



การวิจัยและพัฒนาเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

Research and Development of an Automatic Fertilizer Applicator for Small Four-Wheel Tractors

ธนพงศ์ แสนจุ่ม^{1*}, ขนิษฐ หว่านณรงค์¹, วิโรจน์ โหระสาตร์¹, สราวุธ ปานทน², สโรชา ถึงสุข³, อานนท์ สายคำฟู¹, เอกภาพ ปานภูมิ⁴, อาริ พรบุญ¹, อุทัย ธาณี¹

Tanapong Sanchum^{1*}, Khanit Wannaronk¹, Wirot Horasart¹, Sarawuth Parnthon¹, Sarocha Thuengsuk², Arnon Saicomfu¹, Akkaphap Panpoom¹, Artorn ponboon¹, Uthai Tanee¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี, กรมวิชาการเกษตร, สุราษฎร์ธานี 84170

²Surat Thani Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture, Surat Thani 84170

³ศูนย์วิจัยและการเกษตรเพชรบูรณ์, กรมวิชาการเกษตร, เพชรบูรณ์ 67000

³Phetchabun Agricultural Research and Development Center, Department of Agriculture, Phetchabun 67000

⁴ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น, กรมวิชาการเกษตร, ขอนแก่น 40000

⁴Khon Kaen Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture, Khon Kaen 40000

*Corresponding author: Tel.: +66-8-6935-4569, Fax: +66-25-792-757, E-mail: tanapong_bb@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อให้ใส่ปุ๋ยได้แม่นยำตามที่ต้องการ ลดการสูญเสียปุ๋ยจากวิธีการหว่าน ทำให้การใส่ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การทำงานของเครื่องชุดหัวเจาะ ทำโดยเจาะหลุมดินกว้าง 10 cm ลึกประมาณ 15 cm หลังจากเจาะหลุม ปุ๋ยจากถังปุ๋ยจะไหลลงท่อที่ติดอยู่ที่ชุดเจาะและถูกปล่อยลงหลุม จากนั้นมีชุดกลบ ระบบควบคุมอัตราหยอดและการจ่ายปุ๋ย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 V 250 W สำหรับควบคุมการจ่ายปุ๋ยตามอัตราที่กำหนด ดำเนินการทดสอบการเจาะหลุม หยอดปุ๋ย และกลบหลุม 8 หลุมรอบโคนต้น พบว่า เครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติสามารถใส่ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำ (กำหนดปริมาณปุ๋ยที่ 1 kg plant⁻¹ อัตราหยอดปุ๋ย 125 g hole⁻¹ มีความสามารถในการทำงาน 1.07 rai hr⁻¹ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.65 L rai⁻¹ ที่ความชื้นดิน 15.03% w.b. และความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 2.13 g cm⁻³ เครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 420.35 rai year⁻¹

คำสำคัญ: เครื่องฝังปุ๋ย, เครื่องชุดหลุม, การเกษตรแบบแม่นยำ

Abstract

This research aims to develop an automatic fertilizer applicator for small tractors. In order to apply fertilizer precisely as desired, Reduce fertilizer loss from sowing methods. This ensures the most efficient utilization of fertilizer. Working of the drill bit machine the drill bit machine creates a hole in the ground that is 10 cm wide and roughly 15 cm deep. After drilling the hole, fertilizer from the fertilizer tank flows into a pipe attached to the drilling unit and is released into the hole. Then comes the cover set. The system controls the rate of fertilizer application and distribution. Using a microcontroller to control the speed of a 12 V 250 W DC motor for controlling the fertilizer distribution at the specified rate. We carried out an experiment where we drilled eight holes around the tree's base, applied fertilizer to them, and covered them. It was found that the automatic fertilizer applicator was able to apply fertilizer precisely. The fertilizer amount was set at 1 kg plant⁻¹, the fertilizer application rate was 125 g hole⁻¹, the work capacity was 1.07 rai hr⁻¹, the fuel consumption rate was 2.65 L rai⁻¹, the soil moisture was 15.03%

Received: August 5, 2022

Revised: August 4, 2023

Accepted: December 8, 2023

Available online: June 10, 2024

w.b., and the dry bulk densities was 2.13 g cm^{-3} . Automatic fertilizer applicators for small tractors have a break-even point of 420.35 rai year⁻¹.

Keywords: Fertilizer applicator, Pit digging machine, Precision farming

1 บทนำ

ปัจจุบัน ต้นทุนในการผลิตพืชสวนของเกษตรกรสูงขึ้นทุกปี ซึ่งต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นค่าปัจจัยการผลิตและค่าแรงงาน จากสถานการณ์ปัจจุบันที่ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพงขึ้นมาก ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เกษตรกรจำเป็นต้องมีการวางแผนการผลิตให้ดีเพื่อลดต้นทุนการผลิต การใช้ปัจจัยการผลิต (ปุ๋ย) ต้องให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่มีความแม่นยำสูงและมีความเจาะจงกับพื้นที่ดิน หรือการใช้วิธีผสมปุ๋ยเอง ก็จะสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ยได้ประมาณ 30-50% (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2559)

วิธีการใส่ปุ๋ยไม่ผล ดั้งเดิมของเกษตรกร การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ จะใช้วิธีหว่านกระจายทั่วรอบต้น โดยใช้แรงงานคนเป็นหลัก และยังมีการใช้เครื่องใส่ปุ๋ย ใช้งานภายในประเทศอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบพ่นหว่านที่ใช้ในนาข้าว สำหรับเครื่องใส่ปุ๋ยไม่ผล สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมได้วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบโรยตามแนวปลายทรงพุ่ม (บัณฑิต, 2563) เป็นการโรยปุ๋ยตามแนวปลายทรงพุ่ม การให้ปุ๋ยด้วยวิธีการหว่าน จะมีข้อดี คือ สะดวก แต่ข้อเสียที่สำคัญ คือ สูญเสียเนื้อปุ๋ยที่จะหมดไปกับการระเหยไปในอากาศ ลม แสงแดด และเมื่อฝนตกหนักๆ หรือการใช้น้ำที่มากเกินไป ปุ๋ยจะละลายและไหลไปกับน้ำอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการสูญเสียปุ๋ย ทำให้พืชได้รับอาหารลดลง จากปัญหาดังกล่าวจะมีการให้ปุ๋ยอีกวิธีหนึ่งคือ การฝังกลบปุ๋ย การใส่ปุ๋ยวิธีนี้ ต้องขุดหลุมบริเวณทรงพุ่ม แล้วฝังกลบเป็นการใส่ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการหว่าน การให้ปุ๋ยแบบฝังกลบในยางพาราพบว่าให้ผลผลิตน้ำยางสูงกว่าแบบหว่าน (ประพันธ์, 2564) และการฝังปุ๋ยในพืชไร่อย่างเช่น การปลูกอ้อย การใส่ปุ๋ยโดยมีการฝังกลบ มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงดีกว่าอ้อยที่ใส่ปุ๋ยโดยการหว่าน (อรรถสิทธิ์, 2551) แต่จะเป็นการเพิ่มทั้งต้นทุนและแรงงานต้องขุดหลุม

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดแบบอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เครื่องฝังปุ๋ย จะติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเป็นต้นกำลังในการทำงานของเครื่อง โดยเครื่องสามารถป้องกันอัตราการใส่ปุ๋ยต่อหลุม ซึ่งสามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำ ลดภาระการใช้แรงงานคน ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย และยังสามารถนำเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติไปประยุกต์ใช้กับไม้ยืนต้นที่ต้องการฝังปุ๋ย เช่น ยางพารา, ปาล์มน้ำมันและไม้ผล เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังเป็นการทำเกษตรแบบแม่นยำ ก้าวไปสู่ในยุคการเกษตร 4.0 โดยเปลี่ยนจากการเกษตรแบบดั้งเดิมในปัจจุบัน ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยี

2 อุปกรณ์และวิธีการ

กรอบแนวคิดการออกแบบ

แนวคิดการออกแบบ หลักการทำงานของเครื่อง เมื่อรถแทรกเตอร์ทำงานจะมีชุดหัวขุด ขุดดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ลึกประมาณ 15-20 cm ขณะเดียวกันปุ๋ยจากถังไหลลงที่ขาที่ติดอยู่ที่ชุดขุดและถูกปล่อยลงหลุม ควบคุมอัตราการหยอดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นมีชุดกลบ ดันดินกลบหลุม ได้ออกแบบเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องฝังปุ๋ย และ ระบบควบคุมและประมวลผล

2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องฝังปุ๋ย

ออกแบบส่วนประกอบที่สำคัญคือ ถังบรรจุปุ๋ย ชุดลูกหยอดปุ๋ย ชุดหัวขุดดินควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิก

2.1.1 ถังปุ๋ยสำหรับบรรจุปุ๋ยเคมี ถังบรรจุปุ๋ย มีปริมาตร 0.072 m^3 ซึ่งสามารถบรรจุปุ๋ยได้ไม่น้อยกว่า 40 kg

2.1.2 ชุดลูกหยอดปุ๋ยถังมีลูกหยอด 2 ชุด ชุดลูกหยอดขับปุ๋ย ทำจากซูเปอร์สแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm เลือกใช้ลูกหยอดแบบร่องเฉียง โดยร่องจะวางตัวในแนวเฉียงทำมุม 30° กับแนวระนาบ ดังแสดงใน Figure 1 ข้อดีของการวางร่องเฉียงจะลดการติดขัดของปุ๋ยระหว่างลูกหยอดกับถังบรรจุปุ๋ยได้ (ชนิษฐ์, 2560) จะทำให้อัตราการหยอดปุ๋ยมีความแม่นยำขึ้น



Figure 1 Fertilizer metering roller.

2.1.3 ชุดชุดดินของเครื่องฝังปุ๋ย ชุดหัวชุดดินควบคุมด้วยระบบไฮโดรลิก ประกอบด้วย ปัมไฮโดรลิก โดยใช้ต้นกำลังจากเพลา PTO, มอเตอร์ไฮโดรลิก, สว่านเจาะดิน เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ยาว 25 cm ควบคุมการทำงานของชุดชุดดินโดยวาล์วมือโยก (Hand valve) สำหรับควบคุมการขึ้น-ลง ของสว่านเจาะดิน โดยจะมี 2 ชุด สำหรับการเจาะดิน 1 ครั้ง จะได้จำนวน 2 หลุม ดังแสดงใน Figure 2



Figure 2 Driller.

หลักการทำงานของเครื่อง เมื่อรถแทรกเตอร์ทำงานจะมีชุดหัวชุดหลุมดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ลึกประมาณ 15-20 cm ขณะเดียวกันปุ๋ยจากถังไหลลงที่ขาที่ติดอยู่ที่ชุดชุดและถูกปล่อยลงหลุม จากนั้นมีชุดกลบดินกลบหลุมเมื่อรถเคลื่อนต่อไป



Figure 3 Prototype of fertilizer applicator machine.

2.2 ออกแบบระบบควบคุมและประมวลผล (Electronic control system)

จากที่สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยสำหรับอ้อย (ชนิษฐ์, 2560) ซึ่งระบบสามารถกำหนดความแม่นยำของอัตราการหยอดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้อัตราการหยอดปุ๋ยมีความแม่นยำขึ้นและช่วยลดการสูญเสียจากการใส่ปุ๋ยที่มากเกินไป

ในงานวิจัยนี้ การควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยนี้ได้ ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Mega2560 ส่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ผ่านชุดขับเคลื่อน

(DC) motor drive) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 V 250 W และใช้โปรแกรม Arduino IDE สำหรับการเขียนสมการ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) เพื่อควบคุมการจ่ายปุ๋ยตามอัตราที่กำหนด

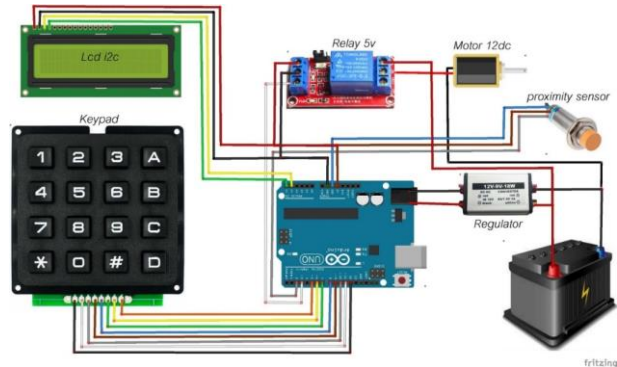


Figure 4 Wiring diagram of controller system.

การทำงานของ ระบบควบคุมและประมวลผล โดยจะป้อนค่าเวลา (s) ใส่แป้นพิมพ์ (Keypad Module) ดังแสดงใน Figure 5 โดยค่าเวลา (s) จะเป็นค่าสำหรับอัตราปุ๋ยที่ต้องการใส่ต่อหลุม จะเป็นข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบปุ๋ย (Calibration) หลังจากการทำงานของชุดชุดหลุมแล้ว ในของชุดสว่านชุดดินเคลื่อนที่ขึ้นจากหลุมดิน Proximity sensor จะส่งสัญญาณไปยังชุดประมวลผลและส่งการไปยังชุดควบคุมมอเตอร์ของถังปุ๋ย ให้ทำงานหยอดปุ๋ยเป็นไปตามอัตราที่กำหนด ปุ๋ยจากถังจะถูกปล่อยลงท่อที่ติดอยู่ที่ชุดชุดลงไปสู่หลุมดิน



Figure 5 Inputting fertilizer rate via keypad on control panel.

2.3 การทดสอบชุดควบคุมอัตราหยอดและการปล่อยปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการหยอดปุ๋ย โดยเลือกอัตราการใส่ปุ๋ยไม้ผล ในอัตรา 1 kg plant⁻¹ หากต้องการฝังปุ๋ยจำนวน 8 หลุมรอบต้น ปริมาณปุ๋ยต่อหลุมที่ต้องใช้คือ 125 g hole⁻¹ การทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการหยอดปุ๋ย โดยกำหนดความเร็ว

รอบหมุนของมอเตอร์ขับเคลื่อนหอยด ที่ 60 rpm และเปรียบเทียบ
เฟืองขับเคลื่อน 2 ขนาด คือ เฟืองขนาด 15 ฟัน และ 30 ฟัน
เพื่อให้ได้ปริมาณปุ๋ยต่อหลุมที่ต้องการคือ 125 g hole^{-1}

2.4 การทดสอบความสามารถในการทำงาน

การทดสอบการทำงานของต้นแบบเครื่องฝังปุ๋ยแบบหอยด
อัตโนมัติ ติดตั้งพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น B2420
ขนาด 24 hp ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ดำเนินการ
ทดสอบการเจาะหลุม หยอดปุ๋ยและกลบ 8 หลุมรอบต้นไต้ทรง
พุ่ม แนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ดังแสดงใน Figure 7
เมื่อทำการเก็บข้อมูลในแปลงทดสอบ เพื่อหาสมบัติทางกายภาพ
ของดิน เช่น ความชื้นของดิน ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง (Bulk
density) และดำเนินการทดสอบความสามารถในการทำงานจริง
ในแปลง ดังสมการ (1) และความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดย
วัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้อุปกรณ์กระบอกตวงวัดปริมาตร
สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิง ขนาด 500 ml

สมการหาความสามารถในการทำงาน

$$C_A = \frac{A}{T_t} \quad (1)$$

เมื่อ C_A คือ ความสามารถในการทำงานจริง
(rai hr⁻¹)

A คือ พื้นที่การทำงาน (rai)

T_t คือ เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด (hr)

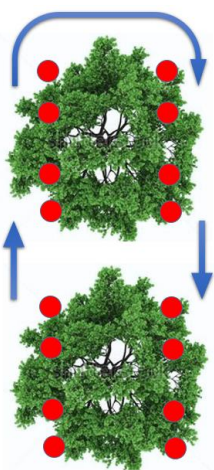


Figure 6 Drilling and applying fertilizer in 8 holes per plant.

2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหา
จุดคุ้มทุนในการลงทุนเครื่องจักรกลเกษตร และคิดค่าเสื่อมราคา
ของรถแทรกเตอร์และเครื่อง จะทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเพื่อ
เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ การลงทุนซื้อ การรับจ้าง หรือเพื่อการ
แนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถหาได้จาก
ผลรวมของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร โดยมีรายละเอียดดังนี้

ต้นทุนคงที่ แต่ในที่นี้คิดต้นทุนคงที่เฉพาะค่าเสื่อมราคาและค่า
ดอกเบี้ย โดยต้นทุนคงที่ที่สามารถคำนวณจากสมการ (2)

$$\text{ต้นทุนคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ดอกเบี้ย} \quad (2)$$

ในส่วนของค่าเสื่อมราคาและค่าดอกเบี้ยสามารถหาได้จาก
สมการที่ 3 และ 4

$$D_i = \frac{P_i - S_i}{L_i} \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{2} (P_i + S_i) i \quad (4)$$

เมื่อ D_i คือ ค่าเสื่อมราคา (Baht year⁻¹)

I คือ ค่าดอกเบี้ย (Baht year⁻¹)

P_i คือ ราคาแรกซื้อ (Baht)

S_i คือ ราคาเมื่อหมดอายุการใช้งานหรือขายต่อ
(Baht) (10% P)

L_i คือ อายุการใช้งาน (year)

i คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

ต้นทุนผันแปร คือ ค่าใช้จ่าย ที่ขึ้นอยู่กับการทำงาน
ประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมบำรุง
ค่าแรงงานของคนขับ เป็นต้น

ต้นทุนต่อปีในการใช้งาน (Baht Rai⁻¹) = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร
(5)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลทดสอบชุดควบคุมอัตราหอยดและการปล่อยปุ๋ยใน ห้องปฏิบัติการ

การทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการหอยดปุ๋ย โดยปริมาณปุ๋ย
ต่อหลุมที่ต้องใช้คือ 125 g hole^{-1} การทดสอบเพื่อสอบเทียบ
อัตราการหอยดปุ๋ย โดยกำหนดความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์ขับเคลื่อน
หอยดที่ความเร็วรอบ 60 rpm และเปรียบเทียบเฟืองขับเคลื่อน
หอยด 2 ขนาด คือ เฟืองขนาด 15 ฟัน และ 30 ฟัน เพื่อให้ได้
ปริมาณปุ๋ยที่ช่องซ้าย และขวาตามที่กำหนด

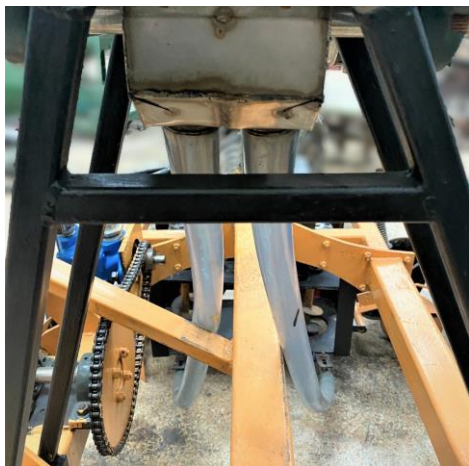


Figure 7 Fertilizer pipe.

จากผลการทดสอบการสอบเทียบอัตราการหยอดปุ๋ย พบว่า ที่ความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์ขับเคลื่อน 60 rpm ขนาด เพื่อขับเคลื่อน 15 ฟัน และเวลาหมุนของมอเตอร์ควบคุมการ จ่ายปุ๋ย 5 s ควบคุมอัตราการหยอดได้อย่างแม่นยำ ได้ปริมาณปุ๋ย ที่ช่องซ้าย และขวาเฉลี่ยที่ 126.55 g และ 124.12 g ซึ่งใกล้เคียง กับปริมาณปุ๋ยต่อหลุมที่ต้องการคือ 125 g hole⁻¹ จึงเลือกใช้ ขนาดเพื่อขับเคลื่อน 15 ฟัน ดังแสดงใน Table 1 และเลือก เวลาหมุนของมอเตอร์ควบคุมการจ่ายปุ๋ย 5 s สำหรับการป้อนค่า เวลา (s) ให้กับชุดควบคุมการหยอดปุ๋ย

Table 1 Results of calibrating fertilizer application tests.

Rotation time of control motor for the fertilizer (s)	Fertilizer weight (g)	
	Average left side	Average right side
2	54.27	51.26
3	69.78	67.39
4	103.42	100.65
5	126.55	124.12
6	147.41	143.35
7	200.87	193.34
8	256.28	210.03

3.2 การทดสอบความสามารถการทำงาน

จากผลการทดสอบในแปลงไม้ผลที่ระยะปลูก 4x4 m จำนวน 40 ต้นต่อไร่ ในแปลงที่มีความชันดินต่างกัน คือ แปลงที่มีความชันดิน 2.61% w.b. และความชันดิน 15.03% w.b. พบว่า ความชันในดินมีผลต่อการทำงานของเครื่อง โดยในแปลงที่มีความชันดินสูงกว่า จะมีความสามารถในการทำงานมากกว่า และมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าแปลงที่มีความชันดิน ต่ำ โดยแปลงที่มีความชันดิน 15.03% w.b. มีความสามารถการ

ทำงาน 1.07 Rai hr⁻¹ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.65 L Rai⁻¹ และมีเวลาเฉลี่ยในการเจาะหลุมและหยอดปุ๋ยต่อครั้ง (2 หลุม) ที่ 20.47 s ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Results of field capacity testing.

	Plant 1	Plant 2
Soil Moisture (% w.b.)	2.61	15.03
Soil Density (g cm ⁻³)	2.30	2.13
Time of drilling and applying fertilizer (s)	23.82	20.47
Capacity (rai hr ⁻¹)	0.97	1.07
Fuel Consumption (l Rai ⁻¹)	2.86	2.65



Figure 8 Field testing of the prototype.

3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าใช้จ่าย ต่างๆของเครื่อง แล้วนำมาวิเคราะห์ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หาจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

Table 3 Cost analysis of the prototype.

Description	Cost (Baht)
1. Tractor (24 HP)	320,000
2. Fertilizer Applicator Machine	
- Structure	8,000
- Fertilizer Tank and Fertilizer	7,000
Metering Roller	
- Driller and Hydraulic System	30,000
- Machine Building Wage	15,000
3. Control Panel	10,000
Total	385,000

กำหนดให้ราคาของรถแทรกเตอร์ขนาด 24 hp ราคา 320,000 Baht และการใช้งานรถแทรกเตอร์เพื่อใส่ปุ๋ยประมาณ 25% ของการใช้งานทั้งหมด เครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติ

ราคา 65,000 Baht รวมราคาทั้งหมด 385,000 Baht โดยใช้งานรถแทรกเตอร์ 10 year และอุปกรณ์ 8 year และ ราคาแรงงานรับจ้างใส่ปุ๋ย 180 Baht Rai⁻¹

ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลเกษตร และค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

ต้นทุนผันแปร ประกอบด้วย ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรงงาน

ข้อมูลสำหรับคำนวณต้นทุนของรถแทรกเตอร์

1.ราคารถแทรกเตอร์,P	320,000	Baht
2.ราคาซาก,S 25% P ₁	80,000	Baht
3.อายุการใช้งาน,N	10	year
4.อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก, i	5.5	% year ⁻¹
5.ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	28.84	Baht L ⁻¹
(ข้อมูลราคาน้ำมัน ณ 24 พ.ย. 2564)		
6.ค่าน้ำมันหล่อลื่นร้อยละ	10 (ร้อยละของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง)	
7.ค่าแรงคนขับรถ	300	Baht day ⁻¹
8.ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์ร้อยละ	0.5	

(ร้อยละของราคารถแทรกเตอร์ต่อการทำงาน 100 hr)

ข้อมูลสำหรับคำนวณต้นทุนของเครื่องใส่ปุ๋ย

1.ราคาเครื่องใส่ปุ๋ย, P	65,000	Baht
2.ราคาซาก,S 10% P	6,500	Baht
3.อายุการใช้งาน,N	8	year
4.อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก, i	5.5%	per year
5.ค่าบำรุงรักษาเครื่องใส่ปุ๋ย 0.2%P/100 hr		Baht hr ⁻¹
6.อัตราการทำงานเฉลี่ย (Table2)	1.07	Rai hr ⁻¹

ต้นทุนคงที่

รถแทรกเตอร์

1. ค่าเสื่อมราคา

$$(320,000-80,000)/10 = 24,000 \text{ Baht year}^{-1}$$

2. ดอกเบี้ยในการลงทุน

$$(320,000+80,000)/2 \times (5.5/100) = 11,000 \text{ Baht year}^{-1}$$

3. รวมต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์ 35,000 Baht year⁻¹

4. ต้นทุนคงที่ในการเป็นต้นกำลังของเครื่องใส่ปุ๋ย

$$\text{คิดที่ 25\% ของค่าใช้จ่ายคงที่รวม} = 8,750 \text{ Baht year}^{-1}$$

(การใช้งานรถแทรกเตอร์เพื่อใส่ปุ๋ยประมาณ 25% ของการใช้งานทั้งหมด)

เครื่องฝังปุ๋ย

1.ค่าเสื่อมราคา (65,000-6,500)/8 = 7,312.50 Baht year⁻¹

2. ดอกเบี้ยในการลงทุน (65,000+6,500)/2 × (5.5/100)

$$= 1,966.25 \text{ Baht year}^{-1}$$

3.รวมต้นทุนคงที่เครื่องใส่ปุ๋ย 9,278.75 Baht year⁻¹

รวมต้นทุนคงที่ทั้งหมด 18,028.75 Baht year⁻¹

ต้นทุนผันแปร

รถแทรกเตอร์

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	81.75	Baht hr ⁻¹
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	8.18	Baht hr ⁻¹
ค่าแรงคนขับรถแทรกเตอร์	37.50	Baht hr ⁻¹
ค่าบำรุงรักษา	16	Baht hr ⁻¹

รวมต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์ 143.45 Baht hr⁻¹

เครื่องฝังปุ๋ย

ค่าบำรุงรักษา	3.25	Baht hr ⁻¹
รวมต้นทุนผันแปร	146.70	Baht hr⁻¹
อัตราการทำงานเฉลี่ย	1.07	rai hr ⁻¹

ต้นทุนผันแปรต่อพื้นที่ 137.11 Baht rai⁻¹

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถึงปุ๋ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องเครื่องฝังปุ๋ย, Baht rai⁻¹

$$= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร}$$

$$= (18,028.75/A) + 137.11$$

เมื่อ A = rai.year⁻¹

จุดที่ต้นทุนของเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติ สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนในการใช้งานเครื่องฝังปุ๋ยเท่ากับราคาแรงงานรับจ้างใส่ปุ๋ยในปัจจุบันที่ 180 Baht.ra⁻¹

ต้นทุนในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ย = ค่ารับจ้างฝังปุ๋ย

$$(18,028.75/A) + 137.11 = 180$$

$$A = 420.35 \text{ rai year}^{-1}$$

จากการคำนวณสามารถเขียนกราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติกับการใช้แรงงานคนฝังปุ๋ยได้ดังแสดง Figure 9

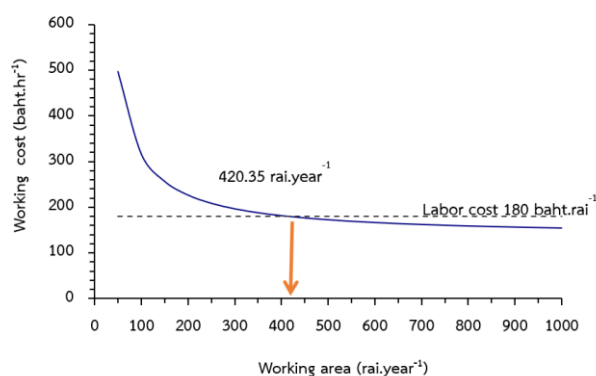


Figure 9 Break-even point (BEP) of the prototype.

การใช้งานเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติมีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 420.35 rai year⁻¹ กล่าวคือ เกษตรกรที่จะซื้อเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดอัตโนมัติ ไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างในการฝังปุ๋ยในแปลงไม้ผลควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 420.35 rai year⁻¹ และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 years จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือการนำไปรับจ้างในการฝังปุ๋ย

4 สรุป

เครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดแบบอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก จากผลการทดสอบการทำงานในแปลงที่มีความชื้นดินต่างกัน คือ แปลงที่มีความชื้นดิน 2.61 % w.b. ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 2.30 g cm^{-3} พบว่า มีเวลาเฉลี่ยในการเจาะหลุมและหยอดปุ๋ยต่อครั้ง (2 hole) ที่ 23.82 s มีความสามารถในการทำงาน 0.97 rai hr^{-1} อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง $2.86 \text{ liter rai}^{-1}$ และแปลงที่มีความชื้นดิน 15.03% w.b. ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 2.13 g cm^{-3} พบว่า มีเวลาเฉลี่ยในการเจาะหลุมและหยอดปุ๋ยต่อครั้ง (2 หลุม) ที่ 20.47 s มีความสามารถในการทำงาน 1.07 rai hr^{-1} อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง $2.65 \text{ liter rai}^{-1}$ จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) ของเครื่องฝังปุ๋ยแบบหยอดแบบอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยเกษตรกรที่จะซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมเครื่องไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า $420.35 \text{ rai year}^{-1}$ และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 years จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือนำไปรับจ้างในการฝังปุ๋ย ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใส่ปุ๋ย สามารถทดแทนการใช้แรงงานคนได้ และเป็นการก้าวไปสู่การทำเกษตรแบบแม่นยำ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการ ข้าราชการ ลูกจ้างประจำ และพนักงานราชการ ของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จและคล่อง นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านวิชาการทั้งของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ทำให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินการจนบรรลุวัตถุประสงค์ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6 เอกสารอ้างอิง

ชนิษฐ์ หว่านณรงค์, อัศพล เสนาณรงค์, เวียง อากรชี, สราวุฒิปานทน, ธนพงศ์ แสนจุ่ม, วีระ สุขประเสริฐ, อุทัย ธานี, อาร พรบุญ. 2560. วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยสำหรับอ้อย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2560. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จิตรจันทน์, พักตร์วิภา สุทธิวาริ, กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์, พิระพงษ์ ชมภู, ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์, ชนิษฐ์ หว่านณรงค์, อุทัย ธานี, จันทรเพ็ญ วิจิตร, ปิยะมาศ โสมภีร์, กมลภัทร ศิริพงษ์. 2563. วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบโรยตามแนวปลายทรงพุ่มสำหรับสวนทุเรียนโดยใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก. รายงานวิจัยฉบับ

สมบูรณ์ประจำปี 2563. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

ประพันธ์ สุวรรณามูล, ธีรธรรมา เสงนิรินทร์ เหมจินดา. 2564. ผลของรูปแบบการให้ปุ๋ยต่อการคงเหลือของธาตุอาหารในดินและผลผลิตของน้ำยางพารา. รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 10-12 มีนาคม 2564. กรุงเทพฯ.

ราคาน้ำมัน. 2564. ราคาขายปลีกประจำปี 2564. แหล่งข้อมูล: https://www.pttor.com/th/oil_price. เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2565.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2559. การลดต้นทุนการผลิตพืชสวน (พืชสวนอุตสาหกรรม). กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, วัฒนศักดิ์ ชมภูนิช. 2551. ศึกษาวิธีการใส่ปุ๋ยอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ. รายงานผลงานวิจัยและพัฒนา ด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตร ประจำปี 2551. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.