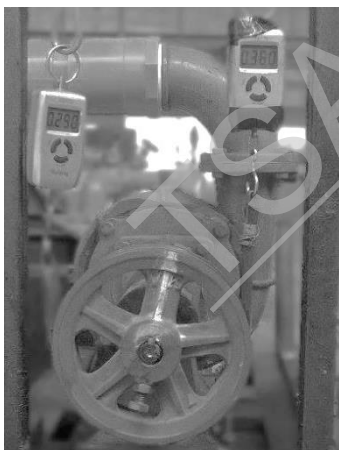


Figure 5 Break Horsepower measurement.

2.2.3 การทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

การทดสอบนี้จะนำชุดเครื่องชั่งดิจิตอลออก ทำการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับมู่เลย์กังหันน้ำ โดยนำค่าพลังงานสูงสุดที่ได้จากการทำสอบ BHP มาคำนวณค่าอัตราทดของมู่เลย์ใหม่ให้ความเร็วรอบของกังหันน้ำที่ได้พลังงานสูงสุดใกล้เคียงกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงจำเป็นต้องปรับขนาดมู่เลย์ที่ต่อกับกังหันน้ำให้เหมาะสม ซึ่ง

มู่เลย์ขนาดเดิมของกังหันมีขนาด 2.63 นิ้ว ได้ค่า BHP มากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,125 rpm เป็นความเร็วการหมุนที่ไม่เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ จำเป็นต้องปรับขนาดมู่เลย์ของกังหันน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1.33 เท่าของขนาดเดิม เพื่อให้ได้จำนวนรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้ใกล้เคียง 1,500 rpm จากนั้นทำการเชื่อมต่อมู่เลย์กังหันน้ำกับมู่เลย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยสายพานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าดังที่แสดงใน Figure 6.

การทดสอบระบบ จะเริ่มเปิดวาล์วน้ำให้น้ำไหลเข้าสู่กังหันน้ำเมื่อถึงรอบที่เหมาะสมจึงทดลองเชื่อมต่อโหลดไฟฟ้าเพื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_{load}) และค่ากระแสไฟฟ้า (I_{load}) เพื่อคำนวณหาค่าพลังไฟฟ้า (P_{load}) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มโหลดไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ และวัดค่าต่างๆ เข้าเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของการทดลอง หลังจากนั้นปรับเปลี่ยนความดันน้ำ แล้วทำการทดลองซ้ำอีก

การหาประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการที่ 8 (นิมิตร, 2543) ดังนี้

$$Efficiency_{generator} = \frac{P_{load}}{BHP} \times 100 \quad (8)$$

โดยที่ $Efficiency_{generator}$ = ประสิทธิภาพไฟฟ้า

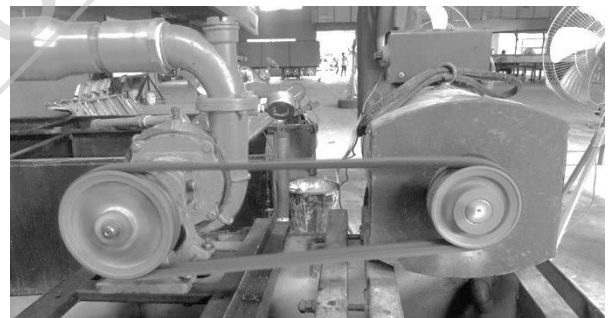


Figure 6 Generator powered by water turbine.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบหาค่า Water Horsepower (WHP) ของระบบที่ความดันต่าง ๆ

ในการทดลองหาค่า WHP เป็นการวัดค่าต่างๆ เช่น ความเร็วการหมุนของมู่เลย์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ปั๊มน้ำ อัตราการไหลและแรงดันน้ำ เป็นต้น โดยที่ไม่มีแรงดึงกระทำต่อมู่เลย์ จะได้ค่าพลังงานของน้ำในสภาวะที่กังหันน้ำไม่มีภาระ (No load) การปรับอัตราการไหลเพื่อทดสอบค่าพลังงานออกมาที่ความดันต่างๆ ผลการทดสอบ WHP ดังแสดงใน Figure 7. ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าความดันจากปั๊มน้ำต้นพลังมีผลต่อความเร็วรอบการหมุนฟรี (Slip) ของมู่เลย์ และส่งผลโดยตรงต่อค่าพลังงานที่ได้ออกมาด้วย โดยเมื่อความดันจากปั๊มน้ำต้นพลังลดลง ค่าความเร็วรอบของมู่เลย์จะลดลงและทำให้ได้ค่าพลังงานที่ได้น้อยลงจากการทดสอบที่ความดันสูงสุดที่ 2.4 bar มีอัตราการไหล

เท่ากับ $0.0167 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ จากการทดลองทั้งหมดสามารถคำนวณกำลังงานสูงสุดได้ 4,003 Watt ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดในสภาวะไม่มีภาระ

การคำนวณพลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ทำโดยการวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า แล้วทำการคำนวณพลังงานที่ใช้โดยสมการที่ 3 จากข้อมูลการทดลองสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏได้ 11,725 VA คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 8,793.7 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพพลังไฟฟ้าเท่ากับ 45.5% ซึ่งระบบมีการสูญเสียพลังงานไปกับความร้อน แรงเสียดทานและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

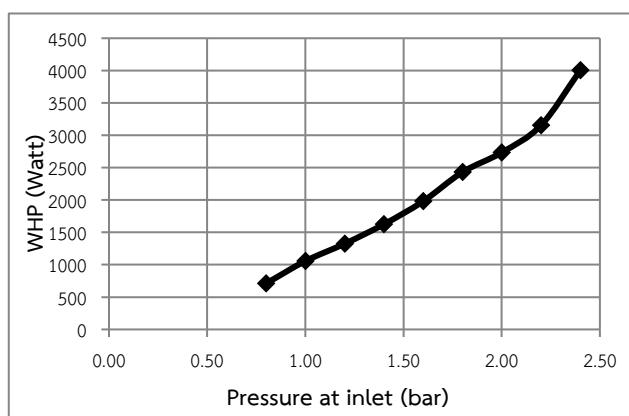


Figure 7 Water Horsepower produced by water pumps.

ใบพัดของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลมีทิศทางการหมุนและความโค้งของใบพัดที่จะผลักดันให้น้ำไหลเข้าตรงกลางใบพัดถูกผลักออกสู่รอบนอกโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนของใบพัด ทำให้ปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความดันและอัตราการไหลของน้ำ โดยรูปการหมุนแสดงใน Figure 8. (a) ส่วนกังหันน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นใบพัดของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัลที่ไม่มีการดัดแปลงแก้ไขใดๆ นำมาใช้เป็นกังหันน้ำโดยการกลับทิศทางการไหลของน้ำภายในช่อง โดยการจ่ายน้ำเข้าที่ทางออกด้านบนของช่อง น้ำจะไหลเข้าจากด้านบนแล้วหมุนวนภายในช่องก่อนจะไหลออกตรงกลางของช่อง ทิศทางการหมุนของกังหันน้ำจึงมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงใน Figure 8.(b)

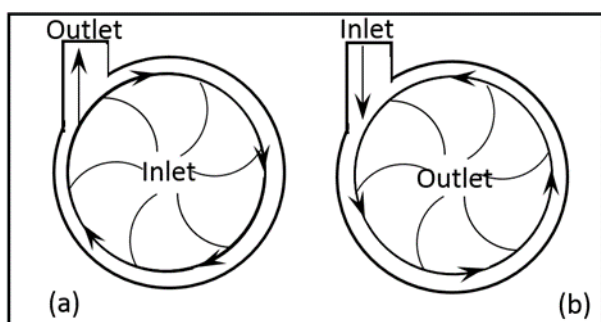


Figure 8 Rotation direction of centrifugal pump (a) and rotation direction of Pump as Turbine (b).

ซึ่งทิศทางการหมุนของกังหันเป็นทิศทางการหมุนที่กลับทิศทางการกับการหมุนปกติของปั้มน้ำแบบเซนติฟูกัล จึงส่งผลให้การไหลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ใบกังหันแบบนี้จะทำให้การไหลของน้ำที่อยู่รอบนอกเข้าสู่กึ่งกลางของใบกังหันได้ยากกว่าปกติ จะส่งผลให้รอบความเร็วการหมุนและแรงที่ได้จากกังหันน้ำในการทดลองนี้น้อยกว่าใบพัดของกังหันน้ำปกติ โดยกังหันน้ำปกติจะมีทิศทางการโค้งใบพัดตั้งรับความดันและทิศทางการไหลของน้ำได้ดีกว่าใบพัดของปั้มน้ำ ดังแสดงในภาพ Figure 9.

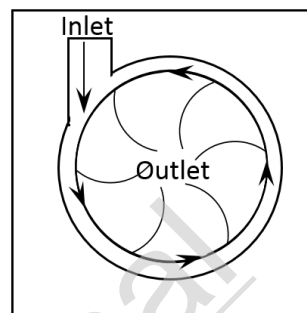


Figure 9 Rotation direction of a water turbine.

3.2 ผลการทดสอบหาค่า Break Horsepower ของระบบที่ความดันต่างๆ

ในการทดสอบ Break Horsepower เมื่อเริ่มทำการทดลองที่ความดันน้ำสูงสุดที่ 2.4 bar จะได้ผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออกที่ 1.7 bar และไม่มีแรงดึงที่สายพานคล่องมู่เล่ย์ จะได้ความเร็วรอบการหมุนของมู่เล่ย์สูงสุดที่ประมาณ 2,036 rpm จากนั้นเริ่มทำการเพิ่มแรงดึงที่สายพานคล่องมู่เล่ย์ ค่าความเร็วรอบของมู่เล่ย์ค่อยๆ ลดลงเหลือ 1,918 rpm สามารถคำนวณกำลังงานได้ 268 Watt ดังแสดงใน Figure 10. เมื่อเพิ่มแรงดึงที่สายพานไปเรื่อยๆ ค่ากำลังงานที่สามารถคำนวณออกมาได้จะค่อยๆ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่มีความเร็ว 1,125 rpm มีค่าพลังงานที่คำนวณได้สูงสุดที่ประมาณ 1,408.08 Watt พลังงานที่จุดนี้เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างความเร็วรอบการหมุนของมู่เล่ย์และแรงดึงที่สายพานที่ส่งผลให้เกิดค่ากำลังงานสูงสุดและเป็นความเร็วรอบการหมุนที่เลือกใช้ในการปรับแก้อัตราทดของมู่เล่ย์เมื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าในการทดสอบต่อไป จากนั้นเมื่อเพิ่มค่าแรงดึงที่สายพานอีกทำให้ความเร็วรอบการหมุนลดลง และจะได้ค่าพลังงานที่ลดลงไปเรื่อยๆ หลังจากทำการทดลองซ้ำที่ความดันความดันอื่นๆ ผลการทดลองทั้งหมดแสดงใน Table 1.

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงาน WHP₂ กับ BHP จะได้ค่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่ความดัน แสดงใน Figure 11. ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำ มีความสอดคล้องกับผลของการทดสอบในความดันอื่นๆ คือที่ความดันน้ำสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพออกมาจะได้สูงสุดที่ 49.45%

จากกราฟใน Figure 10. แสดงให้เห็นเส้นโค้งของพลัง BHP ที่ความดันน้ำต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดลอง แต่ละเส้นจะมีจุดที่มีค่าพลังงานสูงสุดหรือ Peak Power (PP) อยู่ 1 จุด ซึ่งเป็นจุดที่แสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบของกังหันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละความดันน้ำ ซึ่งเมื่อลากเส้นเชื่อมจุดสูงสุดเหล่านี้ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่า BHP สูงสุดที่แรงต่างๆ ที่เป็นลักษณะเฉพาะของกังหันตัวนี้ สมการนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันน้ำที่ความดันอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำการทดลองได้

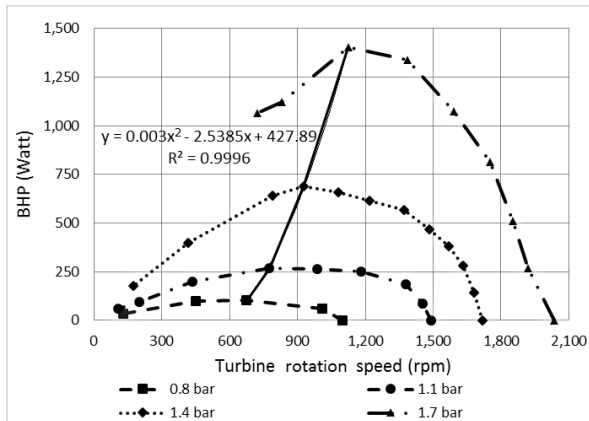


Figure 10 Break Horsepower at various rotation speeds.

Table 1. Shows details of the turbine efficiency.

Pressure of turbine			WHP2	BHP	Turbine Efficiency
Gauge inlet (bar)	Gauge outlet (bar)	Pressure difference (bar)	(Watt)	(Watt)	(%)
2.4	0.7	1.7	2,835.57	1,402.08	49.45
2	0.6	1.4	1,913.6	687.98	35.95
1.6	0.5	1.1	1,362.01	263.76	19.37
1	0.2	0.8	845.29	102.47	12.12

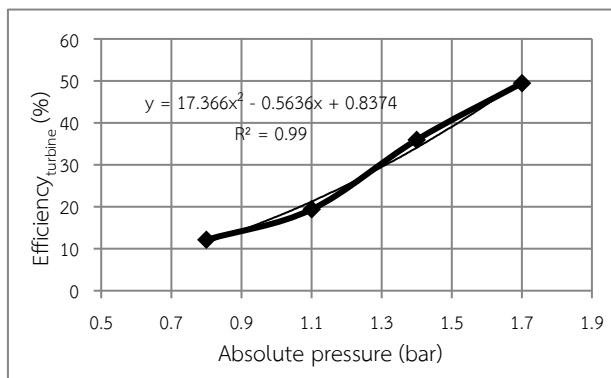


Figure 11 Efficiency of turbine at various pressures.

3.3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าความดันน้ำ ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการทดลองจะเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดง Figure 12. จากกราฟแสดงค่าที่ความดันเริ่มต้นที่ความดันน้ำที่ทางเข้า 2.4 bar และ 0.7 bar ที่ทางออก ได้ความดันน้ำสุทธิได้ที่ 1.7 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ 808.5 Watt ที่ความดันสุทธิ 1.4 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 432.5 Watt ส่วนที่ความดันสุทธิ 1.1 bar สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 123.2 Watt และที่ความดันสุทธิ 0.8 bar ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีความเร็วรอบต่ำกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ถ้าจะใช้พลังงานในความเร็วรอบที่ต่ำ จะต้องทำการเปลี่ยนขนาดอัตราทดโดยการลดขนาดมู่เล่ย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้มีความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจึงจะสามารถใช้งานได้

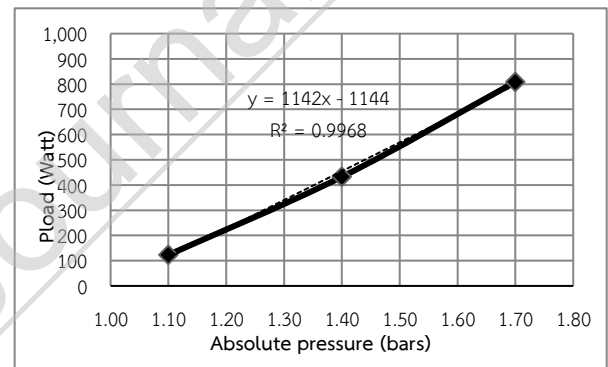


Figure 12 Generated electricity at various heads.

ในส่วนของการประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์ดัง Figure 13. ความสัมพันธ์นี้แสดงถึงความดันน้ำสุทธิกับประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่ความดัน 1.7 bar มีประสิทธิภาพ 57.66% ที่ความดัน 1.4 bar มีประสิทธิภาพ 62.87% และที่ความดัน 1.1 bar มีประสิทธิภาพ 46.75% ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีความต้องการความเร็วรอบที่แตกต่างกันออกไป การเลือกความเร็วรอบใช้งานที่เหมาะสมจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

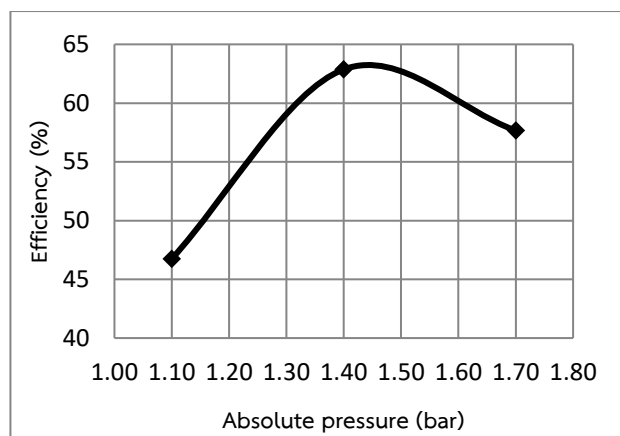


Figure 13 Efficiency of generator at various pressures.

4 สรุป

จากผลการทดลองกังหันน้ำแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มเป็นกังหันน้ำ (Pump as turbine) ตั้งแต่การจ่ายพลังงานกระแสไฟฟ้าต้นทางจนถึงปลายทาง จากผลการทดสอบพบว่าในการทดสอบหาค่า WHP นั้น ความดันของน้ำมีผลต่อค่า WHP ที่ได้ออกมาโดยเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ค่า WHP เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการทดสอบได้ประสิทธิภาพ WHP สูงที่สุด 45.5% ในส่วนของการทดสอบหาค่า BHP เมื่อความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ค่า BHP ที่ได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วจึงค่อยๆ ลดลง โดยจะมีค่า BHP สูงสุดหนึ่งค่าเสมอ จากการทดสอบได้ค่า BHP สูงสุดเท่ากับ 1,402.08 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพ 49.45 % และการทดสอบหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความดันต่างๆ พบว่าค่าความดันน้ำมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะได้ออกมา โดยเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย จากการทดสอบได้ค่าพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 808.50 Watt คิดเป็นประสิทธิภาพ 57.66% ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองของ Phuttarat (2019) ได้ประสิทธิภาพ 45.5% ส่วนหนึ่งเกิดจากการทดลองนี้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าการใช้มอเตอร์สามเฟสมาดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (นที และคณะ, 2552) การใช้มอเตอร์สามเฟสมาดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและมีขนาดให้เลือกหลากหลายมากกว่าการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (นระ, 2546)

ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้านี้ มีการลงทุนโดยประมาณ 20,000 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องที่ 0.8 หน่วยต่อชั่วโมง หรือ 576 หน่วยต่อเดือน ซึ่งเมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ประมาณ 4 บาทต่อหน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561) จะมีค่าเท่ากับ 3.2 บาทต่อชั่วโมง โครงการจะมีความคุ้มค่าเป็นระยะเวลาประมาณ 260 วัน หรือถ้ารวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอาจจะทำให้จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1 ปี หากมีการนำไปพัฒนาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ปั๊มน้ำแทนกังหันน้ำแบบนี้ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำต้นทุนปริมาณมากและระดับความดันน้ำที่มากกว่า 15 เมตรขึ้น

ไปจะสามารถนำพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างกังหันน้ำขึ้นมาใหม่ทำให้การทำโครงการลักษณะนี้ตายตัวขึ้นมาก เพราะนอกจากจะมีต้นทุนที่ต่ำแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาดมาใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงใดๆ ทำให้ประหยัดแรงงาน และเวลาที่จะใช้ไปได้อย่างมาก

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือ อีกทั้งอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2564. สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. แหล่งข้อมูล: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2455&Itemid=116 เข้าถึงเมื่อ 2 กันยายน 2563
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2561. อัตราค่าไฟฟ้า แหล่งข้อมูล: <https://www.mea.or.th/minisite/doingbusinessinbkk/download/view/1000495> เข้าถึงเมื่อ 2 กันยายน 2563
- นที ศรีทอง, คมสัน หุตะแพทย์, และ ญัฐภูมิ สุดแก้ว. 2552. กังหันลม กังหันน้ำ ผลิตไฟฟ้าใช้เอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.
- นิมิตร เติตฉันทพิพัฒน์. 2543. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นระ คมนามูล. 2546. เทคโนโลยีเครื่องกังหันน้ำ. เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน การพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัทเซเวนพรีนติ้ง กรุ๊ป จำกัด. 39-54.
- วัฒนา ถาวร. 2555. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ. โรงต้นพลังไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่ 19. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). 55-82.
- Matthias, K., Terheiden K., Silke W., 2019. Pumps as turbines for efficient energy recovery in water supply networks, Journal of Renewable Energy, 122.
- Phuttarat, S. 2019. Pump as turbine with induction generator for pico hydropower generation. Ph.D. dissertation, Naresuan University.
- Carravetta, A., Houreh, D., Ramos, M.H., 2018. Pumps as turbines : fundamentals and applications. E-book, Springer. pp.15-16.



การเปรียบเทียบโรงเรือนแบบหลังคาฟันเลื่อยและแบบหลังคาสองชั้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพืชผัก

Comparison of Greenhouses roof Sawtooth and Double-roof Suitable for Vegetable Production

วุฒิพล จันทรสระคู^{1*}, สราวุธ ปานทน¹, เอกภาพ ป้านภูมิ², วรธนะ สมณี², รัตติกาล ยุทธศิลป์³, ณัฐชัยธร ชันติยะพุดิเมธ³, รพีพร ศรีสถิตย์³, นฤทัย วรสถิตย์³

Wuttiphol Chansrakoo^{1*}, Sarawuth Parnthon¹, Akkaparp Panphoom², Wantanah Somnuak², Rattikan Yutthasin³, Natchayatorn Kantiyaputtimeth³, Rapeeporn Srisatit³, Naruatai Worasatit³

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร 1 ม.5 ต.คันธูลี อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี 84170

¹Surat thani Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture. Khan thuli, Tha chana, Surat thani 84170.

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร 320 ม.12 ถ.มะลิวัลย์ ต.บ้านทุ่ม อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

²Khon Kaen Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture. Bantum, Muang, Khon Kaen 40000.

³สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร 180 ต.ศิลา อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

³Office of Agricultural Research and Development Region 3, Department of Agriculture, Muang, Khon Kaen 40000.

*Corresponding author: Tel: +66-8-9072-2155, Fax: +66-7738-0588, E-mail: wuttiphol@gmail.com

บทคัดย่อ

การผลิตพืชผักภายใต้สภาพโรงเรือนเป็นทางเลือกที่จำเป็นกับสภาพเงื่อนไขในสภาพอากาศปัจจุบัน และโรงเรือนที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีสองแบบคือ โรงเรือนแบบหลังคาฟันเลื่อยและแบบหลังคาสองชั้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบโรงเรือนแบบหลังคาฟันเลื่อยและแบบหลังคาสองชั้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพืชผัก โดยโรงเรือนทั้งสองแบบมีโครงสร้างเป็นเหล็กอาบสังกะสีและเหล็กพ่นสีกันสนิม มีขนาด (กxยxส) 6x24x5 m แบบหลังคาโค้งมีช่องเปิดระบายอากาศด้านบนหลังคา มุงหลังคาด้วยพลาสติกความหนา 200 micron คลุมด้วยฟิล์มพลาสติกคัดกรองแสงที่มีสมบัติกรองรังสียูวี ด้านข้างติดตั้งมุ้งตาข่ายสีขาวขนาด 32 mesh โดยรอบ ภายในโรงเรือนติดตั้งอุปกรณ์และชุดควบคุมระบบให้น้ำแบบหยดและการให้น้ำแบบพ่นหมอก 4 ทาง ควบคุมการทำงานโดยการตั้งเวลาอัตโนมัติเพื่อช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในช่วงเวลากลางวันและบันทึกสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงวันตามรอบการผลิตพืช โดยทดสอบกับมะเขือเทศเชอร์รี่ และผักคะน้าฮ่องกง ผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในโรงเรือนแบบหลังคาฟันเลื่อยมีแนวโน้มเจริญเติบโตทางด้านความสูงดีกว่าที่ปลูกในโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้น แต่ในด้านผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้นดีกว่าแบบหลังคาฟันเลื่อย สำหรับคะน้าฮ่องกงที่ปลูกอยู่ภายใต้โรงเรือนทั้งสองแบบพบว่า เมื่อมีอายุ 7 วัน หลังปลูกและก่อนการให้น้ำ ความสูงและจำนวนใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และหลังจากให้น้ำกับคะน้าฮ่องกงติดต่อกันเป็นเวลา 6 สัปดาห์พบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ปลูกในโรงเรือนทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

คำสำคัญ: รูปแบบโรงเรือน, การปลูกพืชผัก, โรงเรือนปลูกพืช

Abstract

Vegetable production in greenhouses is a necessary alternative to the current climatic conditions, and there are two types of greenhouses that are commonly used today: Greenhouse with a sawtooth and double roof. The objective of this research was to compare the suitability sawtooth and double roof houses for vegetable production. Both types of houses are structured in galvanized steel and anti-rust painted steel with dimensions (wxdxh) 6x24x5 m. Plastic roofing with a thickness of 200 microns covered with a plastic film that filters UV rays. The side is equipped with white net, size 32 mesh, all around. Inside the greenhouse, equipment and controls for drip irrigation and a 4-way fogger are installed. Automatic timer controls reduce the temperature and increase the

Received: September 10, 2021

Revised: October 22, 2021

Accepted: October 16, 2021

Available online: June 25, 2022

relative humidity in the air during the day and record the environment during the day according to the crop production cycle. It was tested with cherry tomatoes and Hong Kong kale. The results showed that Cherry tomatoes grown in sawtooth tend to grow better than those grown on the double roof. But in terms of yield and yield composition, cherry tomatoes grown in the double roof were better than sawtooth. For Hong Kong kale grown in greenhouses, it was shown that the height and number of leaves on the last 7 days before plants, fertilized, non-significant, after 6 weeks of fertilization, it was shown that growth and yield of Hong Kong kale grown in greenhouses showed non-significant.

Keywords: Types of greenhouses, Vegetable production, Greenhouses plants

1 บทนำ

ปัจจุบันสภาวะแวดล้อมของโลกมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เกิดปัญหาฝนไม่ตกตามฤดูกาล อากาศร้อนจัด สภาพอากาศแปรปรวนมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต อีกทั้งเมื่อปลูกพืชติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานในพื้นที่เดิม ทำให้เกิดการสะสมโรคและแมลงศัตรูพืช เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก เพื่อลดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช มีพืชผักหลายชนิดที่ตรวจพบสารเคมีตกค้างเกินมาตรฐานที่กำหนด การปลูกผักในโรงเรือนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพราะควบคุมสภาพแวดล้อมได้ดีพอสมควร สามารถเลือกปลูกพืชชนิดที่ตลาดต้องการในแต่ละฤดูกาลได้ และถ้าหากมีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมมาใช้ในการจัดการดิน ปุ๋ย และน้ำเป็นอย่างดี ทำให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพสูงเพิ่มมากขึ้น และที่สำคัญคือ ลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (จริยา และคณะ, 2560) การปลูกผักในโรงเรือนกางมุ้งตาข่ายจะสามารถลดการใช้สารเคมีลงได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับในพื้นที่ที่มีการระบาดของแมลงรุนแรง โดยเฉพาะแมลงที่สร้างความต้านทานต่อสารเคมีอย่างมาก ส่วนมุ้งตาข่ายสีฟ้าจะช่วยลดความเข้มของแสงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ การปลูกผักกางมุ้งมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถป้องกันแมลงศัตรูผักได้ทุกชนิด แต่จะป้องกันพวกผีเสื้อของหนอนชนิดต่างๆ ได้เท่านั้น ส่วนพวกเพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ หนอนแมลงวันขอรบแมลงหวี่ขาวและไร ซึ่งเป็นแมลงขนาดเล็กจะไม่สามารถป้องกัน ได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผักวิธีอื่นร่วมด้วย แต่ถ้าหากใช้มุ้งตาข่ายในลอนที่มีความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 24 หรือ 32 ช่องต่อนิ้วจะสามารถป้องกันได้แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิและความชื้นภายในมุ้ง (จริยา และคณะ, 2560) การผลิตพืชสวนในสภาพที่ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้นั้น ส่วนใหญ่จะผลิตพืชสวนที่มีมูลค่าต่อหน่วยสูงทั้งในรูปแบบผักสด ไม้ดอกไม้ประดับ และเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาโรงเรือนสำหรับการผลิตพืชที่เหมาะสมทั้งคุณภาพและราคา จึงเป็นการเพิ่มโอกาสการแข่งขันของประเทศไทยให้สูงขึ้น (ไกรเลิศ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตามการออกแบบโรงเรือนต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในพื้นที่ที่จะตั้งโรงเรือน ความชื้นสัมพัทธ์ ฝน ลม และพืชที่จะปลูก การพัฒนาเทคโนโลยีโรงเรือนสำหรับการผลิตพืชผักเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตให้สามารถผลิตได้ตลอดปี จำเป็นต้องมีการวิจัยพัฒนาและ

ทดสอบรูปแบบของโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการผลิตพืชแต่ละชนิดตลอดจนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยการผลิตต่างๆ เพื่อความเหมาะสมต่อการลงทุนของเกษตรกรได้

โดยภาพรวมการผลิตพืชผักในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนส่วนใหญ่มีการผลิตกลางแจ้งสามารถผลิตได้ในฤดูหนาว ช่วงเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ ซึ่งไม่สามารถผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดได้ทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีอุณหภูมิสูง แสงแดดจัด และในฤดูฝนมีความชื้นสูงมีโรคแมลงศัตรูพืชหลายชนิดเข้าทำลายพืชได้ง่าย เกษตรกรใช้สารเคมีมากเกินไปจนทำให้มีสารพิษตกค้างในผลผลิตเป็นการผลิตพืชที่ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ยากมีปัญหามากมาย ดังนั้นการผลิตพืชผักภายใต้สภาพโรงเรือนจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะเป็นมีความเหมาะสมกับเงื่อนไขในสภาพอากาศปัจจุบัน เนื่องจากโรงเรือนสามารถป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ป้องกันพืชจากการทำลายของสัตว์ โรค และแมลงศัตรู และยังสามารถกำหนดทิศทางวางแผนการผลิตเร่งการผลิตออกนอกผล และปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูกได้ ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพืชผักในระบบโรงเรือนพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเพื่อแก้ปัญหาสารพิษตกค้างในผลผลิต เกษตรกรสามารถผลิตพืชผักที่มีคุณภาพส่งป้อนตลาดได้พอเพียงและตลอดทั้งปี

โรงเรือนปลูกพืชที่มีศักยภาพที่ควรจะนำมาใช้ในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ได้แก่ แบบหลังคาสามเหลี่ยมหน้าจั่วหรือสามเหลี่ยมด้านเท่าสองชั้น (gable, double roof) เป็นหลังคาโรงเรือนปลูกพืชที่นิยมใช้ในเขตร้อนชื้น เพราะกันฝนได้ดี การระบายอากาศดี และไม่ก่อให้เกิดการสะสมความร้อน แต่ถ้ามุงหลังคาพลาสติกก็ทำให้อากาศอบอ้าวภายในโรงเรือน (Ismail, 1991) แบบหลังคาโค้งสองชั้นซ้อนกัน (Curve, double roof) มีข้อดีเช่นเดียวกับแบบหลังคาจั่วสองชั้น แต่ลักษณะการโค้งของหลังคาจะทำให้แสงสว่างผ่านได้ดีกว่า และโรงเรือนหลังคาหน้าจั่วสองชั้นสามารถระบายอากาศร้อนภายในอาคารได้ดีแม้ในช่วงฝนตกน้ำฝนก็ไม่ไหลเข้ามาในโรงเรือน และแบบหลังคาครึ่งวงกลมเหลื่อมเป็นโรงเรือนที่ออกแบบให้ง่ายต่อการระบายอากาศร้อน เนื่องจากหลังคามีช่องเปิดระบายซึ่งรูปแบบนี้เหมาะสมสำหรับประเทศในเขตร้อน (Chu and Huang, 1991)

โรงเรือนมีหลายรูปแบบ การจะเลือกรูปแบบโรงเรือนที่เหมาะสมนั้นจะต้องพิจารณาหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ ชนิดและปริมาณของพืชที่จะปลูก และต้นทุนเป็นสำคัญ จริยา และคณะ (2560) จากการสำรวจการผลิตผักในโรงเรือนของประเทศไทย (ไกรเลิศ และคณะ, 2548) พบว่า โรงเรือนปลูกผักแบบตาข่ายกันแมลงมี 2 ประเภท คือ 1) โรงเรือนที่นำเข้าจากต่างประเทศ 2) โรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีพัฒนาเองภายในประเทศของบริษัทเอกชน ของเกษตรกร และของมูลนิธิโครงการหลวง โรงเรือนตาข่ายกันแมลงเหล่านี้ส่วนใหญ่มีหลังคา 2 รูปแบบ คือ แบบหลังคาพื้นเลื่อย (ก.ไก่) และแบบหลังคาโค้ง ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด (ไกรเลิศ และคณะ, 2548) แต่ที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาถึงผลการใช้งานของโรงเรือนทั้งสองแบบ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อการเปรียบเทียบโรงเรือนแบบหลังคาพื้นเลื่อยและแบบหลังคาโค้งสองชั้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพืชผัก

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 รูปแบบโรงเรือนที่ใช้ทดสอบ

1) โรงเรือนน็อคดาวน์แบบหลังคาโค้งแบบพื้นเลื่อย หรือแบบ ก.ไก่ (Figure 1 และ 2) โครงสร้างทำด้วยท่อเหล็กกล้าปาวาไนซ์ มีโครงหลักทุกระยะ ต่อม็อคคอนกรีต ฝั่งเดียวเสาเหล็กชุบกาลป์วาไนซ์ พื้นภายนอกปรับพื้นและถมดิน หนาเฉลี่ย 50 cm พื้นภายในโรงเรือนโรยด้วยหิน และปูผ้าใบกันวัชพืชสีขาวชนิดน้ำซึมผ่านได้ มีรายละเอียดดังนี้

- 1.1) เป็นโรงเรือนระบบน็อคดาวน์หลังคาทรงโค้งแบบเหลี่ยม มีช่องระบายอากาศด้านบน ขนาดกว้าง 6 m ยาว 24 m สูง 5 m
- 1.2) โครงสร้างทำด้วยท่อเหล็กกล้าปาวาไนซ์ขนาดตามแบบที่กำหนด มีโครงหลักทุกระยะ 3 m
- 1.3) ต่อม็อคคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 cm ฝั่งเดียวเสาเหล็กชุบกาลป์วาไนซ์เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm ทุกระยะ 3 m และมีคานคอดินยึดระหว่างเสาโรงเรือนแต่ละต้นโดยรอบ
- 1.4) พื้นภายในโรงเรือนโรยด้วยหินเบอร์ 3 หนาเฉลี่ย 8 cm
- 1.5) หลังคาคลุมด้วยพลาสติก PE ผสม UV stabilizer ความหนาไม่น้อยกว่า 200 microns
- 1.6) ผนังทั้ง 4 ด้าน พร้อมช่องระบายอากาศ บุด้วยมุ้งตาข่ายไนลอนกันแมลงชนิด 32 mesh
- 1.7) ด้านหน้าโรงเรือนมีประตูบานเดียว 2 ชั้น (นอก-ใน) พร้อมกล่องประตูระหว่างประตูชั้นนอก ด้านนอกบานเปิด-ปิด ขนาด 1.2 x 2.0 m พร้อมกลอนประตูปิดล็อก ด้านในบานเลื่อนแบบแขวน ขนาด 1.2 x 2.0 m พร้อมกลอนประตูปิดล็อก บานประตูและกล่องประตู บุด้วยมุ้งตาข่ายไนลอนกันแมลงชนิด 32 mesh หลังคาพลาสติกหนา 200 microns
- 1.8) ยึดโครงสร้างเข้าด้วยกันโดยใช้ Clamp ชุบกาลป์วาไนซ์ พร้อมอุปกรณ์มาตรฐานงานโรงเรือน

1.9) ใช้วัสดุล๊อคแบบรางเหล็กสปริง วัสดุคลุมติดกับโครงสร้างเหล็กพร้อมอุปกรณ์ประกอบมาตรฐาน

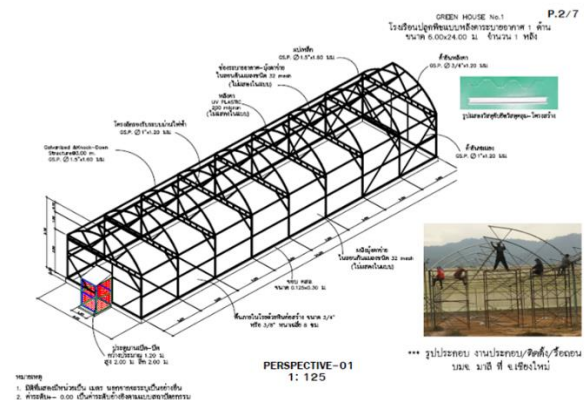


Figure 1 Model of Greenhouse with a sawtooth.

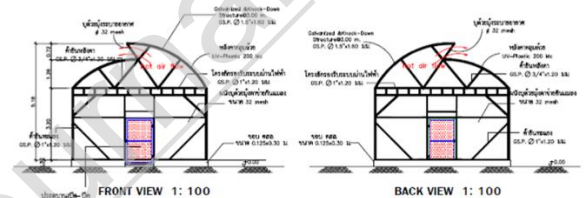


Figure 2 Front and Behind of Greenhouse with a sawtooth.

2) โรงเรือนระบบน็อคดาวน์หลังคาทรงโค้งสองชั้น (Figure 3 and 4) โครงสร้างทำด้วยท่อเหล็กกล้าปาวาไนซ์ มีโครงหลัก ต่อม็อคคอนกรีตฝั่งเดียวเสาเหล็กชุบกาลป์วาไนซ์ พื้นภายนอกปรับพื้นและถมดิน หนาเฉลี่ย 50 cm พื้นภายในโรงเรือนโรยด้วยหิน และปูผ้าใบกันวัชพืชสีขาวชนิดน้ำซึมผ่านได้ มีรายละเอียดดังนี้

- 2.1) เป็นโรงเรือนระบบน็อคดาวน์หลังคาทรงโค้งสองชั้น ขนาดกว้าง 6 m ยาว 24 m สูง 5 m
- 2.2) โครงสร้างทำด้วยท่อเหล็กกล้าปาวาไนซ์ขนาดตามแบบที่กำหนด มีโครงหลักทุกระยะ 2.0 m
- 2.3) ต่อม็อคคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 cm ฝั่งเดียวเสาเหล็กชุบกาลป์วาไนซ์เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm ทุกระยะ 2 m และมีคานคอดินยึดระหว่างเสาโรงเรือนแต่ละต้นโดยรอบ
- 2.4) พื้นภายในโรงเรือนโรยด้วยหินเบอร์ 3 หนาเฉลี่ย 8 cm
- 2.5) หลังคาคลุมด้วยพลาสติก PE ผสม UV stabilizer ความหนาไม่น้อยกว่า 200 microns
- 2.6) ออกแบบและติดตั้งลักษณะเช่นเดียวกันกับ ข้อ 1.6–1.9

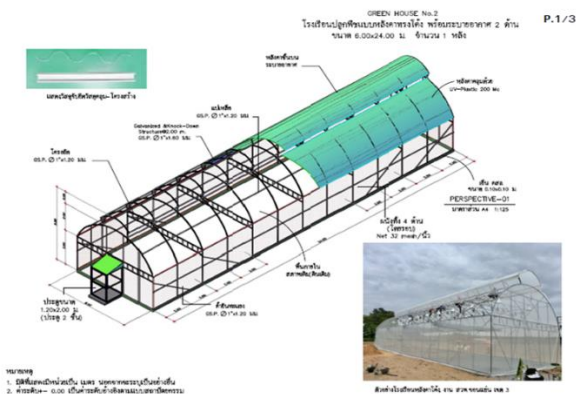


Figure 3 Model of Greenhouse with double roof.

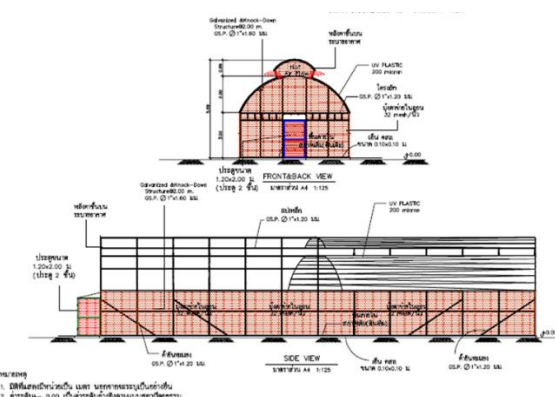


Figure 4 Front and Side of Greenhouse with double roof.

ลักษณะโรงเรือนทั้งสองแบบดังแสดงใน Figure 5 ดำเนินการติดตั้งปั๊มน้ำ ระบบน้ำหยด และระบบควบคุมการจ่ายน้ำภายในโรงเรือน (Figure 6) เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลของประสิทธิภาพการผลิตพืชผักในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบพร้อมทั้งเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สร้างโรงเรือนปลูกพืชและระบบควบคุมต่างๆ พร้อมระบบการจ่ายปุ๋ยแบบวนจอร์ ซึ่งดำเนินการเช่นเดียวกันทั้ง 2 โรงเรือน โดยมีระบบถังน้ำสำรองขนาด 2,000 litre จำนวน 2 ใบ สำหรับใช้กับปั๊มน้ำขนาด 1 hp พร้อมระบบควบคุมวาล์วไฟฟ้าจ่ายน้ำเข้าระบบการปลูกพืชในโรงเรือนด้วยการตั้งเวลาการจ่ายน้ำอัตโนมัติตามระยะเวลาที่ต้องการได้ (Figure 7)



Figure 5 Prototype of Greenhouse with sawtooth and double roof.



Figure 6 Installation of pumps and control systems, water supply in the Greenhouse.



Figure 7 Fogger systems in the Greenhouse.

2.2 วิธีการทดสอบ

มะเขือเทศเชอร์รี่ (Cherry Tomato) เป็นพืชที่เกษตรกรชอบปลูกในสภาพโรงเรือนเพื่อรับประทานผลสด ในการทดลองศึกษาการตอบสนองของมะเขือเทศเชอร์รี่ต่อความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ใส่ลงในดินปลูกพืชในระบบโรงเรือน 2 แบบ คือแบบหลังคาสองชั้น และแบบหลังคาพินเลื้อย โดยดำเนินการย้ายปลูกต้นกล้ามะเขือเทศอายุ 30 วัน ลงในวัสดุปลูกทรายที่บรรจุในถุงปลูกสีขาวขนาด 25.4 cm ไม่เจาะรู เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2562 หลังจากย้ายปลูก 10 วัน เริ่มให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีเป็นระดับความเข้มข้นของสารละลาย ได้แก่ 1) 0% 2) 60% 3) 80% 4) 100% และ 5) 120% ทุกสัปดาห์ อัตรา 1 litre/bag/week โดยแบ่งใส่วันละ 200 ml

คณะอาจารย์ใช้พันธุ์กวนอูเป็นพันธุ์การค้าที่เกษตรกรนิยมปลูกย้ายปลูกวันที่ 22 มิถุนายน 2563 โดยวิธีการย้ายปลูกต้นกล้าอายุ 28 วัน จำนวน 180 ต้น ลงในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว:แกลบดิบ:ทรายแม่น้ำ:แกลบดำ สัดส่วน 60:20:15:5 ส่วนโดยปริมาตร ปรับสภาพ pH ด้วยปูนขาว บรรจุในโตะปลูก ขนาด 1.2 x 6 x 1 m โดยมีวัสดุปลูกหนา 25 cm จำนวน 3 โตะปลูกต่อโรงเรือน พรางแสงด้วยตาข่าย 50% ระยะ

ปลูก 20x20 cm หลังจากย้ายปลูก 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ย A และ B อัตรา 1:1 โดยใช้ Stock ปุ๋ย A และ B อย่างละ 6 ml/water 1 litre ปริมาตร 200 ml/plant/day ปริมาตรรวม 36 litre/table/day

1) เพาะเมล็ดคะน้าฮ่องกงพันธุ์กวนอู ลงในถาดเพาะขนาด 104 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ จำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม รดน้ำวันละ 1 ครั้ง

2) เตรียมวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ ขุยมะพร้าว แกลบดิบ ทรายแม่น้ำ และแกลบดำ (6:2:1.5:0.5) ปรับสภาพด้วยปูนขาว ลงในโตะปลูกขนาด 1.2 x 6 x 1 m โดยมีวัสดุปลูกหนา 25 cm จำนวน 6 โตะปลูก โดยจัดวางไว้ในโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้น และ แบบพินเลื้อย จำนวน 3 โตะปลูกต่อโรงเรือน พรางแสงด้วยตาข่ายสีดำ 50%

3) ย้ายปลูกต้นกล้าคะน้าฮ่องกงอายุ 28 วัน หลังเพาะลงในโตะปลูก โดยให้มีระยะปลูก 20 x 20 cm จำนวน 6 แถวๆ ละ 30 ต้น รวม 180 ต้นต่อโตะปลูก รดน้ำทุกวันๆ ละ 1 ครั้ง

4) หลังย้ายปลูก 7 วัน ให้ปุ๋ย A B อัตรา 1:1 ปริมาตร 200 ml/plant/day จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ และเก็บผลผลิตในระยะที่คะน้าฮ่องกงเริ่มออกดอกตูม

ค่าชี้ผล

1) มะเขือเทศเชอร์รี่ ค่าชี้ผลคือ ความสูงต้น จำนวน น้ำหนัก ความกว้าง และความยาวของผล และค่าเปอร์เซ็นต์ Brix

2) คะน้าฮ่องกง ค่าชี้ผลคือ ความสูง จำนวนใบ และน้ำหนักสด

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการเปรียบเทียบโรงเรือนทั้งสองแบบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ (Table 1 and Figure 8) ที่ปลูกในโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้นในภาพรวมจะดีกว่าแบบหลังคาพินเลื้อย ซึ่งเมื่อดูจากผลการเจริญเติบโตพบว่า โรงเรือนแบบหลังคาพินเลื้อย มีแนวโน้มที่มะเขือเทศเชอร์รี่มีการเจริญโตด้านความสูงดีกว่าแบบโรงเรือนหลังคาสองชั้นในช่วงโตเต็มที่ แต่ในภาพรวมผลผลิตมะเขือเทศในโรงเรือนแบบสองชั้นโดยเฉพาะจำนวนผลต่อต้นจะมีปริมาณที่มากกว่า และขนาดความกว้างและความยาวก็ดีกว่าแบบหลังคาพินเลื้อย



Figure 8 Cherry tomatoes grown in the greenhouse.

3.2 ผลการเปรียบเทียบโรงเรือนทั้งสองแบบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคะน้าฮ่องกง

จากการทดลองปลูกผักกาดคะน้าคือ คะน้าฮ่องกงพันธุ์กวนอู ในโตะปลูกที่อยู่ภายใต้โรงเรือนหลังคาสองชั้นเปรียบเทียบกับหลังคาแบบพินเลื้อยพบว่า การเจริญเติบโตเมื่ออายุต้นกล้า 7 วัน หลังปลูกและก่อนให้ปุ๋ย ทั้งความสูงและจำนวนใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และหลังจากให้ปุ๋ยติดต่อกันเป็นเวลา 6 สัปดาห์พบว่า การเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าฮ่องกงที่ปลูกในโรงเรือนหลังคาทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีความสูงของต้นเฉลี่ย 37.5-37.8 cm จำนวนใบ 11.6-12.1 ใบ และน้ำหนักสดต่อโตะปลูกประมาณ 20 kg (Table 2 and Figure 9)



Figure 9 Hong Kong kale grown in the greenhouse.

3.3 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทั้ง 2 แบบ และนอกโรงเรือน (GH1 = แบบหลังคาสองชั้น, GH2 = แบบหลังคาพินเลื้อย, Out = นอกโรงเรือน)

ในช่วงวันที่ 29 ตุลาคม-24 ธันวาคม 2562 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โรงเรือนสำหรับการทดสอบปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่ ในสภาพการจัดการสภาพแวดล้อมแบบเดียวกัน ด้วยระบบการพ่นหมอกเพื่อช่วยลดอุณหภูมิในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. ตั้งเวลาให้น้ำแบบพ่นหมอกครั้งละ 5 min/hr. จะช่วยลดอุณหภูมิในโรงเรือนในช่วงกลางวัน จากผลการทดลองพบว่า ภายในโรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาสองชั้น มีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.25 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 60.37 %RH โรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาพินเลื้อยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.47 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 62.98 %RH ซึ่งมีความแตกต่างกับสภาพภายนอกโรงเรือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.57 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 55.37 %RH เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิสูงสุดในรอบวันพบว่า โรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาสองชั้นจะมีอุณหภูมิ 46.2 °C ซึ่งต่ำกว่าแบบหลังคาพินเลื้อยที่มีอุณหภูมิสูงถึง 52.5 °C

Table 1 Results of yield component of Cherry tomatoes in greenhouse with sawtooth and double roof.

Treatment	Yield component									
	Number of yield (yield/plant)		Weight of yield (g/plant)		Width of yield (mm)		Long of yield (mm)		%Brix	
	Double roof	Saw tooth	Double roof	Saw tooth	Double roof	Saw tooth	Double roof	Saw tooth	Double roof	Saw tooth
fertilizer 60%	147.25	114.75	2.51	3.32	14.94	14.52	21.51	21.40	10.11	10.52
fertilizer 80%	139.50	141.25	2.40	2.01	14.75	14.13	21.74	21.08	10.55	11.03
fertilizer 100%	154.50	112.50	2.54	2.32	15.63	15.09	23.23	22.18	11.94	11.60
fertilizer 120%	136.50	130.00	2.47	2.37	16.65	15.00	23.80	21.91	11.71	11.88
Maen	145.70	122.10	2.48	2.50	15.49	14.70	22.57	21.60	11.07	11.30
CV (%)	22.4	13.7	15.1	19.9	6.0	5.1	5.5	4.5	6.2	2.1

Table 2 Results of Hong Kong kale grown in greenhouse with sawtooth and double roof.

Treatment	7 day		80 day		Weight (kg/table)
	height/plant (cm)	leaf/plant	height/plant (cm)	leaf/plant	
Double roof	10.9	3.20	37.5	11.6	19.7
Sawtooth	10.6	3.27	37.8	12.1	20.9
T-test	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	8.5	7.03	4.1	7.1	15.2

ในช่วงวันที่ 2 กรกฎาคม-13 กันยายน 2563 ซึ่งเป็นช่วงฤดูปลายฤดูร้อนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โรงเรือนสำหรับการทดสอบปลูกกะหล่ำปลีในสภาพการจัดการสภาพแวดล้อมแบบเดียวกัน ด้วยระบบการพ่นหมอกเพื่อช่วยลดอุณหภูมิในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 8.00 –17.00 น. ตั้งเวลาให้น้ำแบบพ่นหมอกครั้งละ 5 min/hr. จะช่วยให้สภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีอุณหภูมิไม่สูงมากเกินไปในช่วงกลางวัน จากผลการทดลองพบว่า ภายในโรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาสองชั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.56 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69.31%RH โรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาพื้นเลื่อยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.12 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65.28 %RH ซึ่งมีความแตกต่างกับสภาพภายนอกโรงเรือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.62 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 58.84 %RH อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิสูงสุดในรอบวันพบว่า โรงเรือนพลาสติกแบบหลังคาสองชั้นจะมีอุณหภูมิ 41.0 °C ซึ่งต่ำกว่าแบบหลังคาพื้นเลื่อยที่มีอุณหภูมิสูงถึง 43.2 °C โดยมีอุณหภูมิภายนอกสูงถึง 40.4 °C ดังแสดงใน Figure 10

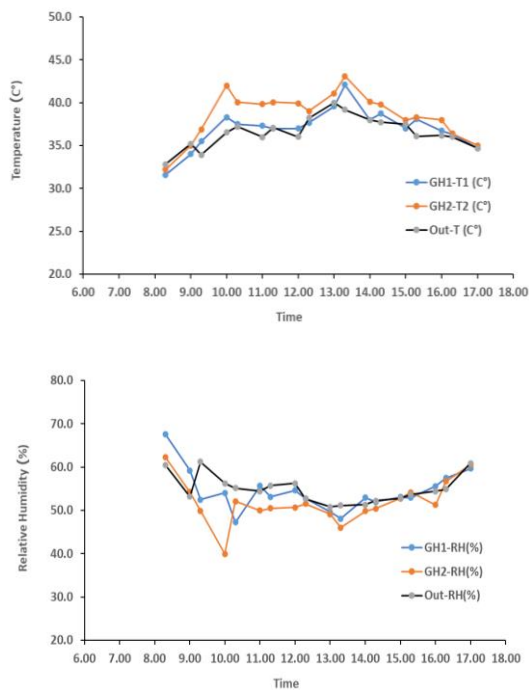


Figure 10 Temperature (°C) and Relative Humidity (%) in Greenhouse with double roof (GH1), sawtooth (GH2) and Outside of Greenhouse.

4 สรุป

ผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ในโรงเรือนโดยเฉพาะจำนวนผลต่อต้นของโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้นจะมีปริมาณที่มากกว่า และขนาดความกว้างและความยาวในภาพรวมก็ดีกว่าโรงเรือนแบบหลังคาพื้นเลื้อย ส่วนคำแนะนำองกองพันธุ์กนู ในโต๊ะปลูกที่อยู่ภายใต้โรงเรือนแบบหลังคาสองชั้น เปรียบเทียบกับหลังคาแบบพื้นเลื้อย พบว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะนำองกอง ที่ปลูกในโรงเรือนหลังคาทั้งสองรูปแบบไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ข้อเสนอแนะในการใช้โรงเรือนเพื่อการผลิตพืชผัก

จากผลการทดสอบและเก็บข้อมูลโดยสรุปผลได้เลือกรูปแบบโรงเรือนแบบหลังคาสองชั้นมีการระบายอากาศด้านบนหลัง 2 ด้าน ซึ่งมีอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ต่ำกว่าโรงเรือนแบบหลังคาพื้นเลื้อย และมีการระบายอากาศได้ดีกว่า สอดคล้องกับ Short (1998) ได้กล่าวไว้ว่าประสิทธิภาพการระบายอากาศในโรงเรือนแบบธรรมชาติขึ้นอยู่กับลมที่พัดผ่านและเข้าออกโรงเรือน และการพัดผ่านจนเกิดสภาวะอากาศและดูดเอาอากาศร้อนออกบนช่องเปิดของหลังคา และในช่วงวันที่ไม่มีลมพัดผ่านการระบายความร้อนตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นโดยการลอยตัวของอากาศร้อนออกทางจั่วที่เปิดระบายอากาศ ทั้งนี้โรงเรือนแบบหลังคาพื้นเลื้อย มีปัจจัยและข้อจำกัดในด้านแนวทิศทางการติดตั้งโรงเรือนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะปัจจัยด้านทิศทางการลมและสภาพพื้นที่บางแห่งอาจจะไม่สามารถเลือกพื้นที่ได้ตามที่เกษตรกรต้องการ เนื่องจากการวางแผนผังโรงเรือนที่ช่องระบายอากาศแบบพื้นเลื้อย หรือ ก.ไก่ รับแรงลมมากไปจะทำให้หลังคาโรงเรือนเสียหายได้ง่าย สอดคล้องกับ ASAE (2002) กล่าวว่า

มุมมองของหน้าจั่วที่เป็นหลังคา ไม่ควรมีความลาดชันมากเกินไปเพราะจะทำให้มีการปะทะของลมมาก วัสดุที่ใช้ทำหลังคาอาจฉีกขาดได้ง่าย นอกจากนั้นแล้วยังมีหลังคาโค้งโดยที่โค้งเป็นโค้งแบบเสี้ยวตลอดหรือโค้งแบบต่างระดับมีความลาดชันต่างกัน ช้อนเกยกันโดยมีระยะห่างของช่องที่เกยกันเพื่อช่วยในการระบายอากาศ

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณข้าราชการ ลูกจ้างประจำ พนักงานราชการ และพนักงานจ้างเหมา ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วง

6 เอกสารอ้างอิง

- ไกรเลิศ ทวีกุล, ศักดิ์ดา จงแก้วพัฒนา, เกษมศักดิ์ ทองเกต, บุญมี ศิริ, สุมิลา เตชะวงศ์เสถียร, จินตนา เอี่ยมลออ, ถาวร อ่อนประไพ, สวัสดิ์ มีชัย, ปราโมทย์ สุกฤษณรินทร์ และพูนทรัพย์ สืบมา. 2548. โครงการศึกษาสถานภาพของการใช้โรงเรือนสำหรับผลิตพืชสวนในสภาพควบคุมเพื่อการค้าในประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).
- จริยา วิสิทธิ์พานิช, อธิสุนทร นันทกิจ, ดนัย บุญเกียรติ, เยาวลักษณ์ จันทราบาง, พชรินทร์ ครุฑเมือง, ชูชาติ สันทรทรัพย์, รัชดาวรรณ ชีวงศ์กูร, อัญชัน ชมพูพวง, สุมาลี เม่นสิน และประนอม ใจอ้าย. 2560. คู่มือการผลิตผักคุณภาพและปลอดภัยในโรงเรือน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ; 270 หน้า.
- ชูชาติ สันทรทรัพย์. 2551. เทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรือน. คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นจาก: http://e-service.agri.cmu.ac.th/download/publication/3057_file.pdf
- ASAE. 2002. Heating Ventilating and Cooling Greenhouse. ASAE STANDARD, ANS/ASAE EP406.3 MAR98. 703-710.
- Chu,Y., M.Huang. 1991. Floriculture under protective covers in Taiwan, pp.14-1-14-20. In International Seminar on cultivation under simple (Plastic/Greenhouse) Constructions in The Tropics and Subtropics. Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan. November. 5-6 1991.
- Ismail, M.R. 1991. Plant microclimatic changes under rain shelter cultivation, pp. 3-1-3-15. In International Seminar on cultivation under simple (Plastic/Greenhouse)

Constructions in The Tropics and Subtropics. Taiwan
Agricultural Research Institute.

Short, T.H. 1998. New Research in Natural Ventilation.
<http://floriculture.osu.edu/archive/jun98/natvent.html>

TSAE Journal