



2019  
Tsae  
THAILAND

## การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at [www.tsae.asia](http://www.tsae.asia)

### การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมสำหรับเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำ

#### Development and Testing of a Precision Controller for Sugarcane Fertilizing Machines

สุชาวดี สีกัน และ วสุ อุดมเพทายกุล\*

Suchawadee Seekun and Vasu Udompetaikul\*

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8337-8

\* Corresponding author: Tel: +66-8-3086-5922, E-mail: [vasu.ud@kmitl.ac.th](mailto:vasu.ud@kmitl.ac.th)

#### บทคัดย่อ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในการปลูกอ้อย เกษตรกรนิยมใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยใช้เครื่องหยอดปุ๋ยติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ โดยก็ตามเครื่องหยอดปุ๋ยที่นิยมใช้ในปัจจุบันไม่สามารถให้ปุ๋ยได้สม่ำเสมอหากเกิดการลื่นไถลของล้อจิกดิน รวมถึงมีปัญหาในการปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดให้เหมาะสมกับพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมเครื่องหยอดปุ๋ย โดยสามารถปรับอัตราการหยอดและระยะระหว่างแถวผ่านกล่องควบคุม ระบบทราบความเร็วในการเคลื่อนที่จากโมดูล GPS จากนั้นจึงคำนวณพร้อมทั้งส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อนเพื่อขับเคลื่อนเพื่อหดรอบและเกลียวหยอดปุ๋ยเพื่อหยอดปุ๋ยตามอัตราที่กำหนด จากการทดสอบหยอดปุ๋ยที่ระดับความเร็วที่แตกต่างกัน พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่ส่งผลต่ออัตราการหยอดที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ของอัตราการหยอด  $\pm 1.3 \text{ kg rai}^{-1}$  ในสถานีทดสอบ และ  $\pm 2.1 \text{ kg rai}^{-1}$  ในแปลงปลูกอ้อย อีกทั้งยังมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ยที่กำหนดและที่ได้จริง เท่ากับ 0.994 ในสถานีทดสอบ และ 0.986 ในแปลงปลูกอ้อย

คำสำคัญ: เครื่องหยอดปุ๋ยอ้อย, เกษตรแม่นยำ, ระบบควบคุมอัตราการหยอด

#### Abstract

Soil fertility plays an important role in the quantity and quality of industrial sugarcane production. Typically, sugarcane growers apply chemical fertilizer to enrich their soil nutrients by using tractor mounted fertilizing machines. However, the conventional fertilizing machine might apply inconsistent fertilization rate due to a slippage of its ground wheel on heterogenous soil condition. Also, changing the fertilization rate to the site-specific recommendation is time-consuming and requires highly technical skill. The objective of this research was to develop and test a precision fertilizing control system for sugarcane. The user could enter the fertilization rate and row width to the control panel. Traveling speed was determined using a GPS module. The control panel then calculated and sent the control signal to the motor driver to drive the transmission and feed screw to apply the accurate fertilization rate. The system was tested at various fertilization rates traveling speeds. The results confirm that travelling speed does not affect the given fertilization rate. Root mean squared errors (RMSE) of the fertilization rate were  $\pm 1.3 \text{ kg rai}^{-1}$  and  $\pm 2.1 \text{ kg rai}^{-1}$  in stationary and field tests. Coefficients of determination ( $R^2$ ) of the relationship between the requested and actual fertilization rates were 0.987 and 0.986 in stationary and field tests. Keywords: sugarcane fertilizing machine, precision agricultural, fertilization rate controller

## 1 บทนำ

อ้อย เป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่เขตร้อนหรือเขตกึ่งร้อนที่มีปริมาณน้ำฝนและแสงแดดเพียงพอ มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 10-12 เดือนหลักจากการเก็บเกี่ยวอ้อยครั้งแรกสามารถดูแลรักษาอ้อยหรือที่เรียกว่า การไว้ต่ออ้อยเพื่อที่จะสามารถเก็บเกี่ยวในครั้งต่อไปได้ถึง 2-3 ต่อโดยไม่ต้องปลูกใหม่ (Verasin, 1999) ดังนั้นการดูแลและบำรุงรักษา ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกอ้อยเพื่อให้มีปริมาณผลผลิตต่อไร่สูง และได้คุณภาพของผลผลิตที่ดี (Sungsing, 2018) ในส่วนของการบำรุงอ้อยโดยการให้ปุ๋ยจะทำ 2 ครั้งต่อปีเพาะปลูกได้แก่ การให้ปุ๋ยพร้อมกับการปลูกหรือหลังจากการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 เดือน ส่วนครั้งที่สองให้ปุ๋ยในช่วงระยะการเจริญเติบโต 3-4 เดือนเพื่อบำรุงต้นอ้อย (Verasin, 1999) ทั้งนี้เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากหาซื้อได้ตามท้องตลาด และง่ายต่อการจัดการ

ในอดีตการให้ปุ๋ยจะใช้แรงงานคนในการหว่านปุ๋ยไปยังต้นอ้อย แต่เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงาน จึงมีการพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยเพื่อทดแทนแรงงานคน (Kedma, 2016) ปัจจุบันเกษตรกรให้ความสนใจและใช้เครื่องหยอดปุ๋ยอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงานได้ เครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับพืชไร่โดยทั่วไปนิยมใช้เกลียวหยอดเป็นกลไกในการนำปุ๋ยจากถังบรรจุไปยังท่อลำเลียงและปล่อยลงสู่พื้นดิน เกลียวหยอดถูกขับโดยล้อจิกดิน (Ground Wheel) และชุดโซ่และเฟืองในการทอรอบให้ได้อัตราการหยอดที่ต้องการ อย่างไรก็ตามความสม่ำเสมอของอัตราการหยอดที่ได้ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ระหว่างดินและล้อจิกดิน (Pattarakittipong, 2017) ส่งผลให้บางพื้นที่ภายในแปลงอ้อยอาจได้รับปุ๋ยน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตหรือมากเกินไปเกินความต้องการของต้นอ้อย นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในการปรับตั้งให้ได้อัตราการหยอดตามที่ต้องการ

ในปี 2017 ห้องปฏิบัติการ Precision Agriculture ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (Pattarakittipong, 2017) ได้พัฒนาระบบควบคุมเกลียวหยอดสำหรับเครื่องหยอดปุ๋ยแบบแม่นยำ ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการและทดสอบในแปลงทดสอบ พบว่าระบบสามารถตอบสนองได้ดีและมีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามระบบควบคุมต้นแบบนี้ยังไม่มีทดสอบในแปลงเพาะปลูก และยังขาดการพัฒนาเครื่องควบคุมที่เหมาะสมและง่ายต่อการใช้งานของเกษตรกรโดยทั่วไป

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมสำหรับเครื่องหยอดปุ๋ยแบบแม่นยำ โดยการพัฒนาเครื่องควบคุม ปรับปรุงชุดส่งกำลังทั้งกล่องควบคุมมอเตอร์และชุดเฟืองทอรอบ และทดสอบความแม่นยำของระบบในแปลงปลูกอ้อย ระบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถช่วยลดความยุ่งยากในการปรับตั้งอัตราการหยอดปุ๋ยและช่วยลดการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ตลอดจนช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูกอ้อยได้

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

แนวคิด และ หลักการทำงาน ของระบบควบคุม (Pattarakittipong, 2017) เป็นการควบคุมอัตราการหยอดเชิงเวลา ( $q_t, g s^{-1}$ ) ดังสมการ  $q_t = f_1(Q_A, w, v)$  โดยที่ อัตราการหยอดเชิงเวลา ( $q_t, g s^{-1}$ ) ,อัตราปุ๋ยต่อพื้นที่ที่ต้องการ ( $Q_A, kg ra^{-1}$ ) ,ระยะระหว่างแถว ( $w, m$ ) และความเร็วในการเคลื่อนที่ ( $v, m s^{-1}$ )

ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดอัตราปุ๋ยต่อพื้นที่ที่ต้องการ ( $Q_A$ ) และระยะระหว่างแถว ( $w$ ) ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ ( $v$ ) สามารถวัดจาก GPS โดยเมื่อทราบอัตราการหยอดเชิงเวลาที่ต้องใช้ ก็ทำการควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมผ่านการควบคุมโดยใช้สัญญาณ PWM (Pulse-Width Modulation) ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการหยอดเชิงเวลา ( $q_t$ ) ผ่านการ calibration โดย  $PWM = f_2(q_t)$  ผลของการควบคุมทำให้กำหนดอัตราการให้ปุ๋ยต่อพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ แม้ความเร็วในการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนแปลงไป ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบและตัวแปรต่างๆแสดงดัง Figure 1

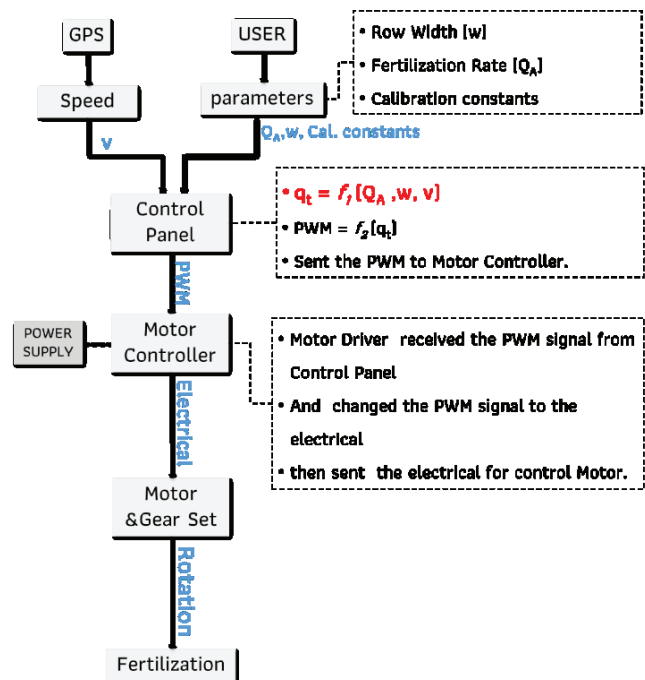


Figure 1 Flowchart of the control system

จึงได้พัฒนาและเพิ่มเติมจากระบบทั้งหมด 3 ส่วน (Figure 2) ได้แก่

1) กล้องควบคุมระบบ (Control Panel) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 รับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่จากโมดูล GPS (Ublox M8N, Switzerland) มีหน้าจอ LCD ขนาด 16x2 ตัวอักษร ปุ่มปรับตั้งค่า สวิตช์ปิด-เปิดการทำงาน และ LED แสดงสถานะการทำงาน สามารถส่งสัญญาณ PWM ไปยังกล้องควบคุมมอเตอร์

โปรแกรมควบคุมมีหลักการทำงานดังแผนภาพใน Figure 1 ส่วนที่สำคัญคือเมนูการทำงานเพื่อเลือกคำสั่งและรับการป้อนค่าจากผู้ใช้ ที่ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของเกษตรกร เมนูคำสั่งที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย โหมดจำลองค่าสัญญาณ PWM (PWM Simulation) สำหรับปรับค่าสัญญาณ PWM (%PWM) เพื่อจำลองค่าสัญญาณในการปรับเทียบระบบ (Calibration) โหมดจำลองความเร็ว (Velocity Simulation) เป็นโหมดสำหรับจำลองค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ ( $\text{km h}^{-1}$ ) เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบในห้องปฏิบัติการ โหมดตั้งค่าระบบ (Setup) เป็นโหมดสำหรับตั้งค่าตัวแปรและการทำงานของระบบ ได้แก่ อัตราการหยดปุ๋ยที่ต้องการ ระยะระหว่างแถวอ้อย และค่าปรับเทียบ (Calibration) และโหมดระบายปุ๋ยออกจากถัง (Drain) สำหรับปล่อยปุ๋ยออกจากถังของเครื่องหยดปุ๋ยหลังการใช้งาน

2) กล้องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller) เป็นวงจร Bi-directional ขนาด 6-30 V 13 A ใช้ต้นกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของรถแทรกเตอร์ ทำหน้าที่รับค่าสัญญาณ PWM จากกล้องควบคุมระบบ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนเฟืองทดรอบและเกียร์หยดปุ๋ย

3) ชุดเฟืองทดรอบและโซ่ (Gear sets) ทำหน้าที่ส่งกำลังการหมุนจากมอเตอร์ (400 rpm) ไปขับเคลื่อนเกียร์หยดปุ๋ย โดยมีอัตราทดภายในระบบเท่ากับ 7.69 : 1 โดยส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนที่กล่าวมาแสดงใน Figure 2



Figure 2 Installation the control system on fertilizing machine and tractor.

### 2.1 การติดตั้งและการทดสอบ

อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นถูกติดตั้งบนเครื่องหยดปุ๋ย ขนาด 1 แแถว (SRT4, นครสวรรค์สตีล) ที่ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ ขนาด 210 แรงม้า (T7030, New Holland, USA) พร้อมระบบนำร่องอัตโนมัติด้วย RTK GPS (Autopilot, Trimble Agriculture, USA) โดยถอดล้อขับและชุดเฟืองโซ่ของล้อขับออก แล้วติดตั้งมอเตอร์และชุดเกียร์ส่งกำลัง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องแทน แสดงดัง Figure 2 หลังการติดตั้ง ทำการสอบเทียบเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยดเชิงเวลาของปุ๋ยที่ใช้ และค่าสัญญาณควบคุมแบบ PWM ของระบบ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะให้ผู้ใช้งานทำการวัดอัตราการหยดปุ๋ยเชิงเวลา ( $\text{g s}^{-1}$ ) ที่ระดับค่าสัญญาณ PWM 25% และ 75% ตามลำดับ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างและชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ถูกปล่อยออกมาตามท่อลำเลียง

สำหรับการทดสอบระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1) การทดสอบระบบด้วยการจำลองความเร็ว และ 2) การทดสอบระบบภายในแปลงเพาะปลูกอ้อยของบริษัท ธาอีส จำกัด ณ ตำบลปอทอง อำเภอบางระกำ จังหวัด พิษณุโลก โดยใช้ปุ๋ยสูตร 21-7-18 ซึ่งทั้ง 2 การทดลอง ใช้แผนการทดสอบแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ที่ความเร็ว 3 ระดับ (3 5 และ 7  $\text{km h}^{-1}$ ) และอัตราการหยดที่ต้องการ 3 ระดับ (30 50 และ 70  $\text{kg rai}^{-1}$ ) โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 2.1.1 การทดสอบระบบด้วยการจำลองความเร็ว

เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสถานการณ์การทำงานจริงในแปลงอ้อย โดยใช้ระยะระหว่างแถว และอัตราปุ๋ยต่อพื้นที่เหมือนการทำงานจริง แต่จำลองความเร็วในการเคลื่อนที่ด้วยการกำหนดค่าบนกล้องควบคุม เมื่อระบบทำงานปุ๋ยจะถูกปล่อยตามท่อลำเลียง จึงทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยเป็นเวลา 10 s ต่อหนึ่งตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักปุ๋ยตามลำดับ บันทึกผลและวิเคราะห์ผลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยดที่

ต้องการและอัตราการหยอดที่เครื่องทำได้ แสดงภาพการทดสอบระบบด้วยการจำลองความเร็วใน Figure 3 และ Figure 4



Figure 3 Stationary test



Figure 4 Stationary test

### 2.1.2 การทดสอบภายในแปลงเพาะปลูกอ้อย

ได้มีการเตรียมแปลงทดสอบเป็นแปลงเพาะปลูกอ้อย (พันธุ์ขอนแก่น 3) ที่มีอายุประมาณ 3 เดือน จำนวน 9 แถว โดยเก็บตัวอย่างปุ๋ยแถวละ 3 จุดแต่ละจุดมีระยะทาง 12 m และทำการเว้นระยะทางระหว่างจุดประมาณ 25 m (Figure 5) ในส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่ ระบบจะรับค่าความเร็วจากเครื่องรับสัญญาณ GPS ซึ่งคนขับแทรกเตอร์จะควบคุมความเร็วให้ได้ตามแผนการทดสอบ จากนั้นทำการเปิดใช้งานระบบ เมื่อรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ระบบจะควบคุมเกสียวหยอดปุ๋ยให้หมุนและปล่อยปุ๋ยออกมา จึงทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยตามจุดที่กำหนดไว้และชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย บันทึกผล และวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความแม่นยำของระบบควบคุมสำหรับเครื่องหยอดปุ๋ยแบบแม่นยำ ใน Figure 6 แสดงการเตรียมแปลงทดสอบและการทดสอบภายในแปลงเพาะปลูกอ้อย

S <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>1</sub>
S <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> R <sub>3</sub>
S <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> R <sub>1</sub>
1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>

Figure 5 Plan of field test



Figure 6 Field Test

## 3 ผลและวิจารณ์

### 3.1 ผลการทดสอบการทดสอบระบบด้วยการจำลองความเร็วในสถานีทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบโดยกำหนดอัตราการหยอด 3 อัตรา และจำลองความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ระดับ ทำการเก็บข้อมูลอัตราการหยอดเชิงเวลา ( $q_t$ ) แล้วนำไปคำนวณอัตราการให้ปุ๋ยเชิงพื้นที่ ( $Q_A$ ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความเร็วในการเคลื่อนที่ ( $v$ ) ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการให้ปุ๋ยเชิงพื้นที่ ( $Q_A$ ) โดยอัตราการให้ปุ๋ยเชิงพื้นที่ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากอัตราที่ต้องการ  $\pm 1.3 \text{ kg rai}^{-1}$  และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $1 \text{ kg rai}^{-1}$  แสดงใน Figure 7 เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่ต้องการกับที่ได้จริงด้วย Simple Regression Analysis พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองตัวแปรใกล้เคียง 1 (0.9976) และ จุดตัดแกน y ใกล้เคียง 0 (-0.1728) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9944 แสดงดัง Figure 8 ซึ่งเป็นค่าแสดงให้เห็นว่าในสถานีทดสอบ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถมีความแม่นยำในการหยอดปุ๋ยตามอัตราที่กำหนดถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จำลองขึ้นจะแตกต่างกัน

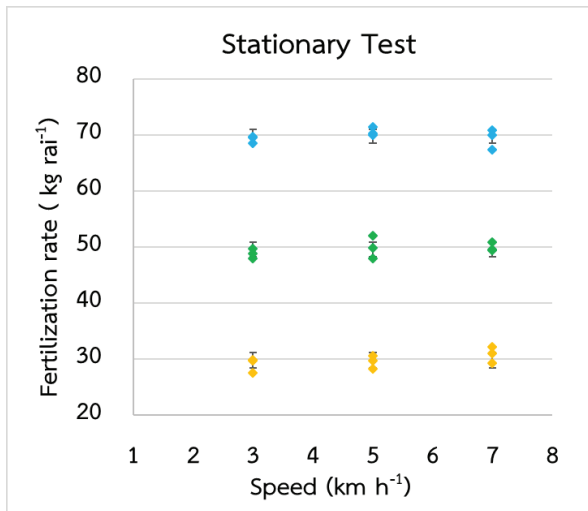


Figure 7 Actual fertilization rate at different requested rates and simulated travelling speeds in the stationary test

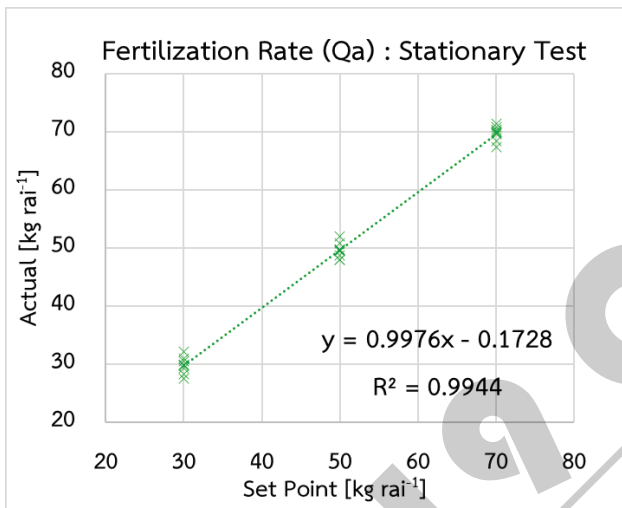


Figure 8 Relationship between actual and requested fertilization rates at different simulated travelling speeds in the stationary test

### 3.2 ผลการทดสอบทดสอบภายในแปลงเพาะปลูกอ้อย

เมื่อทำการทดสอบ พบว่าในสภาวะการทำงานจริงภายในแปลงอ้อย มีการสิ้นเสทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ เมื่อทำการทดสอบโดยกำหนดอัตราการหยอดที่ 3 อัตรา และใช้ความเร็วที่ 3 ระดับและทำการเก็บข้อมูลอัตราการหยอดเชิงเวลา ( $q_t$ ) แล้วนำไปคำนวณอัตราการให้ปุ๋ยเชิงพื้นที่ ( $Q_A$ ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความเร็วในการเคลื่อนที่ ( $v$ ) ไม่ส่งผลทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการให้ปุ๋ยเชิงพื้นที่ โดยพบว่าความสัมพันธ์ของอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่กำหนดและอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนของระบบเมื่อทำงานในแปลงอ้อยอยู่ที่  $\pm 2.1 \text{ kg rai}^{-1}$  และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ถึง  $2 \text{ kg rai}^{-1}$  แสดงดัง Figure

9 เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดทั้งสองด้วย Simple Regression Analysis พบว่าค่าความชันระหว่างสองตัวแปรใกล้เคียง 1 (0.9556) และจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ 3.0146 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่กำหนดและอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่วัดได้ เท่ากับ 0.9861แสดงดัง Figure 10

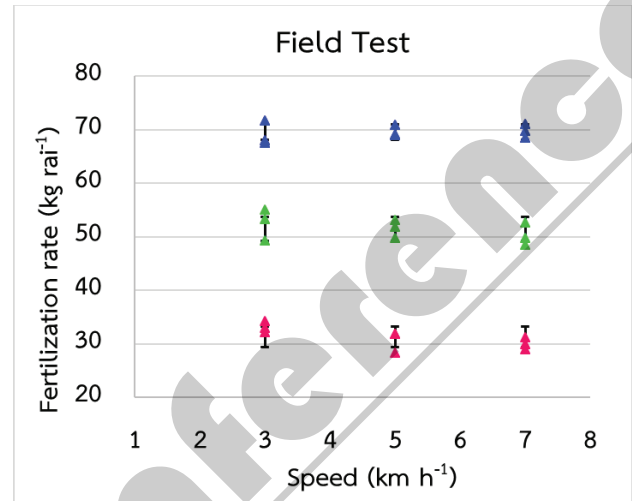


Figure 9 Actual fertilization rate at different requested rates and simulated travelling speeds in the field test

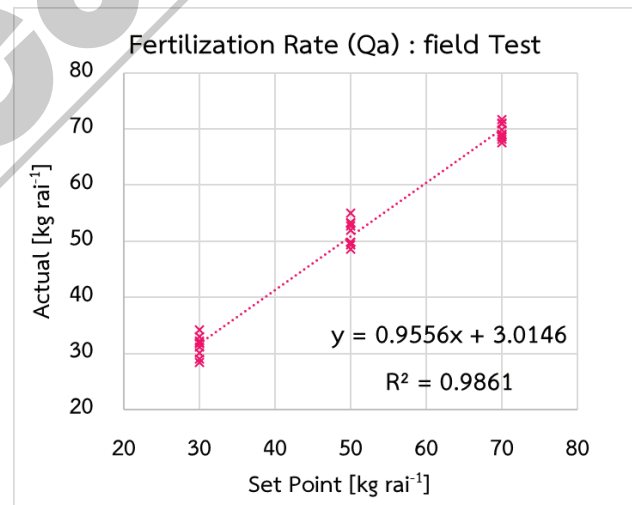


Figure 10 Relationship between fertilizing rate of set point and actual rate in field test

### 4 สรุป

จากการทดสอบระบบที่อัตราการหยอดปุ๋ย 30 50 และ 70  $\text{kg rai}^{-1}$  ทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแทรกเตอร์ที่ 3 5 และ 7  $\text{km h}^{-1}$  ทั้งจากการจำลองความเร็วในสถานีทดสอบและจากการทดสอบการทำงานจริงในแปลงเพาะปลูกอ้อย พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นความสามารถควบคุมการหยอดปุ๋ยได้ตรงตามอัตราการหยอดปุ๋ยเชิงพื้นที่ที่กำหนด โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ไม่มีผลต่ออัตราการหยอดเชิงพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ยที่

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

กำหนดและที่ได้จริง เท่ากับ 0.9944 ในการทดสอบภายในสถานีทดสอบ และ 0.9861 ในการทดสอบในแปลงจริง และยังพบอีกว่าความสัมพันธ์ของอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่กำหนดและอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนของระบบในการทดสอบภายในสถานีเท่ากับ  $\pm 1.3 \text{ kg rai}^{-1}$  และ  $\pm 2.1 \text{ kg rai}^{-1}$  เมื่อทำงานในแปลงเพาะปลูกอ้อย

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยุรายได้คณะ ปีงบประมาณ 2561 โดยเป็นการร่วมมือกับ บริษัท ธาฮัส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ย รถแทรกเตอร์ ปุ๋ยสำหรับทดสอบ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์พื้นที่แปลงปลูกอ้อย ณ ตำบลบ่อทอง อำเภอ บางระกำ จังหวัดพิษณุโลกเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้

## 6 เอกสารอ้างอิง

Kedma, P. 2016. Agricultural machinery used for the maintenance of sugarcane, both new sugarcane cultivation and sugar cane stumps in Sustainable Sugarcane Farm Management Guide. Office of Cane and Sugar Board, 55-62. (in Thai)

Pattarakittipong, P., Sathienpatthanathani S., Thanasanon, S., Numyakul, T., Seekun, S, and Udompetaikul, V. 2017. Development of a screw feeder control system for precision fertilizing machine. Proceedings of the 9th ECTI-CARD 2017, Chiang Khan Thailand. (in Thai)

Sungsing, C. 2018. The situation of agricultural products and trends in 2019. Office of Agricultural Economics, 55-61. (in Thai)

Verasin, T. 1999. How to the sugarcane planting. Bangkok: Institute of Agronomy and Renewable Energy Plants. (in Thai)