รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** :
2. **โครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบโรยตามแนวปลายทรงพุ่มสำหรับสวนทุเรียนโดยใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

   กิจกรรม : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบโรยตามแนวปลายทรงพุ่มสำหรับสวนทุเรียนโดยใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

   กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติแบบโรยตามแนวปลายทรงพุ่มสำหรับสวนทุเรียนโดยใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Research and Development of semi-auto banded fertilizer type applicator attached to small farm tractor using in durian farm

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

   หัวหน้าการทดลอง : นายบัณฑิต จิตรจำนงค์[1]

   ผู้ร่วมงาน : พักตร์วิภา สุทธิวารี[1] กิตติศักดิ์ กิติรัตน์[2] พีระพงษ์ ชมภู[1] ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์[3] ขนิษฐ์ หว่านณรงค์[3] อุทัย ธานี[4] จันทร์เพ็ญ วิจิตร[5] ปิยะมาศ โสมภีร์[5] กมลภัทร ศิริพงษ์[6]

กรมวิชาการเกษตร

5. บทคัดย่อ

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้น ที่ให้ผลผลิตได้หลายครั้ง มีอายุมากกว่า 10 ปี ขั้นตอนการดูแลบำรุงรักษาเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับพืชประเภทนี้ ปัจจุบันเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการดูแลบำรุงรักษาที่ใช้งานสำหรับทุเรียนยังขาดแคลน โดยเฉพาะในขั้นตอนการใส่ปุ๋ยที่ใช้แรงงานเป็นหลัก เครื่องจักรกลเกษตรที่มีความแม่นยำจะทำให้สามารถใส่ปุ๋ยได้ตามความต้องการของทุเรียนและลดต้นทุนด้านแรงงาน

ต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีกึ่งอัตโนมัติพัฒนาขึ้นโดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้าเป็นต้นกำลัง เพื่อใช้งานใส่ปุ๋ยในสวนทุเรียนที่มีระยะปลูกเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร เป็นต้นแบบที่ใช้ไมโครคอลโทลเลอร์ควบคุมการทำงานของชุดใส่ปุ๋ยแบบจานเหวี่ยง และใช้เซนเซอร์แบบอัลตร้าโซนิคควบคุมตำแหน่งที่ต้องการใส่ปุ๋ย ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.14 ลิตรต่อไร่ อัตราปุ๋ย 12.6 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับทุเรียนอายุ 5 ปี ที่ความเร็วรอบจานหว่าน 300 รอบต่อนาที การกระจายตัวของปุ๋ยมีระยะห่างจากตัวรถแทรกเตอร์ 1.2 เมตร ความยาวตามแนวการวิ่งของรถแทรกเตอร์ 3.5 เมตร กว้าง 2 เมตร จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยพ่วงรถแทรกเตอร์ 354 ไร่ต่อปี

Abstracts

Durian is a numerous time-harvested horticultural crop for over 10 years. The most important crop processing is a crop protection. Current situation, lacking of machinery and equipment used for horticultural crop protection, the fertilizer application in durian is operated by man labor. The precision agricultural machinery is able to adopt in this process and it be able to reduce labor costs. The optimal amount of fertilizer application is the function of machinery.

The prototype of semi-auto fertilizer applicator was designed to attach 27 hp. tractor, it is suitable for apply in durian farm where the plant pattern optimize for agricultural machinery working. The prototype's fertilizer applicator is controlled by micro controller and position is controlled by ultrasonic sensor. The average work capacity is 6.28 rai/hr, fuel consumption rate is 0.14 lite/rai and fertilizer rate is

กรมวิชาการเกษตร

12.6 kg/rai. The testing was done in 5 year's old durian at fertilizer spreader speed 300 rpm. The break-even point is 354 rai/year.

6. คำนำ

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจพืชหนึ่งที่ทำรายได้หลักให้กับประเทศ จากข้อมูลการส่งออกในปี 2563 ทุเรียนสดส่งออกรวม 32,499 ตัน รวมเป็นมูลค่า 6,839 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) มูลค่าเพิ่มขึ้น 20% จากปี 2562 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ในปี 2562 พื้นที่ปลูกทุเรียนของประเทศครอบคลุม 724,730 ไร่ ให้ผลผลิต1.02 ล้านตัน โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกทุเรียนมากที่สุดของประเทศ คือจังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ปลูกรวม 225,273 ไร่ หรือ 31% ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ ให้ผลผลิต 339,292 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ด้วยสถานการณ์การส่งออกที่มีแนวโน้มมากขึ้น ราคาผลผลิตดีกว่าไม้ผลอื่น ทำให้เกษตรกรในจังหวัดจันทบุรีปรับพื้นที่เพื่อปลูกทุเรียนมากขึ้น มีพื้นที่ปลูกใหม่และปรับรูปแบบการปลูก เป็นแบบยกร่อง หรือ พูนโคน รวมทั้งมีการปรับระยะปลูกเพื่อรองรับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร

ทุเรียนเป็นราชาแหล่งผลไม้ เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ ที่มีลำต้นสูง 25-50 เมตร ตามแต่ชนิดพันธุ์ และยังสามารถมีอายุยืนยาวได้ถึง 100 - 150 ปี ถ้าหากมีการดูแลรักษาบำรุงต้นให้แข็งแรง ในการปลูกทุเรียนนั้นเป็นการลงทุนวางแผนสำหรับการปลูกครั้งแรก หลังจากนั้นจะเป็นการดูแล บำรุงรักษาให้ต้นทุเรียนมีความสมบูรณ์พร้อมที่จะให้ผลผลิต ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นการเตรียมให้ต้นสมบูรณ์สร้างความพร้อมเพื่อต้นสามารถให้ผลผลิตได้อย่างมีคุณภาพ

ในขั้นตอนการดูแล บำรุงรักษานั้น การใส่ปุ๋ยบำรุงต้น เป็นกิจกรรมหนึ่งที่ช่วยให้ต้นมีความสมบูรณ์พร้อมสำหรับการออกดอกให้ผลผลิต วิธีการดั้งเดิมของเกษตรกรเป็นการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์หว่านกระจายทั่วรอบต้น ซึ่งบางครั้งเป็นการใส่ปุ๋ยมากเกิน หรือ ไม่ตรงตำแหน่งที่ทุเรียนนำไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ กรมวิชาการเกษตรมีคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ยแบบร่วมระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี โดยให้ใส่ในตำแหน่งบริเวณปลายทรงพุ่มของต้นทุเรียน เนื่องจากรากฝอยที่ทำหน้าที่ดูดอาหารมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณรอบทรงพุ่มและอยู่ในระดับที่ไม่ลึกจากผิวดิน ในขั้นตอนการนี้ยังใช้แรงงานในการหว่านทั่วรอบต้น ทำให้สิ้นเปลืองปุ๋ย และลดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของทุเรียน นอกจากนี้เกษตรกรส่วนใหญ่มีอายุมากขึ้น เกษตรกรต้องจ้างแรงงานหว่านปุ๋ย จำนวน 1-2 คนหรือมากกว่านั้นในกรณีที่พื้นที่มีขนาดใหญ่ และผลกระทบจากการระบาดของโควิด-19 ส่งผลชัดเจนต่อการเกษตรของไทย เนื่องจากแรงงานส่วนใหญ่เป็นแรงงานต่างด้าว ถึงแม้ปัจจุบันจะมีเครื่อง

กรมวิชาการเกษตร

ใส่ปุ๋ยใช้งานภายในประเทศอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบพ่นหว่านที่ใช้ในนาข้าว หรือเครื่องหว่านแบบเหวี่ยงกระจายที่พ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไร่ ซึ่งไม่เหมาะสมใช้งานในสวนทุเรียน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของทุเรียน รวมทั้งเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตรระดับพื้นฐานเป็นเทคโนโลยีวิศวกรรมเกษตรระดับสูง (Advanced Agricultural Engineering) จึงพัฒนาต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบอัตโนมัติให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานใส่ปุ๋ยทุเรียน โดยใช้ระบบคอนโทรเลอร์และเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคควบคุมตำแหน่งและอัตราการใส่ปุ๋ย เป็นประโยชน์ช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยและแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน รวมทั้งส่งเสริมการใช้เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตทุเรียน ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้กับพืชไม้ผลชนิดอื่นได้ต่อไป

7. วิธีดำเนินการ :

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 รถแทรกเตอร์ 27 แรงม้า

7.1.2 ปุ๋ยสูตร 8-24-24, 15-7-18, 12-12-17

7.1.3 น้ำมันเชื้อเพลิง

7.1.4 เทปวัด นาฬิกาจับเวลา ตาชั่ง กระบอกตวงน้ำมัน

7.1.5 กล่องวัดการกระจายตัวของปุ๋ย

7.2 วิธีการ

7.2.1 ศึกษาสถานการณ์การใส่ปุ๋ยในทุเรียนของเกษตรกร รวมทั้งศึกษาปัจจัยของปุ๋ยเคมี และลักษณะทางกายภาพของต้นทุเรียนที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ย ดังนี้ ขนาดของเม็ดปุ๋ย ความชื้นของปุ๋ย ขนาดทรงพุ่มของทุเรียนที่อายุ 5, 8 และ 10 ปี อัตราทดที่สามารถให้อัตราปุ๋ยตามคำแนะนำ ความเร็วในการหมุนของชุดปล่อยปุ๋ย ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม ศึกษารูปแบบของลูกหยอดที่เหมาะสมสำหรับใช้กับปุ๋ยเคมี รวมทั้งศึกษาระบบการควบคุมแบบเซนเซอร์แสง วงจรและอุปกรณ์ประมวลผลแบบไมโครคอนโทลเลอร์ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ย

7.2.2 ออกแบบ สร้างวงจรเพื่อการประมวลผลการทำงานด้วยเซนเซอร์แสง และไมโครคอลโทรลเลอร์ ทดสอบระบบการทำงาน โดยระบบต้องสามารถควบคุมการใส่ปุ๋ยในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยแบบโรย โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (27 แรงม้า) เครื่องจะประกอบด้วยถังบรรจุปุ๋ยขนาดประมาณ 50 กิโลกรัม โดยมีชุดควบคุมอัตราการใส่ปุ๋ยที่ควบคุมด้วยไมโครคอลโทลเลอร์ และระบบชุดควบคุมตำแหน่งในการใส่ปุ๋ยที่ใช้เซนเซอร์แสง

กรมวิชาการเกษตร

7.2.3 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบอัตราปุ๋ยให้สามารถโรยได้ในระยะ 2-5 เมตร ทดสอบความต่อเนื่องและความสม่ำเสมอในการโรยปุ๋ยโดยใช้กล่องสุ่มรับตัวอย่างปุ๋ยที่ถูกหว่านเมื่อรถเคลื่อนที่ตามเงื่อนไขที่ออกแบบ ระบบควบคุมอัตราการใส่ปุ๋ยและระบบควบคุมตำแหน่งใส่ปุ๋ยจะถูกทดสอบค่าความแม่นยำ (Precision)

7.2.4 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงทดสอบ เพื่อดูข้อบกพร่องที่ต้องดำเนินการแก้ไข

7.2.5 ปรับปรุงต้นแบบ ก่อนการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลเฉพาะของเครื่องในแปลงทดสอบ

7.2.6 ทดสอบในแปลงเพื่อเก็บข้อมูลการใช้งานของเครื่อง ความสามารถในการทำงาน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ความเร็วในการเคลื่อนที่ อัตราปุ๋ยที่ใส่ได้จริง ความแม่นยำของตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ย

7.2.7 ทดสอบการใช้งานระยะยาวในพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลความคงทน (durability test) ในพื้นที่ปลูกทุเรียนของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี และแปลงของเกษตรกรที่มีระยะปลูกเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลเกษตร จำนวน 30 ไร่

7.2.8 วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์กับการใช้แรงงานคนในการหว่านปุ๋ย และจัดทำรายงานผล

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาเริ่มต้น ตุลาคม 2560 – ระยะเวลาสิ้นสุด กันยายน 2563

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร จังหวัดจันทบุรี ศูนย์พัฒนาไม้ผลตามโครงการพระราชดำริ และแปลงเกษตรกร

กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น ศึกษาลักษณะทางกายภาพของทุเรียน อายุ 5-10 ปี และรูปแบบการปลูกทุเรียน และการใช้เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการดูแลบำรุงรักษาทุเรียน ในพื้นที่เป้าหมาย คือ ระยอง จันทบุรี และตราด เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบอุปกรณ์ใส่ปุ๋ยแบบต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ โดยเลือกสุ่มเก็บข้อมูลจากแปลงของเกษตรกรที่มีการปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบสวนเดี่ยวและมีการปลูกแบบยกร่อง, พูนโคน และพื้นราบ ที่วางแผนร่วมกับเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี ในการสำรวจ คัดเลือกพื้นที่ และสัมภาษณ์เกษตรกรด้วยแบบสอบถาม จำนวนทั้งหมด 20 ราย จากจังหวัดระยอง 6 ราย,จังหวัดจันทบุรี 8 ราย และ จังหวัดตราด 6 ราย ผลการสำรวจสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

8.1.1 ลักษณะทางกายภาพของทุเรียน อายุ 5-10 ปี

ลักษณะทางกายภาพของต้นทุเรียนที่มีผลต่อการพิจารณาอัตราการใส่ปุ๋ย คือ ขนาดทรงพุ่มของต้น โดยในงานวิจัยนี้ เลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองเป็นพันธุ์เป้าหมาย เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมผลผลิตมีราคาสูงและเป็นการผลิตเพื่อส่งออกมากที่สุด เก็บข้อมูลโดยการวัดความยาวของ ด้าน x และ y (รูปที่ 1) ของทรงพุ่มต้นทุเรียนอายุต่างๆ ผลแสดงดังตารางที่ 1 ในการจัดการดูแลต้นทุเรียนในพร้อมเพื่อการออกดอกและติดผล มีคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ยในอัตราเป็นกิโลกรัมต่อต้น เท่ากับ 1ใน 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม (กรมวิชาการเกษตร,2558) จึงวิเคราะห์อัตราปุ๋ยต่อต้นผลดังตารางที่ 1

รูปที่ 1 ทิศทางการวัดค่าระยะทรงพุ่ม

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจระยะทรงพุ่มของต้นทุเรียนและการคำนวณอัตราปุ๋ยต่อต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่อายุต่างกัน

จังหวัดที่สำรวจ	อายุ (ปี)	ระยะทรงพุ่มด้าน x (เมตร)	ระยะทรงพุ่มด้าน y (เมตร)	อัตราปุ๋ยต่อต้น (กก.) จากการคำนวณ
ระยอง	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
จันทบุรี	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
ตราด	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

หมายเหตุ : อัตราปุ๋ยต่อต้น คำนวณจากคำแนะนำใส่ในอัตรา 1 ใน 3 ของรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ย

8.1.2 รูปแบบการปลูกทุเรียน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

<u>แบบที่1</u> การปลูกแบบดั้งเดิม คือ การปลูกแบบสวนผสม เงาะ ทุเรียน มังคุด ส่วนใหญ่จะมีอายุเกิน 15 ปี ระยะปลูกไม่แน่นอน และการปลูกเป็นแบบพื้นราบ (รูปที่ 2) ประมาณ 20% ของพื้นที่การสำรวจเป็นการปลูกแบบนี้

กรมวิชาการเกษตร

รูปที่ 2 การปลูกแบบดั้งเดิม

<u>แบบที่ 2</u> เป็นการปลูกแบบรูปแบบใหม่ ที่เป็นการปลูกแบบพืชเดี่ยว มีรูปแบบการปลูกเป็นแบบพื้นราบ มีระยะปลูกแน่นอน มีระยะห่างระหว่างต้นxแถว 8x8 เมตร และ 10x10 เมตร เป็นการปลูกแบบยกร่อง และพูน

โคน (รูปที่ 3) <u>แบบยกร่อง</u> ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดี ส่งผลให้รากทุเรียนเน่าเสียได้ง่าย ในบางพื้นที่มีการขุดร่องระบายน้ำ ในบริเวณปลายร่อง ขนาดกว้าง 2-4 เมตร ลึกประมาณ 0.70 เมตร ขนาดกว้าง 6 – 8 เมตร ความสูงของร่อง ประมาณ 0.50 - 0.80 เมตร จากการสำรวจ พบว่า 15% เป็นการปลูกแบบยกร่องเป็นแนวยาว และทุเรียนมีอายุมากกว่า 10 ปี <u>แบบพูนโคน</u> เป็นปลูกแบบใช้ดินพูนโคน (นั่งแท่น หรือ ยกโคก) เนื่องจากเมื่อปลูกไประยะหนึ่ง ดินจะยุบตัว ผลจากการสำรวจพบว่า ทุเรียนมีอายุน้อยกว่า 10 ปี มีรูปแบบการปลูกเป็นแบบพูนโคน 65% ทุเรียน การปลูกแบบพูนโคนนี้เป็นวิธีที่ป้องกันน้ำท่วมรากได้ มีการใช้ดินพูนเฉพาะบริเวณโคนต้น ขนาดกว้างตามอายุของต้นทุเรียน โดยเฉลี่ย ทุเรียนที่อายุไม่เกิน 5 ปี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่พูนโคน ประมาณ 5-6 เมตร ความสูง ประมาณ 0.70-1.00 เมตร

รูปที่ 3 การปลูกทุเรียนแบบใหม่ แบบยกร่อง (ซ้าย) และแบบพูนโคน (ขวา)

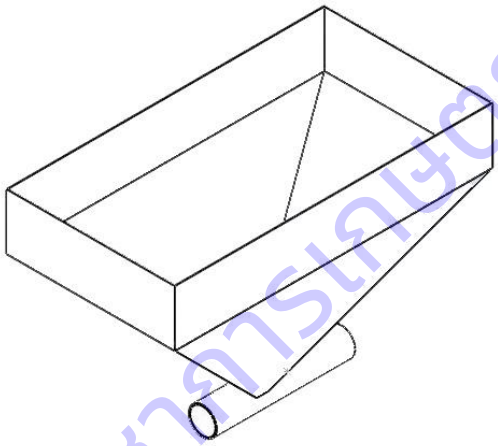
ส่วนระยะการปลูกนั้น มีค่าอยู่ระหว่าง 6x6, 7x7, 8x4, 8x8,10x10 เมตร (ระยะห่างระหว่างต้น xแถว) โดยมีการปลูกที่ระยะ 8x8 และ 10x10 เมตร มากที่สุด คิดเป็น 40 และ 20% ทั้งในรูปแบบการปลูกแบบพูนโคนและพื้นราบ สำหรับการปลูกแบบยกร่อง ระยะการปลูกจะเป็น 8x4 เมตร

นอกจากนี้ ยังพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ที่ปรับรูปแบบการปลูกให้มีระยะปลูกห่างมากขึ้นกว่าการปลูกแบบดั้งเดิม มีการวางแผนเพื่อให้รองรับการใช้เครื่องจักรกลเกษตรในขั้นตอนการดูแลบำรุงรักษา ที่ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้เครื่องพ่นสารเคมีแบบ air blast มากขึ้น ผลจากการสำรวจมีเกษตรกร จำนวน 40% เป็นเจ้าของเครื่องพ่นสารเคมีแบบ air blast แต่ในการใส่ปุ๋ย เกษตรกรยังใช้แรงงานคนในการใส่โดยไม่มีเครื่องมือทุ่นแรงทั้งหมด สถานการณ์การใช้เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับใส่ปุ๋ยของเกษตรกรในปี 2561 พบว่า เกษตรกรยังไม่มีเครื่องมือทุ่นแรงสำหรับช่วยใส่ปุ๋ยในสวนทุเรียน มีการใช้แรงงานคนหว่านปุ๋ยเพียงอย่างเดียว โดยหว่านให้กระจายรอบโคนต้น

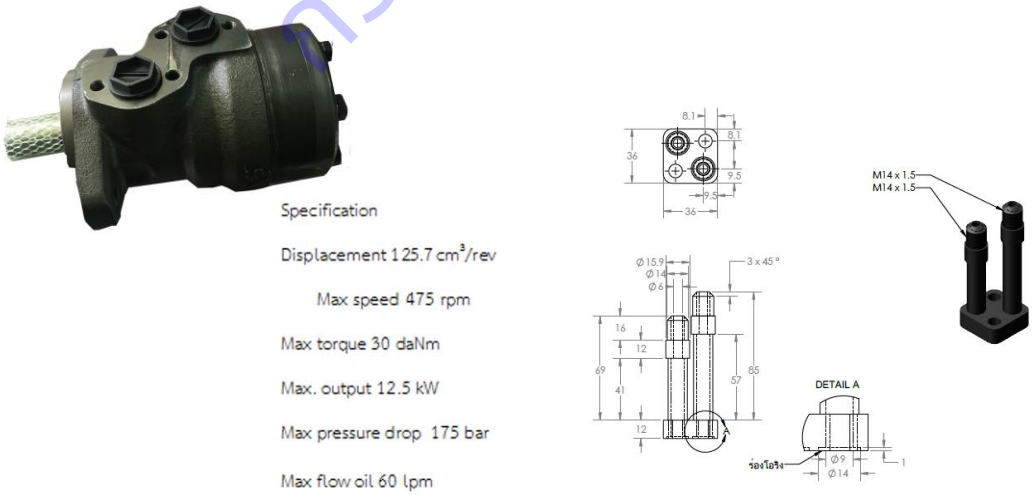
8.1.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดกลไกลสำหรับการใส่ปุ๋ยและอุปกรณ์ควบคุม คืออัตราการใส่ปุ๋ย ความเร็วในการหมุนของชุดปล่อยปุ๋ย รูปแบบของลูกหยอดที่เหมาะสม ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดกล

กรมวิชาการเกษตร

ไกลของเครื่องใส่ปุ๋ย ประกอบด้วย ถังใส่ปุ๋ยที่ออกแบบให้สามารถบรรจุปุ๋ย 80 กิโลกรัม (รูปที่ 4) และลูกหยอดปุ๋ย จึงออกแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดจะถูกขับด้วยมอเตอร์ไฮดรอลิคที่ใช้ต้นกำลังจาดปั้มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ โดยรถแทรกเตอร์มีรายละเอียดปั้มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์จากโรงงานผู้ผลิต ระบุ อัตราการไหลของน้ำมัน 17 ลิตรต่อนาที ที่รอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที แต่ในทางปฏิบัติการใช้งานจริง ความเร็วรอบเครื่องที่เหมาะสม จะอยู่ที่ 2200 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำมันจะอยู่ที่ 14 ลิตรต่อนาที หรือ 14000 ซีซีต่อนาที การออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยให้ความเร็วรอบของเพลา 100 รอบต่อนาที จึงเลือกใช้ไฮดรอลิคมอเตอร์รุ่น M125 ที่มีอัตราการไหล 125 ซีซีต่อรอบ ความเร็วรอบสูงสุด 475 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำมัน 60 ลิตรต่อนาที เป็นต้นกำลังในการควบคุมการลำเลียงปุ๋ย โดยใช้วาล์วควบคุมทิศทาง โดยต่อไฮดรอลิคมอเตอร์เข้ากับระบบปั้มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ (รูปที่ 5) ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วกับปั้มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์แสดงดังรูปที่ 6 และระบบการส่งกำลังของเครื่องใส่ปุ๋ย ดังรูปที่ 7

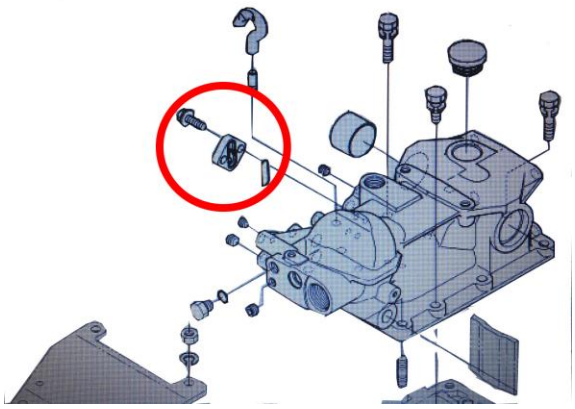


รูปที่ 4 ถังใส่ปุ๋ยขนาดบรรจุ 80 กิโลกรัม

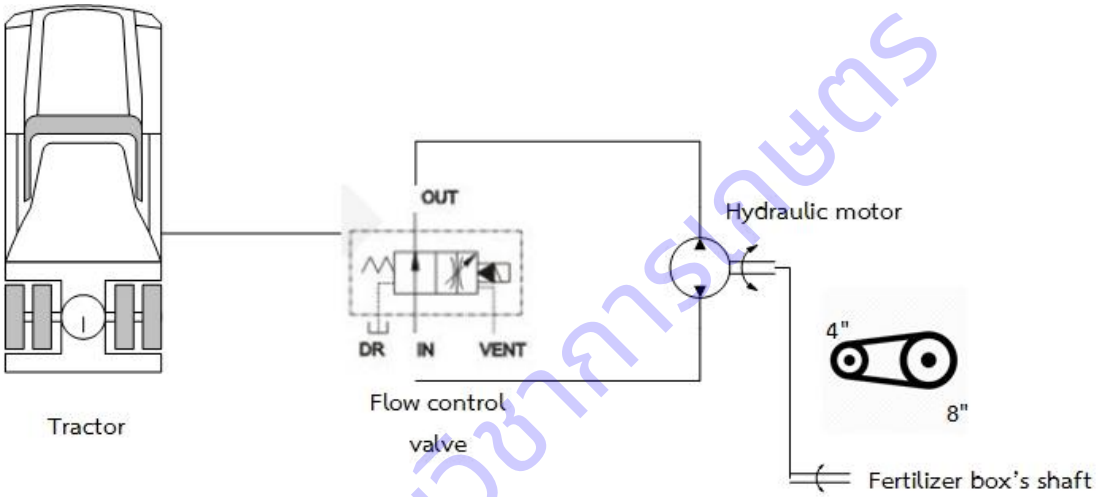


รูปที่ 5 ไฮดรอลิคมอเตอร์และวาล์วสำหรับกับระบบไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์

กรมวิชาการเกษตร



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วต่อระหว่างปั้มไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ และไฮดรอลิคมอเตอร์



รูปที่ 7 ระบบการส่งกำลังของเครื่องใส่ปุ๋ย

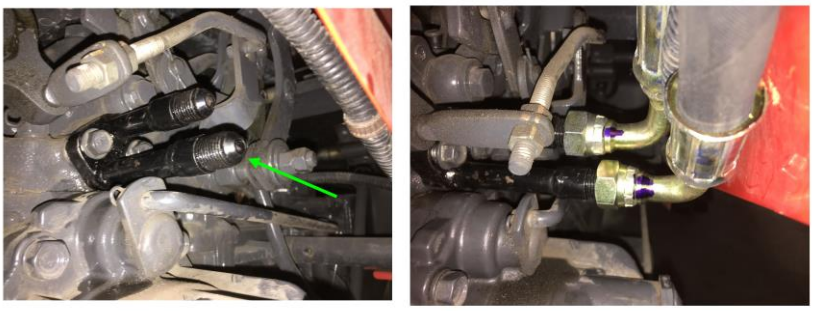
8.2 ออกแบบและสร้างต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลักการทำงานของเซนเซอร์แสงร่วมกับไมโครคอลโทรลเลอร์เพื่อการประมวลผล ตำแหน่งสำหรับการใส่ปุ๋ย ผลการดำเนินการมีดังนี้

8.2.1 ออกแบบและเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมตำแหน่งใส่ปุ๋ยของต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลักการรับสัญญาณสีด้วยกล้อง เมื่อได้รับสัญญาสีเขียว ให้ส่งสัญญาณให้กับโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย Simulink และใช้ Raspberry pi 3 ที่ใช้ Micro SD card เป็นหน่วยความจำ ในที่นี้ให้เป้าหมายที่ต้องการ เป็นสีแดง โดยใช้กล้องเป็นหน่วยรับข้อมูลภาพสี ในรูปแบบ สี RGB หลังจากนั้น ให้มีการวิเคราะห์สี เขียว-แดง และเขียวน้ำเงิน ถ้าค่าที่ได้รับ มีค่า $\geq$ 50 ให้ ส่งข้อมูล 5 เพื่อให้ไฟที่บอร์ด Raspberry ติด แสดงว่าเป้าหมายที่กล้องจับภาพได้มีสีแดง และขณะเดียวกัน ค่าที่ $<$ 50 ให้ส่งข้อมูล 0 เพื่อให้ไฟที่บอร์ด Raspberry ดับ

8.2.2 สร้างต้นแบบ ที่ประกอบด้วยชุดโครงใส่ปุ๋ย (fertilizer application unit), ชุดไฮดรอลิคมอเตอร์, ชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน, วงจรสำหรับควบคุมการปิดเปิดวาล์วควบคุมน้ำมัน, กล้องสำหรับจับ

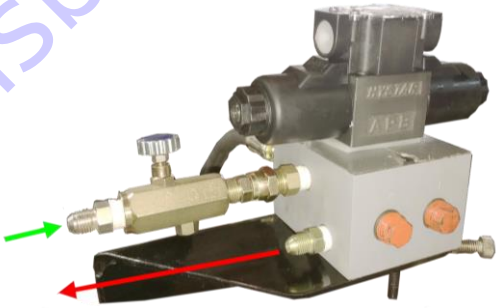
กรมวิชาการเกษตร

ภาพ, ลูกหยอด, ถังปุ๋ย โดยติดตั้งวาล์วสำหรับต่อสายน้ำมันไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ เพื่อให้ไฮดรอลิคมอเตอร์ถูกขับด้วยน้ำมันไฮดรอลิคจากระบบของรถแทรกเตอร์ ซึ่งจะเป็นตัวขับเพลาลูกหยอดปุ๋ย (รูปที่ 8)



(1) ติดตั้งวาล์วสำหรับต่อสายน้ำมันไฮดรอลิค

(2) ติดตั้งชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิค



(3) วาล์วปรับอัตราการไหล

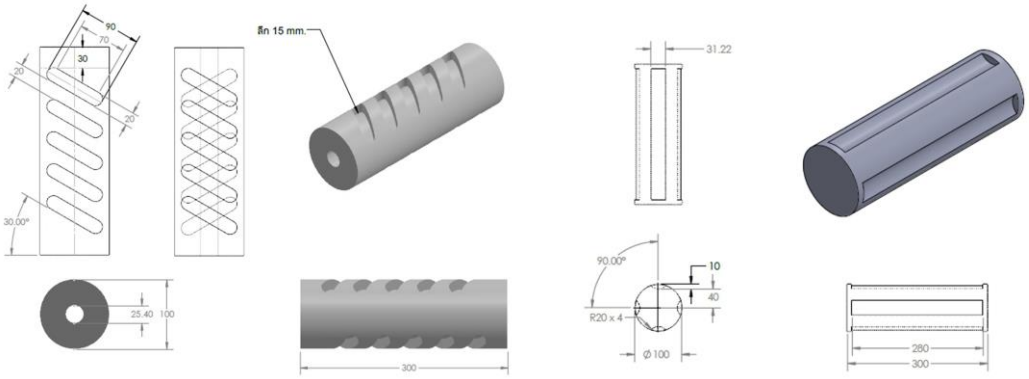
รูปที่ 8 การติดตั้งระบบควบคุมการทำงานของไฮดรอลิคมอเตอร์

8.3 สร้างรางทดสอบขนาดยาว 12 เมตร ที่ออกแบบเพื่อทดสอบอัตราการโรยปุ๋ย ทดสอบความสม่ำเสมอในการโรยปุ๋ย ทดสอบโปรแกรมควบคุมการใส่ปุ๋ยที่ออกแบบขึ้น และทดสอบความแม่นยำในเรื่องตำแหน่งการใส่ปุ๋ย (รูปที่ 9) สำหรับทดสอบลูกหยอดแบบต่างๆ เพื่อหารูปแบบของลูกหยอดที่เหมาะสมกับการใช้งาน ชุดควบคุม

กรมวิชาการเกษตร

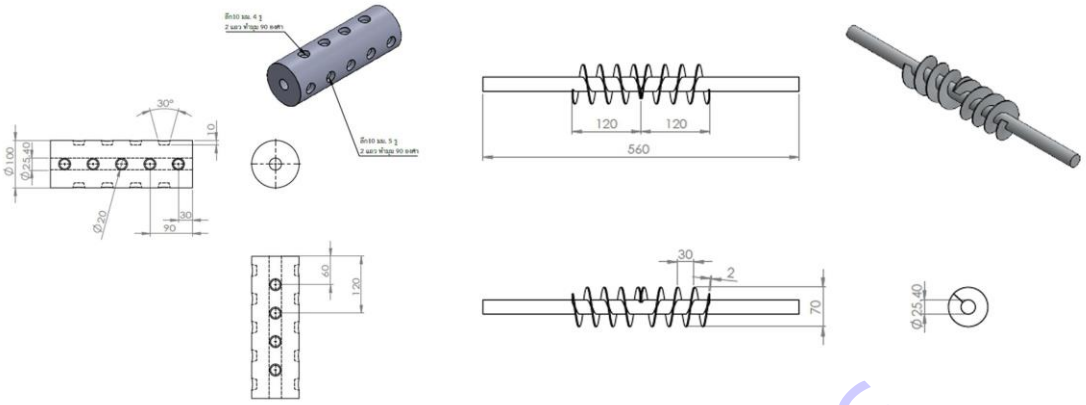
การใส่ปุ๋ย ที่ประกอบด้วย ไฮดรอลิคมอเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเพลาลูกหยอด และวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันด้วยไฟฟ้าที่ควบคุมการทำงานของไฮดรอลิคมอเตอร์ ทดสอบด้วยลูกหยอด จำนวน 4 แบบ คือ ลูกหยอดแบบตรง แบบไขว้ แบบเกลียว และแบบหลุม (รูปที่ 10) ทดสอบแบบละ 3 ซ้ำ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ 1000, 1200, 1400 และ 1600 รอบต่อนาที โดยให้รถแทรกเตอร์ไม่เคลื่อนที่ และให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ที่ระดับความเร็ว 1L ผลการทดสอบดังตารางที่ 1, รูปที่ 11 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

รูปที่ 9 ทดสอบลูกหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ



(ก) ลูกหยอดแบบร่องตรง (ข) ลูกหยอดแบบร่องไขว้

กรมวิชาการเกษตร



(ค) ลูกหยอดแบบหลุม (ง) ลูกหยอดแบบเกลียว (วุฒิพล,2558)

รูปที่ 10 แบบลูกหยอดปุ๋ยสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ

(ก) ลูกหยอดแบบตรง (ข) ลูกหยอดแบบไขว้ (ค) ลูกหยอดแบบหลุม (ง) ลูกหยอดแบบเกลียว

รูปที่ 11 การกระจายตัวของปุ๋ยที่หยอดด้วยลูกหยอด 4 แบบ

ตารางที่ 1 ทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยของลูกหยอด 4 แบบ เมื่อรถแทรกเตอร์ไม่เคลื่อนที่

	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบเฉลี่ยของเพลาลูกหยอด (รอบต่อนาที)	อัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย (กรัมต่อวินาที)
ลูกหยอดแบบตรง	1000	29.43	195.5

กรมการเกษตร

	1200	32.57	217.83
	1400	37.87	250.00
	1600	42.50	280.00
ลูกหยอดแบบไขว้	1000	31.43	133.33
	1200	33.23	166.67
	1400	37.87	157.83
	1600	43.17	191.17
ลูกหยอดแบบหลุม	1000	29.40	31.67
	1200	33.30	36.67
	1400	38.00	41.67
	1600	43.00	47.17
ลูกหยอดแบบเกลียว	1000	29.60	66.67
	1200	34.10	76.67
	1400	37.90	90.00
	1600	42.43	103.33

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยเมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งด้วยความเร็วระดับ เกียร์ 1L ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างกันของลูกหยอด 4 แบบ

ชนิดของลูกหยอด	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบเฉลี่ยของเพลาลูกหยอด (รอบต่อนาที)	ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (เมตรต่อวินาที)	อัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย (กรัมต่อวินาที)
ลูกหยอดแบบตรง	1000	30.33	0.12	191.30
	1200	34.00	0.13	215.50
	1400	38.03	0.15	246.81
	1600	44.10	0.18	285.94
ลูกหยอดแบบไขว้	1000	28.50	0.12	135.18
	1200	33.10	0.14	146.49
	1400	38.10	0.16	160.15
	1600	44.20	0.18	176.91
ลูกหยอดแบบหลุม	1000	30.00	0.12	30.70
	1200	33.40	0.14	34.97

ศรีปริชาการเกษตร

	1400	38.27	0.16	40.77
	1600	43.47	0.18	45.77
ลูกหยอด	1000	29.17	0.12	73.70
แบบเกลียว	1200	33.30	0.14	84.90
	1400	38.70	0.16	99.76
	1600	43.63	0.18	113.04

ผลจากข้อมูลการสำรวจขนาดของต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองในภาคตะวันออก (ระยอง จันทบุรีและตราด) อัตราการใส่ปุ๋ยเป็นอัตราคำนวณจากคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ยปริมาณ 1 ใน 3 ของรัศมีทรงพุ่ม, (กรมวิชาการเกษตร.2558) สามารถแบ่งกลุ่มอัตราปุ๋ยตามอายุของทุเรียนและระยะรัศมีทรงพุ่มได้ดังนี้

3-5 ปี ระยะรัศมีทรงพุ่ม 0.5-2.5 เมตร อัตราการใส่ปุ๋ย 0.17-0.83 กิโลกรัมต่อต้น

6-8 ปี ระยะรัศมีทรงพุ่ม 2.6-3.5 เมตร อัตราการใส่ปุ๋ย 0.86-1.16 กิโลกรัมต่อต้น

จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าลูกหยอดแบบหลุมมีอัตราการใส่ปุ๋ยน้อยที่สุด คือ ประมาณ 30 กรัมต่อวินาที เมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว 0.12 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการหยอดกับลูกหยอดแบบร่องไขว้ แบบร่องตรงและแบบเกลียว ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เท่ากัน ลูกหยอดแบบอื่นๆ ให้อัตราปุ๋ยมากกว่า 2-6 เท่า ผลจากการสังเกตการกระจายตัวของปุ๋ยจากการหยอดด้วยลูกหยอดแบบร่องตรง แบบร่องไขว้ แบบเกลียวและแบบหลุม พบว่า ลูกหยอดแบบร่องตรงและแบบร่องไขว้มีการกระจุกตัวของปุ๋ยมากกว่าแบบเกลียวและแบบหลุม เห็นว่าลูกหยอดแบบหลุมมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นต้นแบบตัวที่ 1 จึงสร้างต้นแบบตัวที่ 1 ด้วยการใช้ลูกหยอดแบบหลุมและระบบควบคุมตำแหน่งด้วยกล้องจับภาพและประมวลผลตามสัญญาณสี

8.4 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของต้นแบบตัวที่ 1 ในแปลง พบว่าระบบการควบคุมแบบฝังตัว โดยใช้กล้องจับภาพและประมวลผลตามสัญญาณสี นั้นมีปัญหาเรื่องการสะท้อนของแสงทำให้สีผิดเพี้ยนจากสีจริง (รูปที่ 12)

รูปที่ 12 การทดสอบเบื้องต้นในแปลงของระบบควบคุมการใส่ปุ๋ย

กรมวิชาการเกษตร

8.5 หลังจากพบปัญหาจากการทดสอบเบื้องต้นของต้นแบบที่ 1 จึงปรับปรุงระบบการควบคุมการใส่ปุ๋ยเป็นอัลตร้าโซนิกส์เซนเซอร์ รุ่น HC-SR04 เพื่อจับวัตถุเป้าหมายคือ ใบของต้น พบว่า ระบบสั่งให้เพลาลูกหยอดปุ๋ยทำงานได้ และทำการทดสอบเบื้องต้นในแปลง พบว่า สามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่เนื่องด้วยมีปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของทรงพุ่ม หรือ ทรงพุ่มมีใบไม่ต่อเนื่อง ของทุเรียนที่กำลังติดผล และทุเรียนที่มีอายุ 8-9 ปี ทำให้ลูกหยอดทำงานไม่ต่อเนื่อง จึงใช้อัลตร้าโซนิกส์เซนเซอร์จำนวน 2 ชุด เพื่อควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของลูกหยอดให้ทำงานแยกกัน โดยใช้ลำต้นเป็นเป้าหมายในการควบคุมการทำงาน เครื่องใส่ปุ๋ยต้นแบบที่ 1 ที่ติดพ่วงท้ายมีตำแหน่งที่ยาวเกินความกว้างของรถแทรกเตอร์มาก ทำให้ไม่มีความคล่องตัวและความปลอดภัยในการทำงาน จึงปรับปรุงต้นแบบให้มีความกว้างพอดีกับตัวรถ โดยเปลี่ยนระบบการโรยปุ๋ยเป็นการหว่านปุ๋ย ที่ใช้จานหว่านที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง และใช้ระบบลำเลียงปุ๋ยแบบเกลียว แทนการใช้ลูกหยอดปุ๋ยแบบหลุม เนื่องจากผลของการทดสอบ (ตารางที่ 1 และ 2) มีอัตราปุ๋ย 74 กรัมต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และสามารถปรับลดขนาดต้นแบบให้พอดีกับรถแทรกเตอร์ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และสามารถหว่านปุ๋ยได้ตามระยะที่ต้องด้วยการปรับรอบการหมุนของจานหว่านปุ๋ย

ต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีต้นแบบที่ 2 หลังปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ประกอบด้วยสองส่วน คือ ระบบทางกลสำหรับการใส่ปุ๋ยที่ปรับจากลูกหยอดเป็นระบบเกลียวลำเลียงทำงานร่วมกับจานหว่าน และระบบการควบคุมแบบฝังตัว ที่เปลี่ยนจากการใช้ตรวจจับสี เป็นระบบเซนเซอร์แบบอัลตร้าโซนิคจำนวน 2 ชุด ที่ให้ความแม่นยำมากกว่า

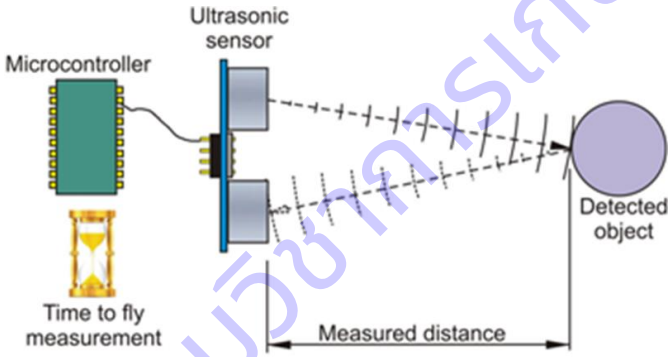
ระบบทางกล : ต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยเคมีติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ประกอบด้วยถังใส่ปุ๋ยขนาด 40 x 70 x 58 ซม. (กว้าง x ยาว x ลึก) บรรจุปุ๋ย 80 กิโลกรัม ระบบหยอดปุ๋ยแบบเกลียวลำเลียง เพลาลูกหยอด ขับโดยไฮดรอลิคมอเตอร์ที่รับการถ่ายทอดกำลังจากระบบไฮดรอลิคของรถแทรกเตอร์ไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลด้วยไฟฟ้า ที่สามารถปรับอัตราการไหลสูงสุด 125 ลิตรต่อนาที ความดันสูงสุด 25 เมกะปาสคาล (ใช้ไฮดรอลิคมอเตอร์ รุ่น M125 ที่มีอัตราการไหล 125 ซีซีต่อรอบ) และส่งกำลังต่อไปยังเพลาของไฮดรอลิกมอเตอร์ ที่มีอัตราการไหลสูงสุด 60 ลิตรต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 475 รอบต่อนาที มีชุดกระจายปุ๋ยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดแรงม้าเป็นต้นกำลังในการหมุนจานหว่านปุ๋ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร มีเหล็กฉาก 4 ใบวางตั้งฉากกัน (รูปที่ 13)

กรมวิชาการเกษตร

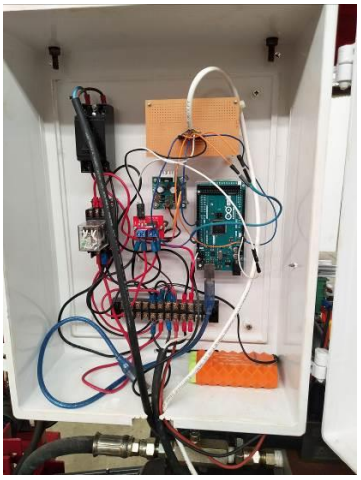
a) b) c)

รูปที่ 13 ส่วนประกอบต้นแบบ a) เกลียวลำเลียง b) ถังปุ๋ย c) จานหว่านปุ๋ย

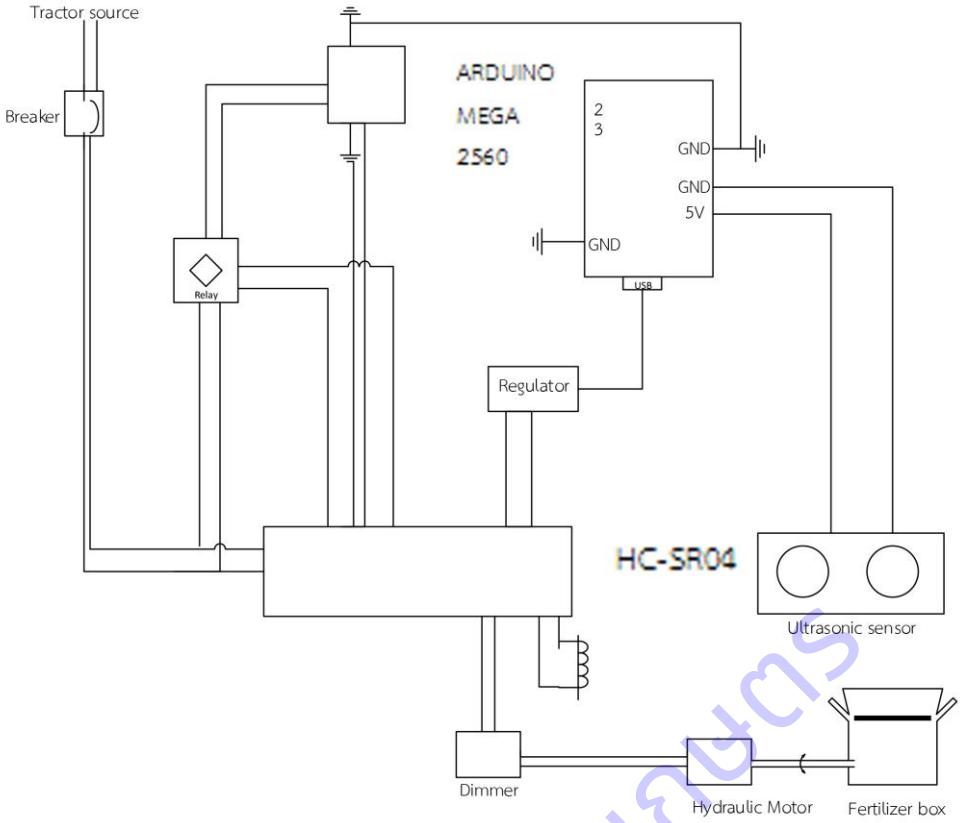
ระบบการควบคุมฝังตัว: ระบบควบคุมการใส่ปุ๋ยถูกออกแบบด้วยโปรแกรมประกอบกับ ไมโครคอลโทรเลอร์ บอร์ด Arduino Mega 2560 ที่เป็นหน่วยควบคุมการทำงานของไฮดรอลิคมอเตอร์ โดยใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิค รุ่น HC-SR04 (ที่มีหลักการทำงานดังรูปที่ 14) จับตำแหน่งต้นทุเรียน เพื่อสั่งให้วาล์วควบคุมไฮดรอลิคเปิดไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิคและขับชุดเกลียวลำเลียงปุ๋ยออกจากถังปุ๋ย มีวงจรควบคุมการทำงานดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 หลักการทำงานของอัลตร้าโซนิคส์เซนเซอร์



กรมวิชาการเกษตร



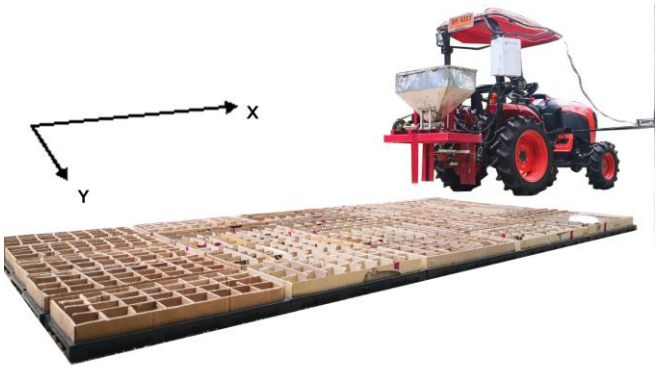
รูปที่ 15 แผนผังของวงจรควบคุม

หลังจากปรับปรุงต้นแบบที่ 2 แล้วดำเนินการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยในห้องปฏิบัติการอีกครั้ง เนื่องจากเปลี่ยนระบบการใส่ปุ๋ยเป็นแบบจานเหวี่ยง โดยมีขั้นตอนการทดสอบที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASABE34. การทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยเม็ดเมื่อใช้เครื่องหว่าน ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้ ถาดเก็บตัวอย่าง (collection tray) มีเงื่อนไขของสถานีทดสอบ ต้องมีความเร็วเร็วไม่เกิน 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความสูง 1.5 เมตรจากพื้น พื้นที่ใช้ทดสอบต้องมีความชันไม่เกิน 2% และถาดเก็บตัวอย่างต้องมีความยาวด้านยาวเท่ากับด้านกว้างหรือมากกว่าด้านกว้างอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ความสูงของถาดประมาณ 2.3 มิลลิเมตร โดยมีการจัดวางเรียงถาดรองรับปุ๋ยดังรูปที่ 16 และเงื่อนไขการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยที่ใช้เครื่องหว่านปุ๋ยต้นแบบฯ ดังนี้

1. ขนาดถาดเก็บตัวอย่าง (กว้าง x ยาว) 0.60 x 0.30 ม.
2. ความเร็วรถเฉลี่ยในการทดสอบ 2.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. ความเร็วรอบของจานหว่านปุ๋ยคงที่
4. ทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยให้รถแทรกเตอร์วิ่งผ่าน 1 รอบต่อ 1ซ้ำ

ดำเนินการทดสอบเก็บตัวอย่างปุ๋ยเมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งผ่านหนึ่งรอบ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของจานปุ๋ยที่ระดับต่างๆ เพื่อตรวจสอบระยะการกระจายตัวของปุ๋ยทั้งแนว x และ y

ครุศาสตร์เกษตร



รูปที่ 16 การวางถาดเก็บตัวอย่างปุ๋ยสำหรับทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ย

ผลทดสอบการกระจายตัวที่ความเร็วรอบจานหว่านที่ระดับต่างๆ ทดสอบด้วยการใช้ถาดเก็บตัวอย่าง ขนาด 0.3x0.6 เมตร ที่มีช่องสำหรับรองรับปุ๋ย 24 ช่องต่อถาดออกแบบการทดสอบให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ระดับ **1L** เก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ความเร็วรอบจานหว่าน 200,250 และ 300 รอบต่อนาที จำนวนรอบละ 3 ซ้ำ โดยในแต่ละการทดลองใช้พื้นที่เก็บตัวอย่าง 4.5, 9และ 12.6 ตารางเมตร ชั่งน้ำหนักที่ได้ในแต่ละถาด เพื่อตรวจสอบระยะการกระจายตัวทั้งด้าน x และ y ผลการทดสอบดังตารางที่ 3 ภาพที่ 17 และ 18

น้ำหนักเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 200 rpm

m	0.6	1.2	1.8	2.4	3 m
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

น้ำหนักเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 250 rpm

m	0.6	1.2	1.8	2.4	3 m
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

น้ำหนักเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 300 rpm

m	0.6	1.2	1.8	2.4	3 m
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

หน่วย กรัม

รูปที่ 17 การกระจายตัวของปุ๋ยที่ถูกหว่านด้วยเครื่องในพื้นที่ 4.5 ตารางเมตร

กรมวิชาการเกษตร

	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	m
0.3	2.37	2.37	2.24	2.26	1.91	
0.6	2.84	3.04	3.87	3.28	2.60	
0.9	5.88	6.25	8.33	7.34	5.50	
1.2	13.28	14.87	14.18	15.55	11.92	
1.5	9.61	8.53	6.34	5.35	3.87	
1.8	3.45	3.36	3.24	2.53	2.21	
2.1	2.70	2.59	2.53	2.57	2.09	
2.4	1.74	2.38	2.01	1.92	1.59	
2.7	2.01	1.67	1.67	1.61	1.49	
3.0	1.70	1.55	0.99	-	0.51	
m	น้ำหนักเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 300 rpm					

	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	m
0.3	1.68	1.96	1.85	1.92	1.96	1.98	1.77	1.55	1.03	1.00	
0.6	1.92	2.17	2.34	2.40	2.69	2.20	2.21	1.46	1.12	1.06	
0.9	3.09	3.48	3.86	4.10	4.59	4.13	3.71	3.19	1.79	1.18	
1.2	6.15	8.35	10.96	12.15	12.89	13.16	10.33	9.12	5.48	1.95	
1.5	9.68	9.94	10.64	9.20	7.99	7.41	5.82	4.36	2.63	1.32	
1.8	3.93	3.61	3.76	3.14	3.41	3.08	2.81	2.77	1.40	1.16	
2.1	2.24	2.63	2.43	2.34	1.66	2.06	2.04	1.81	1.19	0.98	
m	น้ำหนักเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 300 rpm										

หนวย กรม

รูปที่ 18 การกระจายตัวของปุ๋ยที่ถูกหว่านด้วยเครื่องในพื้นที่ 9.0 และ12.6 ตารางเมตร

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการกระจายตัวของปุ๋ยที่ความเร็วรอบจานหว่านต่างๆ

พื้นที่สุ่มตัวอย่าง	ความเร็วรอบจานหว่าน (rpm)	พื้นที่ปุ๋ยกระจายตัวมากที่สุด(x,y)
3x1.5	200	3,0.9
	250	3,0.9
	300	3,1.2
3x3	200	-
	250	3,.0.9
	300	3,1.2
2.1x6	200	0.9,5.4
	250	1.2,4.2
	300	1.5,4.8

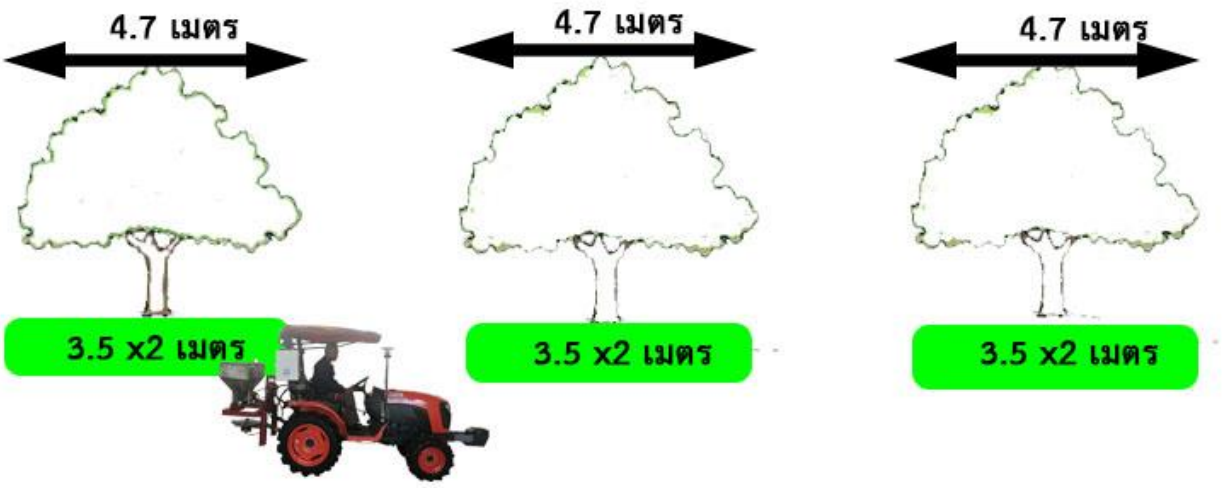
จากรูปที่17,18 และตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบของจานหว่าน 200-250 รอบต่อนาที สามารถหว่านปุ๋ยให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอที่ระยะ 0.6-0.9 เมตร และ ที่ความเร็วรอบของจานหว่าน 300 รอบต่อนาที สามารถหว่านปุ๋ย ให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอที่ระยะ 1.2 เมตร

กรมวิชาการเกษตร

8.6 ผลการทดสอบในแปลง

หลังจากการปรับปรุงระบบการควบคุมแบบฝังตัว โดยปรับเป็นระบบอัลตร้าโซนิคในการตรวจจับ วัตถุเป้าหมาย คือ ลำต้น ระบบจะสั่งให้เพลาลำเลียงปุ๋ยทำงาน ต้นแบบที่ 2 ถูกทดสอบในแปลง ทุเรียนที่ศูนย์พัฒนาไม้ผลตามพระราชดำริ จ.จันทบุรี มีการปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง อายุปลูก 5 ปี พื้นที่ปลูก 16 ไร่ จำนวน 288 ต้น ระยะปลูก (ระยะต้นxระยะแถว) 6x10 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มเฉลี่ย 4.7 เมตร ต้นทุเรียนจำนวนเฉลี่ย 18 ต้นต่อไร่ ด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 0.49 เมตรต่อวินาที และใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24 สำหรับการกระตุ้นให้ทุเรียนออกดอก ปรับตั้งอัตราการจ่ายปุ๋ย 1 กิโลกรัมต่อต้น พบว่า ความสามารถทำงานโดยเฉลี่ย 2.8 ไร่ต่อชั่วโมง ตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ยห่างจากโคนต้น 70 เซนติเมตร แนวการใส่ปุ๋ยภายในทรงพุ่ม (กว้างxยาว) 2x3.5 เมตร ตารางที่ 4 และรูปที่ 19 และ 20

รูปที่ 19 ทดสอบในแปลงทุเรียนของศูนย์พัฒนาไม้ผลตามพระราชดำริ จ.จันทบุรี



รูปที่ 20 ผังพื้นที่การใส่ปุ๋ยเมื่อทดสอบในแปลง

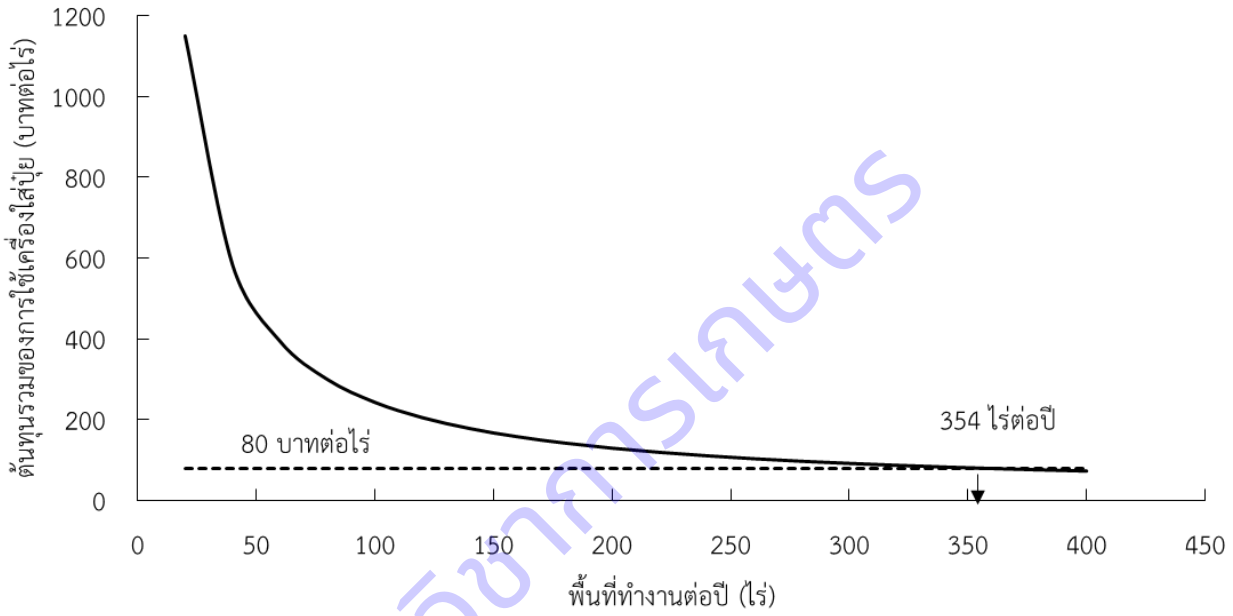
8.7 ผลการทดสอบใช้งานระยะยาว

ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ 2 ในแปลงทุเรียน จ.จันทบุรี รวมพื้นที่ 36.4 ไร่ ที่มีรูปแบบการปลูกเป็นแบบไม่ยกร่อง, แบบยกร่องยาว และแบบพูนโคนสูง ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (รูปที่ 21) ผลการทดสอบพบว่า ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.14 ลิตรต่อไร่ อัตราปุ๋ยเฉลี่ย 9.16 กิโลกรัมต่อไร่ จากการทดสอบการใช้งานระยะยาว จากปี 2561-2563 พบว่า เซนเซอร์ชำรุดจึงเปลี่ยนเซนเซอร์เป็นชุดใหม่

รูปที่ 21 ทดสอบการใช้งานระยะยาว

8.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เงื่อนไขในการวิเคราะห์ : เครื่องใส่ปุ๋ย 50,000 บาท รถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า 300,000 บาท (แทรกเตอร์สามารถใช้งานใส่ปุ๋ยและพ่นสารฯ อัตราแบ่งการทำงาน (work share) เป็น 50%) อายุการใช้งานรถแทรกเตอร์ 10 ปี อายุการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ย 8 ปี ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.14 ลิตรต่อไร่



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยกับพื้นที่ทำงานต่อปี

จากรูปที่ 22 จุดคุ้มทุนการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ ขนาด 27 แรงม้า ที่มีต้นทุนคงที่ 22,687.50 บาทต่อปี ต้นทุนผันแปร 15.90 บาทต่อไร่ เมื่อคิดราคารับจ้างที่ 80 บาทต่อไร่ มีจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยและรถแทรกเตอร์อยู่ที่ 354 ไร่ต่อปี

ระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานในการหว่าน

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = ราคาเครื่องจักร (บาท)/ กำไรสุทธิต่อปี (บาทต่อปี)

ราคาเครื่องใส่ปุ๋ยและต้นกำลัง	350,000	บาท
เครื่องใส่ปุ๋ยและต้นกำลังทำงาน	300	ชั่วโมงต่อปี
(หรือ 50 วันต่อปี โดยทำงาน 6ชั่วโมงต่อวัน)		
ความสามารถในการทำงาน	6.28	ไร่ต่อชั่วโมง
อัตราค่ารับจ้าง	80	บาทต่อไร่ (ไม่รวมค่าปุ๋ย)

กรมวิชาการเกษตร

รายได้ต่อปี	150,720	บาทต่อปี
จากสมการต้นทุนรวม	22,687.5/A + 15.90	บาทต่อปี
พื้นที่ทำงานรวม	1,884	ไร่ต่อปี
ต้นทุนรวมต่อปี	(22,687.5/1,884)+15.90 = 27.94	บาทต่อปี
รายได้สุทธิ	150,692.06	บาทต่อปี

ระยะเวลาคืนทุน =350,000/150,692.06= 2.32 ปี

การใส่ปุ๋ยด้วยแรงงานคน ความสามารถในการทำงาน 1.6 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราค่าจ้างแรงงานในการใส่ปุ๋ยวันละ 300 บาท ทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน และทำงาน 100 วันต่อปี สามารถมีรายได้ต่อปี 30,000 บาท
จะเห็นได้ว่า การลงทุนใช้เครื่องจักรกลเกษตร สามารถทำงานได้เร็วขึ้น 3.9 เท่า มีรายได้ต่อปี มากกว่าการรับจ้างหว่านด้วยมือ 20 เท่า

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่องใส่ปุ๋ยแบบกึ่งอัตโนมัติติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า ที่ออกแบบให้ชุดไมโครคอลโทลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบเกลียวลำเลียงและมอเตอร์กระแสตรงควบคุมการทำงานของจานหว่านปุ๋ย โดยระบบเกลียงลำเลียงจะทำงานเมื่ออัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ทำงานดีเทคเจอต้นทุเรียน โดยการหว่านปุ๋ยจะเริ่มใส่ตั้งแต่ปลายทรงพุ่มด้านหนึ่งจนสิ้นสุดปลายทรงพุ่มด้านหนึ่ง จากการทดสอบการทำงานระยะยาว พบว่า ความสามารถทำงานเฉลี่ย 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง มีความสามารถการทำงานเร็วกว่าการใช้แรงคน 3.93 เท่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.14 ลิตรต่อไร่ เมื่อทำงานที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์ ระดับ 2L อัตราปุ๋ย 12.6 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเร็วรอบจานหว่าน 300 รอบต่อนาที การกระจายตัวของปุ๋ยมีระยะห่างจากตัวรถแทรกเตอร์ 1.2 เมตร ความยาวตามแนวการวิ่ง 3.5 เมตร กว้าง 2 เมตร เครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ดีระดับหนึ่ง สามารถทดแทนการใช้แรงงานคนได้ มีข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อให้เครื่องมือสามารถใช้งานได้ครอบคลุมทุกสภาพแปลงและตอบโจทย์เกษตรกรมากขึ้น คือ

9.1 ปรับชุดหว่านปุ๋ยให้สามารถปรับตำแหน่งได้เพื่อใช้สำหรับต้นที่มีอายุน้อยและสำหรับแปลงที่มีการพูนโคนสูง

9.2 ปรับฟังก์ชั่นการใส่ปุ๋ยให้เลือกอัตราการใส่ปุ๋ยได้ตามอายุของต้นทุเรียน หรือ ขนาดทรงพุ่ม

9.3 แยกช่องในถังใส่ปุ๋ยเพื่อให้เป็นการผสมปุ๋ยกับธาตุอาหารอื่นที่ต้องการ โดยพัฒนาให้สามารถปรับอัตราการผสมได้ตามความต้องการของทุเรียนในแต่ละช่วง

9.4 พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยให้สามารถปรับใช้กับรถยนต์บรรทุกได้ เพื่อความสะดวกของการขนปุ๋ย

9.5 การพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยแบบ AI โดยใช้กล้องช่วยในการตรวจจับพืชเป้าหมาย เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 ร่วมจัดนิทรรศการในงานพืชสวน พืชสวนก้าวหน้าครั้งที่ 16 (HORTEX'2020) ระหว่างวันที่ 11-13 ธันวาคม 2563 ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี จ.จันทบุรี ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร ผู้ประกอบการ

10.2 มีแผนเผยแพร่เครื่องใส่ปุ๋ยฯ ต้นแบบให้กับเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในเขตจังหวัดจันทบุรี ที่มีสภาพแปลงและรูปแบบการปลูกเหมาะสมต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตร

11. คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการได้บรรลุตามเป้าหมาย เนื่องด้วยได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจากรัฐบาลไทย ขอขอบคุณ หัวหน้าศูนย์พัฒนาไม้ผลตามพระราชดำริจังหวัดจันทบุรี และผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ทดสอบเครื่องต้นแบบ รวมทั้งขอบคุณผู้อำนวยการ เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจังหวัดจันทบุรี และ เกษตรกร อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ให้ใช้พื้นที่และอำนวยความสะดวกสำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบ ขอบคุณคณะกรรมการบริหารงานวิจัยของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร สำหรับคำแนะนำในการดำเนินการวิจัยและการเขียนรายงาน รวมทั้งขอขอบคุณในความร่วมมือการดำเนินงานวิจัยจากนายช่างเครื่องกล และ ขอบคุณการอำนวยความสะดวกจากผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี

12. บรรณานุกรม

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). Retrieved from สินค้าเกษตรรายสินค้า: http://impexp.oae.go.th/service/report_product01.php?S_YEAR=2564&i_type=2&PRODUCT_ID=1273&wf_search=&WF_SEARCH=Y#4453

กรมพัฒนาที่ดิน. (2549). *การปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทุเรียน*. สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2559 จาก ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน: http://www.ldd.go.th/menu_Dataonline/G2/G2_11.pdf

เดลินิวส์. (2555). *ทุเรียนกางแขน ตอบปัญหาลดต้นทุนการผลิต-ดินดีสมเป็นนาสวน*. สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2559จาก หน้ารวมข่าวเกษตร เดลินิวส์: http://m.dailynews.co.th/News.do?contentId=48719

เดลินิวส์. (2559). จันทบุรี เดินหน้าเมืองเกษตรสีเขียวตั้งเป้าผลิตผลไม้เมืองร้อน.

กรมวิชาการเกษตร

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2559). *มูลค่าและปริมาณสินค้าออกจำแนกตามกิจกรรมการผลิต*. สืบค้นเมื่อ เมษายน 27, 2559, จาก ธนาคารแห่งประเทศไทย: http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=748&language=th

ภาควิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่. (2543). *ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย*. สืบค้นจาก เอกสารคำสอนวิชาหลักการกสิกรรม: http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/index.htm

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2553). หุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อเกษตรกรรมความแม่นยำสูง. สืบค้นจาก: http://admission.eng.ku.ac.th/highlights/kuagrobot [มิ.ย. 2557].

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. (2551, ตุลาคม 20). เยือนสวนผลไม้อินทรีย์เมืองจันทบุรี ทำเกษตรอินทรีย์ 100% ด้วยหัวใจที่มุ่งมั่น. *ข่าวเกษตรประจำวัน*. เชียงใหม่, ไทย. สืบค้นเมื่อ มีนาคม 30, 2559, จาก http://www.phtnet.org/news51/view-news.asp?nID=644

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี. (2558). *ขั้นตอนการปฏิบัติดูแลการผลิตทุเรียนคุณภาพ.* จันทบุรี: กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2558). *มันสำปะหลังโรงงาน:พื้นที่ปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

สาลี่ ชินสถิต, จำนง ศรีนิมิตร, จรีรัตน์ มีพืชน์, หฤทัย แก่นลา, ศรีนวล สุราษฎร์, เกษศิริ ฉันทะพิระพูน, และ อุมาพร รักษาพราหมณ์ (2550). *การทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทุเรียนคุณภาพแบบมีส่วนร่วมในพื้นที่ภาคตะวันออก.* กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล และวสุ อุดมเพทายกุล. 2558. **การพัฒนาระบบการหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.** หน้า 120. ใน: รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8. 17-19 มีนาคม 2558 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพฯ.

สยามคูโบต้า.(2559,สิงหาคม 5). เครื่องหว่านปุ๋ยคูโบต้ารุ่นFS200. คูโบต้า ประเทศไทย อุปกรณ์ต่อพ่วง. สืบค้น เมื่อ 5 สิงหาคม 2559 จาก http://www.siamkubota.co.th/product/implement

กรมวิชาการเกษตร

สยามอิมพลีเม้น.(2559, สิงหาคม 5). เครื่องหว่านปุ๋ยเคมี รุ่นSFS 340. บริษัท สยามอิมพลีเม้น จำกัด สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2559 จาก http://www.siamimplement.co.th/pro3_SFS340.php

สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี. (2556, มีนาคม 30). *สถิติการเพาะปลูกทุเรียนจังหวัดจันทบุรี ปีการเพาะปลูก 2539-2556*. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2559 จาก สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี: http://www.chanthaburi.doae.go.th/data1/static_planting2.htm

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559, มีนาคม 31). *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร*. สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2559 จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร: http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/durian.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559, มีนาคม 31). *ระบบแสดงข้อมูลด้านสถิติ*. สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2559 จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2556). *สำมะโนการเกษตร พ.ศ. 2556ทั่วราชอาณาจักร*. กรุงเทพ: บริษัท ดอกเบี้ย จำกัด.

กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมสำหรับการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดพ่วงรถแทรกเตอร์

ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์

ราคารถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า P_1= 300,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี (รถแทรกเตอร์ใช้เป็นต้นกำลังงานใส่ปุ๋ย 50%) ราคาเครื่องใส่ปุ๋ย P_2 =50,000 บาท อายุการใช้งาน 8 ปี ใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ทำงานปีละ100 วัน ความสามารถในการทำงาน 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.14 ลิตรต่อไร่

วิธีการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

ต้นทุนการใช้เครื่องจักรกลเกษตร = ตันทุนคงที่ (fixed costs) + ต้นทุนผันแปร (variable costs)

ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลเกษตร และค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

ค่าเสื่อมราคา= (ราคาเครื่อง-ราคาซาก)/อายุการใช้งานของเครื่อง

ค่าดอกเบี้ยหรือเสียโอกาส= (ราคาเครื่อง+ราคาซาก)/2X(%อัตราดอกเบี้ย)

ต้นทุนผันแปร ประกอบด้วย ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่างแรงงาน

ข้อมูลสำหรับคำนวณต้นทุนของรถแทรกเตอร์

ราคารถแทรกเตอร์, P_1	300,000	บาท
ราคาซาก,S_1	25% P_1 =75,000	บาท
อายุการใช้งาน,N_1	10	ปี
อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก, i	5%	ต่อปี
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	22	บาทต่อลิตร
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	10%ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	บาทต่อไร่
ค่าแรงคนขับรถ	500	บาทต่อวัน
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	0.5%P_1/100 ชั่ว	บาทต่อชั่วโมง

ข้อมูลสำหรับคำนวณต้นทุนของเครื่องใส่ปุ๋ย

ราคาเครื่องใส่ปุ๋ย, P_1	50,000	บาท
ราคาซาก,S_1	15% P_1=	บาท
อายุการใช้งาน,N_1	8	ปี

กรมวิชาการเกษตร

อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก, i	5%	ต่อปี
ค่าบำรุงรักษาเครื่องใส่ปุ๋ย	0.2%P_1/100 ชั่ว	บาทต่อชั่วโมง
ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย	6.28	ไร่ต่อชั่วโมง

ต้นทุนคงที่

รถแทรกเตอร์

ค่าเสื่อมราคา	(300,000-75,000)/10 =	22,500	บาทต่อปี
ดอกเบี้ยในการลงทุน	(300,000+75,000)/2 x (5/100) =	9,375	บาทต่อปี
รวมต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์		31.875	บาทต่อปี
รถแทรกเตอร์ใช้งานสำหรับใส่ปุ๋ยคิดอัตราแบ่งงาน 50%			
ต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์		15,937.50	บาทต่อปี
เครื่องใส่ปุ๋ย			
ค่าเสื่อมราคา	(50,000-7,500)/8 =	5,312.50	บาทต่อปี
ดอกเบี้ยในการลงทุน	(50,000+7,500)/2 x (5/100) =	1,437.5	บาทต่อปี
รวมต้นทุนคงที่เครื่องใส่ปุ๋ย		6,750	บาทต่อปี
รวมต้นทุนคงที่		**22,687.50**	**บาทต่อปี**

ต้นทุนผันแปร

รถแทรกเตอร์ (ความสามารถในการทำงาน 6.28ไร่ต่อชั่วโมง)

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	19.42	บาทต่อชั่วโมง
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	1.94	บาทต่อชั่วโมง
ค่าแรงคนขับรถแทรกเตอร์	62.50	บาทต่อชั่วโมง
ค่าบำรุงรักษา	15	บาทต่อชั่วโมง
รวมต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	98.86	บาทต่อชั่วโมง
เครื่องใส่ปุ๋ย		
ค่าบำรุงรักษาฯ	1	บาทต่อชั่วโมง
รวมต้นทุนผันแปร	**99.86**	**บาทต่อชั่วโมง**
ต้นทุนผันแปรต่อพื้นที่	**15.90**	**บาทต่อไร่**

กรมวิชาการเกษตร

ต้นทุนรวมการใช้งานเครื่องฯ = ต้นทุนคงที่รวม + ต้นทุนผันแปรรวม

= 22687.4/A + 15.90 เมื่อ A = พื้นที่ทำงานต่อปี

จุดคุ้มทุนการใช้งาน คือ พื้นที่การใช้งานที่น้อยสุด เมื่อ ต้นทุนรวม มีค่าเท่ากับอัตราค่ารับจ้าง

เมื่ออัตราค่ารับจ้าง 80 บาทต่อไร่

22687.5/A + 15.90 = 80

A= 353.94 ไร่ต่อปี

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = ราคาเครื่องจักรกลเกษตร (บาท)/ กำไรสุทธิต่อปี (บาทต่อปี)

ราคาเครื่องใส่ปุ๋ยฯ และรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง			350,000	บาท
ทำงาน 50 วันต่อปี (วันละ 6 ชั่วโมง) จำนวนชั่วโมงการทำงาน			300	ชั่วโมงต่อปี
ความสามารถการทำงาน 6.28 ไร่ต่อชั่วโมง พื้นที่การทำงานรวม (A)			1,884	ไร่ต่อปี
อัตราค่าจ้าง 80 บาทต่อไร่ รายได้ที่ได้รับ			150,720	บาทต่อปี
ต้นทุนรวมต่อปี = 22,687.5/A +15.90 =			27.94	บาทต่อปี
รายได้สุทธิที่ได้รับ	150,720-27.94	=	150,692.06	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	350,000 /150,692.06	=	2.32	ปี

กรมวิชาการเกษตร

Code fertilizer applicator with ultrasonic sensor

```
//Pins connected to the ultrasonic sensor
#define trigPin  2
#define echoPin 3
//LED pins
#define ledGreen 9
#define ledRed 8
int range = 5;//range in inches
void setup()
{
  // initialize serial communication:
  Serial.begin(9600);
  //initialize the sensor pins
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  //initialize LED pins
  pinMode(ledGreen, OUTPUT);
  pinMode(ledRed, OUTPUT);
  //set LEDs
  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
  digitalWrite(ledRed, LOW);
}
void loop()
{
  // establish variables for duration of the ping,
  // and the distance result in inches and centimeters:
  long duration, inches, cm;
  // The PING))) is triggered by a HIGH pulse of 2 or more microseconds.
```

กรมวิชาการเกษตร

```
  // Give a short LOW pulse beforehand to ensure a clean HIGH pulse:
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  // Take reading on echo pin
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  // convert the time into a distance
  inches = microsecondsToInches(duration);
  cm = microsecondsToCentimeters(duration);
  Serial.print(inches);
  Serial.print("in, ");
  Serial.print(cm);
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
 if(inches < 60) {
    Serial.println("Fertilize");
    digitalWrite(ledGreen, LOW);
    digitalWrite(ledRed, HIGH);
    delay(7000);
  } else {
    Serial.println("Detect");
     digitalWrite(ledGreen, HIGH);
     digitalWrite(ledRed, LOW);
     noTone(alarm);
     delay(100);}
    delay(100);
}
```

ครูวิชาการเกษตร

```
long microsecondsToInches(long microseconds)
{  return microseconds / 74 / 2;}
long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{  return microseconds / 29 / 2;}
```

กรมวิชาการเกษตร