



การพัฒนาเรือไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับรดน้ำพืชในร่องสวน

Development of a Solar-Powered Watercraft for Ridge Planting Irrigation

ชูเกียรติ โชติกเสถียร¹, ภาวิณ์ ธัญญะทรานนท์^{2*}Chukiat Chotikasatian¹, Pawin Thanpattranon^{2*}¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม, 73000¹Industrial Arts, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University - Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140*Corresponding author: Tel: +66-8-9678-8564, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengpwt@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเรือร่อนน้ำพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่สามารถควบคุมผ่านรีโมท และประเมินต้นทุนเพื่อเป็นต้นแบบให้เกษตรกรสามารถใช้งานโดยใช้อุปกรณ์ที่จัดหาได้ในท้องถิ่น เรือดังกล่าวถูกควบคุมด้วยบอร์ด Arduino uno R3 และรับสัญญาณวิทยุจากรีโมทบังคับ ต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การให้น้ำแบบพ่นฝอยเกิดจากหัวสปริงเกอร์ 180 องศา จำนวน 6 หัว กับเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มแช่ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้เป็นเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งถูกควบคุมให้ประจุไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ 2 ลูก ค่าเฉลี่ยระดับน้ำชลประทานที่ได้จากเรือจะมีปริมาณน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามแนวรัศมีการกระจาย อย่างไรก็ตามการให้น้ำโดยเรือจะมีปริมาณน้ำที่ได้ในพื้นที่ 1 ไร่ สูงกว่าการใช้แรงงานคน และพบว่าการให้น้ำโดยใช้เรือมีระยะเวลาการจัดการน้อยกว่าการให้น้ำโดยใช้แรงงานคนประมาณ 2.91 เท่า และปริมาณน้ำที่ได้ยังคงสูงกว่าประมาณ 1.19 เท่า จุดคุ้มทุนต่อปีและระยะเวลาคืนทุนเมื่อปริมาณการใช้งานเท่ากับจุดคุ้มทุนของเรือมีค่า 133.09 ไร่ และ 8.15 ปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพื้นที่การปลูกแบบร่องคูที่มีความกว้างของคันดินมากกว่าการศึกษานี้ หรือความเข้มแสงแดดที่อ่อนในวันที่ปฏิบัติงานจะทำให้มีการใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่สูงขึ้น ข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเพื่อยกระดับประสิทธิภาพการทำงานของเรือ

คำสำคัญ: เรือไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, รีโมทบังคับ, ระดับน้ำชลประทาน, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

Abstract

Main objective of this research was developing a remote controlled solar-powered watercraft together with a cost of productions analysis which interested farmers could use to craft a suitable model for them using local materials. The watercraft's control unit was microcontroller Arduino Uno R3 with radio frequency remote control. The watercraft was driven by DC motors. A watering system was developed using six 180-degree sprinklers and a DC bilge pump. Electrical power for all devices was produced by photovoltaic cells integrated with two batteries and a solar charger unit. An average irrigation water level was significantly decreasing along the radial direction from each sprinkler. However, the irrigation level from the developed watercraft was higher than the water irrigated by labor conventionally. Analysis of field capacity found that the watercraft could finish the irrigation task faster than human 2.91 times approximately, with a higher irrigation water level of 1.19 times. Economical analysis shows that annually break-even-point and pay-back-period according to annually break-even-point period of use was 133.09 rai and 8.15 y, respectively. Anyhow, various of the plantation size and uncertain solar radiation would affect the amount of electrical power used from the batteries. These constrain are need to be concerned and developed to increase the performance of the watercrated.

Received: October 31, 2020

Revised: November 13, 2020

Accepted: November 13, 2020

Available online: November 23, 2020

1 บทนำ

การสูญเสียระยะเวลาทำงานในแปลงเกษตรเนื่องจากการจัดการกับระบบการให้น้ำเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งนักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการศึกษาหาเครื่องมือมาช่วยลดระยะเวลาทำงานของเกษตรกรลง (พรรณวิภาและคณะ, 2558; ณรงค์ชัยและคณะ, 2560; ปาริชาติและธีรศาสตร์, 2561; พงศ์ศักดิ์และคณะ, 2563) การปลูกพืชแบบร่องคูเป็นวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูกกับพืชผัก พืชไร่ พืชสวน และพืชอาหารสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักน้ำและระบายน้ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2563) ซึ่งความกว้างของคูน้ำประมาณ 1–3 m และความกว้างของแปลงประมาณ 3–6 m ปัจจุบันแปลงเกษตรกรรมส่วนใหญ่มีอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีระบบไฟฟ้ารองรับ และวิธีการจัดการการให้น้ำในร่องสวนของแปลงเกษตรกรรมมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคนในการตักกักน้ำ การใช้เรียวยนต์ติดเครื่องสูบน้ำ และการติดตั้งระบบท่อส่งน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาการสูญเสียในเรื่องของระยะเวลาทำงานยังไม่ใช่วิธีการเดียวที่ต้องได้รับการแก้ไขสำหรับเกษตรกร เนื่องจากการจัดการระบบการให้น้ำยังต้องคำนึงถึงค่าแรงงาน ค่าเครื่องมือ และค่าดำเนินการต่างๆ แต่วิธีการข้างต้นยังมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการปฏิบัติงาน เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าเชื้อเพลิง และค่าไฟฟ้าสำหรับสูบน้ำผ่านระบบท่อ เป็นต้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้พลังงานธรรมชาติจึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่จะลดค่าใช้จ่ายในระบบการเพาะปลูก เซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar cell) เป็นเทคโนโลยีในปัจจุบันที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า พงศ์ศักดิ์และคณะ (2563) ได้ประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์สำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องสูบน้ำในแปลงอ้อย และปาริชาติและธีรศาสตร์ (2561) ประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเซ็น 2 ล้อ เพื่อดูน้ำที่ระดับความลึก 4 m และใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์โดยตรง อย่างไรก็ตามการประยุกต์ดังกล่าวเป็นการใช้งานโดยที่ชุดอุปกรณ์ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้และยังไม่มีข้อมูลการทดลองสำหรับการให้น้ำแบบร่องสวน ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเรือรดน้ำพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่สามารถควบคุมผ่านรีโมทบังคับ (Remote control) และประเมินต้นทุน เพื่อเป็นต้นแบบให้เกษตรกรสามารถสร้างใช้งานโดยใช้อุปกรณ์ที่จัดหาได้ในท้องถิ่น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

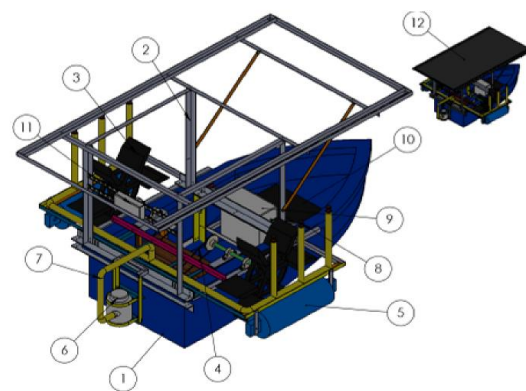
2.1 ตัวเรือและชุดอุปกรณ์ขับเคลื่อน

Figure 1 (a) แสดงภาพถ่ายเรือไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับรดน้ำในร่องสวน โดยเรือดังกล่าวเป็นวัสดุไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) มีขนาดความกว้าง 0.80 m ความยาว 1.80 m และความสูง 0.53 m ผู้วิจัยออกแบบโครงอลูมิเนียม (Aluminium) ดังแสดงใน Figure 1 (b) (หมายเลข 2) สำหรับยึดติดอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ขวดน้ำพลาสติก (Plastic) ซึ่งบรรจุน้ำ 2 l จำนวน

15 ขวด ถูวางไว้ที่ตำแหน่งด้านหน้าภายในเรือ เพื่อให้จุดศูนย์กลางของน้ำหนักเรืออยู่ต่ำกว่าปกติ นอกจากนี้ที่นุ่นพลาสติก (หมายเลข 5) ถูกยึดติดที่ตำแหน่งด้านข้างตัวเรือทั้งสองด้านเพื่อประคองตัวเรือให้ไม่เสถียรภาพ ต้นก้ำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V ทอร์ก 0.8 Nm (Manufacturer unknown) จำนวน 2 ตัว โดยถูกติดตั้งอยู่ฝั่งซ้ายและขวาภายในตัวเรือ มอเตอร์แต่ละตัวจะส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ที่มีอัตราทด 1:2 (หมายเลข 4) ไปยังใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.64 m ที่ติดแผ่นอลูมิเนียมบนครีบบใบจำนวน 6 ใบพัด (หมายเลข 3) ใบพัดดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ



(a)



(b)

Figure 1 (a) The solar-powered watercraft for ridge planting irrigation and (b) equipment setup for the solar-powered watercraft.

2.2 อุปกรณ์การให้น้ำ

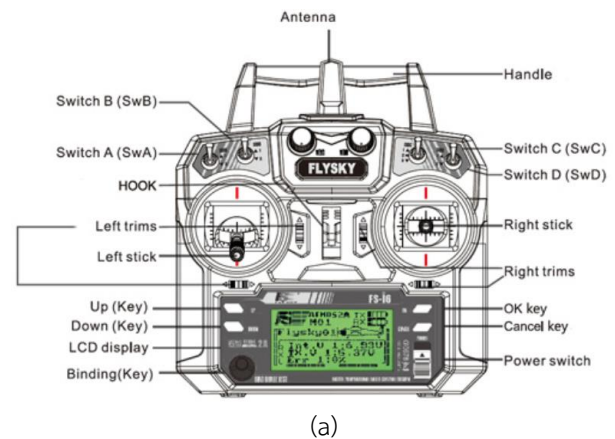
เครื่องสูบน้ำชนิดหนีศูนย์แบบจุ่มแช่ (อัตราการไหลสูงสุดที่ 14,000 l hr⁻¹ และกำลังไฟฟ้า 168 Watt) (SFBP1-G3700-01,

Xiamen Huiliyuan Imp. & Exp. Co. Ltd., Xiamen, Fujian, China) ซึ่งรองรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง 12 VDC ถูกติดตั้งที่ด้านหลังภายนอกตัวเรือ (Figure 1 (b), หมายเลข 6) เมื่อเครื่องสูบน้ำทำงาน น้ำจะถูกดูดและส่งไปตามท่อ PVC (หมายเลข 7) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ซึ่งถูกต่อเข้ากับหัวสปริงเกอร์ 180 องศา ขนาดเกลียวใน $\frac{3}{4}$ นิ้ว จำนวน 6 หัว (หมายเลข 8) เพื่อให้เกิดการให้น้ำแบบพ่นฝอย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้หัวสปริงเกอร์อยู่สูงจากจากระดับผิวน้ำเป็น 0.8 m เนื่องจากที่ระยะดังกล่าวมีรัศมีการกระจายตัวของน้ำไกลสุด (i.e., อัตราการไหลคงที่)

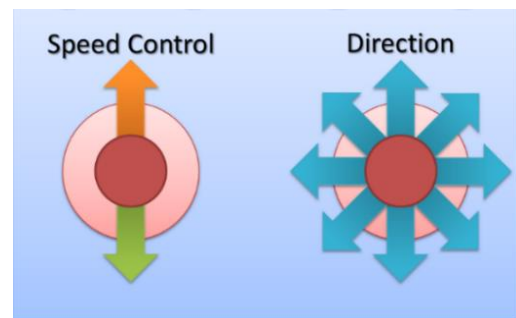
2.3 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์

แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้คือเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (LTS330-72, LVTOPSUN Solar Co. Ltd., Mueang Samut Prakan, Samut Prakan, Thailand) ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า 330 Watt และมีขนาดความกว้าง 1 m และความยาว 1.96 m (Figure 1 (b), หมายเลข 12) การประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกสำรองลงในแบตเตอรี่ชนิดเจล (Seal lead-acid) (HGL 12.0-12) (หมายเลข 10) จำนวน 2 ลูก ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้า (Solar charger) (PMW SUNSOLAR LS-30A 12V/24V, manufacturer unknown) ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 24 VDC และกระแสสูงสุด 30 A (หมายเลข 11) อุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Manufacturer unknown) จะทำหน้าที่ในการลดแรงดันจากอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าจาก 12 VDC เป็น 5 VDC ก่อนที่จะจ่ายไปยังบอร์ด Arduino uno R3 (Manufacturer unknown) และชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้งสอง (BTS7960, manufacturer unknown) รีเลย์ (Relay) ขนาด 12 VDC 80A จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switch) ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊มและเครื่องสูบน้ำลงบนบอร์ด Arduino uno R3 โดยสามารถแปลงผลจากชุดรับสัญญาณวิทยุ (Receiver) ชุดรับสัญญาณวิทยุจะรับข้อมูลจากรีโมทบังคับ (Remote control) (FS-i6, FLYSKY Model Ltd., Shenzhen, Guangdong, China) โดยมีระยะการส่งสัญญาณระหว่างตัวรับและตัวส่ง 500 m

Figure 2 (a) แสดงตำแหน่งสวิตช์และก้านบังคับทิศทางบนรีโมทบังคับ ก้านบังคับด้านซ้ายเป็นคันเร่งสำหรับเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊ม ก้านบังคับด้านขวาถูกกำหนดให้ใช้สำหรับควบคุมทิศทาง Switch C (SwC) ถูกกำหนดไว้เพื่อควบคุมการเปิดหรือปิดเครื่องสูบน้ำ Figure 2 (b) แสดงทิศทางของก้านบังคับฝั่งซ้ายและขวาที่สามารถกระทำได้ ความหมายของการทิศทางก้านบังคับฝั่งขวาแต่ละตำแหน่งถูกแสดงใน Table 1



(a)



(b)

Figure 2 (a) Buttons diagram and (b) directions of left and right stick on the remote control.

Table 1 Driving algorithm on the right strick with the watercraft.

Directions of the right strick	Directions of the DC motors and motor speeds		Directions of the watercraft
	Left	Right	
↕	Forward, speed = v	Forward, speed = v	Straight forward
↕	Backward, speed = v	Backward, speed = v	Straight backward
←	Stop	Forward, speed = v	Turn right
→	Forward, speed = v	Stop	Turn left
↖	Forward, speed = 0.357v	Forward, speed = v	Forward and turn left
↗	Forward, speed = v	Forward, speed = 0.357v	Forward and turn right
↙	Backward, speed = 0.357v	Backward, speed = v	Backward and turn left
↘	Backward, speed = v	Backward, speed = 0.357v	Backward and turn right

Note : v is normal speed of driving motor (400 rpm).

2.4 แผนการทดลอง

2.4.1 การวิเคราะห์ระดับน้ำชลประทาน

Figure 3 แสดงการจัดวางถาดพลาสติกขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.12 m² (i.e., กว้าง 0.3 m และยาว 0.4 m) บนริมตลิ่งทั้งสองฝั่งตามแนวการเดินเรือ โดยถาดดังกล่าวถูกจัดวางเป็นระยะทาง 10 m และห่างจากริมตลิ่ง 0.3 m ระยะห่างตามแนวยาวและแนวขวางของการเคลื่อนที่ของเรือเป็น 0.5 m และจำนวนแถวของการวางถาดตามแนวการเคลื่อนที่มีจำนวนทั้งหมด 4 แถว เมื่อเรือเคลื่อนที่ได้ระยะ 10 m ผู้วิจัยจะเริ่มทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ได้จากระบบพ่นฝอยในถาดแต่ละใบ ปริมาณน้ำในถาดแต่ละถาดจะถูกชั่งด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 g เพื่อนำไปคำนวณหาระดับน้ำชลประทานตามสมการที่ 1

$$\text{Irrigation water level} = \frac{W}{A \times D} \times 10^{-3} \quad (1)$$

โดยที่ Irrigation water level คือระดับน้ำชลประทาน (mm), W คือน้ำหนักน้ำ (g), A คือพื้นที่หน้าตัดของถาด (m²) และ D คือความหนาแน่นของน้ำ (g cm⁻³) ผู้วิจัยทำการทดสอบโดยให้เรือแล่นผ่านตลิ่งเป็นจำนวนทั้งหมด 5 เที้ยว และข้อมูลในแต่ละเที้ยวจะถูกบันทึกแยกจากกัน ระดับน้ำชลประทานเฉลี่ยในแต่ละแถว (Row) ตามแนวการเคลื่อนที่ที่ถูกคำนวณมาจากผลรวมของระดับน้ำชลประทานในถาดแต่ละใบ (i.e., 11 ใบ × 5 เที้ยว = 55 ใบ) ระดับน้ำชลประทานเฉลี่ยในแต่ละฝั่งของการเคลื่อนที่ของแถวที่ 2 3 และ 4 จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test (Paired sample test) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลกับข้อมูลแถวที่ 1 (Row 1) ในฝั่งเดียวกัน

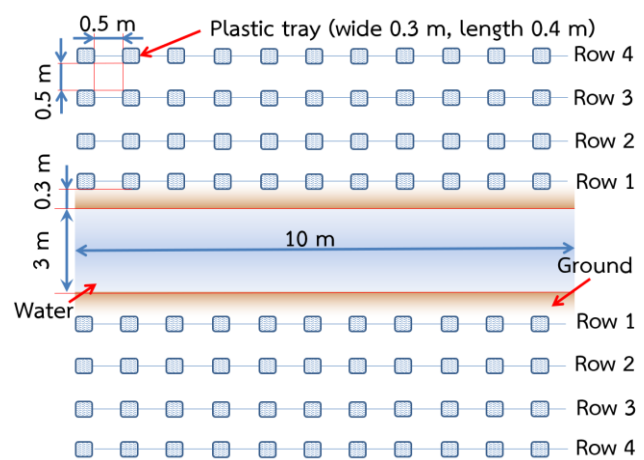


Figure 3 Position of plastic trays on the ground.

2.4.2 การวิเคราะห์สมรรถนะทางไร่

ในการทดลองนี้ เรือถูกทดสอบในร่องน้ำแนวตรง โดยมีขนาดความกว้างของร่องน้ำ 3 m ระยะห่างในแนวระดับระหว่างขอบตลิ่งกับหัวสปริงเกอร์เป็น 0.5 m และระยะทางการเคลื่อนที่ของเรือเป็น 30 m ผู้วิจัยแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ทั้งหมดออกเป็น 2 ช่วง (Figure 4) ได้แก่ ช่วงระยะ 10 m แรกของการเคลื่อนที่ที่จะเป็นช่วงที่เรือเริ่มทำงานเพื่อเร่งความเร็วให้คงที่ และช่วงระยะ 20 m หลังของการเคลื่อนที่ที่จะเป็นช่วงทำงานจริง การจับเวลาทำงานจะเริ่มและสิ้นสุดที่ช่วงหลัง 10 m และ 30 m ของการเคลื่อนที่ตามลำดับ ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในช่วงทำงานจริงจะถูกบันทึกและถูกนำมาคำนวณตามสมการที่ 2

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

โดยที่ v คือค่าความเร็วของเรือ (m s⁻¹) s คือระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (m) และ t คือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s) ผู้วิจัยดำเนินการทดลองและบันทึกผลทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง

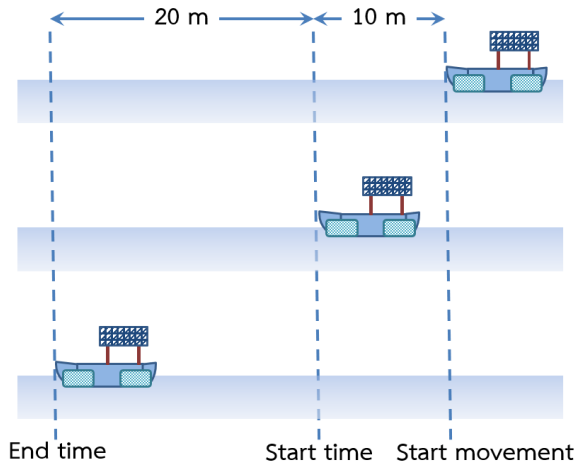


Figure 4 Distance of the watercraft's movement on a canal.

ค่าสมรรถนะทางไร่จากทฤษฎี (Theoretical field capacity (TFC), rai h^{-1}) จะถูกคำนวณตามสมการที่ 3

$$\text{TFC} = \frac{\text{total area}}{\text{work time}} \times 3600 \quad (3)$$

โดยที่ total area คือพื้นที่ปลูกสมมติทั้งหมดเป็น 1 ไร่ และ work time คือ ระยะเวลาที่ทำงานได้จริง (s) ระยะเวลาที่ทำงานได้จริงสามารถคำนวณได้จากระยะทางทำงานทั้งหมด (m) บนพื้นที่ปลูกสมมติที่มีขนาด 1 ไร่ (i.e., กว้าง 40 m และยาว 40 m) (Figure 5) หากด้วยความเร็วเฉลี่ยของเรือ (m s^{-1}) ซึ่งได้จากการทดลองข้างต้น ผู้วิจัยสมมติว่าบนพื้นที่ปลูกดังกล่าวมีคันดินมีจำนวน 6 แถว โดยแต่ละแถวมีความกว้าง 3 m และมีจำนวนร่องน้ำทั้งหมด 7 ร่อง โดยแต่ละร่องมีความกว้าง 3 m (Figure 5) ดังนั้นระยะทางทำงานทั้งหมดในแต่ละแถวมีค่าเท่ากับ 34 m (ไม่คิดระยะทางส่วนปลายคันดิน) และเรือจะมีระยะทางทำงานทั้งหมดเท่ากับ 238 m จากนั้นผู้วิจัยจะเปรียบเทียบผลระหว่างค่าสมรรถนะทางไร่จากทฤษฎีและค่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริง (Real field capacity (RFC), rai h^{-1}) โดยค่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริงสามารถคำนวณตามสมการที่ 4

$$\text{RFC} = \frac{\text{total area}}{\text{work time} + \text{loss time}} \times 3600 \quad (4)$$

โดยที่ loss time คือเวลาที่เรือใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านหัวงานทั้งหมด (i.e., ส่วนปลายคันดิน) (s) Figure 5 แสดงให้เห็นว่าจำนวนหัวงานที่เรือต้องเคลื่อนที่ผ่านมีจำนวน 6 หัว โดยผู้วิจัยกำหนดให้เรือใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 60 s ต่อ 1 หัวงาน ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านหัวงานทั้งหมดมีค่าเป็น 360 s

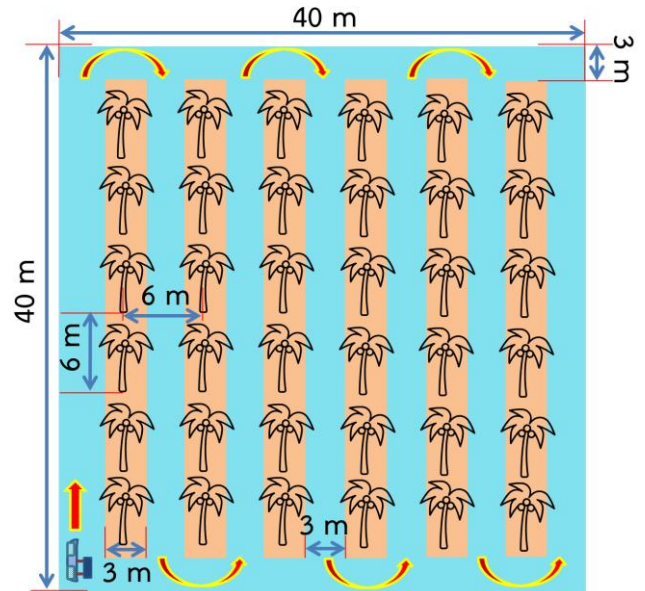


Figure 5 Size of the area (1 ไร่) for calculation.

2.4.3 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost) ค่าใช้จ่ายคงที่ที่ประกอบไปด้วยค่าเสื่อมราคา (Depreciation) (i.e., ค่าเสื่อมราคาของเรือมีอายุการใช้งาน 25 y ตามอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ และค่าเสื่อมราคาของแบตเตอรี่จะเป็นการเปลี่ยนใหม่ทุก ๆ 2 y) และค่าบำรุงรักษาอื่นๆ (i.e., เครื่องจักรกลเกษตรจะมีค่าบำรุงรักษาประมาณ 6% ต่อปีของต้นทุนค่าเครื่องจักร) เป็นต้น ค่าใช้จ่ายผันแปรในงานวิจัยนี้มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point (BEP), ไร่) คือปริมาณพื้นที่ที่เหมาะสมในการใช้เรือสามารถคำนวณตามสมการที่ 5

$$\text{BEP} = \frac{\text{Fixed cost}}{\text{Contribution margin}} \quad (5)$$

โดยที่ Contribution margin คือกำไรส่วนเพิ่มหรือผลต่างระหว่างอัตราค่าแรงคนงานบังคับเรือและค่าใช้จ่ายผันแปร ระยะเวลาคืนทุน (Payback period (PB)) คือระยะเวลาที่ผลกำไรสะสมจากการใช้เรือแทนแรงงานคนเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก โดยคำนวณตามสมการที่ 6

$$\text{PB} = \frac{\text{Initial investment}}{\text{Cash inflow per period}} \quad (6)$$

โดยที่ Initial investment คือต้นทุนสุทธิเริ่มต้น และ Cash inflow per period คือเงินสตรับสุทธิรายปี

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์ระดับน้ำชลประทาน

Table 2 แสดงผลการวิเคราะห์ t-test (Paired sample test) กับข้อมูลระดับน้ำชลประทาน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระดับน้ำชลประทานของแต่ละแถวกับแถวที่ 1 ในฝั่งเดียวกัน แม้ว่าระดับน้ำชลประทานของแถวที่ 1 และ 2 ของแต่ละฝั่งมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระดับน้ำชลประทานแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ การศึกษาครั้งนี้ นักวิจัยคาดว่าระดับน้ำชลประทานที่ระยะห่างจากขอบตลิ่งมากกว่า 1.1 m (i.e., วัดจากระยะห่างจากขอบตลิ่งถึงลาดใบที่ 1 = 0.3 m ระยะความกว้างของลาดใบที่ 1 = 0.3 m และระยะห่างระหว่างลาดใบที่ 1 และ 2 = 0.5 m) จะมีปริมาณน้ำชลประทานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระยะห่างระหว่างหัวสปริงเกอร์กับขอบตลิ่งเป็น 0.5 m นอกจากนี้ผู้วิจัยยังคำนวณเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการให้น้ำโดยแรงงานคนและเรือบนพื้นที่ขนาด 1 rai ดังแสดงใน Figure 5 พื้นที่ดังกล่าวเป็นการจำลองการปลูกต้นมะพร้าวทั้งหมด 36 ต้น ซึ่งมีระยะห่างระหว่างต้น 6 m × 6 m (กว้าง × ยาว) ผู้วิจัยได้ดำเนินการซักถามความสามารถในการทำงานของคนโดยใช้วิธีการตักก้นน้ำจากร่องสวนสำหรับรดน้ำต้นมะพร้าว (สอบถามข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกต้นมะพร้าวในเขตพื้นที่จังหวัดนครปฐม) พบว่ามีค่าโดยประมาณอยู่ที่ 1.50 rai h⁻¹ อุปกรณ์ที่เกษตรกรใช้ในการตักก้นน้ำเป็นแครงรดน้ำสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน ด้านล่าง และสูงเป็น 0.2 0.09 และ 0.13 m ตามลำดับ (i.e., สามารถก้นน้ำได้ในปริมาณ 2.25 l) ดังนั้นปริมาณน้ำที่ให้แก่ต้นมะพร้าวบนพื้นที่ขนาด 1 rai โดยใช้แรงงานคนเป็น 81 l (i.e., จำนวนต้นไม้บนพื้นที่ขนาด 1 rai คูณกับปริมาณน้ำที่ได้จากการตักก้น 1 ครั้ง) ผู้วิจัยจะพิจารณาปริมาณการให้น้ำโดยเรือบนพื้นที่ 1 rai จากข้อมูลค่าเฉลี่ยระดับน้ำชลประทานเฉพาะแถวที่ 1 และ 2 ของแต่ละฝั่ง เนื่องจากการเล่นเรือผ่าน 1 ฝั่งจะมีระยะการกระจายตัวของน้ำใกล้เคียงครึ่งหนึ่งของความกว้างคันดิน (1.5 m) ดังนั้นค่าเฉลี่ยระดับน้ำชลประทานที่ได้มีค่า 0.155 mm และปริมาณน้ำที่ไต่บนพื้นที่ 1 rai มีค่า 94.86 l (คิดเฉพาะพื้นที่คันดินซึ่งมีค่าเท่ากับ 612 m²) การศึกษาครั้งนี้ นักวิจัยพบว่าปริมาณน้ำบนพื้นที่ 1 rai ที่ได้จากรีมีปริมาณสูงกว่าการให้น้ำโดยแรงงานคนประมาณ 1.19 เท่า

Table 2 Results of paired sample t-test analyses on the irrigation water level (mm) (average ± SD, n=55).

Ground Side	Row	Irrigation water levels (mm)	t-test	Sig.
Right	Row 1	0.15 ± 0.03	-	-
	Row 2	0.13 ± 0.04	4.01	0.00 ^a
	Row 3	0.04 ± 0.04	16.91	0.00 ^a
	Row 4	0.01 ± 0.01	34.66	0.00 ^a
Left	Row 1	0.23 ± 0.04	-	-
	Row 2	0.11 ± 0.04	15.93	0.00 ^a
	Row 3	0.03 ± 0.03	33.46	0.00 ^a
	Row 4	0.01 ± 0.01	44.81	0.00 ^a

^aThe difference of the irrigation water level which compared with Row 1 is statistically significant ($P < 0.05$).

3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะทางไร่

ค่าความเร็วเฉลี่ยของเรือในร่องน้ำแนวตรงที่ได้จากการทดสอบ 10 ซ้ำ มีค่า 0.51 m s⁻¹ และเมื่อคำนวณหาระยะเวลาทำงานได้จริงทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 466.67 s ดังนั้นจากสมการที่ 3 จะพบว่าค่าสมรรถนะทางไร่จากทฤษฎีมีค่า 7.71 rai h⁻¹ เมื่อผู้วิจัยพิจารณาจากการทำงานจริงตาม Figure 5 ซึ่งมีการสูญเสียเวลาที่เรือต้องใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านหัวงาน พบว่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริงมีค่าเท่ากับ 4.36 rai h⁻¹ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าสมรรถนะทางไร่จากทฤษฎีมีค่ามากกว่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาว่าเรือมีความเร็วคงตลอดการทำงาน ค่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริงจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแถวปลูก และมีความสูงกว่าการทำงานโดยใช้แรงงานในการตักก้นน้ำ

3.3 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

Table 3 แสดงการผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การคำนวณแสดงต้นทุนสุทธิเริ่มต้นของต้นแบบเรือไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า 29,902 Baht ค่าเสื่อมราคา (Depreciation; DE) ของเรือที่มีอายุการใช้งาน 25 y สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 7

$$DE = \frac{\text{Initial investment} - \text{Scrap value}}{\text{Useful life}} \quad (7)$$

โดยที่ scrap value คือค่าราคาซากมีค่าเท่ากับ 2,990.20 Baht และ useful life คืออายุการใช้งานมีค่าเท่ากับ 25 y ผลการคำนวณตามสมการที่ 7 จะได้ว่าค่าเสื่อมราคาของเรือมีค่า 1,076.47 Baht y⁻¹ ค่าเสื่อมราคาแบบเตอร์รี่ 2 ลูก ซึ่งมีการเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 2 y มีค่า 800 Baht y⁻¹ ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรกลทั่วไปคิดที่ 6% ต่อปีของต้นทุนค่าเครื่องจักร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,794.12 Baht y⁻¹ ดังนั้นค่าใช้จ่ายคงที่จะมีค่าเท่ากับ

3,670.59 Baht y^{-1} ค่าจ้างแรงงานบังคับเรือ (Labor cost index (LCI), Baht rai^{-1}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$LCI = \left(\frac{\text{Wages}}{\text{Working hours}} \right) \times \frac{1}{\text{Work ability}} \quad (8)$$

โดยที่ wages คือค่าแรงขั้นต่ำอ้างอิงจากประกาศราชกิจจานุเบกษา ประกาศคณะกรรมการค่าจ้างเรื่องอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ ซึ่งมีค่า 331 Baht day^{-1} working hours คือจำนวนชั่วโมงทำงานต่อวันของค่าแรงขั้นต่ำมีค่า 8 h day^{-1} และ work ability คือความสามารถในการทำงานของคนกับการใช้แรงงานตักกวักน้ำ รดต้นไม่มีค่า 1.5 $rai\ h^{-1}$ (ข้อมูลจากการสอบถามกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม) ผลการคำนวณตามสมการที่ 8 จะได้ค่าจ้างแรงงานบังคับเรือมีค่า 27.58 Baht rai^{-1} ดังนั้น จดต้นทุนจากการคำนวณตามสมการที่ 5 มีค่า 133.09 rai

เงินสตรับสุทธิตายปีหรือรายจ่ายที่ประหยัดได้คือผลคูณระหว่างจุดคุ้มทุนและค่าแรงงานบังคับเรือ (27.58 Baht rai^{-1}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,670.59 Baht y^{-1} ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนซึ่งคำนวณได้จากตามสมการที่ 6 มีค่า 8.15 y

ทั้งนี้ในทางปฏิบัติ แต่ละปีเกษตรกรจะสามารถใช้งานเรือรดน้ำดังกล่าวได้ถึงจุดคุ้มทุนหรือมากกว่า เป็นไปตามขนาดปริมาณพื้นที่การใช้งาน หรือขนาดพื้นที่ปลูกพืชของเกษตรกรแต่ละราย นอกจากนี้ระยะเวลาคืนทุนที่แสดงไปนั้นเป็นตัวเลขจากการใช้งานเท่ากับปริมาณพื้นที่จุดคุ้มทุน ซึ่งจะมีค่าลดลงอีกตามปริมาณการใช้งาน

Table 3 Economy engineering for the solar-powered watercraft.

Lists	Amount	Unit
Initial investment for the solar-powered watercraft	29,902	Baht
Useful life	25	y
Scrap value	2,990.20	Baht
Theoretical field capacity (TFC)	7.71	$rai\ h^{-1}$
Real field capacity (RFC)	4.36	$rai\ h^{-1}$
Depreciation	1,076.47	Baht rai^{-1}
Maintanace (6% of the initial investment)	1,794.12	Baht y^{-1}
Life of Battery	800	Baht y^{-1}
Fixed cost	3,670.59	Baht y^{-1}
Variable cost	0	Baht y^{-1}
Wages	331	Baht day^{-1}
Working hours	8	$h\ day^{-1}$
Work ability	1.50	$rai\ h^{-1}$
Labor cost index (LCI)	27.58	Baht rai^{-1}
Break-even point (BEP)	133.09	rai
Cash inflow per period	3,670.59	Baht rai^{-1}
Payback period (PB)	8.15	y

4 สรุป

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับลดระยะเวลาทำงานและอำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระดับน้ำชลประทาน การวิเคราะห์สมรรถนะทางไร่ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมกับเรือไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นักวิจัยพบว่าระดับน้ำชลประทานจะลดลงตามแนวรัศมีการให้น้ำที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำโดยเรือจะพบว่าระยะเวลาที่ใช้น้ำพื้นที่ 1 rai จะมีค่าน้อยกว่าการตักกวักน้ำโดยแรงงานคนประมาณ 2.91 เท่า ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณน้ำที่ได้ยังคงสูงกว่าประมาณ 1.19 เท่า การวิเคราะห์สมรรถนะทางไร่จากทฤษฎีพบว่ามีความสูงกว่าจากการทำงานจริง เนื่องจากไม่มีการพิจารณาเวลาที่สูญเสียจากการเลี้ยวที่หัวแปลง เมื่อพิจารณาว่าเรือมีความเร็วคงตลอดการทำงาน ค่าสมรรถนะทางไร่จากการทำงานจริงจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแถวปลูก ค่าใช้จ่ายคงที่ของเรือในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 3,670.59 Baht y^{-1} ในขณะที่ค่าใช้จ่ายผันแปรมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของเรือมีค่า 133.09 rai และ 8.15 y ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพื้นที่การปลูกแบบร่องคูที่มีความกว้างของคันดินมากกว่า 3 m หรือปริมาณแสงแดดที่อ่อนในบางวันจะทำให้ต้องพึ่งพลังงานไฟฟ้าที่สำรองในแบตเตอรี่มากขึ้น

ข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเพื่อยกระดับ
ประสิทธิภาพการทำงานของเรือ

5 กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการ
ส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และสำนักงาน
ประสานงานชุดโครงการวิจัยด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
(สัญญาเลขที่ RDC62T0007)

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร และคณะ
วิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา
เขตกำแพงแสน สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่ สาธารณูปโภค
อุปกรณ์การทดลอง และความอนุเคราะห์อื่นๆ

6 เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2563. ข้อมูลการจัดการดิน. แหล่งข้อมูล:
https://www.ddd.go.th/Web_Soil/clay.htm. เข้าถึงเมื่อ
13 ตุลาคม 2563.

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, ชนระบ วิชาลัย, อรวรรณ จันทสุทโธ,
ณรงค์เดช ยังสุขเกษม. 2560. นวัตกรรมระหัดวิดน้ำจากภูมิ
ปัญญาท้องถิ่น. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ 5(2), 167–
178.

ปาริชาติ ประเสริฐสังข์, อีรศาสตร์ คณาศรี. 2561. การศึกษา
เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากกิจกรรมการจัดการ
เรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 6(1), 63–80.

พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, สมพินิจ เหมืองทอง, ชุตติ ม่วงประเสริฐ,
รัตนา ตั้งวงศ์กิจ. 2563. การให้น้ำหยดด้วยระบบโซลาร์เซลล์
สำหรับการปลูกอ้อย, วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ
3(1), 64–72.

พรรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า, ปิจิราวุธ เวียงจันทา. 2558.
โรงเรียนปลูกพืชควบคุมและมอเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบ
เครือข่าย. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรม
เกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558
และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 454–458. ศูนย์นิทรรศการ
และการประชุมไบเทค. 17–19 มีนาคม 2558, บางนา,
กรุงเทพฯ.