

เครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบหว่านตามแนวปลายทรงพุ่มของทุเรียน Canopy Wide Semi-Auto Fertilizer Spreader Applicator for Durian

พัชร์วิภา สุทธิวารีย์^{1/} กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์^{1/} พีระพงษ์ ชมภู^{1/}
ธิปัตย์ สีลา^{1/} ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์^{1/} ชนิษฐ์ หว่านณรงค์^{1/} กมลภัทร ศิริพงษ์^{2/}
Phakwipha Sutthiwaree^{1/} Kittisak Kitirat^{1/} Peerapong Chompoo^{1/}
Thipat Seela^{1/} Yuttana Khaehanchanpong^{1/} Khanit Wanarong^{1/} Kamonlapat Siripong^{2/}

Received 15 Feb 2022/Revised 07 Jun 2022/Accepted 18 Jun 2022

ABSTRACT

Durian is a horticultural crop that starts bearing fruits from 5 years after planting and will continue to bear fruits for more than 10 years if it is properly looked after. Now a day, due to lack of suitable machinery and equipment manual fertilizer application for durian is commonly practiced which is expensive and resulted in fertilizer overused. Precision agricultural machinery will be able to reduce both labor cost and solve labor shortage problem at the same time. The optimal amount of fertilizer application is the function of machinery. The prototype of semi-auto fertilizer applicator for durian was designed for 27 hp tractor. It is suitable to work in durian plantation where the planting pattern is optimized for agricultural machinery working. The spreader applicator unit is controlled by microcontroller while the position where fertilizer is applied is controlled by ultrasonic sensor attached at the front of the tractor. The fertilizer applicator unit works after the sensor detects a durian trunk and microcontroller makes an order; it starts working from one end of the durian canopy and stops when reaches the other end. The testing was done on 5 years old durian trees, at fertilizer spreader speed of 300 rpm. We found that at this speed the average working capacity was 6.28 rai/hr, fuel consumption rate was 0.14 liter/rai and fertilizer rate was 12.6 kg/rai. The break-even point was 450 rai/year. The return period was 4 years, annual working time 300 hrs.

Keywords: fertilizer applicator, durian

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900

Agricultural Engineering Research Institute, Phahonyothin Rd., Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี ต. ฉันท อ. มะขาม จ. จันทบุรี 22150

Agricultural Research and Development Center of Chantaburi, Chaman sub district, Makham district, Chantaburi 22150

*Corresponding author : pakpoo18@naver.com

บทคัดย่อ

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้น ที่ให้ผลผลิตได้เมื่อมีอายุ 5 ปีขึ้นไป และสามารถเก็บผลผลิตได้มากกว่า 10 ปี ถ้ามีการดูแลบำรุงรักษาอย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่ปัจจุบันยังขาดแคลนเครื่องจักรกลเกษตรที่เหมาะสม ในขั้นตอนการใส่ปุ๋ยที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก และมีการใช้ปุ๋ยมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นของพืช ถ้ามีเครื่องจักรกลเกษตรที่มีความแม่นยำในการใส่ปุ๋ยตามความต้องการของทุเรียน ก็สามารถลดต้นทุนด้านแรงงาน และแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ดังนั้น จึงได้พัฒนาต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติเพื่อใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้าสำหรับสวนทุเรียนที่มีระยะปลูกเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร โดยพัฒนาต้นแบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของชุดใส่ปุ๋ยแบบจานเหวี่ยง และใช้เซนเซอร์แบบอัลตราโซนิก เป็นชุดควบคุมตำแหน่งการใส่ปุ๋ย ที่ติดไว้ด้านหน้าของรถ เครื่องใส่ปุ๋ยจะทำงานเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับพบต้นทุเรียน และไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ชุดใส่ปุ๋ยทำงานตั้งแต่ปลายทรงพุ่มด้านหนึ่งและสิ้นสุดปลายทรงพุ่มด้านหนึ่ง จากนั้น ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบใส่ปุ๋ยสำหรับทุเรียนอายุ 5 ปี ที่ความเร็วเฉลี่ยของรถแทรกเตอร์ 2.64 กม./ชม. ความเร็วรอบเฉลี่ยของจานเหวี่ยง 300 รอบ/นาที ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่/ชม. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.14 ลิ./ไร่ อัตราปุ๋ย 12.6 กก./ไร่ มีระดับความแม่นยำของตำแหน่งใส่ปุ๋ยที่เกษตรยอมรับได้ จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยพ่วงรถแทรกเตอร์ 450 ไร่/ปี ระยะเวลาคืนทุน 4 ปี เมื่อทำงานปีละ 300 ชม.

คำสำคัญ เครื่องใส่ปุ๋ย ทุเรียน

บทนำ

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจพืชหนึ่งที่ทำรายได้หลักให้กับประเทศ จากข้อมูลการส่งออกในปี พ.ศ. 2563 ทุเรียนสดส่งออกรวม 615,154 ตัน

รวมเป็นมูลค่า 64,877 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) มูลค่าเพิ่มขึ้น 30% จากปี พ.ศ. 2562 โดยในปี พ.ศ. 2562 พื้นที่ปลูกทุเรียนของประเทศครอบคลุม 724,730 ไร่ ให้ผลผลิต 1.02 ล้านตัน จ.จันทบุรี มีพื้นที่ปลูกทุเรียนมากที่สุดรวม 225,273 ไร่ หรือ 31% ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ให้ผลผลิต 339,292 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ด้วยสถานการณ์การส่งออกที่มีแนวโน้มมากขึ้น ทำให้พื้นที่ปลูกทุเรียนใน จ.จันทบุรี ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยมีพื้นที่ปลูกใหม่และปรับเปลี่ยนรูปแบบการปลูก เพื่อรองรับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร

ทุเรียนเป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบมีอายุยืนยาวได้ถึงร้อยปี ถ้ามีการดูแลรักษาบำรุงต้นให้แข็งแรง การปลูกทุเรียนเป็นการวางแผนการลงทุนระยะยาว จากนั้น เป็นการดูแลบำรุงรักษาให้ต้นทุเรียนมีความสมบูรณ์พร้อมที่จะให้ผลผลิต โดยเฉพาะขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบำรุงต้น ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ต้นมีความสมบูรณ์และมีผลต่อคุณภาพของผลผลิต โดยทั่วไปเกษตรกรใช้มือหว่านปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ให้กระจายทั่วรอบต้น ซึ่งบางครั้งใส่มากเกินไปจนความต้องการ หรือไม่ตรงตำแหน่งที่ทุเรียนนำไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้สิ้นเปลืองปุ๋ย กรมวิชาการเกษตรมีคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ยในตำแหน่งบริเวณปลายทรงพุ่มของต้นทุเรียน เนื่องจาก เป็นตำแหน่งที่รากฝอยกระจายตัวอยู่และทำหน้าที่ดูดอาหาร ปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่มีอายุมากขึ้น ทำให้ต้องจ้างแรงงานหว่านปุ๋ยจำนวน 1-2 คน หรือมากกว่านั้นในกรณีที่พื้นที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งปัญหาการระบาดของโควิด-19 มีผลทำให้ขาดแคลนแรงงาน เนื่องจาก แรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานต่างด้าว ถึงแม้ปัจจุบันมีเครื่องใส่ปุ๋ยใช้งานภายในประเทศอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่เป็นแบบพ่นหว่านที่ใช้ในนาข้าว หรือเป็นเครื่องหว่านแบบเหวี่ยงกระจายพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไร่ ซึ่งไม่เหมาะกับงานสวนทุเรียน

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพการ
ใช้ปุ๋ยของทุเรียน และส่งเสริมการใช้เครื่องจักรกล
เกษตรสำหรับการผลิตทุเรียน รวมทั้งเพิ่มศักยภาพ
ในการพัฒนาและยกระดับเทคโนโลยีเครื่องจักร
กลเกษตรพื้นฐานเป็นวิศวกรรมเกษตรระดับสูง
(advanced agricultural engineering) จึงทำการ
พัฒนาเทคโนโลยีอัตโนมัติระบบไมโครคอนโทรล
เลอร์และเซนเซอร์ เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนา
ต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับการใช้งานใน
สวนทุเรียน มีประสิทธิภาพในการทำงานด้วยความ
แม่นยำในตำแหน่งและปริมาณการใส่ปุ๋ย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สำรวจและรวบรวมข้อมูลการปลูกทุเรียนใน ภาคตะวันออก

ทำการสุ่มเก็บข้อมูลจากแปลงของ
เกษตรกรที่มีการปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบ
สวนเดี่ยว และมีการปลูกแบบยกร่อง พุ่มโคน
และพื้นราบ จำนวน 20 ราย ในพื้นที่ปลูกทุเรียน
จ. จันทบุรี 8 ราย ระยอง 6 ราย และตราด 6 ราย

2. การทดสอบมุมกองของปุ๋ย

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ย
คือ มุมกองของปุ๋ย จึงทดสอบมุมกองของปุ๋ยใน
ห้องปฏิบัติการด้วยการปล่อยปุ๋ยผ่านกรวยลงสู่
พื้นราบ วัดความสูงและรัศมีของกอง (Figure 1)
คำนวณค่ามุมกองจากสูตร โดยที่ ϕ คือมุมกอง
ของปุ๋ย (องศา) A คือ ระยะความสูงของกอง (ซม.)
และ B คือ ระยะรัศมีของกอง (ซม.) ทดสอบปุ๋ย
สูตรหลักที่ใช้ในสวนทุเรียนมี 3 สูตร คือ สูตร
16-16-16, 13-13-21 และ 8-24-24

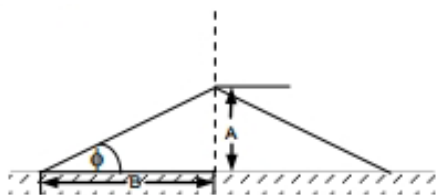


Figure 1 Angle of repose (เทวรัตน์ และคณะ, 2555)

3. การออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบ โรยต้น และเขียนโปรแกรมเพื่อการประมวลผล

การออกแบบและเขียนโปรแกรม เพื่อ
การประมวลผลการทำงานด้วยเซนเซอร์แสง และ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้หลักการให้ไมโครคอน
โทรลเลอร์ทำงานเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับพบสีเขียว
จากนั้น ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยแบบโรย
ต้นแบบที่ 1 ประกอบด้วยถังใส่ปุ๋ยขนาด 30 x 50 ซม.
บรรจุปุ๋ย 50 กก. เพื่อให้เครื่องสามารถทำงาน
ได้ต่อเนื่องไม่เสียเวลาในการเติมปุ๋ย และไม่เป็น
ภาระโหลดให้กับรถแทรกเตอร์ ติดตั้งชุดควบคุม
อัตราการใส่ปุ๋ยที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
บริเวณใกล้ถังปุ๋ย และระบบควบคุมตำแหน่งใน
การใส่ปุ๋ยด้วยเซนเซอร์แสงบริเวณด้านหน้าของรถ

โปรแกรมสำหรับควบคุมตำแหน่งใส่ปุ๋ย
ของต้นแบบที่ 1 ใช้หลักการรับสัญญาณสีด้วยกล้อง
Logitech รุ่น 960-000584 เมื่อได้รับสัญญาณ
สีเขียว ให้ส่งสัญญาณให้กับโปรแกรมที่เขียนขึ้น
ด้วย Mat lab Simulink และใช้ Raspberry pi 3
ที่ใช้ Micro SD card เป็นหน่วยความจำ ในที่
นี้ให้เป้าหมายที่ต้องการเป็นสีแดง โดยให้สีแดง
แทนตำแหน่งของต้นทุเรียน ใช้กล้องเป็นหน่วยรับ
ข้อมูลภาพสีในรูปแบบ สี RGB หลังจากนั้น ให้
มีการวิเคราะห์สี สีเขียว-แดง และเขียว-น้ำเงิน ถ้า
ค่าที่ได้รับ มีค่า ≥ 50 ให้ส่งข้อมูล 5 เพื่อให้ไฟที่
บอร์ด Raspberry ติด และส่งคำสั่งให้ไมโครคอน
โทรลเลอร์สั่งเพลาลูกหยอดทำงานแสดงว่า เป้าหมาย
ที่กล้องจับภาพได้มีสีแดง และขณะเดียวกัน
ถ้าค่าที่ < 50 ให้ส่งข้อมูล 0 เพื่อให้ไฟที่บอร์ด
Raspberryดับ ส่งคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
สั่งเพลาลูกหยอดหยุดทำงาน (Figure 2)

4. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบใน ห้องปฏิบัติการ

4.1 ทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ย

ดำเนินการทดสอบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติ
การ โดยให้ระบบสามารถใส่ปุ๋ยได้ที่ระยะ 2-5 ม.

จากอุปกรณ์ใส่ปุ๋ย ทดสอบความต่อเนื่องของปุ๋ยที่โรยได้ และความสม่ำเสมอในการโรยปุ๋ย โดยใช้กล่องสุ่มรับตัวอย่างปุ๋ย ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ย (ASABE, 2006) การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยเมื่อใช้เครื่องหว่าน ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้ถาดเก็บตัวอย่าง (collection tray) ซึ่งมีเงื่อนไขของสถานที่ทดสอบ คือต้องมีความเร็วไม่เกิน 8 กม./ชม. ที่ความสูง 1.5 ม. จากพื้นพื้นที่ใช้ทดสอบมีความชันไม่เกิน 2% และถาดเก็บตัวอย่างมีขนาด 30 x 60 ซม. ความหนาประมาณ 2.3 มม. มีช่องสำหรับรองรับปุ๋ย

24 ช่อง/ถาด ใช้ถาดวางเรียงกันเป็นพื้นที่ขนาด 4.5, 9 และ 12.6 ตร.ม. ความเร็วรอบของจานหว่านปุ๋ย 200, 250 และ 300 รอบ/นาที ทดสอบเก็บตัวอย่างปุ๋ยเมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งผ่านหนึ่งรอบ โดยให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000-1,600 รอบ/นาที เพื่อให้การเก็บข้อมูลครอบคลุมระยะการหว่านของแต่ละความเร็วรอบ เก็บตัวอย่างปุ๋ยการทดลองละ 3 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักปุ๋ยในแต่ละตำแหน่ง เพื่อตรวจสอบระยะการกระจายตัวทั้งด้าน x และ y

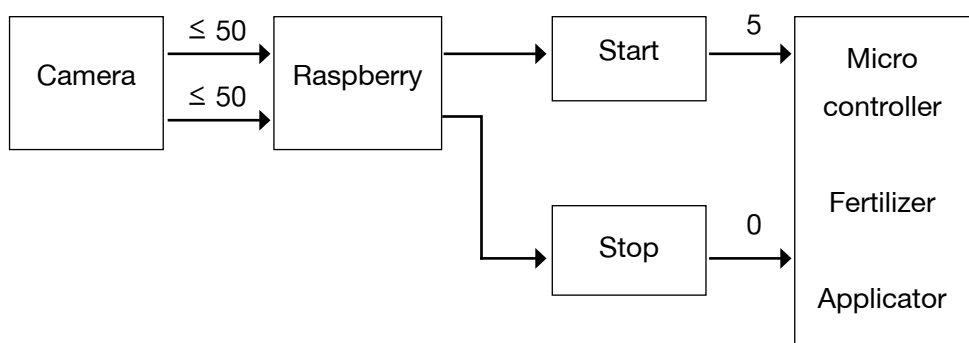


Figure 2 Diagram of position control for fertilizer applicator prototype I

4.2 ทดสอบลูกหยอดแบบเกลียวลำเลียง

การทดสอบด้วยรางทดสอบขนาดยาว 12 ม. ที่ออกแบบเพื่อทดสอบอัตราการโรยปุ๋ย ความสม่ำเสมอในการโรยปุ๋ย ทดสอบโปรแกรมควบคุมการใส่ปุ๋ยที่ออกแบบขึ้น และความแม่นยำในตำแหน่งการใส่ปุ๋ย และชุดควบคุมการใส่ปุ๋ย ที่ประกอบด้วย ไฮดรอลิคมอเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเพลาลูกหยอด และวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันด้วยไฟฟ้าที่ควบคุมการทำงานของไฮดรอลิคมอเตอร์ ทดสอบด้วยลูกหยอดจำนวน 4 แบบ คือ ลูกหยอดแบบไขว้ (oblique type) แบบตรง (straight type) แบบหลุม (hole type) และแบบเกลียว (spiral type) ที่เป็นอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยในเครื่องมือกำจัดวัชพืชพร้อมยกทรงกลบปุ๋ยในร่องมันสำปะหลังแบบเดินตาม (วูตมิพล และ

คณะ 2558) ทดสอบแบบละ 3 ซ้ำ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 รอบ/นาที เพื่อตรวจเช็คผลกระทบต่อความเร็วรอบของเพลาลูกหยอด โดยให้รถแทรกเตอร์ไม่เคลื่อนที่และเคลื่อนที่ ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.15 ม./วินาที (Figure 3)

5. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบใส่ปุ๋ยในภาคสนามและการใช้งานระยะยาว:

ทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยต้นแบบในแปลงทดสอบ เพื่อดูข้อบกพร่องที่ต้องดำเนินการแก้ไขเมื่อรถเคลื่อนที่ตามเงื่อนไขที่ออกแบบ ทดสอบค่าความแม่นยำ (precision) ของตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ยสังเกตจากการทำงานของเซนเซอร์ อุปกรณ์ใส่ปุ๋ย ระยะเวลาการเริ่มทำงานและการหยุดทำงาน

เมื่อพบข้อบกพร่อง จะปรับปรุงต้นแบบ และทดสอบภาคสนามอีกครั้งเพื่อเก็บข้อมูลการใช้งานของเครื่อง ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชม.) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ล./ไร่) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (ม./วินาที) อัตราปุ๋ยที่ใส่ได้จริง (กก./ไร่) ความแม่นยำของตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ย และทดสอบการใช้งานระยะยาวในพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลความคงทน (durability test)

หลังการปรับปรุงเครื่องต้นแบบ โดยมีเงื่อนไขการทดสอบ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 0.49 ม./วินาที ใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24

ที่เป็นปุ๋ยกระตุ้นให้ทุเรียนออกดอก ดำเนินการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงปลูกทุเรียนที่ศูนย์พัฒนาไม้ผลตามพระราชดำริ จ.จันทบุรี เป็นพื้นที่ปลูกทุเรียนแบบยกร่อง พันธุ์หมอนทอง อายุ 5 ปี พื้นที่ปลูก 16 ไร่ จำนวน 288 ต้น ระยะปลูก (ต้นxแถว) 6x10 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มเฉลี่ย 4.7 ม. (พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ย 22.09 ตร.ม.) ต้นทุเรียนจำนวนเฉลี่ย 18 ต้น/ไร่ ปรับตั้งเครื่องต้นแบบให้จ่ายปุ๋ย 1 กก./ต้น วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กับการใช้แรงงานคนในการหว่านปุ๋ย

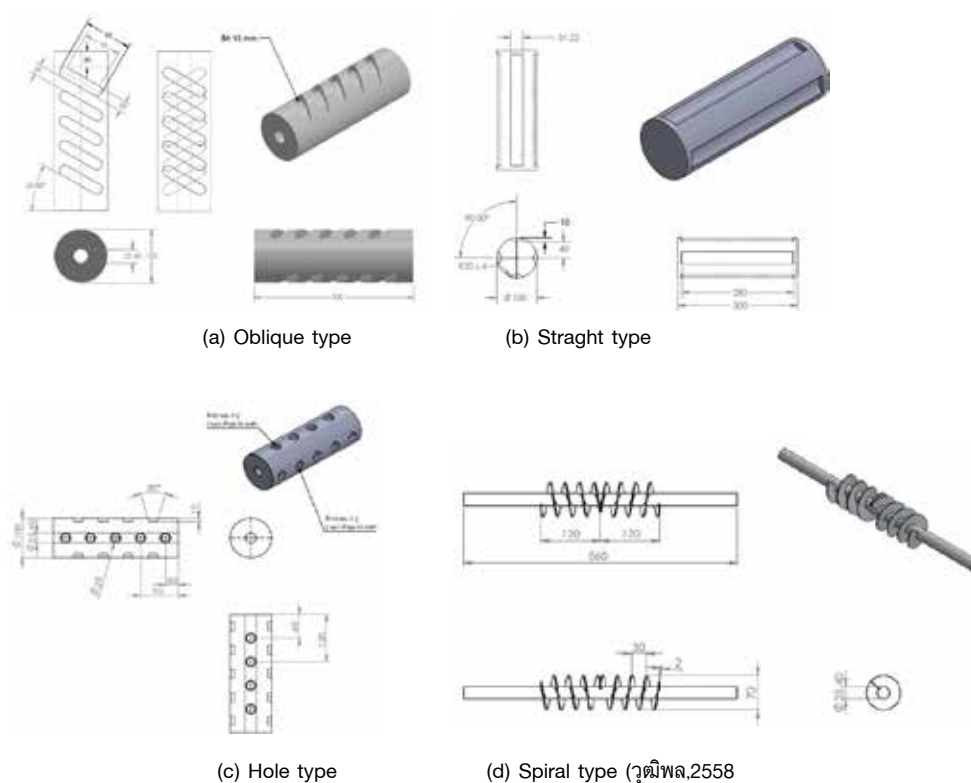


Figure 3 Types of fertilizer metering device

6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กับการใช้แรงงานคนในการหว่านปุ๋ย โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ คือ เครื่องใส่ปุ๋ยราคา 50,000 บาท รถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า 300,000 บาท (แทรกเตอร์สามารถ

ใช้งานใส่ปุ๋ยและพ่นสารฯ อัตราแบ่งการทำงาน (work share) เป็น 50%) อายุการใช้งานรถแทรกเตอร์ 10 ปี ราคาซาก 25% ของราคารถแทรกเตอร์ (75,000 บาท) ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาของแทรกเตอร์ 0.5% ของราคาซื้อต่อชั่วโมงการทำงาน 100 ชม. (15 บาท/ชม.) อายุการใช้งาน

เครื่องไถปุ๋ย 8 ปี ราคาซาก 15% ของราคาเครื่องไถปุ๋ย (7,500 บาท) ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาของเครื่องไถปุ๋ย 0.2% ของราคาซื้อต่อชั่วโมงการทำงาน 100 ชม. (1 บาท/ชม.) ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่/ชม. อัตราการสิ้นเปลือง

น้ำมันเชื้อเพลิง 0.14 ล./ไร่ อัตราดอกเบี้ย 10% ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 22.09 บาท/ล.น้ำมันหล่อลื่นคิด 10% ของน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราค่ารับจ้าง 80 บาท/ไร่ การคำนวณต้นทุนรวมและระยะเวลาคืนทุน ดังนี้

$$\text{ต้นทุนรวม} = \text{ต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)}/A \text{ (ไร่)} + \text{ต้นทุนผันแปร (บาท/ไร่)} ; A \text{ คือ พื้นที่การทำงาน}$$
$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \text{ราคาเครื่องจักร (บาท)}/\text{กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ข้อมูลการปลูกทุเรียนในภาคตะวันออก

การปลูกทุเรียนมีการปลูกทั้งแบบดั้งเดิมและแบบใหม่ โดยการปลูกแบบดั้งเดิมเป็นการปลูกแบบสวนผสม เงาะ ทุเรียน มังคุด ที่มีอายุเกิน 15 ปี ระยะปลูกไม่แน่นอน เป็นทุเรียนที่ปลูกแบบพื้นราบ พบจากการสำรวจ 1 แปลง ส่วนเกษตรกรที่ปลูกทุเรียนใหม่ ทุเรียนมีอายุ 10 ปี รูปแบบการปลูกมี 4 แบบ ได้แก่ 1) แบบพื้นราบระยะปลูกแน่นอน ระยะห่างระหว่างต้นแถว เป็น 8x8 ม. หรือ 10x10 ม. มีจำนวน 4 แปลง 2) ปลูกแบบยกร่อง ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดี มีร่องระบายน้ำ 2 ขนาด ตามแต่ละพื้นที่ คือ ขนาดกว้าง 2-4 ม. ลึกประมาณ 0.70 ม. และ ขนาดกว้าง 6-8 ม. ความสูงของร่องประมาณ 0.50-0.80 ม. พบจำนวนทุเรียนที่ปลูกยกร่อง 3 แปลง การปลูกแบบยกร่องมีการระยะการปลูกเป็น 8x4 ม. 3) แบบพูนโคน การปลูกด้วยวิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ป้องกันน้ำท่วมราก โดยใช้ดินพูนเฉพาะบริเวณโคนต้น ขนาดกว้างตามอายุของต้นทุเรียน โดยเฉลี่ยทุเรียนที่อายุไม่เกิน 5 ปี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่พูนโคนประมาณ 5-6 ม. ความสูงประมาณ 0.70-1.00 ม. พูนโคน 13 แปลง และ 4) แบบยกร่องและพูนโคน เป็นการปลูกหลังจากยกร่องเป็นแถวแล้วจึงพูนโคนซ้ำอีกครั้ง เนื่องจากเมื่อปลูกไประยะหนึ่งดินจะยุบตัว

เกษตรกรส่วนใหญ่ที่ปรับรูปแบบการปลูกให้มีระยะปลูกห่างระหว่างแถวมากขึ้นกว่าการปลูกแบบดั้งเดิม มีการวางแผนเพื่อให้รองรับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร ซึ่งปัจจุบันมีการใช้เครื่องพ่นสารเคมีแบบ

air blast มากขึ้น แต่ขั้นตอนไถปุ๋ยเกษตรกรใช้แรงงานคนเป็นหลัก ไม่มีเครื่องมือทุ่นแรง ใช้วิธีหว่านด้วยมือให้กระจายรอบโคนต้นทุเรียน ขนาดทรงพุ่มของต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองอายุต่าง ๆ ใน จ.ระยอง จันทบุรี และตราด พบว่า ขนาดรัศมีทรงพุ่มของต้นทุเรียนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นปีละ 1 ม. จึงคำนวณอัตราไถปุ๋ยตามคำแนะนำ คือ ไถในอัตรา 1 ใน 3 ของรัศมีทรงพุ่ม (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, มปป.) (Table 1)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องไถปุ๋ยและการออกแบบเครื่องไถปุ๋ย

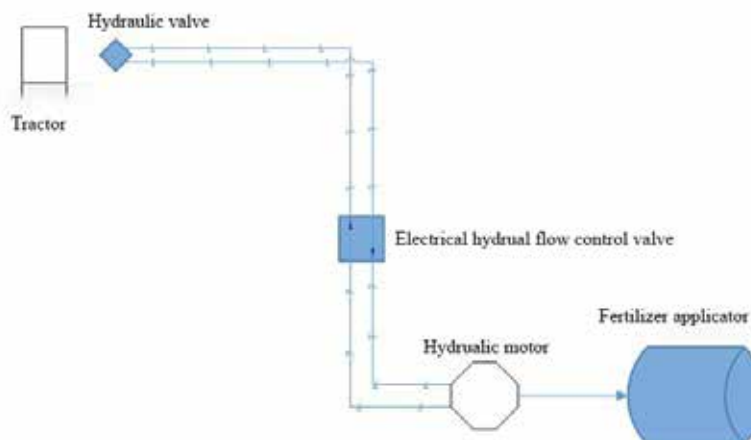
ปัจจัยที่มีต่อการออกแบบเครื่องไถปุ๋ย คือ มุมกองของปุ๋ยทั้ง 3 สูตร คือ สูตร 16-16-16, 13-13-21 และ 8-24-24 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 18 นำมาใช้ออกแบบมุมของถังไถปุ๋ยเพื่อให้ปุ๋ยสามารถไหลออกจากถังได้สะดวกไม่อุดตัน ออกแบบระบบการไถปุ๋ยสำหรับต้นแบบที่ 1 โดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า (Kubota รุ่น B2740) เป็นต้นกำลังประกอบด้วย

1) ชุดกลไกและอุปกรณ์สำหรับการไถปุ๋ยประกอบด้วยถังบรรจุปุ๋ยขนาด 30 x 50 ซม. และเพลาลูกหยอด กำหนดอัตราการใช้ปุ๋ยขนาด 1 นิ้ว เพลาลูกหยอดถูกขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิคมอเตอร์ รุ่น M125 ที่มีอัตราการไหล 125 มล./รอบ ความเร็วรอบสูงสุด 475 รอบ/นาที อัตราการไหลของน้ำมัน 60 ล./นาที เป็นต้นกำลังในการควบคุมอัตราการไถปุ๋ย ติดตั้งในตำแหน่งวาล์วด้านนอกของปั๊มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ แผนผังการส่งกำลังระบบไฮดรอลิค (Figure 4) และกล้องจับภาพ

Table 1 Fertilizer application rate calculated by size of tree

Province	Age of Durian tree (years)	Tree distance (X) (m)	Tree distance (Y) (m)	Calculated fertilizer rate (kg)
Rayong	3	3.53	3.48	1.17
	4	4.41	4.37	1.46
	5	5.1	4.95	1.68
	6	8.32	7.85	2.70
Chantaburi	1	1.24	1.27	0.42
	2	2.33	2.23	0.76
	6	5.27	5.1	1.73
	8	5.59	5.65	1.87
Trat	3	3.37	3.29	1.11
	5	5.34	5.51	1.81
	6	6.03	6.13	2.03
	7	6.5	6.44	2.16

Remark: Calculated fertilizer rate= 1/3 of distance (x,y)

**Figure 4** Hydraulic power transmission diagram

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องใส่ปุ๋ยต้นแบบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ

3.1 ผลทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณปุ๋ยมีการกระจายตัวสม่ำเสมอที่ระยะ 0.6 ม. ห่างจากเซนเซอร์ มีปริมาณปุ๋ยกระจาย 75.83-144.13 ก./ตร.ม. (13.55-25.94 ก./ 0.18 ตร.ม.) จากภาพใน Figure 5 สีเขียว แสดงการกระจายตัวของปริมาณปุ๋ยมาก

สีแดง แสดงการกระจายตัวของปริมาณปุ๋ยน้อย ที่ความเร็วรอบของจานหว่าน 200-250 รอบ/นาที สามารถหว่านปุ๋ยให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอที่ระยะ 0.6-0.9 ม. ห่างจากแนววิ่งของรถแทรกเตอร์ และมีความสม่ำเสมอตลอดแนววิ่ง 3 ม. สามารถใช้ความเร็วรอบจานหว่านนี้ สำหรับทุเรียนที่มีระยะทรงพุ่ม 3 ม. และที่ความเร็วรอบของจานหว่าน 300 รอบ/นาที สามารถหว่านปุ๋ยให้มีการกระจาย

ตัวสม่ำเสมอที่ระยะ 1.2 ม. ห่างจากแนววิ่งของรถแทรกเตอร์ และมีความสม่ำเสมอตลอดแนววิ่ง 4.8 ม. ดังนั้น สามารถใช้ความเร็วรอบจานหว่านนี้สำหรับทุเรียนที่มีระยะทรงพุ่ม 4-5 ม.

3.2 ผลการทดสอบพบว่า ลูกหยอดแบบหลุมและแบบเกลียวมีอัตราการใส่ปุ๋ยน้อยตามลำดับ คือ ประมาณ 30 และ 73 ก./วินาที ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 รอบ/นาที ลูกหยอดแบบอื่น ๆ อัตราปุ๋ยมากกว่า 2-6 เท่า ผลจากการสังเกตการกระจายตัวของปุ๋ยจากการหยอดด้วยลูกหยอดแบบร่องตรง แบบร่องไขว้

แบบเกลียวและแบบหลุม พบว่า ลูกหยอดแบบร่องตรงและแบบร่องไขว้มีการกระจุกตัวของปุ๋ยมากกว่าแบบเกลียวและแบบหลุม นอกจากนี้ ลูกหยอดแบบหลุมและแบบเกลียวมีอัตราการหยอดปุ๋ยที่สม่ำเสมอทุกรอบความเร็วเมื่อเปรียบเทียบระหว่างรถแทรกเตอร์ไม่เคลื่อนที่และเคลื่อนที่ แต่ลูกหยอดแบบเกลียวมีอัตราการหยอดสูงกว่าแบบหลุม 2.4 เท่า จึงเห็นว่าลูกหยอดแบบหลุมมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบกึ่งอัตโนมัติ (Table 2)

Distance (m)	0.6	1.2	1.8	2.4	3
0.3	3.10	3.84	4.08	4.88	4.55
0.6	8.15	9.86	9.37	11.66	12.06
0.9	16.03	18.54	18.26	16.80	14.97
1.2	4.12	4.63	3.91	3.48	2.95
1.5	2.52	2.62	2.17	2.47	1.98
Average weight (g) at 200 rpm					
Distance (m)	0.6	1.2	1.8	2.4	3
0.3	4.58	5.12	5.17	5.73	4.01
0.6	9.01	11.19	11.25	11.50	10.67
0.9	12.60	14.04	14.11	14.36	12.77
1.2	6.80	6.53	4.69	4.27	3.38
1.5	1.81	2.06	1.82	1.91	1.56
Average weight (g) at 250 rpm					
Distance (m)	0.6	1.2	1.8	2.4	3
0.3	2.22	2.35	2.39	2.44	2.50
0.6	3.00	3.15	3.59	4.22	3.60
0.9	5.21	6.40	7.37	8.56	8.64
1.2	11.52	14.48	15.82	16.11	15.64
1.5	10.40	9.38	8.17	6.41	5.35
Average weight (g) at 300 rpm					

Figure 5 Fertilizer distribution in tested box within 4.5, 9 and 12.6 m² with the average weight at 200, 250 and 300 rpm

Table 2 Average fertilizer rate per metering device speed and tractor speed using different type of metering devices

Fertilizer drum types	Engine Speed (rpm)	Metering device speed without tractor moving (rpm)	Average of fertilizer rate (g/sec)	Metering device speed with tractor moving (rpm)	Tractor speed (m/s)	Average of fertilizer rate (g/sec)
Oblique	1,000	31.43	133.33	28.50	0.12	135.18
	1,200	33.23	166.67	33.10	0.14	146.49
	1,400	37.87	157.83	38.10	0.16	160.15
	1,600	43.17	191.17	44.20	0.18	176.91
Straight	1,000	29.43	195.50	30.33	0.12	191.30
	1,200	32.57	217.83	34.00	0.13	215.50
	1,400	37.87	250.00	38.03	0.15	246.81
	1,600	42.50	280.00	44.10	0.18	285.94
Hole	1,000	29.40	31.67	30.00	0.12	30.70
	1,200	33.30	36.67	33.40	0.14	34.97
	1,400	38.00	41.67	38.27	0.16	40.77
	1,600	43.00	47.17	43.47	0.18	45.77
Spiral	1,000	29.60	66.67	29.17	0.12	73.70
	1,200	34.10	76.67	33.30	0.14	84.90
	1,400	37.90	90.00	38.70	0.16	99.76
	1,600	42.43	103.33	43.63	0.18	113.04

5. ประสิทธิภาพเครื่องใส่ปุ๋ยเบื้องต้นในแปลงทดสอบ

ระบบการควบคุมแบบฝังตัว โดยใช้กล้องจับภาพและประมวลผลตามสัญญาณสีนั้น พบว่า มีปัญหาเรื่องการสะท้อนของแสงทำให้สีไม่ตรงความจริง จึงได้ปรับปรุงระบบการควบคุมการใส่ปุ๋ยเป็นระบบอัลตราโซนิกส์เซนเซอร์เพื่อจับวัตถุเป้าหมายคือ ใบของต้น พบว่า ระบบสั่งให้เพลาลูกหยอดปุ๋ยทำงานได้ เครื่องใส่ปุ๋ยสามารถทำงานได้ดีในแปลงทุเรียนในระดับหนึ่ง แต่เนื่องด้วยมีปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของทรงพุ่ม หรือ ทรงพุ่มมีใบไม่ต่อเนื่องสำหรับทุเรียนที่มีอายุ 8-9 ปี ทำให้ลูกหยอดทำงานไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงเพิ่มอัลตราโซนิกส์เซนเซอร์ Module HC-SR04 ติดตั้งบริเวณ

ด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ เพื่อควบคุมฟังก์ชันเริ่มทำงานและหยุดทำงานของลูกหยอด โดยใช้ลำต้นเป็นเป้าหมายในการควบคุมการทำงาน แล้วเขียนโปรแกรมด้วยการใช้โค้ดของ Arduino ฟังก์ชันการหน่วงเวลา (Figure 6) และปรับปรุงชุดอุปกรณ์หัวานปุ๋ยเป็นแบบจานหัวานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 ม. ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า และใช้ระบบลำเลียงปุ๋ยแบบเกลียวแทนการใช้ลูกหยอดปุ๋ยแบบหลุม เนื่องจาก สามารถลดขนาดต้นแบบให้พอดีกับรถแทรกเตอร์ เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน แต่สามารถหัวานปุ๋ยได้ตามปริมาณและในระยะเวลาที่ต้องการด้วยการปรับรอบความเร็วของจานหัวานและมีการกระจายตัวได้ดีกว่าลูกหยอดแบบหลุม

6. ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีแบบกึ่งอัตโนมัติในภาคสนามและการใช้งานระยะยาว

หลังปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเครื่องต้นแบบประกอบด้วยสองส่วน คือ ระบบทางกลสำหรับการใส่ปุ๋ยที่รับจากลูกหยอดเป็นระบบเกลียวลำเลียงทำงานร่วมกับจานหว่าน เพิ่มขนาดถังบรรจุปุ๋ย และระบบการควบคุมแบบฝังตัว ที่เปลี่ยนจากการใช้ตรวจจับสี เป็นใช้เซ็นเซอร์แบบอัลตราโซนิก ที่ให้ความแม่นยำมากกว่า

ระบบทางกล: ต้นแบบประกอบด้วยถังใส่ปุ๋ยขนาด 0.40 x 0.70 x 0.58 ม. (กว้าง x ยาว x ลึก) บรรจุปุ๋ย 80 กก. ระบบหยอดปุ๋ยแบบเกลียวลำเลียง เพลาลูกหยอดขับเคลื่อนโดยไฮดรอลิกมอเตอร์ ที่รับการถ่ายทอดกำลังจากระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลด้วยไฟฟ้า ที่สามารถปรับอัตราการไหลสูงสุด 125 ลิ./นาที่ ความดันสูงสุด 25 เมกะปาสคาล (ใช้ไฮดรอลิกมอเตอร์รุ่น M125 ที่มีอัตราการไหล 125 มล./รอบ) และส่งกำลังต่อไปยังเพลาลูกของไฮดรอลิกมอเตอร์ ที่มีอัตราการไหลสูงสุด 60 ลิ./นาที่ ความเร็วรอบสูงสุด 475

รอบ/นาที มีชุดกระจายปุ๋ยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการหมุนจานหว่านปุ๋ย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. มีเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 ใบ วางในตำแหน่ง 0, 90, 180 และ 270 บนจานหว่าน เพื่อเป็นตัวแบ่งปุ๋ยทำให้กระจายตัวได้ดีขึ้น

ระบบการควบคุมฝังตัว: ระบบควบคุมการใส่ปุ๋ยถูกออกแบบด้วยโปรแกรมประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ด Arduino ที่เป็นหน่วยควบคุมการทำงานของไฮดรอลิกมอเตอร์ โดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก จับตำแหน่งต้นทุเรียน เพื่อสั่งให้วาล์วควบคุมไฮดรอลิกเปิดเพื่อขับมอเตอร์ไฮดรอลิกและขับเคลื่อนเกลียวลำเลียงปุ๋ยออกจากถังปุ๋ย มีวงจรควบคุมการทำงาน (Figure 7)

การทดสอบในแปลง

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบใส่ปุ๋ยในแปลงทุเรียน พบว่า ความสามารถทำงานโดยเฉลี่ย 2.8 ลิ./ชม. ตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ย มีระยะห่างจากโคนต้น 70 ซม. พื้นที่การใส่ปุ๋ยในครึ่งทรงพุ่มเฉลี่ย 7 ตร.ม. (Table 3) พื้นที่ที่ได้รับปุ๋ยเฉลี่ย 63%

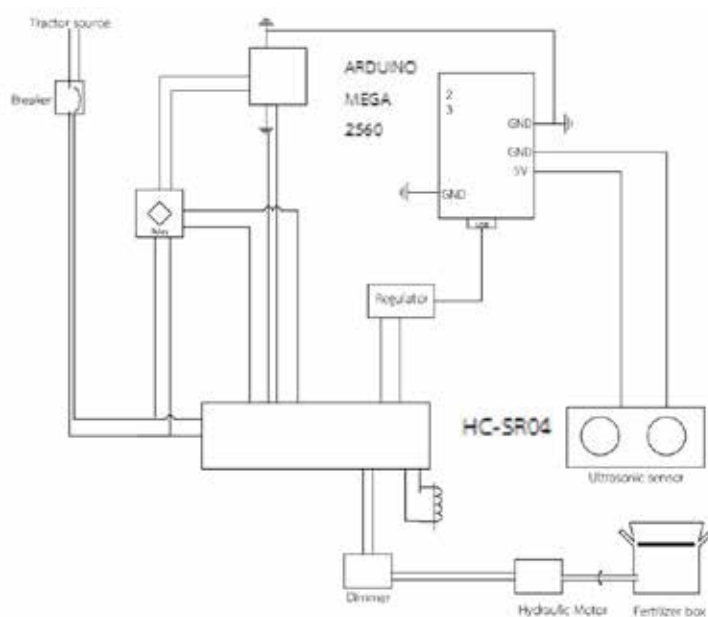


Figure 6 Fertilizer applicator controlled diagram of ultrasonic sensor system

ผลการทดสอบใช้งานระยะยาว

ปี 2561-2563 ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในแปลงทุเรียน จ.จันทบุรี รวมพื้นที่ 36.4 ไร่ ที่มีรูปแบบการปลูกเป็นแบบไม่ยกร่อง แบบยกร่องยาว และแบบพูนโคนสูง ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ผลการทดสอบ พบว่า ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่/ชม. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.14 ล./ไร่ อัตราปุ๋ยเฉลี่ย 9.16 กก./ไร่

7. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จุดคุ้มทุน

จุดคุ้มทุนการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ ขนาด 27 แรงม้า ที่มีต้นทุนคงที่ 28,812.50 บาท/ปี ต้นทุนผันแปร 15.90 บาท/ไร่ เมื่อคิดราคาจ้างที่ 80 บาท/ไร่ มีจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยและรถแทรกเตอร์อยู่ที่ 449.49 ไร่/ปี (Figure 8)

ระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องจักร

กลเกษตรเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานในการหว่าน

เมื่อทำงาน 300 ชม./ปี ความสามารถในการทำงาน 6.28 ไร่/ชม. พื้นที่ทำงานรวม 1,884 ไร่/ปี ต้นทุนรวม/ปี $(28,812.50/1,884) + 15.90 = 31.19$ บาท/ไร่ รายได้สุทธิ/ปี $= 150,720 - 58,404 = 92,316$ บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน $= 350,000/92,316 = 3.79$ ปี หรือ 4 ปี

การใส่ปุ๋ยด้วยแรงงานคน ความสามารถในการทำงาน 1.6 ไร่/ชม. อัตราค่าจ้างแรงงานในการใส่ปุ๋ยวันละ 300 บาท ทำงาน 6 ชม./วัน และทำงาน 100 วัน/ปี สามารถมีรายได้/ปี 30,000 บาท จะเห็นได้ว่า การลงทุนใช้เครื่องจักรกลเกษตรสามารถทำงานได้เร็วขึ้น 3.9 เท่า มีรายได้/ปี มากกว่าการรับจ้างหว่านด้วยมือ 3 เท่า

Table 3 Result of improved prototype field testing

The average work capacity (rai/hr)	2.8
The average Fertilizer spread distance (cm.)	70
The average Fertilizer distributed area (m ²)	7



Figure 7 Fertilizer applicator revised prototype

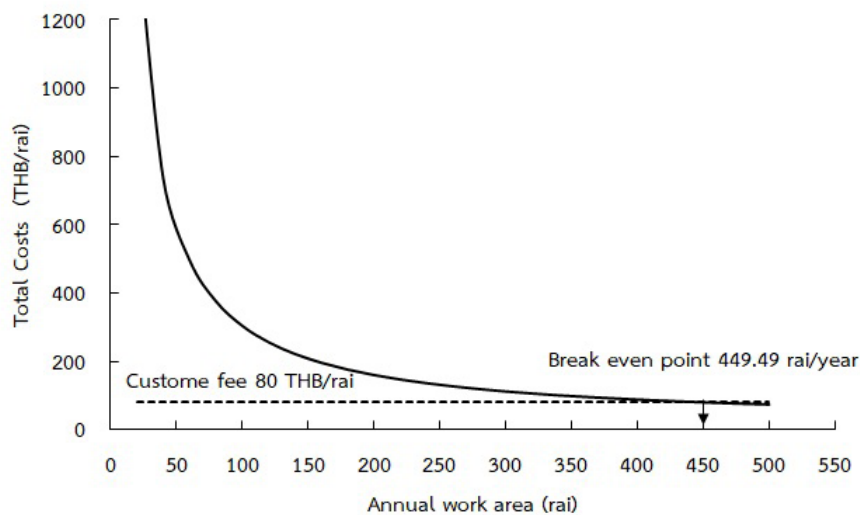


Figure 8 The relationship between costs and working area and break-even point

สรุปผลการทดลอง

เครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบหว่านตามแนวปลายทรงพุ่มของทุเรียน สำหรับรถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า ที่ออกแบบให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบเกลียวลำเลียงและมอเตอร์กระแสตรงขนาด 0.5 แรงม้า ควบคุมการทำงานของจานหว่านปุ๋ย โดยระบบเกลียวลำเลียงจะทำงานหลังจากอัลตราโซนิกเซนเซอร์ส่งสัญญาณว่าพบต้นทุเรียน โดยการหว่านปุ๋ยจะเริ่มใส่ตั้งแต่ปลายทรงพุ่มด้านหนึ่งจนสิ้นสุดปลายทรงพุ่มด้านหนึ่ง จากการทดสอบการทำงานระยะยาว พบว่า ความสามารถทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่/ชม. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.14 ลิ./ไร่ เมื่อทำงานที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 2.63 กม./ชม. อัตราปุ๋ย 12.6 กก./ไร่ ที่ความเร็วรอบจานหว่าน 300 รอบ/นาทีสามารถทำงานได้เร็วขึ้น 3.9 เท่า เพิ่มรายได้มากกว่าการรับจ้างการหว่านด้วยมือ 3 เท่า มีจุดคุ้มทุนในการใช้งาน 450 ไร่/ปี ระยะเวลาคืนทุน 4 ปี เมื่อทำงาน 300 ชม./ปี

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการได้บรรลุตามเป้าหมาย ขอขอบคุณ หัวหน้าศูนย์พัฒนาไม่ผลตามพระราชดำริจังหวัดจันทบุรี และผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 ผู้อำนวยการเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจังหวัดจันทบุรี และ เกษตรกร อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ให้ใช้พื้นที่และอำนวยความสะดวกสำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบ ขอขอบคุณในความร่วมมือนำการดำเนินงานวิจัยจากนายช่างเครื่องกล

บรรณานุกรม

- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล ปริศนา แสงรุ่ง และปัตตะนี สุตตะนา. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105. หน้า 256-531. ใน: *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*. 4-5 เมษายน 2555 จ.เชียงใหม่.
- วุฒิพล จันทรสระคู ประสาท แสงพันตา อนุชิต ฉ่ำสิงห์ ศักดิ์ชัย อาษาวัง และ สุพัตรา ชาวกงจักร. 2558. รายงานโครงการวิจัย วิจัยและพัฒนาเครื่อง

- กำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ยในมันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2085>. สืบค้น: 25 ธันวาคม 2561.
- ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี. (ม.ป.ป.). *ขั้นตอนการปฏิบัติดูแลการผลิตทุเรียนคุณภาพ*. จันทบุรี: กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สินค้าเกษตรรายสินค้า. แหล่งข้อมูล: http://impexp.oae.go.th/service/report__product01.php?S__YEAR=2564&i__type=2&PRODUCT__ID=1273&wf__search=&WF__SEARCH=Y#4453. สืบค้น: 31 มีนาคม 2564.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. *ข้าวเศรษฐกิจการเกษตร*. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขตที่ 6 จ. จันทบุรี. แหล่งข้อมูล: <http://www.zone6.oae.go.th>. สืบค้น : 10 กรกฎาคม 2563
- American Society of Agricultural and Biological Engineers standard. 2006. pp 216-218. *In*. Procedure for Measuring Distribution Uniformity and Calibrating Granular Broadcast Spreaders