

## รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

- 
1. แผนงานวิจัย : -
  2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย  
สำหรับอ้อย  
กิจกรรม : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย  
สำหรับอ้อย  
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
  3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย  
สำหรับอ้อย  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Research and Development of a NPK Fertilizer  
Applicator for Sugarcane with Site-Specific  
Fertilizer Recommendations
  4. คณะผู้ดำเนินงาน  
หัวหน้าการทดลอง : นางสาวชนิษฐา หวานณรงค์ สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
ผู้ร่วมงาน : นายอัคคพล เสนาณรงค์ สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
: นายเวียง อากรสี สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น  
: นายสรารุฒิ ปานทน สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
: นายธนพงศ์ แสนจุ่ม สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
: นายวีระ สุขประเสริฐ สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
: นายอุทัย ธานี สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
: อาธร พรบุญ สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี

## 5. บทคัดย่อ

กรมวิชาการเกษตร ได้ออกคำแนะนำการใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันมากถึง 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3-142 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งเผยแพร่ให้เกษตรกรปฏิบัติตามได้ยาก เนื่องจากมีความยุ่งยากในการชั่งและผสมปุ๋ย ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยดีตรรกแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยผู้ใช้สามารถเลือกสวิตซ์ตามค่าตามผลวิเคราะห์ดิน เครื่องใส่ปุ๋ยจะคำนวณสูตรปุ๋ยและอัตราที่ต้องใช้ให้เองโดยอัตโนมัติ เนื่องจากมีชุดสมองกลควบคุมลูกหยอดที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสเต็ปป์ ซึ่งทำงานสัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่วัดได้จากล้อที่ติดเซนเซอร์วัดความเร็ว และสัมพันธ์กับสมการความเร็วมอเตอร์กับอัตราการใส่ปุ๋ยที่สอบเทียบไว้ ใน จากการทดสอบในแปลงอ้อย พบว่า ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.02 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 0.8 m/s ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 ลิตร/ไร่

### Abstract

The Department of Agriculture (DOA) has issued the site-specific fertilizer recommendations for sugarcane with 144 formula. By applying the fertilizer rate of 3-142 kg/rai depending on soil fertility. Farmers can not follow this instruction, since the difficulty of weighting and mixing the fertilizers. Thus, the Agricultural Engineering Research Institute (AERI) has developed a NPK fertilizer applicator for sugarcane with site-specific fertilizer recommendations attached with a 4-wheel tractor (24 hp). User can select switch according to value based on soil analysis, it will calculate fertilizer formula and rate automatically. The applicator system consists of a microcontroller for controlling the driving step motor of the fertilizer metering unit and a ground driven wheel integrated with a proximity sensor for the speed measurement. Initially, the applicator was calibrated in laboratory to derive a relationship among the step motor speed and the rate of fertilizer application. Testing were conducted in sugarcane field. Testing results found that average field capacity was 3.02 rai/h, at average travelling speed of tractor 0.80 m/s, average field efficiency was 93.06% and average fuel consumption was 0.45 lit/rai.

## 6. คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วงปี 2552-2557 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีปีละประมาณ 3.83-5.42 ล้านตัน มูลค่า 42,666-66,103 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) เกษตรกรส่วนใหญ่จะพิจารณาใช้ปุ๋ยตามปัจจัยด้านราคาปุ๋ยเคมี ราคาผลผลิต พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณผลผลิต (พรรณพิมล, 2558) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ดั้งเดิมในดิน จึงทำให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยในอัตราและสูตรเหมือนกันทั่วทั้งแปลง ซึ่งอาจไม่ตรงต่อความต้องการของพืช

กรมวิชาการเกษตร มีองค์ความรู้เรื่องการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมานาน โดยในปี 2548 ได้ออกคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว พืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ปาล์มน้ำมัน ยางพารา โดยคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยมี อ้อยปลูก และอ้อยต่อ ใส่ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 มี OM 3 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ จากคำแนะนำดังกล่าวทำให้มีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 108 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และในปี 2560 ได้ปรับปรุงคำแนะนำใหม่โดยสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ร่วมกับ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยคำแนะนำการใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ประกอบด้วย อ้อยปลูก และอ้อยต่อ pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ แต่จากคำแนะนำดังกล่าวทำให้มีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันมากถึง 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3-142 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะเผยแพร่ให้เกษตรกรปฏิบัติตามได้ยาก เนื่องจากมีความยุ่งยากในการชั่งและผสมปุ๋ย อีกทั้งเครื่องหยอดปุ๋ยที่กำหนดในท้องตลาดปัจจุบัน จะใส่ปุ๋ยได้ปริมาณเดียว หรือเปลี่ยนอัตราหยอดได้เล็กน้อยโดยการซื้อเฟืองโซ่มาเปลี่ยน

ตั้งแต่ปี 2557 สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมสำหรับอ้อย ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราหยอดได้กว้าง โดยใช้ชุดเฟืองโซ่จักรยานที่สามารถเปลี่ยนอัตราหยอดได้ใกล้เคียงกับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน แต่การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยนี้ ต้องผสมปุ๋ยข้างนอกและต้องผสมให้เข้ากัน โดยต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ และไม่ผสมและทิ้งไว้นานจนเกิดความชื้นทำให้ปุ๋ยจับตัวเป็นก้อน (caking) ซึ่งทำให้ต้องต้องเสียเวลาและค่าแรงงานในการผสมปุ๋ยเพิ่ม อีกทั้งการนำปุ๋ยที่ผสมแล้วใส่เครื่องหยอดปุ๋ยอาจเกิดการแยกชั้นของปุ๋ยได้ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนของรถแทรกเตอร์ขณะทำงาน ต่อมาจึงพัฒนา เป็นเครื่องใส่ปุ๋ยแบบแยกปุ๋ยหลักทั้ง 3 ชนิด ใส่ในแต่ละถังแยกกัน เพื่อลดปัญหาปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนและการแยกชั้นของปุ๋ย แต่ระบบกลไกการหยอดยังเป็นแบบใช้เฟืองโซ่จักรยานอยู่ ซึ่งทำได้แค่ใส่ปุ๋ยให้ใกล้เคียงกับอัตราหยอดตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน แต่ไม่สามารถใส่ปุ๋ยได้แม่นยำ

เนื่องจากมีอัตราทดคงที่ มีความคลาดเคลื่อนจากอัตราการใส่จริงประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อไปใช้ในแปลงขนาดใหญ่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในปริมาณการใส่ปุ๋ยมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองปุ๋ยเกินความจำเป็น

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินติดพวงรถแทรกเตอร์แบบแยกถังปุ๋ย โดยแยกปุ๋ยหลักทั้ง 3 ชนิด ใส่ในแต่ละถังแยกกัน เพื่อลดปัญหาปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนและการแยกชั้นของปุ๋ย ช่วยลดต้นทุนในการผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินข้างนอก และพัฒนาระบบการกำหนดความแม่นยำของอัตราหยอดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวสามารถใช้กับเครื่องหยอดปุ๋ยที่ต้องการความแม่นยำได้ทุกชนิด เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย จะมีส่วนสนับสนุนให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมากขึ้น ลดขั้นตอนและต้นทุนการผสมปุ๋ย จ่ายปุ๋ยได้แม่นยำทำให้เกิดการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการสูญเสียทรัพยากรได้ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายเกษตร 4.0 ที่พัฒนาการเกษตรแบบดั้งเดิม (Traditional Farming) ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยี (Smart Farming) หรือการทำเกษตรแบบแม่นยำสูง (Precision Farming)

## 7. วิธีดำเนินการ

- 1) ตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง และสำรวจข้อมูลการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการออกแบบเครื่องต้นแบบ
- 2) ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีถังปุ๋ย 3 ถัง สำหรับใส่แม่ปุ๋ย 3 ชนิด ใช้มอเตอร์แบบปรับรอบได้ (step motor) ขับเกลิยวลำเลียงปุ๋ย วัดความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์โดยเครื่องวัดรอบ (encoder) ที่ติดกับล้อขับ (ground wheel) ควบคุมและประมวลผล ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณความเร็วของรถแทรกเตอร์ โดยรับสัญญาณพัลส์จาก ground wheel เพื่อคำนวณและส่งคำสั่งไปควบคุมมอเตอร์ให้หมุนเพื่อกำหนดปุ๋ยให้ลงตามอัตราที่กำหนด
- 3) ทดสอบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ และปรับปรุงแก้ไขต้นแบบ เพื่อให้ได้สูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยที่ถูกต้องตามทฤษฎี
- 4) ทดสอบการทำงานจริงของเครื่องต้นแบบในแปลงของเกษตรกรที่ปลูกอ้อย เพื่อหาค่าความสามารถการทำงานจริงในสนาม ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และความถูกต้องของอัตราการใส่ปุ๋ยในแปลงจริง
- 5) วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสรุปผลการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลการทำงาน ข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องต้นแบบ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเผยแพร่เครื่องต้นแบบให้กับกลุ่มเกษตรกรที่มีความเหมาะสมในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติ

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 8.1 การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยของกรมวิชาการเกษตร

ในปี 2548 กรมวิชาการเกษตร ได้ออกคำแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว พืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ปาล์มน้ำมัน ยางพารา โดยคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย (ตารางที่ 1) ประกอบด้วย อ้อยปลูก และอ้อยต่อ ใส่ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 มี OM 3 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ จากคำแนะนำดังกล่าวทำให้มีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 108 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่ โดยนำไปใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่ออ้อยอายุ 1 เดือน ใช้ปุ๋ยหลักที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (18-46-0) ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) และปุ๋ยโปแตสเซียม (0-0-60) โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่สองครั้ง ครั้งที่ 2 เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน ใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) อีกครั้งที่เหลือ

ตารางที่ 1 ระดับธาตุอาหารที่ใส่ตามค่าวิเคราะห์ดิน (คำแนะนำเดิม)

ธาตุอาหาร	ค่าวิเคราะห์ดิน	ระดับ	อัตราปุ๋ยแนะนำ	
			อ้อยปลูก	อ้อยต่อ
อินทรีย์วัตถุ (%)	น้อยกว่า 1	ต่ำ	18	24
	1-2	ปานกลาง	12	18
	มากกว่า 2	สูง	12	18
ฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	น้อยกว่า 15	ต่ำ	6	12
	15-30	ปานกลาง	6	9
	มากกว่า 30	สูง	6	9
โพแทสเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	น้อยกว่า 30	ต่ำ	12	24
	30-90	ปานกลาง	12	18
	มากกว่า 90	สูง	6	18

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2548

ในปี 2560 กรมวิชาการเกษตร โดยสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน และ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ได้ร่วมกันจัดทำคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย (ตารางที่ 2) โดยมี อ้อยปลูก และอ้อยต่อ pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ จากคำแนะนำดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันได้มากถึง 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3 - 142 กิโลกรัม/ไร่ ดังตารางที่ 2 โดยแนะนำให้ใส่ปุ๋ยอ้อยครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยหลักที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (16-16-8) จนหมด ครั้งที่ 2 ใส่ ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0)

และปุ๋ยโปแตสเซียม (0-0-60) ที่เหลือ และถ้าผลการวิเคราะห์ดินมี pH มากกว่า 7.3 ให้ใช้ปุ๋ย N สูตร 21-0-0 แทน

ตารางที่ 2 ระดับธาตุอาหารที่ใส่ตามค่าวิเคราะห์ดิน (คำแนะนำใหม่)

ธาตุอาหาร	ค่าวิเคราะห์ดิน	ระดับ	อัตราปุ๋ยแนะนำ	
			อ้อยปลูก	อ้อยต่อ
อินทรีย์วัตถุ (%)	น้อยกว่า 0.75	ต่ำ	27	27
	0.75-1.50	ปานกลาง	15	18
	1.50-2.25	สูง	12	15
	มากกว่า 2.25	สูงมาก	6	9
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	น้อยกว่า 7	ต่ำ	9	9
	7-30	ปานกลาง	6	6
	มากกว่า 30	สูง	3	3
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	น้อยกว่า 60	ต่ำ	18	18
	60-90	ปานกลาง	12	12
	มากกว่า 90	สูง	6	6

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2560

## 8.2 เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อย

เครื่องหยอดปุ๋ยในไร่อ้อยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เป็นเครื่องโรยปุ๋ยเป็นแถว (Band Fertilizer Applicator) จะต้องมีส่วนเปิดร่องและท่อนำปุ๋ย มักใช้ร่วมหรือติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมืออื่น เช่น ใช้กับเครื่องปลูกหรือเครื่องมือเตรียมดิน (รูปที่ 1) เครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยในประเทศไทย มีทั้งแบบแถวเดียว และสองแถว เครื่องฝังปุ๋ยแบบแถวเดียวสามารถฝังปุ๋ยได้ตรงกลางระหว่างแถวปลูกโดยใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กวิ่งเข้าไปในระหว่างแถวอ้อย ส่วนเครื่องฝังปุ๋ยแบบสองแถว จะใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ใช้วิ่งคร่อมร่องอ้อยสามารถฝังปุ๋ยได้ใกล้กับรากของอ้อยมากกว่า



รูปที่ 1 เครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบสองแถวที่มีจำหน่ายในท้องตลาด  
ที่มา: วิชัย และคณะ (2556)

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยผสมสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้า ขึ้นไป (รูปที่ 2) เพื่อใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยเกษตรกรต้องผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนจึงนำมาใส่ในเครื่องนี้ สามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุม ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร 10-87 กิโลกรัม/ไร่ มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยานซึ่ง ใบมีดตัดใบอ้อยแบบกงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย จากการทดสอบในแปลงอ้อยของเกษตรกร พบว่า เครื่องต้นแบบมีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่ (ชนิษฐ์ และคณะ, 2558)

อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องหยอดปุ๋ยนี้ ต้องผสมปุ๋ยข้างนอกและต้องผสมให้เข้ากัน โดยต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ ไม่ทำปฏิกิริยากันจนเป็นเหตุให้คุณภาพของปุ๋ยผสมต่ำลง และไม่ผสมและทิ้งไว้นานจนเกิดความชื้นทำให้ปุ๋ยจับตัวเป็นก้อน (caking) ซึ่งทำให้ต้องเสียเวลาและค่าแรงงานในการผสมปุ๋ยเพิ่ม และทำให้เกิดความยุ่งยากในการใส่ปุ๋ย



รูปที่ 2 เครื่องหยอดปุ๋ยผสมสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว

ในปี 2559 สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยแบบผสมแม่ปุ๋ยภายในตัวเองสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้าขึ้นไป (รูปที่ 3) เพื่อเลือกเปลี่ยนอัตราการหยอดปุ๋ยได้กว้าง โดยไม่ต้องคำนวณและผสมปุ๋ยไว้ก่อนล่วงหน้า ลดปัญหาปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนและการแยกชั้นของปุ๋ยเมื่อต้องผสมทิ้งไว้นาน เครื่องหยอดปุ๋ยแบบผสมแม่ปุ๋ยภายในตัวเอง มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 3 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยหลัก 3 ชนิด ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 10-40 กิโลกรัม/ไร่ ตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยหลักตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน ใบมีดตัดใบอ้อย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย จากการทดสอบในแปลงอ้อยที่มีระยะปลูก 1.8 เมตร พบว่า มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 7.19 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.02 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 87.23% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.67 ลิตร/ไร่ ความคลาดเคลื่อนของอัตราการหยอดปุ๋ยจากค่าที่ตั้งไว้เท่ากับ 2.70%



รูปที่ 3 เครื่องหยอดปุ๋ยแบบผสมแม่ปุ๋ยภายในตัวเองสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2553) ได้พัฒนาและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อเกษตรกรรมความแม่นยำสูง 2 ตัว คือหุ่นยนต์ปลูกพืชกับหุ่นยนต์ควาโร โดยหุ่นยนต์ปลูกพืชใช้สำหรับขุดเจาะสำรวจหน้าดิน เก็บตัวอย่างความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตามตำแหน่งพิกัดที่ได้จากจีพีเอส ส่วนหุ่นยนต์ควาโร มีหน้าที่ให้ปุ๋ย ให้น้ำและแก้สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน แก้ไขความเค็มของดินเนื่องจากการใส่ปุ๋ยที่มากเกินไป จะเห็นว่าต้นแบบหุ่นยนต์ควาโรเป็นแบบใส่ปุ๋ยน้ำ แต่มีแนวคิดในการผสมปุ๋ย 3 ธาตุ ตามค่าที่อ่านได้ในแผนที่ในขณะที่ยานแทรกเตอร์ทำงาน

Ehtesham and Mohammad (2012) ได้พัฒนาและทดสอบเครื่องใส่ปุ๋ยเม็ดแบบปรับอัตราหยุดอัตโนมัติตามแผนที่อัตราการใส่ปุ๋ย โดยทดสอบกับปุ๋ย 2 ชนิด คือ 46-0-0 และ 0-45-0 ใส่ปุ๋ยในอัตรา 75, 125 และ 175 กิโลกรัม/เฮกแตร์ ด้วยความเร็วรถแทรกเตอร์ 3, 6 และ 9 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าความเร็วรถแทรกเตอร์และอัตราการใส่ปุ๋ยมีผลต่อความแม่นยำในการใส่ปุ๋ย ขณะที่ชนิดของปุ๋ยไม่มีผลต่อความแม่นยำในการใส่ปุ๋ย ความแม่นยำในการใส่ปุ๋ยจะลดลงเมื่อความเร็วรถแทรกเตอร์และอัตราการใส่ปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น

สายรุ้ง และวสุ (2558) ได้พัฒนาและทดสอบระบบการหยุดสารเคมีในปริมาณน้อยเช่น 1-2 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อกำจัดศัตรูพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระบบ โดยระบบจะทราบความเร็วในการเคลื่อนที่จากอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Encoder) ที่ติดตั้งบนล้อควบคุม แล้วจึงคำนวณหาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมกับชุดหัวหยุด และส่งสัญญาณควบคุมไปยังสเต็ปมอเตอร์ (Step motor) เพื่อขับลูกหยุดให้หมุนเพื่อจ่ายสารเคมีในอัตราหยุดที่ต้องการ การทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า สามารถทำการหยุดสารเคมีตามอัตราการหยุดที่กำหนด ( $R^2=0.99$ ) และเมื่อนำชุดหัวหยุดติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถหยุดสารเคมีได้ตามอัตราการหยุดเชิงพื้นที่ที่กำหนดโดยไม่มีอิทธิพลจากความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ( $R^2=0.91$ ) โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราการหยุด 2.7%

### 8.3 การออกแบบ

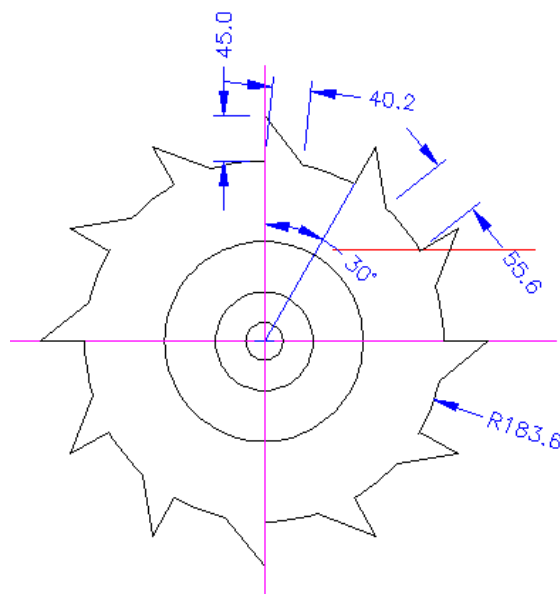
ได้ออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย ซึ่งส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่

#### 1) เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อย

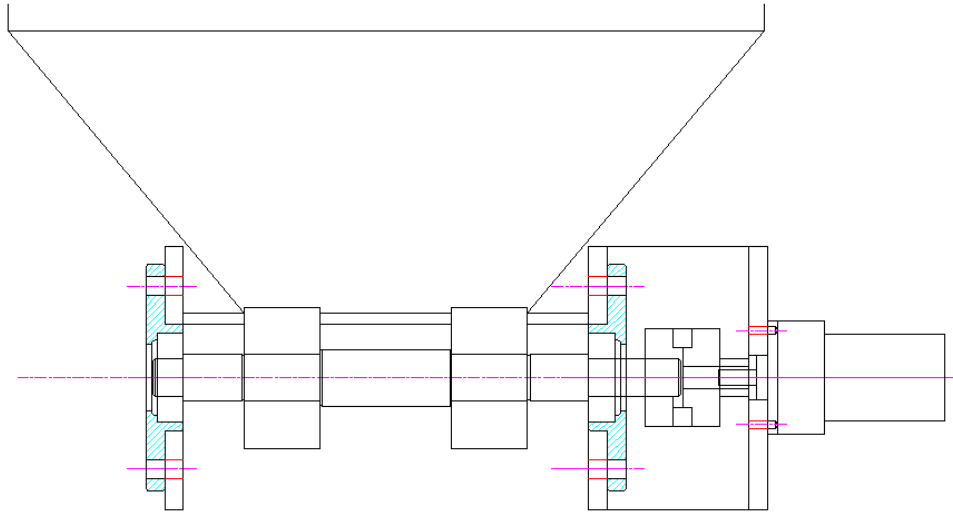
ออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยให้มีถังปุ๋ย 3 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยหลัก 3 ชนิด ได้แก่ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ  $(NH_4)_2SO_4$  (46-0-0) ออกแบบเป็นแบบแถวเดียวสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เนื่องจากเกษตรกรรายย่อยส่วนใหญ่นิยมใช้แบบแถวเดียวมากกว่าแบบ 2 แถว ต้นแบบประกอบด้วย ถังปุ๋ย 3 ถัง ความจุถังละ 40 กิโลกรัม ใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดขนาด 18 นิ้ว (รูปที่ 4) ขาไถเปิดร่องดิน ชุดลูกหยุดแบบร่องเฉียง และชุดขับลูกหยุด การทำงานเมื่อรถแทรกเตอร์ทำงานจะมีใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดใบอ้อยให้ขาด จากนั้นมีขาไถเปิดร่องดิน (Chisel plows) ไถเปิด

ร่องลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ขณะเดียวกันปุ๋ยจากทั้ง 3 ถังจะไหลมารวมกันที่ขาไถเปิดร่องดิน และถูกฝังลงดิน

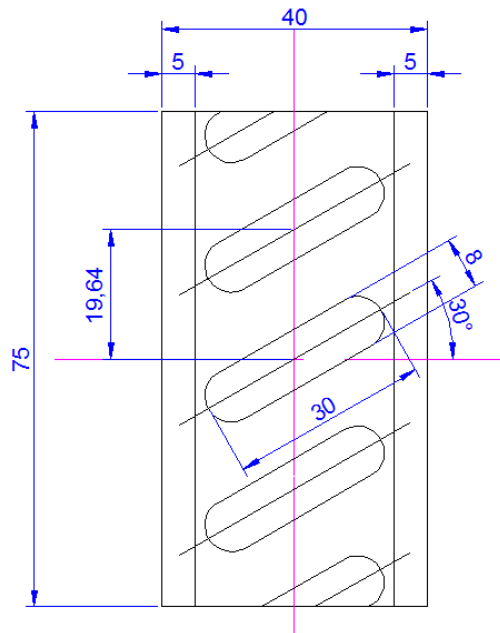
ออกแบบชุดขับเคลื่อนเพลาลูกหยอด โดยมีมอเตอร์ขับเคลื่อนแต่ละถังปุ๋ย (รูปที่ 5) แต่ละถังมีลูกหยอด 2 อัน ทำจากซูเปอร์สแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ออกแบบเป็นแบบร่องเฉียง (รูปที่ 6) เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างลูกหยอดและผนังของถังใส่ปุ๋ย อีกทั้งเพื่อให้ปุ๋ยลงได้สม่ำเสมอมากกว่าการใช้ลูกหยอดแบบเกลียวลำเลียง ออกแบบลูกหยอดให้สามารถใส่ปุ๋ยได้ประมาณ 20-40 กรัมต่อรอบ เพื่อให้ใช้รอบหมุนของมอเตอร์ไม่เกิน 100 รอบต่ออนาที สอดคล้องกับงานของ Wu et al. (2004) ที่แนะนำให้ใช้ความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดควรอยู่ในช่วง 33 – 91 รอบต่ออนาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของอัตราการให้ปุ๋ยน้อยกว่า 7% ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสเตปป์ (86BYGH114, China) 12 โวลต์ ขนาด 8.5 นิวตัน-เมตร ขับในแต่ละถังปุ๋ย ล้อควบคุมความเร็วเป็นล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ติดตั้งด้านท้ายเครื่องและติดสปริงเพื่อช่วยให้ล้อติดกับพื้นดินอย่างต่อเนื่อง ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดรอบแบบ Proximity switch ที่แกนของล้อเพื่อรับสัญญาณพัลส์ ส่งให้บอร์ดประมวลผลเพื่อคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ รูปที่ 7 แสดงเครื่องใส่ปุ๋ยตามคำวิเคราะห์ดินแบบแถวเดี่ยวติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก



รูปที่ 4 ใบตัดอ้อยแบบซี่



รูปที่ 5 ชุดหยอดปุ๋ย



รูปที่ 6 ลูกหยอดแบบร่องเฉียง

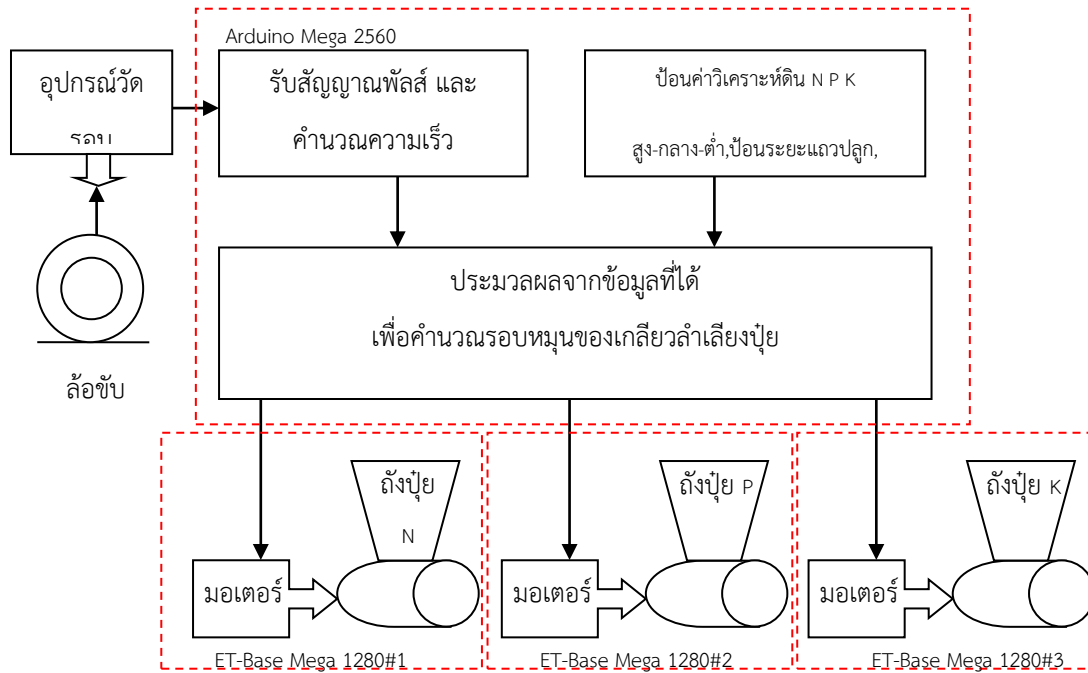


รูปที่ 7 เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแถวเดี่ยวติดพวงรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

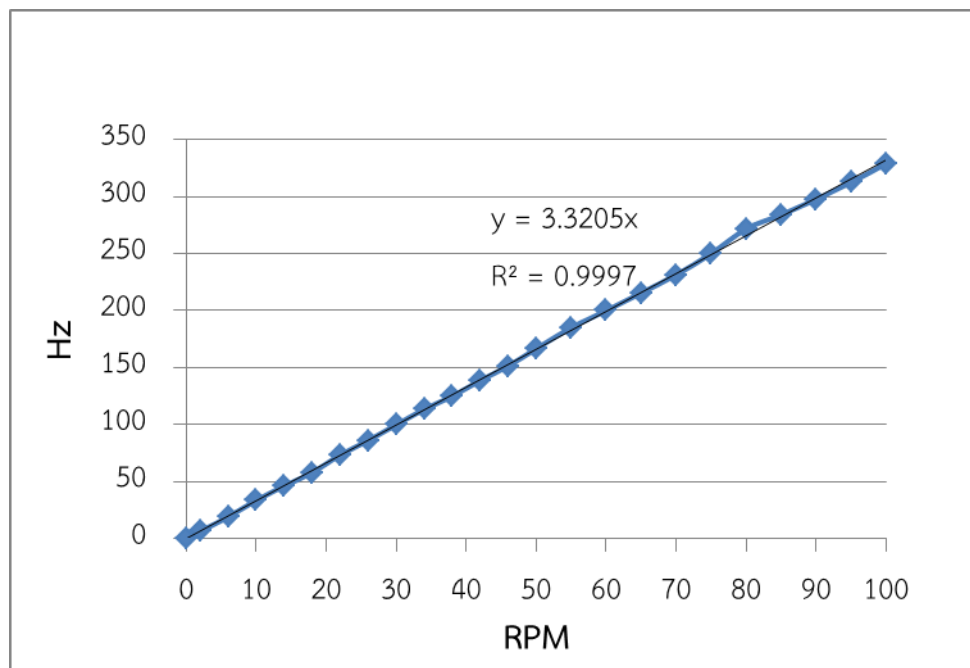
2) ระบบควบคุมและประมวลผล (Electronic control system) หลักการทำงาน เมื่อผู้ใช้งานทราบค่าผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินแต่ละแปลงแล้ว จะทราบว่าในแปลงของตัวเองมีธาตุอาหาร OM P K แต่ละชนิดเป็นสูง กลาง หรือต่ำ โดยจะเลือกสวิตช์ N P K ค่าที่ป้อนจะถูกนำมาประมวลผลร่วมกับข้อมูลที่ได้จากสมการการสอบเทียบปุ๋ย (Calibration) มาคำนวณและส่งคำสั่งไปควบคุมมอเตอร์ให้หมุนลูกหยอดให้สัมพันธ์กับความเร็วของรถแทรกเตอร์ในขณะนั้นๆ โดยตรวจสอบอัตราความเร็วของรถแทรกเตอร์จากล้อขับ (Ground wheel) ที่ติดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Proximity switch) จะส่งสัญญาณไปยังชุดประมวลผล และสื่อสารไปยังชุดควบคุมมอเตอร์ของถังปุ๋ย N P K แต่ละถัง ให้เป็นไปตามอัตราที่กำหนด และมีความสัมพันธ์กับความเร็วรถแทรกเตอร์ (รูปที่ 8)

ใช้โปรแกรม Matlab Simulink 2016 เพื่อเขียนคำสั่งสมองกลควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์กล่องใหม่ ให้สามารถทำงานได้ตามคำแนะนำเดิม โดยสามารถเลือก อ้อยปลูก และอ้อยต่อ ใส่ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มี OM 3 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ ใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 108 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนของ Hardware ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) จำนวน 1 ตัว เป็นไมโคร-คอนโทรลเลอร์หลัก ใช้สำหรับรับค่าสัญญาณพัลส์จาก proximity switch เพื่อคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ทุกวินาที และใช้รับค่าที่ป้อนได้แก่ อ้อยปลูก และอ้อยต่อ N 3 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ เพื่อคำนวณอัตราการการจ่ายปุ๋ยต่อวินาที (g/s) ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ในขณะนั้นๆ แล้วจึงคำนวณความเร็วรอบที่ต้องการสำหรับสเต็มมอเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบ ส่งข้อมูลจำนวนรอบที่ต้องใช้ในขณะนั้นให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รอง (ET-Base Mega 1280) จำนวน 3 ตัว หลังจากรับค่าความเร็วรอบของ

สเต็ปมอเตอร์ (รูปที่ 8) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณความถี่ (Hz) ที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ แล้วจึงส่งต่อไปให้กับบอร์ดวงจรขับมอเตอร์ (HY-DIV268N-5A Stepper driver) เพื่อขับสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนให้ได้อัตราหยุดตามที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับความเร็วการเคลื่อนที่ รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณความถี่ (Hz) กับรอบหมุนของมอเตอร์ rpm



รูปที่ 8 แผนผังการควบคุมการใส่ปุ๋ย



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของสัญญาณความถี่ (Hz) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)

#### 8.4 การทดสอบอัตราการใส่ปุ๋ยในห้องปฏิบัติการต้นแบบที่ 1

ได้ทำการทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ยที่ความเร็วรอบต่างๆ (รูปที่ 10) โดยทดสอบให้ครอบคลุมอัตราการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร โดยปุ๋ยที่ใช้ทดสอบมีความหนาแน่น (bulk density) ดังนี้

ปุ๋ย 46-0-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.7244 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

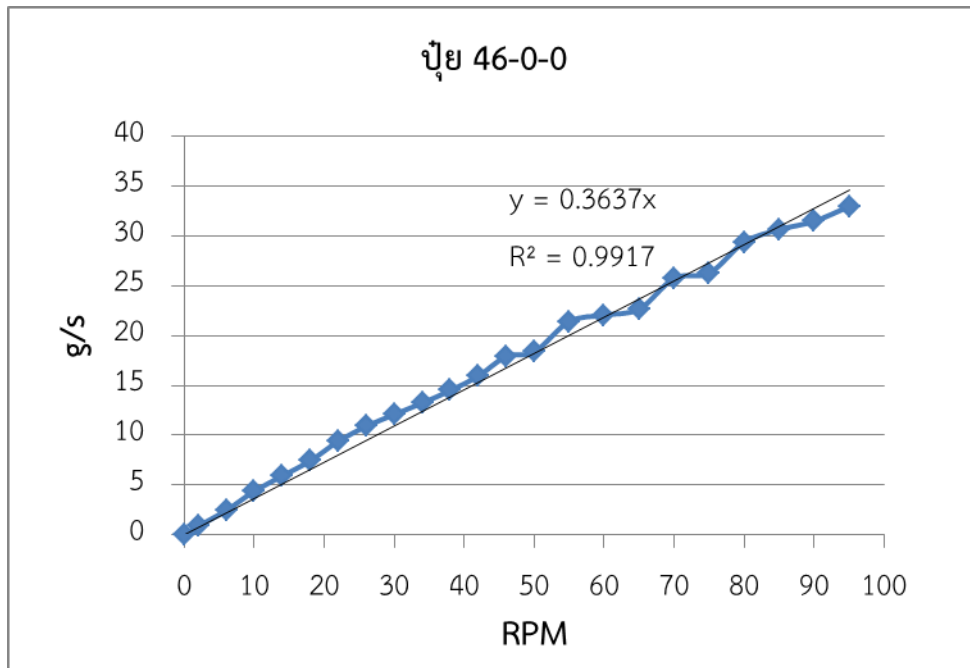
ปุ๋ย 18-46-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.9426 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ปุ๋ย 0-0-60 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 1.0596 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

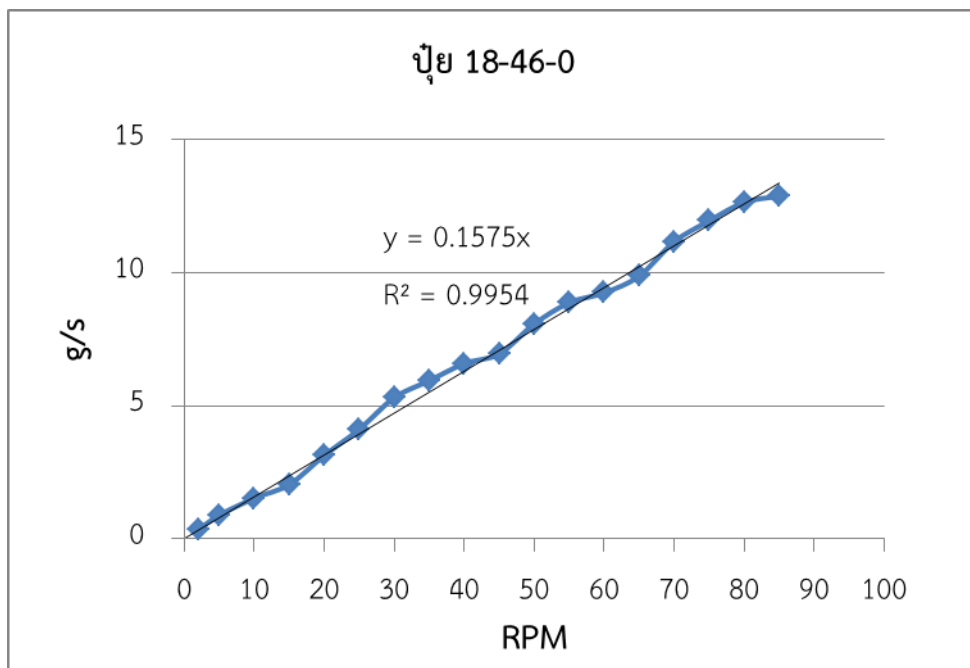
จากการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย (g/s) ของปุ๋ยแต่ละชนิด กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm) ได้ดังรูปที่ 11 ถึง 13



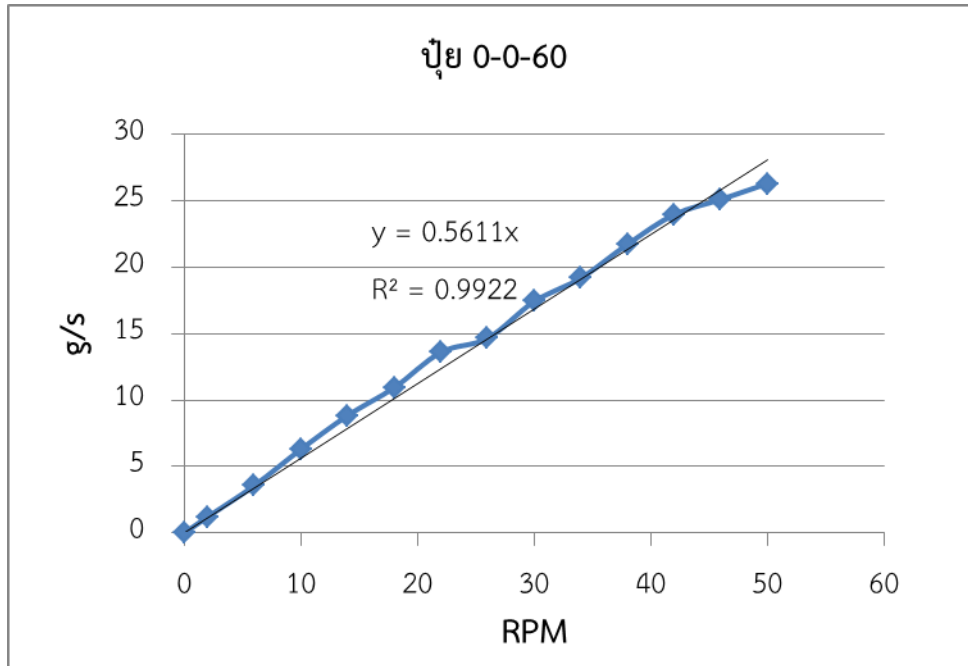
รูปที่ 10 สอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ย



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 18-46-0 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 0-0-60 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)

### 8.5 ผลการทดสอบความสามารถการทำงานภาคสนาม ต้นแบบที่ 1

ก่อนการทดสอบภาคสนาม ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแปลงอ้อยต่อของเกษตรกร ต.หนองตากยา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี เพื่อวิเคราะห์ค่า OM P K ของดินหลังการตัดอ้อย สภาพแปลงมีความชื้น 14.0% (มาตรฐานแห้ง) ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.45 g/cm<sup>3</sup> ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ดิน

	Required element rate (kg/rai)		
	OM	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
ค่าวิเคราะห์ดิน	0.84%	80 mg/kg	66 mg/kg
การแปรผล	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
สูตรปุ๋ยที่แนะนำ	24	6	18

ดำเนินการทดสอบในแปลงดังกล่าว เลือกสูตรปุ๋ยที่กล่องควบคุม OM-P-K เป็น ต่ำ-สูง-ปานกลาง สูตร 24-6-18 ตามผลวิเคราะห์ดิน การใส่ปุ๋ยในโปรแกรมจะแบ่งใส่ 2 ครั้ง ใส่ปุ๋ย NPK อย่างละครึ่ง ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.8 m ใช้รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น B2420 ขนาด 24 แรงม้า เป็นต้นกำลัง เลือกใช้เกียร์ 1 HI ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ราว 1400 rpm ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.03 m/s



จากการทดสอบการทำงานในแปลงพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดี ฝังปุ๋ยได้ลึกราว 10-15 cm ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบความสามารถการทำงาน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความสามารถการทำงาน

	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Avg.
Area (rai)	2.43	2.08	2.00	-
Field capacity (rai/h)	3.65	4.03	3.88	3.85
Field efficiency (%)	87.38	96.57	92.91	92.29

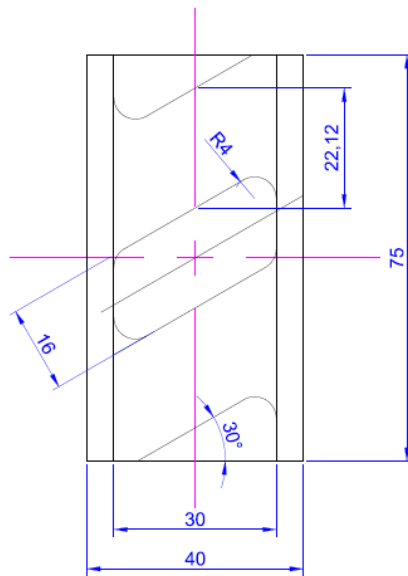
จากตาราง พบว่าความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.85 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.03 m/s ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 92.29% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.40 ลิตร/ไร่ ทั้งนี้ความสามารถการทำงานที่ค่อนข้างสูง เพราะแปลงทดสอบเป็นแปลงที่ไม่มีวัชพืช และมีถนนสำหรับกลับหัวงานได้สะดวก ส่วนระบบควบคุมมอเตอร์ไม่พบปัญหาใดๆ รูปที่ 15 เป็นการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ 1



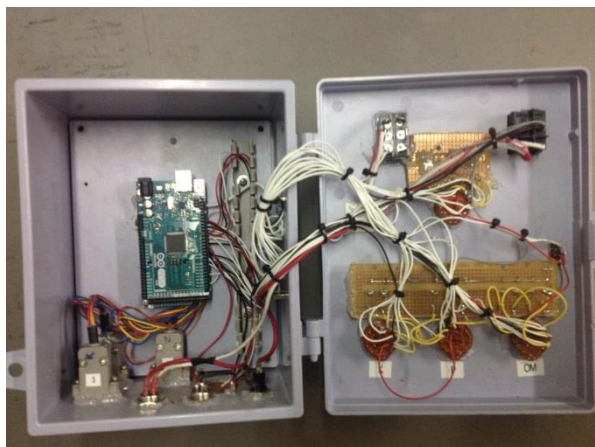
รูปที่ 14 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ 1

## 8.6 การปรับปรุงระบบควบคุมและประมวลผลของต้นแบบที่ 2

ในช่วงปลายปี 2560 กรมวิชาการเกษตร ได้ปรับปรุงคำแนะนำการให้ปุ๋ยสำหรับอ้อยฉบับล่าสุด ทางผู้วิจัย จึงได้แก้ไขโปรแกรม Matlab Simulink 2016 เพื่อเขียนคำสั่งสมองกลควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์กล่องใหม่ ให้สามารถทำงานได้ตามคำแนะนำใหม่ โดยสามารถเลือก อ้อยปลูก และอ้อยต่อ pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ ใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3-142 กิโลกรัม/ไร่ เนื่องจากคำแนะนำใหม่มีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่มากขึ้น จึงได้ดำเนินการออกแบบลูกหยอดให้สามารถหยอดปุ๋ยได้ในอัตราที่ครอบคลุมตามคำแนะนำใหม่ (รูปที่ 15) รูปที่ 16 แสดงกล่องสมองกลควบคุมการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย



รูปที่ 15 ลูกหยอดแบบร่องเฉียงแบบที่ 2



รูปที่ 16 กล่องสมองกลควบคุมการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ย

## 8.7 ผลการทดสอบอัตราการใส่ปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ ของต้นแบบที่ 2

ได้ทำการทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ยที่ความเร็วรอบต่างๆ (รูปที่ 17) โดยทดสอบให้ครอบคลุมอัตราการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่แนะนำใหม่ และมีการใช้ปุ๋ยหลักสูตร 21-0-0 เพิ่มขึ้นมาปุ๋ยที่ใช้ทดสอบมีความหนาแน่น (bulk density) ดังนี้

ปุ๋ย 46-0-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.7886 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปุ๋ย 21-0-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 1.1229 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

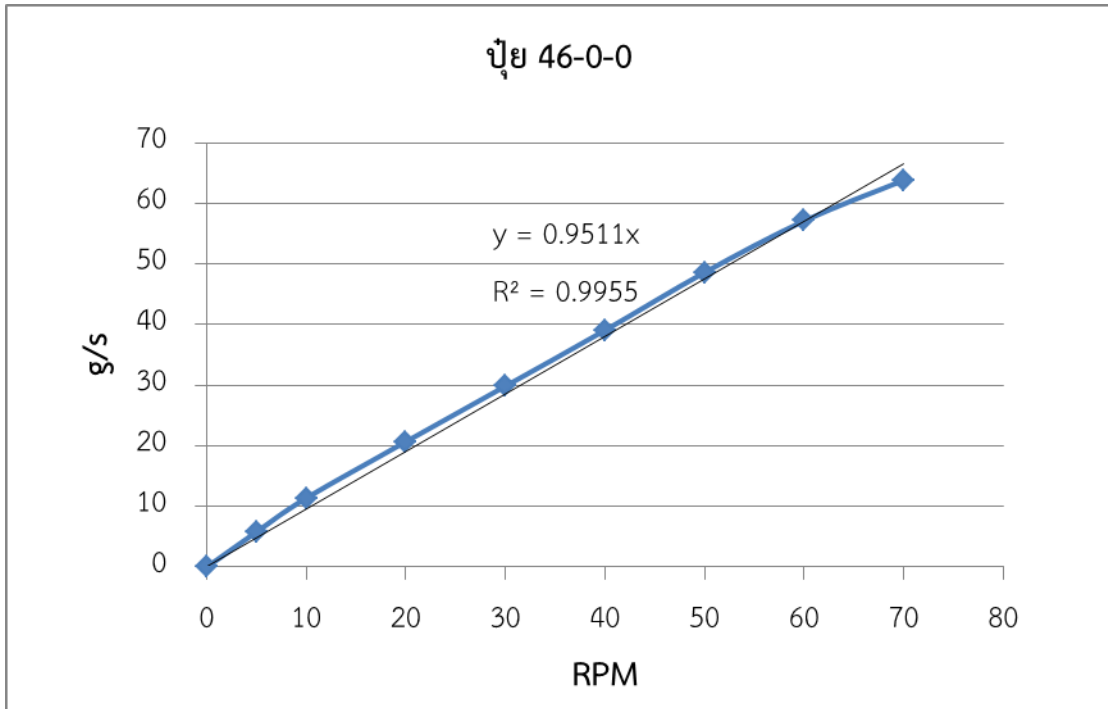
ปุ๋ย 16-16-8 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.9454 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปุ๋ย 0-0-60 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 1.0832 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

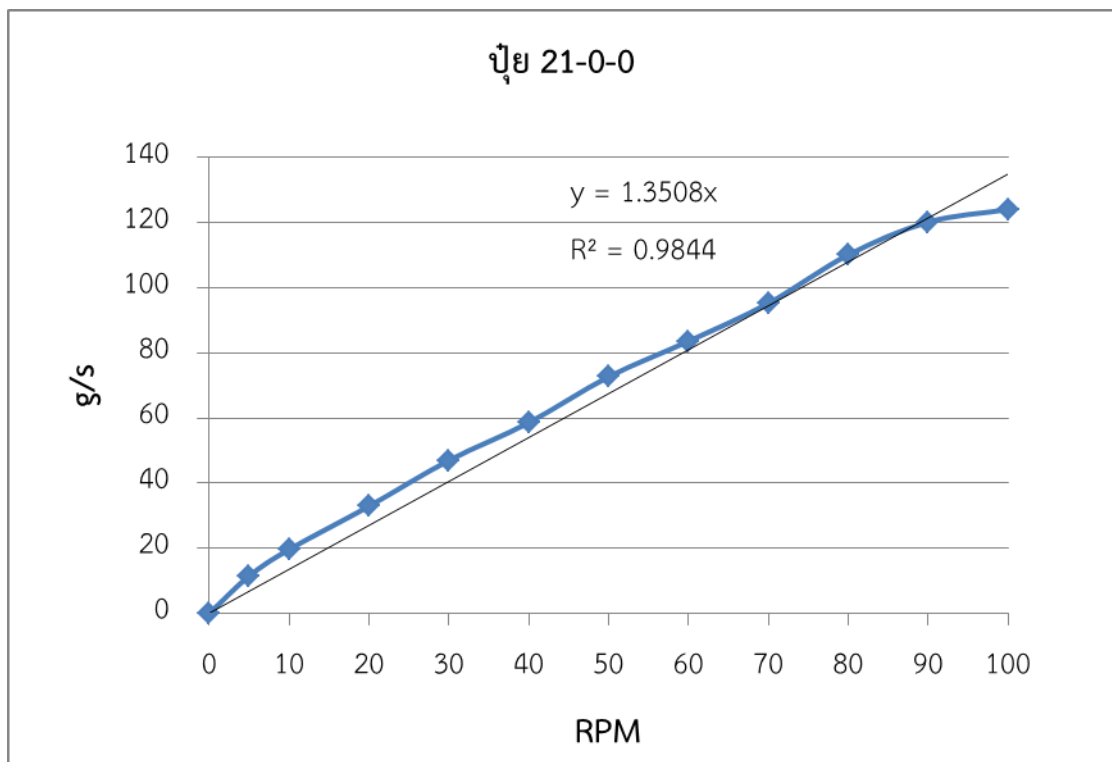
จากการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย (g/s) ของปุ๋ยแต่ละชนิด กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm) ได้ดังรูปที่ 18 ถึง 21



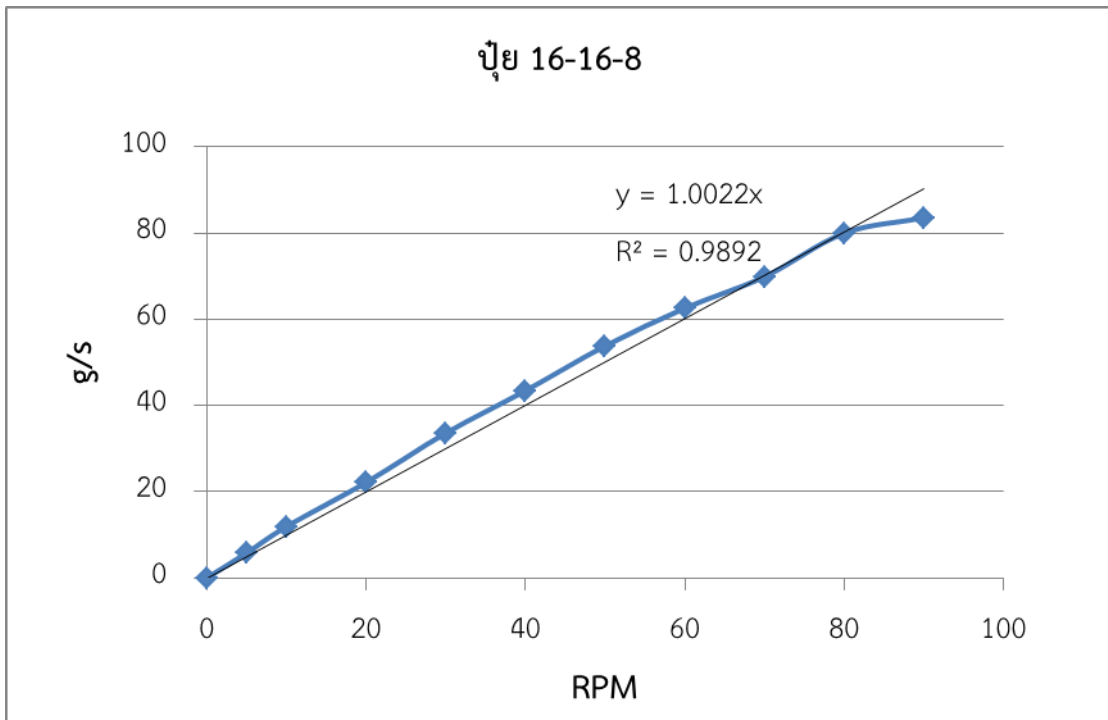
รูปที่ 17 สอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ย



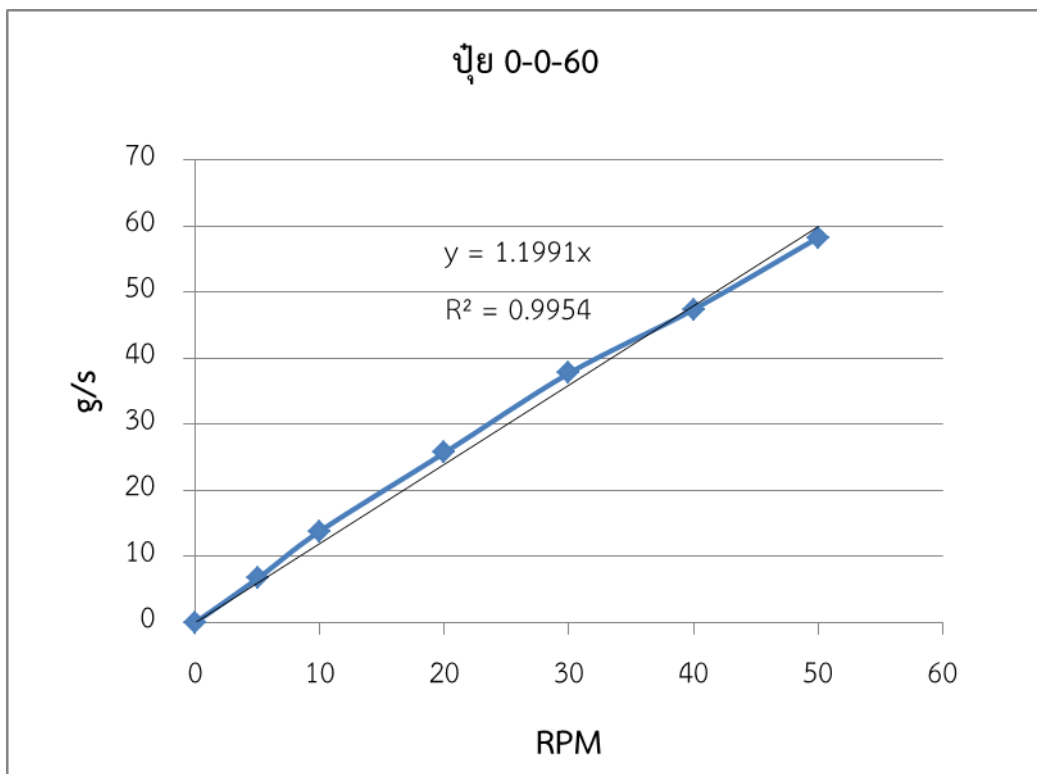
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 21-0-0 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 16-16-8 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย 0-0-60 (g/s) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)

## 8.8 ผลการทดสอบความสามารถการทำงาน ของต้นแบบที่ 2

ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแปลงอ้อยต่อของเกษตรกร อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี สภาพแปลงมีความชื้น 2.18% (มาตรฐานแห้ง) ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง  $1.60 \text{ g/cm}^3$  ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.8 m ค่า pH < 7.3 ใช้รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น B2420 ขนาด 24 แรงม้า เป็นต้นกำลัง เลือกใช้เกียร์ 1 Hi ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ราว 1200 rpm ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย  $0.8 \text{ m/s}$  ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบความสามารถการทำงานเครื่องต้นแบบที่ 2



รูปที่ 22 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ 2

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความสามารถการทำงานเครื่องต้นแบบที่ 2

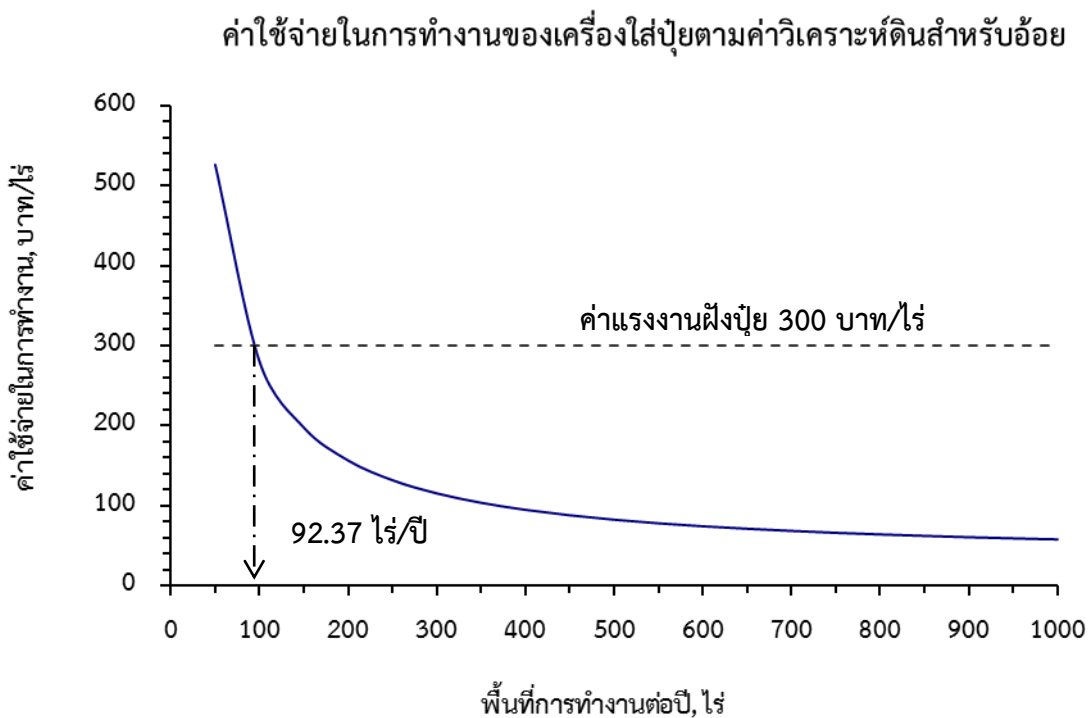
	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Avg.
Area (rai)	1.51	1.30	1.51	-
Field capacity (rai/h)	3.13	2.99	2.93	3.02
Field efficiency (%)	96.55	92.31	90.32	93.06
Fuel consumption (L/rai)	0.46	0.43	0.46	0.45

จากตาราง พบว่าความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.02 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย  $0.8 \text{ m/s}$  ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 ลิตร/ไร่

## 8.9 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

คำนวณหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย และการใช้แรงงานคนฝังปุ๋ย โดยคำนวณในกรณีที่เกษตรกรต้องการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ผสมปุ๋ยใช้เอง หรือผู้รับจ้างซื้อรถแทรกเตอร์ และเครื่องใส่ปุ๋ย มาใช้งานหรือใช้รับจ้าง กำหนดให้ราคาของรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ราคา 322,000 บาท และการใช้งานรถแทรกเตอร์เพื่อใส่ปุ๋ยประมาณ 25% ของการใช้งานทั้งหมด เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยราคา 98,000 บาท (ภาคผนวก ก)

จากการคำนวณสามารถเขียนกราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย กับ การใช้แรงงานคนฝังปุ๋ยได้ดัง รูปที่ 23



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การใช้งานต่อปี กับค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

จากรูปที่ 23 จะเห็นว่าต้นทุนในการใช้งานของเกษตรกรจะลดลงเมื่อพื้นที่การใช้งานมากขึ้น เกษตรกรสามารถพิจารณาได้ว่าควรซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยมาใช้งานหรือไม่ โดยพิจารณาจากต้นทุนในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยติดรถแทรกเตอร์ ซึ่งควรต่ำกว่าราคาค่าจ้างแรงงานฝังปุ๋ยในปัจจุบัน

ค่าจ้างแรงงานฝังปุ๋ยด้วยแรงงานคน 300 บาท/ไร่ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การใช้งานต่อปี กับต้นทุนในการทำงาน จะเห็นว่าที่ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำงาน 300 บาท/ไร่ พื้นที่การใช้งานเท่ากับ 92.37 ไร่/ปี ดังนั้นเกษตรกรที่จะซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย มาใช้งานหรือรับจ้างควรมีพื้นที่การใส่ปุ๋ยอ้อยไม่ต่ำกว่า 92.37 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มต่อการซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมพร้อมเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยมาใช้งาน

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย โดยออกแบบเป็นแบบแถวเดี่ยวสำหรับติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ยหลัก 3 ถัง ความจุถังละ 30-40 กิโลกรัม ชุดลูกหยอดแบบร่องเฉียง ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสเตปป์ิง จำนวน 3 ชุด ใบตัดอ้อยแบบซี่ (Cutting disk toothed edge type) ขนาด 18 นิ้ว จำนวน 2 ใบ ขาไถเปิดร่องดิน (Chisel plows) จำนวน 2 ใบ ท่อนำปุ๋ย และล้อวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดรอบแบบ Proximity switch กล้องส่องกล้องควบคุมมอเตอร์สามารถใส่ปุ๋ยได้ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยจะผสมปุ๋ยและหยอดปุ๋ยตามผลจากการคำนวณ โดยมีปุ๋ยหลัก 3 ถัง คือปุ๋ยสูตร 46-0-0 หรือ 21-0-0, 16-16-8 และ 0-0-60 ค่าจากการวิเคราะห์ดินจะมี อินทรีย์วัตถุ 4 ระดับ ฟอสฟอรัส 3 ระดับ โพแทสเซียม 3 ระดับ pH 2 ระดับ และแยกเป็นอ้อยต่อกับอ้อยปลูก รวมเป็น 144 ทางเลือก และยังเลือกระยะระหว่างแถวได้ 3 ระดับ การทำงานเมื่อรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่จะมีใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดใบอ้อยให้ขาดจากนั้นมีขาไถเปิดร่องดิน ไถเปิดร่องลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ขณะเดียวกันปุ๋ยจากทั้ง 3 ถัง จะไหลมารวมกันที่ขาไถเปิดร่องดิน และถูกฝังลงดิน

จากการทดสอบในแปลงอ้อย พบว่า ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.02 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 0.8 m/s ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 ลิตร/ไร่ จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่า เกษตรกรที่จะซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย มาใช้งานหรือรับจ้างควรมีพื้นที่การปลูกอ้อยไม่ต่ำกว่า 92.37 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มต่อการซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมพร้อมเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยมาใช้งาน



## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ต้นแบบที่แล้วเสร็จได้นำไปเผยแพร่ทางสื่อต่างๆ และเผยแพร่แบบให้กับบริษัทเอกชนที่สนใจ ที่จะนำต้นแบบไปพัฒนาเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยเผยแพร่ร่วมกับเครื่องใส่ปุ๋ยอัจฉริยะ GPS ที่พัฒนาโดยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

- นำออกแสดงนิทรรศการงาน SIMA ASIAN 2017 ระหว่างวันที่ 7-9 กันยายน 2560 ณ อิมแพคเมืองทองธานี
- เผยแพร่ในหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ ฉบับวันที่ 12 กันยายน 2560
- เผยแพร่รายการ ก้าวไกลกับกรมวิชาการเกษตร ตอนที่ 52 ออกอากาศวันอาทิตย์ที่ 24 กันยายน 2560 เวลา 05.00-05.25 น. ทางช่อง 9 โมเดิร์นไนน์ทีวี
- เผยแพร่แบบและองค์ความรู้ให้กับบริษัท บ. ตั้งเซียะปิงโลหะกิจ จำกัด

## 11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณสันติภาพ ศรีสุขจร ผู้จัดการ หจก. ศรีกำแพงแสนมอเตอร์ ที่ได้การจัดหาแปลงทดสอบ ขอขอบคุณ คุณอ้อยใจ ญัฐพลวัฒน์ เกษตรกรผู้ปลูกอ้อย ต.หนองตากยา อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี ที่ได้อนุเคราะห์แปลงทดสอบ

## 12. เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

ชนิษฐ์ หว่านณรงค์ อัครพล เสนาณรงค์ พินิจ จิรัศกุล เวียง อากรซี และอุทัย ธานี. 2558. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม. รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด 2558. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

ชนิษฐ์ หว่านณรงค์ อัครพล เสนาณรงค์ เวียง อากรซี วีระ สุขประเสริฐ และอาทร พรบุญ. 2559. วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอัจฉริยะแบบผสมแม่ปุ๋ยภายในตัวเอง. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17. 8-10 กันยายน 2559 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี จ.นนทบุรี

พรรณพิมล ฉัตรวราคม. 2558. ความต้องการใช้ปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย. ส่วนวิจัยครัวเรือนเกษตรการ  
จัดการฟาร์ม และปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. สืบค้นจาก:  
[http://www.oae.go.th/ewt\\_news.php?nid=684&filename=index](http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=684&filename=index) [พ.ค. 2558].

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

วิชัย โอภาณุกุล พินิจ จิรัคคกุล และวีระ สุขประเสริฐ. 2556. รายงานวิจัยกิจกรรมสำรวจการใช้เครื่องฝังปุ๋ย  
อ้อยในประเทศ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล และวสุ อุดมเพทายกุล. 2558. การพัฒนาระบบการหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อ  
กำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. หน้า 120. ใน: รายงานการประชุมวิชาการสมาคม  
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8.  
17-19 มีนาคม 2558 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2554-2559  
สืบค้นจาก: [http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer\\_value49-54.html](http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html)  
[ม.ค. 2561].

อัคคพล เสนาณรงค์ และ ชนิษฐ์ หว่านณรงค์. 2560. นวัตกรรมเกษตรไทยมุ่งสู่ Thailand 4.0. เอกสาร  
ประกอบการบรรยายในงานสัมมนา. 8 กันยายน 2560 ณ ห้องประชุม Amber 2-3 (Hall 3) ศูนย์แสดง  
สินค้าและการประชุม อิมแพ็ค เมืองทองธานี จ.นนทบุรี

Ehtesham, F. and L. Mohammad. 2012. Design, development and field evaluation of a map-  
based variable rate granular fertilizer application control system. *CIGR Journal*. Vol.14,  
No.4: 255-261.

Wu, C., Chen, X., Han, Y. and Zhang S. (2004). System modeling and control of  
automatically variable rate fertilizer applicator, *Systems, Man and Cybernetics*, 2004  
IEEE International, vol. 1(10-13), October 2004, pp. 513 - 518.

### 13. ภาคผนวก

#### การคำนวณจุดคุ้มทุนของเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย

กำหนดให้ราคาของรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ราคา 322,000 บาท และการใช้งานรถแทรกเตอร์เพื่อใส่ปุ๋ยประมาณ 25% ของการใช้งานทั้งหมด เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย ราคา 98,000 บาท รวมราคาทั้งหมด 420,000 บาท โดยใช้งานรถแทรกเตอร์ 10 ปี และอุปกรณ์ 7 ปี

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของแทรกเตอร์ต้นกำลัง

ราคารถแทรกเตอร์, P	= 322,000	บาท
ราคาซาก, S	= 25 %ของ P	บาท
อายุการใช้งาน, N	= 10	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i	= 5.5	เปอร์เซ็นต์/ปี
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	= 27.59 (9 ม.ค. 2561)	บาท/ลิตร
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	= 0.45	ลิตร/ไร่
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	= 10% ของค่าน้ำมัน	
ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์และคนงานรวม 13 คน	= 300	บาท/วัน/คน
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	= 0.50% ของP/100 ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย

ราคา, P <sub>1</sub>	98,000	บาท
ราคาซาก, S <sub>1</sub>	10%ของ P <sub>1</sub>	บาท
อายุการใช้งาน, N <sub>1</sub>	7	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i <sub>1</sub>	5.5	เปอร์เซ็นต์ต่อปี
ค่าบำรุงรักษา	0.5% ของ P <sub>1</sub> /100ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	3.02	ไร่/ชั่วโมง
พื้นที่ทำงานต่อปี	A	ไร่

การคำนวณต้นทุนต่อปีของรถแทรกเตอร์

ราคารถแทรกเตอร์ 322,000 บาท

ค่าต้นทุนคงที่:

ค่าเสื่อมราคา 25,760 บาท/ปี

ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน 10,626 บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ 36,386 บาท/ปี

ต้นทุนคงที่ในการเป็นต้นกำลังของเครื่องเครื่องใส่ปุ๋ย 9,096.50 บาท/ปี

ตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย

(หนึ่งในสี่ของค่าใช้จ่ายคงที่รวม)

ค่าต้นทุนผันแปร:

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 37.49 บาท/ชั่วโมง

ค่าน้ำมันหล่อลื่น 3.75 บาท/ชั่วโมง

ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์ 1 คน 37.50 บาท/ชั่วโมง

ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์ 16.10 บาท/ชั่วโมง

รวมค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์ 94.84 บาท/ชั่วโมง

การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย

ราคา, P 98,000 บาท

ค่าต้นทุนคงที่:

ค่าเสื่อมราคา 12,600 บาท/ปี

ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน 2,964 บาท/ปี

ค่าต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์ 24,661 บาท/ปี

---

**รวมค่าต้นทุนคงที่ 24,661 บาท/ปี**

---

ค่าต้นทุนผันแปร:

ค่าบำรุงรักษาเครื่องใส่ปุ๋ย	4.90	บาท/ชั่วโมง
ค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	94.84	บาท/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร	99.74	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	3.02	ไร่/ชั่วโมง
<b>รวมค่าต้นทุนผันแปร</b>	<b>33.03</b>	<b>บาท/ไร่</b>

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ย, บาท/ไร่} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= (24,661/A)+33.03 \quad (1) \end{aligned}$$

จุดที่คุ้มทุนของการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ย ในสมการที่ (1) เท่ากับราคารับจ้างฝังปุ๋ยในปัจจุบันเท่ากับ 300 บาท/ไร่ (วิชัย และคณะ, 2556)

$$\text{ต้นทุนในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ย} = \text{ค่ารับจ้างฝังปุ๋ย}$$

$$(24,661/A)+33.03 = 300$$

$$A = 92.37 \text{ ไร่/ปี}$$

ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 ข้อมูลอัตราการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (g/s) ที่ความเร็วรอบหมุนต่างๆของมอเตอร์ rpm)

ความเร็วรอบหมุน มอเตอร์ (rpm)	อัตราการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (g/s)				St.dev.
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	avg (g/s)	
0	0	0	0	0	0
5	5.81	5.84	5.81	5.82	0.02
10	11.32	11.44	11.42	11.39	0.07
20	20.63	20.76	20.67	20.69	0.07
30	29.79	29.99	29.77	29.85	0.12
40	39.03	38.95	39.22	39.07	0.14
50	48.61	48.40	48.82	48.61	0.21
60	58.09	56.77	56.49	57.12	0.85
70	63.68	63.82	63.94	63.82	0.13

ตาราง ข-2 ข้อมูลอัตราการใส่ปุ๋ย 21-0-0 (g/s) ที่ความเร็วรอบหมุนต่างๆของมอเตอร์ rpm)

ความเร็วรอบหมุน มอเตอร์ (rpm)	อัตราการใส่ปุ๋ย 46-0-0 (g/s)					St.dev.
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.4	avg (g/s)	
0	0	0	0	0	0.00	0.00
5	11.58	11.67	11.57	11.33	11.54	0.14
10	19.38	19.37	19.86	19.68	19.57	0.24
20	32.97	32.95	33.10	32.82	32.96	0.12
30	47.24	47.13	46.85	47.07	47.07	0.16
40	58.19	59.12	58.48	58.25	58.51	0.43
50	72.66	72.71	72.76	72.68	72.70	0.05
60	84.67	84.05	82.77	84.10	83.90	0.80
70	96.12	94.71	95.97	95.17	95.49	0.67
80	108.04	110.19	110.16	110.15	109.64	1.07
90	120.23	120.90	121.06	118.79	120.24	1.03
100	123.21	122.52	124.07	125.75	123.89	1.39

ตาราง ข-3 ข้อมูลอัตราการใส่ปุ๋ย 16-16-8 (g/s) ที่ความเร็วรอบหมุนต่างๆของมอเตอร์ rpm)

ความเร็วรอบหมุน มอเตอร์ (rpm)	อัตราการใส่ปุ๋ย 16-16-8 (g/s)				St.dev.
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	avg (g/s)	
0	0	0	0	0	0
5	5.82	5.72	5.81	5.78	0.05
10	11.93	11.92	11.88	11.91	0.03
20	22.46	22.46	21.56	22.16	0.52
30	33.45	33.92	33.44	33.61	0.27
40	44.15	43.30	42.83	43.43	0.67
50	53.50	53.60	54.33	53.81	0.45
60	63.51	62.19	62.00	62.57	0.82
70	70.47	67.50	71.64	69.87	2.14
80	79.25	80.26	80.42	79.98	0.64
90	84.26	83.92	82.43	83.54	0.97

ตาราง ข-2 ข้อมูลอัตราการใส่ปุ๋ย 0-0-60 (g/s) ที่ความเร็วรอบหมุนต่างๆของมอเตอร์ rpm)

ความเร็วรอบหมุน มอเตอร์ (rpm)	อัตราการใส่ปุ๋ย 0-0-60 (g/s)				St.dev.
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	avg (g/s)	
0	0	0	0	0	0
5	6.50	6.81	6.66	6.66	0.15
10	14.04	13.81	13.61	13.82	0.22
20	25.55	25.88	25.65	25.69	0.17
30	37.50	38.24	37.43	37.72	0.45
40	47.52	47.09	47.53	47.38	0.25
50	57.83	58.40	58.53	58.25	0.37