



วิจัยและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยสำหรับอ้อย

Research and Development of a NPK Fertilizer Applicator for Sugarcane with Site-Specific Fertilizer Recommendations

ชนิษฐ์ หว่านณรงค์^{1*}, อัครพล เสนานรงค์¹, เวียง อากรชี¹, วีระ สุขประเสริฐ¹, อุทัย ธานี¹

Khanit Wannaronk¹, Akkapol Senanarong¹, Weang Arekornchee¹, Weera Sukprasert¹, Uthai Thaneet¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ, 10900

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

*Corresponding author: Tel: +66-2-579-2757, Fax: +66-2-579-2757, E-mail: lovelynid@hotmail.com

บทคัดย่อ

กรมวิชาการเกษตร ได้ออกคำแนะนำการใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันมากถึง 144 สูตร และมีอัตราใส่ตั้งแต่ 3-142 kg rai⁻¹ ซึ่งเผยแพร่ให้เกษตรกรปฏิบัติตามได้ยาก เนื่องจากมีความยุ่งยากในการชั่งและผสมปุ๋ย ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยติดรถแทรกเตอร์ขนาด 24 hp โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกสวิตช์ตามผลวิเคราะห์ดิน เครื่องใส่ปุ๋ยสามารถคำนวณสูตรปุ๋ยและอัตราที่ต้องใช้ให้เองโดยอัตโนมัติ เนื่องจากมีชุดสมองกลควบคุมลูกหยอดที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสแตปป์ ซึ่งทำงานสัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่วัดได้จากล้อที่ติดเซนเซอร์วัดความเร็วการเคลื่อนที่ และสัมพันธ์กับสมการความเร็วมอเตอร์กับอัตราการใส่ปุ๋ยที่สอบเทียบไว้ จากการทดสอบในแปลงอ้อย พบว่า ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.02 rai h⁻¹ ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 0.8 m s⁻¹ ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 L rai⁻¹ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องใส่ปุ๋ย, ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน, อ้อย, รถแทรกเตอร์

Abstract

The Department of Agriculture (DOA) has issued the site-specific fertilizer recommendations for sugarcane with 144 formulas and applied the fertilizer rate between 3-142 kg rai⁻¹ depending on soil fertility. Farmers can not follow this instruction due to the difficulty of weighting and mixing the fertilizers. Thus, the Agricultural Engineering Research Institute (AERI) developed a NPK fertilizer applicator for sugarcane with site-specific fertilizer recommendations attached with a 4-wheel tractor (24 hp). User can select switches based on soil analysis. The fertilizer applicator can 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 measuring ground speed. Initially, the applicator was calibrated in laboratory to derive a relationship between 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⁻¹ at average travelling speed of tractor 0.80 m s⁻¹, average field efficiency was 93.06% and average fuel consumption was 0.45 L rai⁻¹ respectively.

Keywords: Fertilizer applicator, Site-specific fertilizer recommendations, Sugarcane, Tractor

1 บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วงปี 2552-2557 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีปีละประมาณ 3.83-5.42 ล้านตัน มูลค่า 42,666-66,103 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เกษตรกรส่วนใหญ่จะ

พิจารณาใช้ปุ๋ยตามปัจจัยด้านราคาปุ๋ยเคมี ราคาผลผลิต พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณผลผลิต (พรรณพิมล, 2558) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ดั้งเดิมในดิน จึงทำให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยในอัตราและสูตรเหมือนกันทั่วทั้งแปลง ซึ่งอาจไม่ตรงต่อความต้องการของพืช

กรมวิชาการเกษตร มีองค์ความรู้เรื่องการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมานาน โดยได้ออกคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว พืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ปาล์มน้ำมัน ยางพารา โดยคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยมี อ้อยปลูก และอ้อยต่อ ใส่ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 มี OM 3 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ จากคำแนะนำดังกล่าวทำให้มีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 108 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 7-87 kg ra⁻¹ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) และในปี 2560 ได้ปรับปรุงคำแนะนำใหม่โดยสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ร่วมกับ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยคำแนะนำการใช้ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ประกอบด้วย อ้อยปลูก และอ้อยต่อ pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ แต่จากคำแนะนำดังกล่าวทำให้มีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันมากถึง 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3-142 kg ra⁻¹ ซึ่งจะเผยแพร่ให้เกษตรกรปฏิบัติตามได้ยาก เนื่องจากมีความยุ่งยากในการชั่งและผสมปุ๋ย อีกทั้งเครื่องหยอดปุ๋ยที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน จะใส่ปุ๋ยได้ปริมาณเดียวหรือเปลี่ยนอัตราหยอดได้เล็กน้อยโดยการซื้อเฟืองโซ่มาเปลี่ยน

ชินชรั และคณะ (2558) ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมสำหรับอ้อย ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราหยอดได้กว้าง โดยใช้ชุดเฟืองโซ่จักรยานที่สามารถเปลี่ยนอัตราหยอดได้ใกล้เคียงกับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน แต่การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยนี้ ต้องผสมปุ๋ยข้างนอกและต้องผสมให้เข้ากัน โดยต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ และไม่ผสมและทิ้งไว้นานจนเกิดความชื้นทำให้ปุ๋ยจับตัวเป็นก้อน (caking) ซึ่งทำให้ต้องต้องเสียเวลาและค่าแรงงานในการผสมปุ๋ยเพิ่ม อีกทั้งการนำปุ๋ยที่ผสมแล้วใส่เครื่องหยอดปุ๋ยอาจเกิดการแยกชั้นของปุ๋ยได้ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนของรถแทรกเตอร์ขณะทำงาน ต่อมาจึงพัฒนา เป็นเครื่องใส่ปุ๋ยแบบแยกปุ๋ยหลักทั้ง 3 ชนิด ใส่ในแต่ละถังแยกกัน เพื่อลดปัญหาปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนและการแยกชั้นของปุ๋ย (ชินชรั และคณะ, 2559) แต่ระบบกลไกการหยอดยังเป็นแบบใช้เฟืองโซ่จักรยาน ซึ่งทำได้แค่ใส่ปุ๋ยให้ใกล้เคียงกับอัตราหยอดตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องจากมีอัตราทดคงที่ เมื่อไปใช้ในแปลงขนาดใหญ่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในปริมาณการใส่ปุ๋ยมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองปุ๋ยเกินความจำเป็น

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินติดพวงรถแทรกเตอร์แบบแยกถังปุ๋ย โดยแยกปุ๋ยหลักทั้ง 3 ชนิด ใส่ในแต่ละถังแยกกัน เพื่อลดปัญหาปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนและการแยกชั้นของปุ๋ยช่วยลดต้นทุนในการผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินข้างนอก และพัฒนาระบบการกำหนดความแม่นยำของอัตราหยอดด้วยชุดสมองกลแบบฝังตัว ซึ่งเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย จะมีส่วนสนับสนุนให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมากขึ้น ลดขั้นตอนและต้นทุนการผสมปุ๋ย จ่ายปุ๋ยได้แม่นยำทำให้เกิดการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการสูญเสียทรัพยากรได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย

ออกแบบเครื่องใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ยเป็นแบบแถวเดียว สำหรับติดพวงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 24 hp มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ถังใส่ปุ๋ยหลัก 3 ชนิด สำหรับใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0, ปุ๋ยสูตร 16-16-8 และปุ๋ยสูตร 0-0-60 ความจุถังละ 30-40 kg ใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45.7 cm จำนวน 2 ใบ (Figure 1) ขาไถเปิดร่องดินจำนวน 2 ขา ชุดขับเพลาลูกหยอดใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสเต็ปป์ (86BYGH114, China) 12 โวลต์ ขนาด 8.5 N-m ขับในแต่ละถังปุ๋ย (Figure 2) ชุดลูกหยอดแบบร่องเฉียง เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างลูกหยอดและผนังของถังใส่ปุ๋ย อีกทั้งเพื่อให้ปุ๋ยลงได้สม่ำเสมอมากกว่าการใช้ลูกหยอดแบบเกลียวลำเลียง แต่ละถังมีลูกหยอด 2 อัน ทำจากซูเปอร์สแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm (Figure 3) ลูกหยอดสามารถจ่ายปุ๋ยได้ประมาณ 20-40 g rev⁻¹ เพื่อให้สามารถใช้รอบหมุนของมอเตอร์ไม่เกิน 100 rpm สอดคล้องกับงานของ Wu et al. (2004) ที่แนะนำให้ใช้ความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดควรรอบอยู่ในช่วง 33-91 rpm ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของอัตราการให้ปุ๋ยน้อยกว่า 7% และล้อวัดความเร็วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดรอบแบบ Proximity switch

การทำงานเมื่อรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่จะมีใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดใบอ้อยให้ขาด จากนั้นมีขาไถเปิดร่องดิน (Chisel plows) ไถเปิดร่องลึกประมาณ 15-20 cm ขณะเดียวกันปุ๋ยจากทั้ง 3 ถัง จะไหลมารวมกันที่ขาไถเปิดร่องดิน และถูกฝังลงดิน เครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแถวเดียวติดพวงรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กดังแสดงใน Figure 4

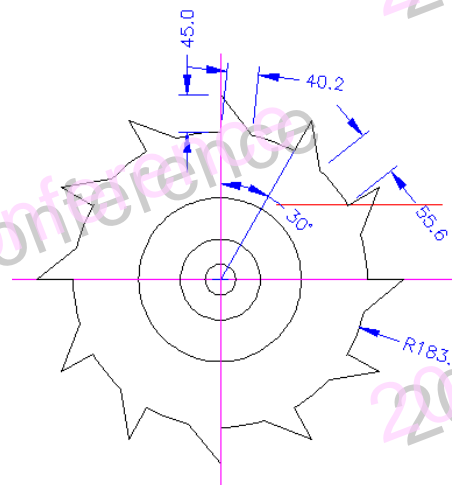


Figure 1 A straw cutting disk (toothed edge)

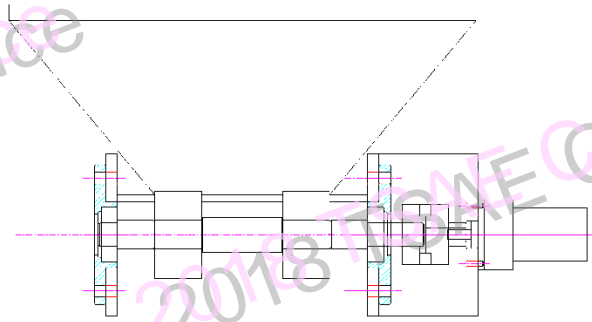


Figure 2 Metering mechanisms

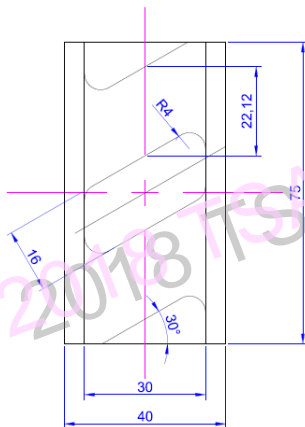


Figure 3 Fertilizer drill



Figure 4 Fertilizer applicator

2.2 ระบบควบคุมและประมวลผล (Electronic control system)

ใช้โปรแกรม Matlab Simulink 2016 เพื่อเขียนคำสั่งสมองกลควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้สามารถกำหนดปริมาณปุ๋ยที่ใส่ตามคำแนะนำจากกรมวิชาการเกษตร โดยสามารถเลือก อ้อยปลูก และอ้อยต่อ pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ ใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 144 สูตร และมีอัตราใส่กว้างตั้งแต่ 3-142 kg rai⁻¹ ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) จำนวน 1 ตัว เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ใช้สำหรับรับค่าสัญญาณพัลส์จาก proximity switch เพื่อคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ทุกวินาที และใช้รับ

ค่าที่ป้อนได้แก่ อ้อยปลูก และอ้อย pH 2 ระดับ N 4 ระดับ P 3 ระดับ และ K 3 ระดับ เพื่อคำนวณอัตราการการจ่ายปุ๋ยต่อวินาที (g s⁻¹) ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ในขณะนั้นๆ แล้วจึงคำนวณความเร็วรอบที่ต้องการสำหรับสเต็ปมอเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบ ส่งข้อมูลจำนวนรอบที่ต้องใช้ในขณะนั้นให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รอง (ET-Base Mega 1280) จำนวน 3 ตัว (Figure 5) หลังจากรับค่าความเร็วรอบของสเต็ปมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์รองจะสร้างสัญญาณความถี่ (Hz) ที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ แล้วจึงส่งต่อไปกับบอร์ดวงจรขับมอเตอร์ (HY-DIV268N-5A Stepper driver) เพื่อขับสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนให้ได้อัตราหยุดตามที่ตั้งไว้ และสอดคล้องกับความเร็วการเคลื่อนที่ Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณความถี่ (Hz) กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm)

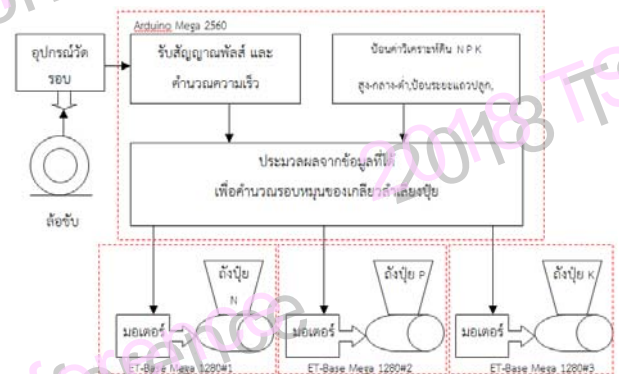


Figure 5 Process diagram of the applicator control

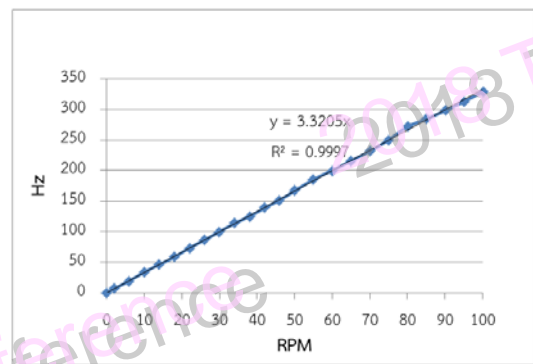


Figure 6 Relation of stepper motor rotational speed with input frequency

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบอัตราการใส่ปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

ได้ทำการทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ยที่ความเร็วรอบต่างๆ (Figure 7) โดยทดสอบให้ครอบคลุมอัตราการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยที่ใช้ทดสอบมีความหนาแน่น (bulk density) ดังนี้

ปุ๋ย 46-0-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.7886 g/cm³

ปุ๋ย 21-0-0 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 1.1229 g/cm³

ปุ๋ย 16-16-8 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.9454 g/cm³

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

ปุ๋ย 0-0-60 ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 1.0832 g/cm³

จากการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการใส่ปุ๋ย (g s⁻¹) ของปุ๋ยแต่ละชนิด กับรอบหมุนของมอเตอร์ (rpm) ได้ดัง Figure 8 ถึง 11



Figure 7 Calibration of the applicator

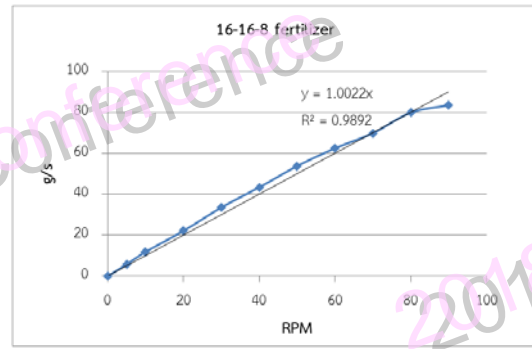


Figure 10 Calibration curve relating stepper motor rotational speed with discharge rate of 16-16-8 fertilizer

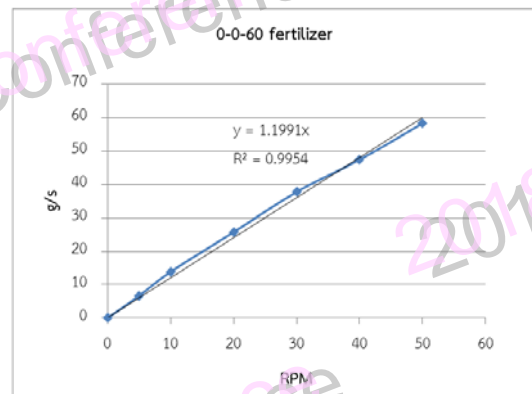


Figure 11 Calibration curve relating stepper motor rotational speed with discharge rate of 0-0-60 fertilizer

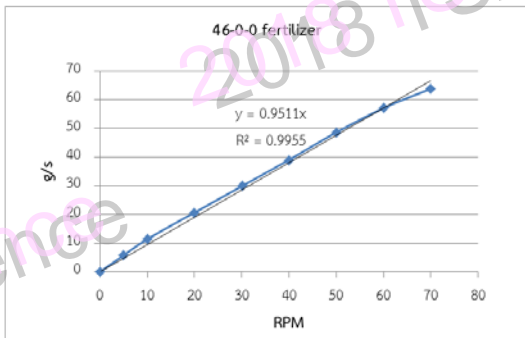


Figure 8 Calibration curve relating stepper motor rotational speed with discharge rate of 46-0-0 fertilizer

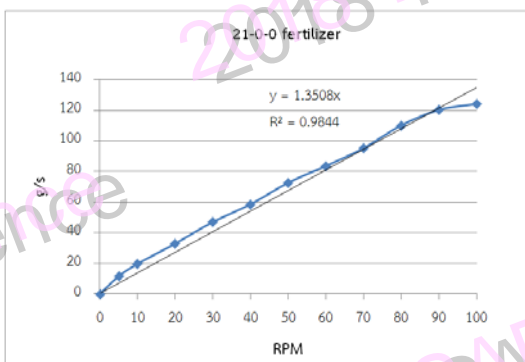


Figure 9 Calibration curve relating stepper motor rotational speed with discharge rate of 21-0-0 fertilizer

Table 1 Results of field capacity testing.

	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Average
Area (rai)	1.51	1.30	1.51	1.44
Field capacity (rai h ⁻¹)	3.13	2.99	2.93	3.02
Field efficiency (%)	96.55	92.31	90.32	93.06
Fuel consumption (L rai ⁻¹)	0.46	0.43	0.46	0.45

จากการทดสอบ พบว่าความสามารถการทำงานเฉลี่ยที่ 3.02 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 0.8 m/s ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 ลิตร/ไร่ Figure 12 แสดงการทำงานของเครื่องใส่ปุ๋ยต้นแบบ



Figure 12 Operation of the prototype

4 สรุป

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบแยกถังปุ๋ย โดยออกแบบเป็นแบบแถวเดี่ยวสำหรับติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 24 hp มีส่วนประกอบหลักคือถังใส่ปุ๋ยหลัก 3 ถัง ความจุถังละ 30-40 kg ชุดลูกหยอดแบบร่องเฉียง ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสแตบปิ้ง จำนวน 3 ชุด ใบตัดอ้อยแบบซี่ (Cutting disk toothed edge type) ขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45.7 cm จำนวน 2 ใบ ขาไถเปิดร่องดิน (Chisel plows) จำนวน 2 ขา 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 ค่าจากการวิเคราะห์ดินจะมีอินทรีย์วัตถุ 4 ระดับ ฟอสฟอรัส 3 ระดับ โปแตสเซียม 3 ระดับ pH 2 ระดับ และแยกเป็นอ้อยต่อกับอ้อยปลูก รวมเป็น 144 ทางเลือก และยังเลือกระยะระหว่างแถวได้ 3 ระดับ การทำงานเมื่อรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่จะมีใบตัดอ้อยแบบซี่ตัดใบอ้อยให้ขาดจากนั้นมิชาไถเปิดร่องดิน ไถเปิดร่องลึกประมาณ 15-20 cm ขณะเดียวกันปุ๋ยจากทั้ง 3 ถัง จะไหลมารวมกันที่ขาไถเปิดร่องดิน และถูกฝังลงดิน จากการทดสอบในแปลงอ้อย พบว่าความสามารถการทำงานเฉลี่ย 3.02 ไร่ h^{-1} ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 0.8 $m s^{-1}$ ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 93.06% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.45 $L rai^{-1}$

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสันติภาพ ศรีสุขจร ผู้จัดการ หจก. ศรีกำแพงแสมมอเตอร์ ที่ได้ทำการจัดหาแปลงทดสอบ

ขอขอบคุณ คุณอ้อยใจ ณัฐพลวัฒน์ เกษตรกรผู้ปลูกอ้อย ต.หนองตากยา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ที่ได้อนุเคราะห์แปลงทดสอบ

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 122 หน้า
- ขนิษฐา หวานณรงค์ อัครพล เสนานรงค์ พินิจ จิรัศกุล เวียง อากรชี และอุทัย ธาณี. 2558. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม. รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด 2558. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- ขนิษฐา หวานณรงค์ อัครพล เสนานรงค์ เวียง อากรชี วีระ สุขประเสริฐ และอาทร พรบุญ. 2559. วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบผสมแม่ปุ๋ยภายในตัวเอง. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17. 8-10 กันยายน 2559 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุม อิมแพ็ค เมืองทองธานี จ.นนทบุรี
- พรรณพิมล ฉัตราคม. 2558. ความต้องการใช้ปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย. ส่วนวิจัยครัวเรือนเกษตรการจัดการฟาร์มและปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=634&filename=index. เข้าถึงเมื่อ พฤษภาคม 2558.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2554-2559 แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html. เข้าถึงเมื่อ มกราคม 2561.
- 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