รายงานโครงการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย

Design and Development of Automatic Fertilizer Mixer using Soil Analysis for Sugar Cane

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายพินิจ จิรัคคกุล

Mr.PINIT JIRUKKAKUL

ตุลาคม พ.ศ. 2558

คำปรารถ

โครงการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย ได้เริ่มตั้งแต่ปี 2556 และมีกิจกรรมจำนวน 2 เริ่มดำเนินการวิจัยในปี 2556 พร้อมกันทั้ง 2 กิจกรรม และสิ้นสุดในปี 2558 พร้อมกัน โดยโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการวิเคราะห์พร้อมกับการผสมอัตโนมัติจนถึงเครื่องจักรสำหรับการใช้ปุ๋ยเชิงผสม เพื่อแก้ปัญหาการใช้ปุ๋ยที่ไม่เหมาะสมมากหรือน้อยเกินไป การใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และปัญหาปุ๋ยราคาแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสูงขึ้น ดังนั้นนโยบายของคณะรัฐมนตรีที่มีมาตรการแก้ปัญหาเกษตรกรเร่งด่วน ในปี 2554/55 ให้เร่งส่งเสริมการใช้ปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดินเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรและให้มีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและความเข้าใจการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรเพื่อลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศและโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต

(นายพินิจ จิรัคคกุล)

หัวหน้าโครงการวิจัย

22 มีนาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัย โครงการบูรณาการ ประจำปี 2556 ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสำนักผู้เชี่ยวชาญพิจารณาโครงการ ผอ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมเกษตร ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

พินิจ จิรัคคกุล
(หัวหน้าโครงการ)

ขนิษฐ์ หว่านณรงค์	วิชัย โอภานกุล	อัคคพล เสนาณรงค์
อุชฎา สุขจันทร์	ตฤนสิษฐ์ จงสุขไว	เวียง อากรชี
อนุชา เชาวโชติ	สิทธิชัย ดาศรี	อุทัย ธานี

สารบัญ

หน้า

ปกใน ..... ก
คำปรารถ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
ผู้วิจัย ..... ง

กิจกรรมที่ 1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย 1
บทคัดย่อ 2
Abstract 3
บทนำ 4
ทบทวนวรรณกรรม 5
ระเบียบวิธีการวิจัย 6
ผลการทดลองและวิจารณ์ 8
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 43

กิจกรรมที่ 2 ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม **44**
บทคัดย่อ 45
Abstract 46
บทนำ 47
ระเบียบวิธีการวิจัย 48
ผลการทดลองและวิจารณ์ 49
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 63

บทสรุปและข้อเสนอแนะ 65
เอกสารอ้างอิง 66

บทที่ 1

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย

Design and Development of Automatic Fertilizer Mixer using Soil Analysis for Sugar Cane

พินิจ จิรัคคกุล
Pinit Jirukkakul

วิชัย โอภานกุล
Wichai Opanukul

ตฤนสิษฐ์ จงสุขไว
Tinnasit Jongsukwai

อุชฎา สุขจันทร์
Auchada Sukjan

สิทธิชัย ดาศรี
Sittichai Dasri

อนุชา เชาวโชติ
Anucha Chaochot

คำสำคัญ: เครื่องผสมปุ๋ย, ชุดตรวจวิเคราะห์ดินอย่างง่าย
Keywords: Fertilizer mixing Machine , Soil test Kids, Color meter

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดิน เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีหลายศาสตร์เพื่อพัฒนาเครื่องจักรและระบบการวิเคราะห์ทางการเกษตร โดยโครงการวิจัยเลือกพืชที่มีศักยภาพในการใช้ปุ๋ยคือ อ้อย ซึ่งจากการศึกษาระบบทางกลของการผสมปุ๋ยเชิงผสม และระบบการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากชุดวิเคราะห์อย่างง่าย พบว่า 1) การผสมควรมีการเลือกชนิดแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จะช่วยให้การผสมเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอและลดอิทธิพลจากการแยกตัวของขนาดปุ๋ย โดยปริมาณการผสมไม่ส่งผลต่อสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารในแต่ละช่วงของการบรรจุ ซึ่งในการผสมปุ๋ยเพื่อการบรรจุสำหรับกลุ่มเกษตรเกษตรควรมีพิกัดความคลาดเคลื่อน +4% เพื่อให้ปุ๋ยที่ผ่านการผสมและทำการสุ่มตรวจอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตาม พรบ. ปุ๋ย ส่วนที่ 2 การพัฒนาเซนเซอร์และระบบควบคุมเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ พบว่า การใช้เซนเซอร์สีกับชุดตรวจธาตุอาหารในดินอย่างง่าย ไม่สามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากการสะท้อนแสงของภาชนะ เนื่องจากการสะท้อนแสงของภาชนะทำผลการวิเคราะห์ไม่คงที่และถูกต้อง เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์จะใช้การถ่ายภาพเพื่อแปลงการสะท้อนของภาพเป็นสี แต่เมื่อในสภาพภาพปกติสีจะมีความแตกต่างและเกิดความแปรปรวนเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินควรใช้ภาพเป็นการวิเคราะห์ และทำการปรับเปรียบเทียบสีมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรง และใช้การรวมแสงเพื่อการแยกชนิดสีจะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีความชันสูงขึ้นและส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารได้อย่างละเอียดมากขึ้น โดยการวิเคราะห์สีแยกเป็น R G B พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรตและฟอสฟอรัส ความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 0.9998 และ 0.9943 และใช้สีแดงและสีน้ำเงินในการวิเคราะห์ภาพของปริมาณไนเตรตและฟอสฟอรัส ตามลำดับ ตามลำดับ ส่วนโพแทสเซียมการใช้สีแดงเพียงสีเดียวและสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 2 (polynomial equation order 2) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งสมการทั้ง 3 ได้นำมาเป็นข้อมูลในระบบ PLC ในการประมวลธาตุอาหารในดินเพื่อการผสมปุ๋ย

Abstract

The research and development of automatic fertilizer mixer machine base on soil analysis were integrated of knowledge for development of machine and agriculture analysis system. The sugar cane was selected plant which was efficiency for fertilizer usage. The results showed the selected major fertilizer which was the similar size, supported the mixing and size separation reduction. The quantity was not affect to substance in each packaging period. The fertilizer mixing for agriculture should be +4% errors for randomization checking in standard level. The sensor development and control system of automatic fertilizer mixer, color sensor and substance soil test kit could not direction use because of reflection of container which affected examination. Thus, the photography changed the reflection to color. Calibration curve was used to separate color for substance analysis thoroughly. The RBG color system of nitrate and phosphorus expressed the relation in polynomial equation order 3 between frequency and concentration with 0.9998 and 0.9943 confidences, respectively. The red and blue colors were suitable for nitrate and phosphorus contents, respectively. The red color and polynomial equation order 2 were used to analyze the potassium content with 1 confidence. The obtained 3 equations were the information for PLC system which codified substance for mixing fertilizer.

บทนำ

การศึกษาและวิจัยการจัดการปัจจัยการผลิตพืชนั้นมีความสำคัญมาก ในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนทางการเกษตร ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้นมีจำนวนมากและยากที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรเข้าใจ ทำให้ปัจจุบันเกษตรกรยังไม่สามารถผลิตผลทางการเกษตรได้ตามเป้าหมาย หรือกล่าวได้ว่ายังไม่คุ้มค่าสูงสุดต่อการลงทุน สาเหตุที่เกิดของปัญหา คือ การใช้ปุ๋ยที่ไม่เหมาะสมมากหรือน้อยเกินไป การใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และปัญหาปุ๋ยราคาแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสูงขึ้น ดังนั้นคณะรัฐมนตรีมีนโยบายและมาตรการแก้ปัญหาเกษตรกรเร่งด่วน ในปี 2554/55 ให้เร่งส่งเสริมการใช้ปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดินเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรและให้มีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและความเข้าใจการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรเพื่อลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศและโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต

การใช้ปุ๋ยตามศักยภาพของการวิเคราะห์ดินในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือจากภาครัฐอย่างมาก และต้องใช้เครื่องมือจำนวนมาก เช่น ชุดวิเคราะห์สมบัติธาตุอาหารของดิน เครื่องผสมปุ๋ยคุณภาพสูง เครื่องหยอดปุ๋ย และนักวิชาการที่มีความเข้าใจในการผลิตพืชแต่ละชนิด เพื่อให้การผลิตและการแนะนำไปใช้เป็นไปอย่างถูกวิธี และจะส่งผลต่อการผลิตทางการเกษตรเป็นไปตามเป้าหมาย จากข้อมูลข้างต้นพบว่าการใช้ปุ๋ยสั่งตัดหรือปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดินนั้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างยั่งยืนและไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อดีของปุ๋ยสั่งตัดจะนำข้อมูลสมบัติธาตุอาหารของดิน ชนิดพืช การจัดการสภาพแวดล้อม มาวิเคราะห์ตามหลักวิชาการเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีความเหมาะสมต่อพืชและสภาพแวดล้อมรวมทั้งผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยปัจจุบันมีการนำโปรแกรมช่วยตัดสินใจในการเพาะปลูกพืชมาใช้ เช่น โปรแกรม DSSAT (Decision Support System for Agrotechnolgy Transfer), NuMaSS (Nutrient Management Support System) และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์(Geographic Information System, GIS) ซึ่งมีความซับซ้อนยังไม่เหมาะสมกับเกษตรกรรายเล็กที่มีจำนวนมากของประเทศ จำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ให้มีความง่ายต่อความเข้าใจของเกษตรกร เพื่อเป็นเครื่องมือส่งถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร

โดยขอบเขตการวิจัยจะมีการประยุกต์ใช้ระบบชุดตรวจวิเคราะห์ดินอย่างง่ายมาเป็นตัวชี้วัดสมบัติความอุดมสมบูรณ์ของดิน และพัฒนาเครื่องวัดสีเพื่อประเมินผลการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และนำข้อมูลข้างต้นไปประมวลผลกับฐานข้อมูลพืชอย่างง่าย เพื่อผสมปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมกับพืชให้กับเกษตรกร ซึ่งการผลิตปุ๋ยสั่งตัดสามารถผลิตได้จากการผสมแบบคลุกเคล้า โดยใช้แม่ปุ๋ย ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่ทางเคมีที่นำแม่ปุ๋ยมาผสมกัน และไม่ทำปฏิกิริยากัน จนเป็นเหตุให้คุณภาพของปุ๋ยผสมต่ำลง เช่นปัจจัยจากความชื้นวิกฤต(critical relative humidity) จนเป็นสาเหตุของการจับตัวเป็นก้อน (caking) โดยแม่ปุ๋ยที่นิยมนำมาผลิตแบบคลุกเคล้าทั้ง 3 ชนิด คือ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(NH_4)_2SO_4$ (21-0-0) เป็นส่วนผสมและนำไปคลุกเคล้าตามสูตรการคำนวณ เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่ และยังมีการทดสอบเครื่องหยอดปุ๋ยผสมจากการคลุกเคล้าด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยที่สามารถปรับปริมาณการให้ปุ๋ยได้ในแปลง ซึ่งโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยนี้จะอยู่ภายใต้ชุดโครงการวิจัยการจักการพื้นที่เกษตรแบบแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาการใช้ปุ๋ยอย่างไม่ถูกต้อง และเป็นการเพิ่มผลผลิตอย่างยั่งยืน

ทบทวนวรรณกรรม

(ทัศนีย์และคณะ, 2542) ได้ประดิษฐ์ชุดตรวจสอบ NPK ในดิน ซึ่งชุดตรวจดินอย่างง่ายนี้มีความรวดเร็วในการประมวลผลเพียง 30 นาทีหรือเร็วกว่านี้ในกรณีผู้มีความชำนาญงาน ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์สมบัติของดินในแปลงเกษตรกร ที่ไม่ต้องการผลที่มีความแม่นยำสูงมากเทียบเท่าระดับห้องปฏิบัติการ ทำให้ชุดตรวจสอบ NPK ในดินนี้มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อผสมปุ๋ยให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตพืชชนิดต่างๆ ซึ่งวิธีใช้ชุดตรวจสอบ NPK ในดินจะทำการจะใช้สารเคมีผสมกับสารละลายดินที่สกัดขึ้น และทำให้เกิดความเข้มสีที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงปริมาณสูงต่ำของปริมาณธาตุอาหาร แต่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานสามารถใช้ระบบ Image Processing ซึ่งมีอยู่แพร่หลายในปัจจุบันเป็นตัวอ่านค่าก็จะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น และรวดเร็ว

Shibusawa.(1998) ได้ทำการศึกษาการเกษตรแบบแม่นยำซึ่งเป็นระบบการจัดการเชิงระบบที่มุ่งลดการใช้ปัจจัยการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการเกษตรแบบยั่งยืน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ทั้งระบบ GPS และ GIS ซึ่งปัจจุบันระบบทางวิศวกรรมได้พัฒนาเทคโนโลยีไปมาก และสามารถนำประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

มติคณะรัฐมนตรี.2554 ได้เห็นชอบให้กำหนดราคาปุ๋ยเคมี 6 สูตร (สูตร 46-0-0 16-8-8 16-16-8 18-12-6 และ 15-15-15) ให้มีราคาเป็นไปตามกระทรวงพาณิชย์ และเร่งส่งเสริมการใช้ปุ๋ยสั่งตัดเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

ปัจจุบันกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้พัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อบ่งชี้สมบัติและศักยภาพในการผลิตพืชในแต่ละพื้นที่ในระบบ GIS ยังไม่ได้รับความนิยมในกลุ่มเกษตรกรมีเพียงกลุ่มผู้วิจัยและคณาจารย์แวดวงวิชาการนำไปใช้ทำให้ระบบนี้จึงไม่ไม่เกิดประสิทธิผลสูงสุดและลงสู่กลุ่มเป้าหมาย ซึ่งระบบสามารถเชื่อมโยงกับกรมส่งเสริมการเกษตร

ทัศนีย์และคณะ(2542) ทำการศึกษาและทดสอบชุดตรวจปริมาณ NPK ในดิน เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินก่อนการปลูกพืช ซึ่งสะดวก รวดเร็วและมีความแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารเคมีลงไปในสารละลายดินที่สกัดจากดินและนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน

ทัศนีย์และคณะ(2550) ได้พัฒนารูปแบบการตรวจวัดด้วย Color Comparator ซึ่งได้ทำการวัดแอมโมเนียม ไนเตรต ฟอสฟอรัส และโปรแทสเซียม พบว่าการใช้เครื่อง Color Comparator ได้ผลถูกต้องมากกว่าใช้แผ่นสีมาตรฐาน และมีราคาต้นทุนถูกกว่าการใช้เครื่อง Spectrophotometer มาก

ศุภกิตต์ และคณะ(2553) ได้พัฒนาต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน พบว่า ต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุนที่พัฒนาขึ้นสามารถผสมได้มีลักษณะผสมคลุกเคล้าเข้ากันได้ดีมาก มีลักษณะร่วนซุยมาก สามารถนำออกมาจากถังได้ง่าย โดยหมุนทางเดียว และหมุนถังทวนและตามเข็มสลับกัน 5 รอบ ใช้ระยะเวลาผสม 20 นาที

คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2548) ได้พัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยเคมีโดยใช้ระบบ PLC ในการควบคุมระบบการผสมแม่ปุ๋ยพบว่า สามารถผสมได้มากกว่า 30 สูตร และสมรรถนะในการผสมได้สูงสุด 33

กิโลกรัมต่อนาที โดยใช้แม่ปุ๋ย 3 ชนิด ซึ่งบรรจุแยกชนิดกันอยู่ในถังบรรจุ แม่ปุ๋ยจะไหลผ่านระบบควบคุมอัตราการไหล ลงถังผสมปุ๋ยโดยอาศัยใบพัดกวาดปุ๋ยซึ่งถูกขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับผ่าน ชุดทดเกียร์ระบบควบคุมอัตราการไหลจะทำการควบคุมการไหลของปุ๋ยให้ได้ปริมาณตามต้องการ ซึ่งจะปรับอัตราการไหลโดยใช้ PLC ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ให้ไปเลื่อนปลอกโลหะเพื่อลดหรือเพิ่มขนาดของช่องทางไหลของปุ๋ยแม่ปุ๋ย เมื่อไหลลงสู่ถังผสมปุ๋ยจะถูกทำให้ผสมกันโดยใบพัดซึ่งจะคอยตีแม่ปุ๋ยที่ตกลงมาจากนั้นก็จะไหลลงสู่ภาชนะบรรจุต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนคือ

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดิน ใช้ระบบควบคุมการผสมแบบอัตโนมัติ
   - ศึกษาสมบัติทางกายและทางเคมีของชนิดปุ๋ยที่มีจำหน่ายในประเทศ โดยมุ่งเน้นที่แม่ปุ๋ย 3 ชนิด คือ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(NH_4)_2SO_4$ (21-0-0) เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องผสมและชุดอุปกรณ์ควบคุม
   - ทดสอบปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้าด้วยคนและเครื่องผสมทำการสุ่มเก็บ 3 สูตร 15-7-18, 16-8-8 และ 9.4-24-24 ตามหลักการคำนวณ *ไม่ใส่สารเติมน้ำหนัก* และทดสอบการนำไปใช้ในแปลงในกิจกรรมที่ 2

   การวางแผนการทดลองRandomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วยจำนวนบล็อก(Block) 3 บล็อก และ ตำหรับ(Treatments) 3 ตำหรับ ทำการ 3 ซ้ำๆ ละ 200 กิโลกรัม เปรียบเทียบ Duncan Multiple Range Test (DMRT)

   ปัจจัยหลัก บล็อก ประกอบด้วย การผสมด้วยเครื่องผสม ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 เท่าของปริมาตรผสม

   ปัจจัยรอง ตำหรับ ประกอบด้วย สูตรปุ๋ยที่ผสม 3 สูตร 15-7-18, 16-8-8 และ 9.4-24-24 โดย Block Control เป็นปุ๋ยผสมที่จำหน่ายในท้องตลาด

   การเก็บตัวอย่างและการบันทึกข้อมูล

   ก่อนผสม

   ขนาดเม็ดของแม่ปุ๋ยตัวอย่าง 3 ทั้ง 3 ชนิด คือ คือ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(NH_4)_2SO_4$ (21-0-0)

   ความหนาแน่นของแม่ปุ๋ย

   เปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของเม็ดแม่ปุ๋ย

   หลังผสม

   เก็บสุ่มเก็บปุ๋ยที่ผสม 3 สูตร 15-7-18, 16-8-8 และ 9.4-24-24 จำนวน 1 กิโลกรัม ทำการเก็บ 3 ซ้ำ ในการผสม 1 ครั้ง และทำการผสม 3 ครั้งต่อสูตร และบันทึกความแม่นยำในการผสมตามสูตรปุ๋ย

   - พัฒนาต้นแบบเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม
   - พัฒนาระบบการประมวลผลโดยใช้ฐานข้อมูลต่างๆ ข้อมูลปฐมภูมิ

- พัฒนาระบบเชื่อมโยงระบบทางกลและระบบการตัดสินใจการผลิต
- ศึกษาสมบัติของดินด้วย ชุดตรวจสอบดินแบบรวดเร็ว (N-P-K test kit) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวิเคราะห์กับห้องปฏิบัติการมาตรฐาน

2. พัฒนาระบบ software สำหรับการคำนวณในเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ
3. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ส่วนประกอบ

3.1 กระพ้อสำหรับลำเลียงแม่ปุ๋ยสู่ถังเก็บแม่ปุ๋ย

3.2 เครื่องผสมปุ๋ยแบบถังนอนพร้อมโหลดเซลล์สำหรับชั่งน้ำหนัก

3.3 software สำหรับการคำนวณในเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ

3.4 ชุดตรวจสอบดินแบบรวดเร็ว (N-P-K test kit)

3.5 ชุดรับดินจากเกษตรกร

3.6 บรรจุกระสอบ

3.7 เครื่องพิมพ์สำหรับใบข้อเสนอแนะในการใช้ปุ๋ย

4. ทดสอบต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดินโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

การทดสอบหาประสิทธิภาพในการผสมแม่ปุ๋ย โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ คือ ความสม่ำเสมอในการให้ปุ๋ย ความแม่นยำในการให้ปุ๋ย สมรรถนะการผลิต การสิ้นเปลืองพลังงาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) โดยวางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยกำหนดให้แม่ปุ๋ย 3 เครื่องหมายการค้า ตัวอย่างดิน 3 พื้นที่ในการวิเคราะห์สูตรปุ๋ยเป็น(Treatments) 3 ทรีท์เม้นท์ ทำ 3 ซ้ำ (Replications) ในห้องทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติ ในแต่ละวิธีการทดลองโดยวิเคราะห์ค่าวาเรียนส์ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT)

5. ปรับปรุงพร้อมทดสอบเครื่องผสมปุ๋ยสั่งตัดโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติให้มีความเหมาะสม และทำการปรับปรุงเครื่องให้มีความสามารถในการส่งเสริมการผลิตเชิงพาณิชย์

5.1 นำปุ๋ยที่ผ่านการผสมโดยเครื่องผสมไปทดสอบในแปลงทดลองและปรับปรุงเครื่องใส่ปุ๋ยให้มีความเหมาะสมกับปุ๋ยที่ทำการผสม

5.2 นำปุ๋ยที่ผ่านการผสมโดยเครื่องผสมไปทดสอบในแปลงเกษตรกรและปรับปรุงเครื่องใส่ปุ๋ยให้มีความเหมาะสมกับปุ๋ยที่ทำการผสม

ทั้ง 2 การทดสอบพื้นทดสอบอย่างน้อย 2 ไร่ จำนวน 3 ที่ และทำการวิเคราะห์สถิติ

6. ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องผสมปุ๋ยสำหรับปุ๋ยสั่งตัดโดยใช้ระบบควบคุมการผสมแบบอัตโนมัติให้แก่เกษตรกร โรงงานอุตสาหกรรมเกษตร และ หน่วยงานที่สนใจ

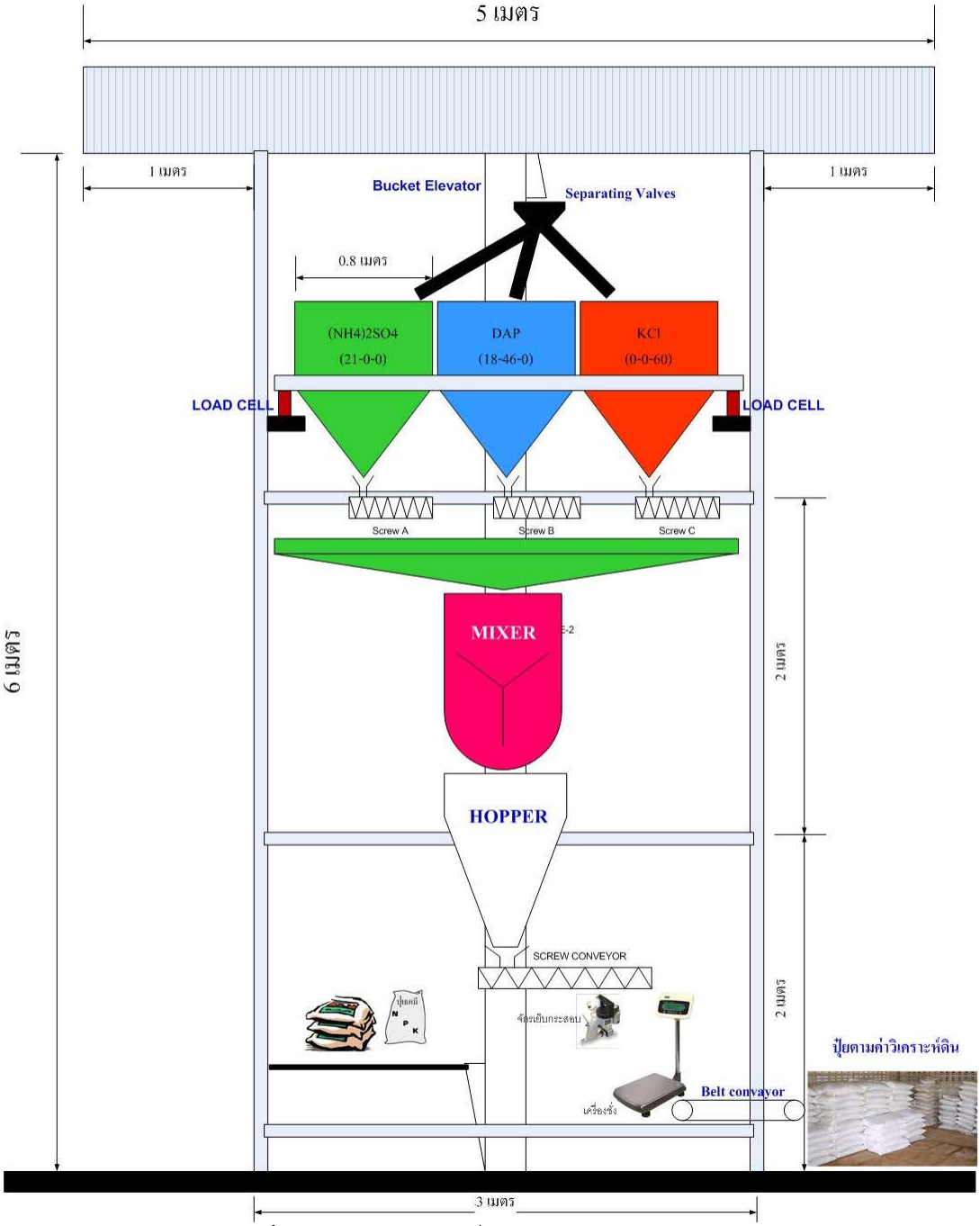
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วน 1) การวิเคราะห์คุณภาพดินและปุ๋ย 2) ส่วนการพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบผสมปุ๋ย ได้สร้างเครื่องต้นแบบจำนวน 2 เครื่อง โดยใช้หลักการผสมแนวตั้ง และการผสมแนวนอน ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 ขนาดบรรจุ 200 กิโลกรัม เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และนำไปพัฒนาต้นแบบ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ควรใช้เครื่องผสมแนวนอนซึ่งจะทำให้สามารถผสมได้จำนวนมากและไม่ส่งผลต่อการแตกของแม่ปุ๋ย จากการทดสอบใช้เครื่องผสมแนวตั้งพบว่า เม็ดปุ๋ยที่มีขนาดเล็กจะลงไปอยู่ข้างล่างเป็นส่วนใหญ่และเม็ดก็จะแตก เพราะฉะนั้นการสร้างต้นแบบจะใช้เป็นแบบเครื่องผสมแบบนอนโดยใช้ใบโรย ดังรูปที่ 3 เพื่อไม่ให้ผลการหมุนของเครื่องส่งผลต่อเม็ดปุ๋ย ซึ่งต้นแบบทดสอบเดินระบบ ดังรูปที่ 4 และ 5 ทำการทดสอบเดินระบบผสมโดยใช้ปรับความรอบการหมุนด้วย Inverter โดยใช้หลักการปรับคลื่นความถี่ เพื่อหารอบที่เหมาะสมพบว่า รอบการหมุนที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 15 Hz หรือเทียบเท่ากับ 46.2 รอบต่อนาที อัตราการบรรจุปุ๋ย 50-80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณ โดยถังผสมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 เมตร ยาว 1.5 เมตร ปริมาตรบรรจุ 1.69 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะสามารถบรรจุปุ๋ยได้ 0.85-1.35 ลูกบาศก์เมตร หรือผสมปุ๋ยได้ประมาณ 20 กระสอบ (กระสอบละ 50 กิโลกรัม) โดยถังบรรจุแม่ปุ๋ยได้ออกแบบให้บรรจุได้ 1. 2 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ใบ เพื่อใส่แม่ปุ๋ย DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(NH_4)2SO_4$ (21-0-0)

รูปที่ 1 เครื่องผสมแนวตั้ง

รูปที่ 2 เครื่องผสมแนวนอน

รูปที่ 3 เครื่องผสมแนวนอนที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4 การออกแบบเครื่องผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต้นแบบ

รูปที่ 5 เครื่องผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต้นแบบ

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของขนาดแม่ปุ๋ยพบว่า การเลือกยี่ห้อแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพการผสมดีกว่า จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าแม่ปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างจากกลุ่มจะเป็นแม่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 และ 0-0-60 ของบางยี่ห้อ ซึ่งเมื่อนำไปผสมจะส่งผลต่อการผสม โดยจากผลการสำรวจพบว่าแหล่งไนโตรเจนปุ๋ยผสมทั่วไปจะใช้ 46-0-0 (ยูเรีย) เพื่อลดอิทธิพลของขนาดเม็ดปุ๋ย และจากการศึกษาพบว่า แม่ปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้และจำหน่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเป็นปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันและเหมาะสมกับการผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน รูปที่ 7 โดยมีเพียงบางยี่ห้อที่มีปุ๋ยที่มีลักษณะคล้ายเม็ดน้ำตาล สูตร เช่น 0-0-60 ของยี่ห้อ B และ 21-0-0 ของยี่ห้อ C ซึ่งเมื่อนำมาผสมจะผสมเข้ากันได้ไม่ทั่วถึง โดยจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแม่ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปุ๋ยเคมีชนิด A มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันคือ มีขนาดที่ 2.0- 4.76 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรง No 4, No 8 และ No 10) โดยปุ๋ยชนิด A เป็นปุ๋ยที่นิยมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้การผสมปุ๋ยของเกษตรกรไม่มีอุปสรรคต่อการจัดหามาเพื่อการใช้และการผลิต แต่การนำแม่ปุ๋ยมาใช้ในการผสมจำเป็นต้องตรวจดูก่อนว่าแม่ปุ๋ยมีการจับตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ ซึ่งถ้ามีการจับตัวเป็นก้อนดังรูปที่ 7 ให้ทำการบดหรือทำให้แตกก่อนผสม เนื่องจากถ้าไม่ทำการบดให้แตกก่อนจะส่งผลต่ออัตราส่วนผสมของปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ จากการทดสอบนำแม่ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิดมาผสมในเครื่องผสมแบบแนวตั้ง พบว่า ขนาดของเม็ดปุ๋ยที่มีขนาดเล็กหรือขนาดที่แตกต่างกันจะผสมกันไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 8 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าการผสมในด้วยเครื่องผสมแนวตั้งจำเป็นต้องใช้เวลาในการผสมมากกว่า 4 นาที จะทำให้การผสมสามารถผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบการผสมปุ๋ยด้วยเครื่องผสมปุ๋ยแนวตั้ง สูตร 15-7-18 กับปุ๋ยผสมที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด 15-7-18 และ 16-8-8 โดยเครื่องผสมปุ๋ยแนวตั้งได้ปรับปรุงมาจากเครื่องผสมปูน และทำการใส่ใบกวนที่เป็นแผ่นยางดังรูปที่ 10 เพื่อทำให้การผสมที่ไม่เกิดการสะสมที่บริเวณพื้นและทำให้เม็ดปุ๋ยไม่แตก ช่วยในการผสม

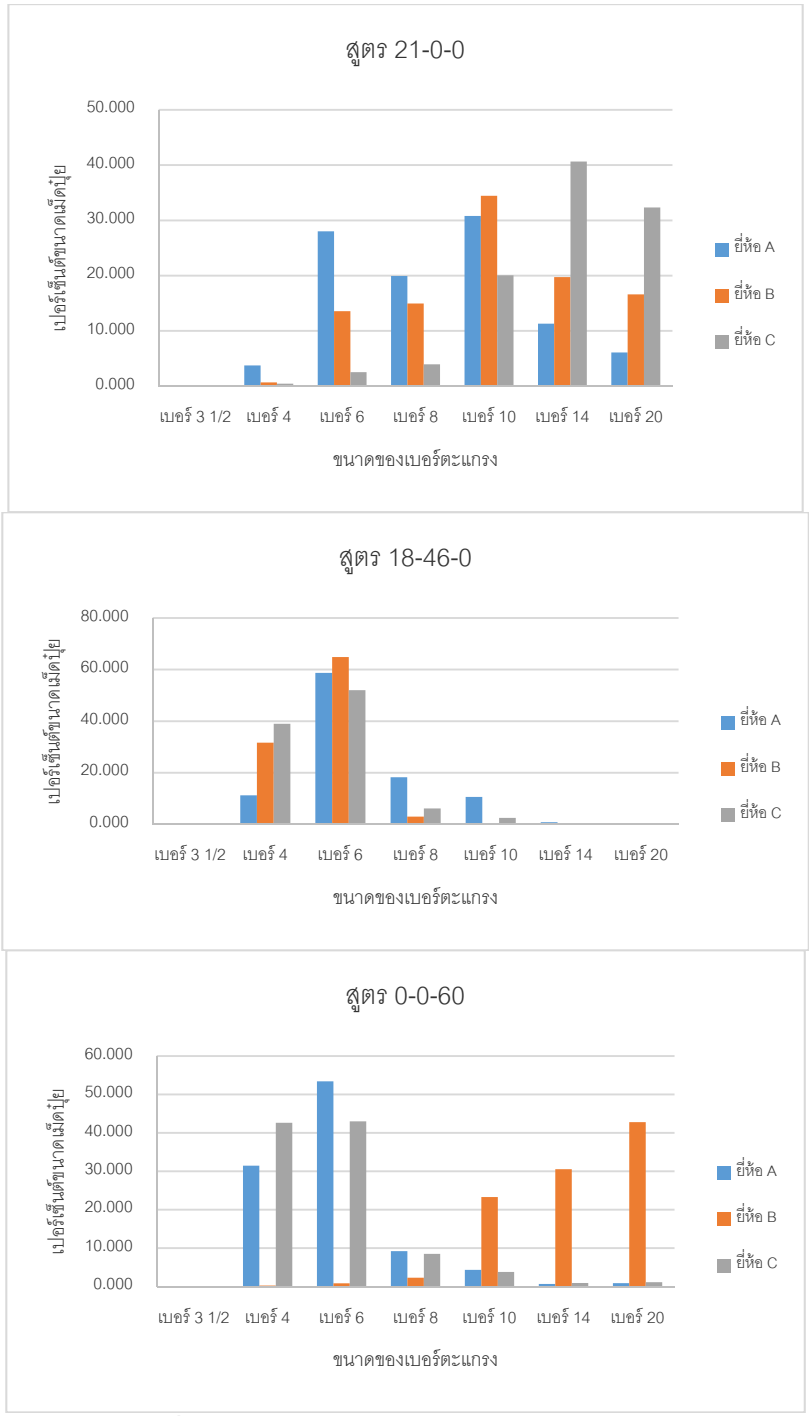
รูปที่ 6 ลักษณะแม่ปุ๋ยและปุ๋ยเชิงประกอบที่มีจำหน่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รูปที่ 7 ลักษณะของปุ๋ยที่มีการจับตัวกันเป็นก้อน

รูปที่ 8 ลักษณะการแยกตัวของปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างกัน

รูปที่ 9 ลักษณะการแยกตัวของปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างกัน

รูปที่ 10 การปรับปรุงเครื่องผสมปูนให้เป็นเครื่องผสมปุ๋ยโดยการใส่แผ่นยางที่ใบกวน



รูปที่ 11 ลักษณะการเปรียบเทียบขนาดของแม่ปุ๋ย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดแม่ปุ๋ย จึงได้ทำการทดสอบแม่ปุ๋ยที่น่าจะมีปัญหาต่อการผสม โดยกำหนดให้เม็ดปุ๋ยที่ต้องการจะมีขนาด 2.0-4.76 มิลลิเมตร หรือ ผ่านตะแกรง เบอร์ 4, 6, 8 และ 10 พบว่า ปุ๋ยยี่ห้อ A มีขนาดแม่ปุ๋ยแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน จะมีความสม่ำเสมอ 94.47% ในการผสม สูตร 16-8-8 เพื่อทดสอบการผสมที่เน้น N หลัก และ แม่ปุ๋ยอีก 2 ยี่ห้อมีค่าใกล้เคียงกันคือ 51.56 และ 63.26 % ซึ่งเมื่อนำไปบรรจุถุงมีโอกาสที่จะแยกตัวของเม็ดปุ๋ย เนื่องจากแม่ปุ๋ย 2 ยี่ห้อหลังมีขนาดแตกต่างกันถ้านำไปผสมโดยเน้น N และ K_2O ดังสูตร 15-7-18 พบว่า ขนาดความสม่ำเสมอจะมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ ชนิด B และ C มีค่า 59.06 และ 59.68 % ตามลำดับ แต่การผสมปุ๋ยบางสูตรสามารถใช้แม่เพียง 2 ชนิดผสมเพื่อให้ได้ปุ๋ยผสมตามที่เกษตรกร

ต้องการคือ การใช้แม่ปุ๋ย DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) ซึ่งมีธาตุอาหารหลักครบทั้ง 3 ชนิด โดยได้ทำการทดสอบผสมปุ๋ยในสูตร 9.4-24-24 โดยเน้น P_2O_5 และ K_2O พบว่า จะใช้ DAP (18-46-0) 56.7% และ KCl (0-0-60) 43.3 % ซึ่งปกติแล้วขนาดของเม็ดปุ๋ย DAP (18-46-0) ความสม่ำเสมอดังรูปที่ 9.7 ทำให้ถ้า KCl (0-0-60) เป็นลักษณะเม็ดกรวดจะทำให้มีความสม่ำเสมอสูง ดังการผสมของแม่ปุ๋ยยี่ห้อ C มีค่า 99.26% ยี่ห้อ B มีค่า 71.42 % โดยปริมาณ N ต่ำสุดที่ผสมได้คือ 9.4 %

ยงยุทธ โอสถสภา (มมป.) ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดกับคุณภาพของปุ๋ยผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้ความสำคัญของขนาดเม็ดปุ๋ยต่อการผสมแบบคลุกเคล้า (bulk blending) ปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพปุ๋ยเคมีแบบไม่เป็นเนื้อเดียว คือ ความหนาแน่นและรูปทรง มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทำให้โครงการวิจัยนี้มุ้งเน้นปัจจัยทางกายภาพกับเครื่องจักร

1) ขนาดของเม็ดปุ๋ย
2) การกระจายของเม็ดปุ๋ย
3) ความแข็งของเม็ดปุ๋ย
4) ความทนทานต่อการสึกกร่อนเมื่อขัดถู
5) ความทนทานต่อการกระแทก
6) ความหนาแน่นรวม
7) ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต
8) การแยกตัวของเม็ดปุ๋ย

ซึ่งผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นจากปุ๋ยที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความสลอดคล้องกับงานวิจัยของ ยงยุทธ โอสถสภา ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของแม่ปุ๋ยดังตารางที่ 1 ซึ่งจากการวิเคราะห์แม่ปุ๋ยและนำผลของปริมาณธาตุในปุ๋ยเพื่อไปเขียนสมการการผสมดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความหนาแน่นแม่ปุ๋ย

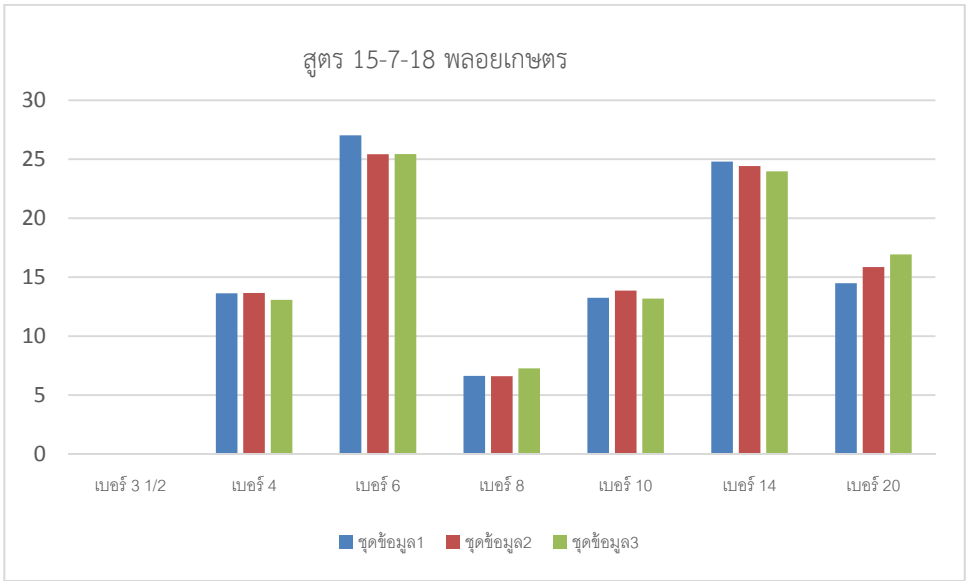
		ยี่ห้อ	ปกติ kg/m^3	กระแทก kg/m^3	หมายเหตุ
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	18-46-0	A	893.51	950.12	
		B	920.03	992.45	
		C	920.03	992.45	
โพแทสเซียมคลอไรด์	0-0-60	A	1022.54	1104.14	เม็ด
		B	1099.55	1204.61	น้ำตาล
		C	1031.21	1109.24	เม็ด
แอมโมเนียมซัลเฟต	21-0-0	A	1011.83	1061.81	
		B	1065.38	1136.78	
		C	1065.38	1136.78	

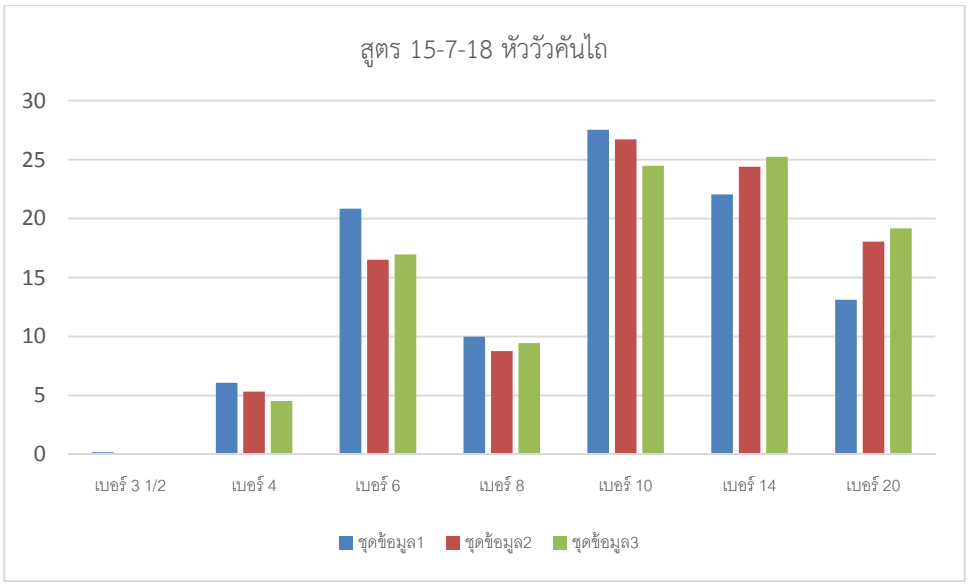
ตารางที่ 2 สมการในการผสมปุ๋ยตามสูตรที่ต้องการ (excel)

สูตรปุ๋ย			**ปริมาณปุ๋ยที่ต้องการ (กิโลกรัม)**	**ปุ๋ยเคมีที่ต้องการใช้ผสม (กิโลกรัม)**		
N	**P_2O_5**	**K_2O**		**21-0-0**	**18-46-0**	**0-0-60**
15	7	18	50	29.19	7.61	15.00
16	8	8	50	30.64	8.70	6.67
9.4	24	24	50	0.02	26.09	20.00

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่มีในปุ๋ย จำเป็นต้องใช้วิธีทางเคมีเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยการรับประกันปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีในส่วนของไนโตรเจน จะบอกถึงปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยทั้งหมด (Total N) ไม่จำเป็นต้องบอกถึง available N ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปโพแทส (K_2O) จะพิจารณาจากความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งเรียกว่า water soluble potash (K_2O) และในส่วนของฟอสฟอรัสในปุ๋ยจะพิจารณาเฉพาะฟอสฟอริกแอซิค(P_2O_5) ที่ละลายในน้ำยา neutral ammonium citrate เข้มข้น 15% แล้วบอกออกมาเป็น available phosphoric acid (P_2O_5)

รูปที่ 12 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 3 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 16-8-8 เน้นปริมาณ N





รูปที่ 13 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 2 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 15-7-18 เน้นปริมาณ N และ K_2O

รูปที่ 14 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 2 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 9.4-24-24 เน้นปริมาณ P_2O_5 และ K_2O

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยทางเคมี ได้ศึกษาและสุ่มปุ๋ยชนิดผสมที่จำหน่ายในท้องตลาดในจังหวัดขอนแก่นพบว่า ค่าของปริมาณธาตุอาหารจะสูงกว่าสูตรทุกตัว โดยจะสูงกว่าสูตรที่กำหนดในช่วง 0.526-3.388 % ดังตารางที่ 9.3 เพื่อให้เป็นตามาตรฐานและ พรบ.ปุ๋ยเคมี ซึ่งจากการศึกษาจะนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการปรับแก้สมการเพื่อการผสมปุ๋ยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยกำหนดให้สูงกว่าปกติ 4 % และจากการศึกษาในอัตราส่วนที่แตกต่างกันคือ สูตร 15-7-18, 16-8-8, 9.4-24-24 และปริมาณที่แตกต่างกัน 50, 75, 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรผสม ในแต่ละสูตรพบว่า การใช้ K_2O ที่เป็นชนิดเม็ดเล็กแบบน้ำตาลทรายจะส่งผลต่อการผสมและจากการพิจารณาธาตุอาหาร N เป็นช่วง 8-16 % โดยน้ำหนัก ปุ๋ยเชิงผสมมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารได้ 0.6 % โดยน้ำหนัก ที่ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ลงวันที่ 30 กรกฎาคม 2528 ซึ่งจากการทดสอบผสมพบว่า ปริมาณธาตุอาหาร N ต่ำกว่าอยู่ในช่วง 1.448 %โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณธาตุอาหาร P_2O_5 จะพิจารณา 3 ช่วง คือ ช่วง น้อยกว่า 8 %, 8.0-16 %, และ 16.1-24.0% พบว่า ปริมาณธาตุอาหารฟอสเฟสอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน มีเพียงการผสม ในอัตรา 100% ของสูตร 9.4-24-24 ที่เกินมาตรฐาน แต่เป็นเพียง 0.082% อาจเนื่องมาจากปริมาณและปริมาตรการผสม ส่วนปริมาณธาตุอาหาร K_2O จะพิจารณา 2 ช่วง คือ ช่วง 8.0-16 %, และ 16.1-24.0% พบว่า ปริมาณธาตุอาหาร K_2O ต่ำกว่าอยู่ในช่วง 3.641 %โดยน้ำหนัก ในชนิดแม่ปุ๋ยที่มีลักษณะเม็ดคลายน้ำตาลทราย ส่วนชนิดเม็ดที่เป็นกรวด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ ต่ำกว่า 0.374 % โดยน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรบานคือ 1% โดยน้ำหนัก เพราะฉะนั้นการเลือกแม่ปุ๋ยในการผสมควรเลือกแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่ควรเลือกแม่ปุ๋ยที่ขนาดของเม็ดเป็นเม็ดเล็กซึ่งจะส่งผลต่อการผสม ซึ่งการผสมเพื่อจำหน่ายหรือกลุ่มสหกรณ์จำเป็นต้องมีการเผื่อค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 4% เพื่อให้ในการบรรจุกระสอบแล้วไม่เป็นปุ๋ยต่ำกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมที่จำหน่ายในท้องตลาดในจังหวัดขอนแก่น

		Total	available phosphoric acid (P2O5)	water soluble potash
ตัวอย่าง	สูตร	N (%)	P (%)	K(%)
1	15-7-18	15.526	8.978	21.388
2	16-8-8	17.233	9.307	9.259
3	8-24-24	8.561	25.180	26.406

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมจากแม่ปุ๋ยในสูตร 15-7-18 ในอัตรา 50, 75, และ 100 % ของปริมาณผสม

	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการผสม		
ตัวอย่าง	N (%)	P (%)	K(%)	N (%)	P (%)	K(%)
พลอยเกษตร	14.288	7.267	21.432	-0.712	14.432	3.432
	14.223	9.375	23.308	-0.777	16.308	5.308
	14.169	8.310	22.643	-0.831	15.643	4.643
หัววัวคันไถ	14.303	7.868	15.673	-0.697	8.673	-2.327
	14.213	7.420	15.988	-0.787	8.988	-2.012
	13.552	6.206	18.219	-1.448	11.219	0.219

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมจากแม่ปุ๋ยในสูตร 16-8-8 ในอัตรา 50, 75, และ 100 % ของปริมาณผสม

	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการผสม		
ตัวอย่าง	N (%)	P (%)	K(%)	N (%)	P (%)	K(%)
พลอยเกษตร	17.395	9.394	9.496	1.395	1.394	1.496
	17.195	9.484	9.607	1.195	1.484	1.607
	16.919	10.651	9.225	0.919	2.651	1.225
หัววัวคันไถ	17.294	9.965	8.833	1.294	1.965	0.833
	16.910	9.480	9.543	0.910	1.480	1.543
	16.519	7.969	9.528	0.519	-0.031	1.528

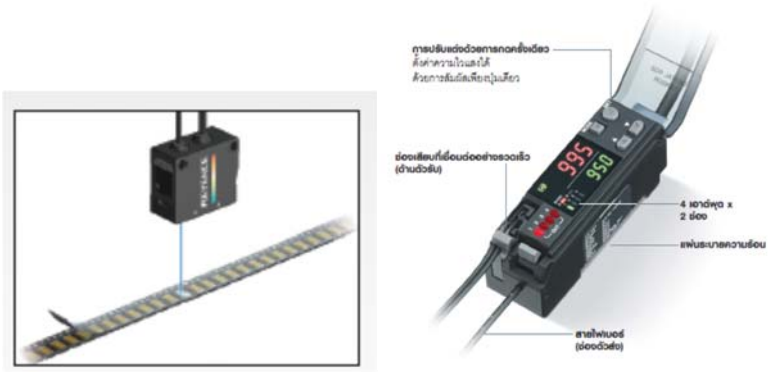
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมจากแม่ปุ๋ยในสูตร 9.4-24-24 ในอัตรา 50, 75, และ 100 % ของปริมาณผสม

	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการผสม		
ตัวอย่าง	N (%)	P (%)	K(%)	N (%)	P (%)	K(%)
พลอยเกษตร	10.563	26.421	28.810	1.163	2.421	4.810
	10.170	27.678	28.418	0.770	3.678	4.418
	9.909	23.118	23.626	0.509	-0.882	-0.374
หัววัวคันไถ	12.315	33.200	23.173	2.915	9.200	-0.827
	11.814	33.083	20.359	2.414	9.083	-3.641
	10.518	28.992	27.033	1.118	4.992	3.033

ผลการออกแบบวงจรและเครื่องมือวัดสำหรับการวิเคราะห์

ผลการออกแบบระบบควบคุมและส่วนประกอบเครื่องผสมปุ๋ยด้วยได้ทำการทดสอบการวิเคราะห์ดินและการใช้เซ็นเซอร์วิเคราะห์ วิธีการ และอุปกรณ์ในการตรวจจับค่าสีจากผลการตรวจชุดวัดปุ๋ยในดิน มีดังนี้

1. เซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ
    1) ดิจิตอลไฟเบอร์ออปติกเซนเซอร์ตรวจจับสี KEYENCE รุ่น CZ-V21A ดังรูปที่ 9.13

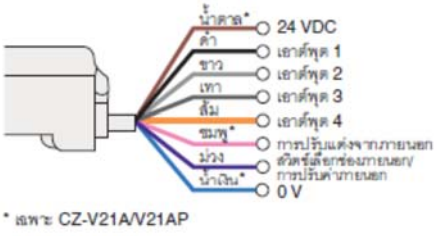


รูปที่ 13 เซนเซอร์ตรวจจับสี KEYENCE รุ่น CZ-V21A

<u>คุณสมบัติ</u>

- เซนเซอร์อ่านค่าสี RGB ชนิดไฟเบอร์ออปติกเซนเซอร์
- แหลงกำเนิดแสง RGB ไฟ LED สีแดง (665 nm)/ไฟ LED สีเขียว (520 nm)/ไฟ LED สีน้ำเงิน (465 nm)
- สัญญาณ NPN open collector x 4 ช่องสัญญาณ, สูงสุด 40 VDC, สูงถึง 100 mA สำหรับหนึ่งเอาท์พุท, สูงถึง 200 mA ใน 4 เอาท์พุท, แรงดันไฟฟ้าตกค้าง: สูงสุด 1.0 V*1
- ความเร็วในการทำงาน 200 µs (HIGH SPEED-ความเร็วสูง)/1 ms (FINE-ละเอียด)/4 ms (TURBO-เทอร์โบ)/8 ms (SUPER-ซูเปอร์)

เซนเซอร์ มีคุณสมบัติไม่ตรงตามการใช้งานคือ เซนเซอร์มีหลักการทำงานส่งสัญญาณออก 4 ช่อง โดยเลือกตามระดับสีตามที่ตั้งค่าไว้ ไม่ใช่ส่งสัญญาณออกมาเป็นระดับสี RGB อีกทั้งเซนเซอร์ไม่สามารถจรวจจับสีบนพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นมันเงาได้ จึงไม่สามารถอ่านสีของตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วได้



รูปที่ 14 สายสัญญาณเซนเซอร์ตรวจจับสี KEYENCE รุ่น CZ-V21A

2) เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS230/TCS3200

รูปที่ 15 เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS230/TCS3200

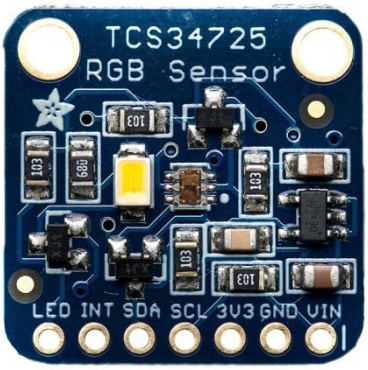
เซนเซอร์วัดความเข้มของแสงสเปกตรัมสีแดง(R) เขียว(G) และฟ้า(B) ในแสงที่มองเห็น (visible light) ใช้ IC เบอร์ TCS3200 อ่านค่าแสงที่สะท้อนกลับมาจากผิวของวัตถุ สัญญาณขาออกมาเป็นค่าความถี่ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความถี่เป็นระดับความเข้มแสง RGB อีกที

<u>คุณสมบัติ</u>

- Using imported chip TCS3200
- The TCS3200 is TCS230 upgraded version better
- Power supply 3-5v
- Resistance to light interference
- White LED can be controlled on, off.
- Can detect non-luminous object color

เซนเซอร์มีคุณสมบัติอ่านค่าจากแสงที่สะท้อนจากพื้นผิว จึงไม่สามารถตรวจจับค่าสีของตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วได้ อีกทั้งตัวเซนเซอร์ไม่มีวงจรแปลงจัดการสัญญาณความถี่ที่จะช่วยให้การอ่านค่ามีความแม่นยำอีกด้วย

3) เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS34725



รูปที่ 16 เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS34725

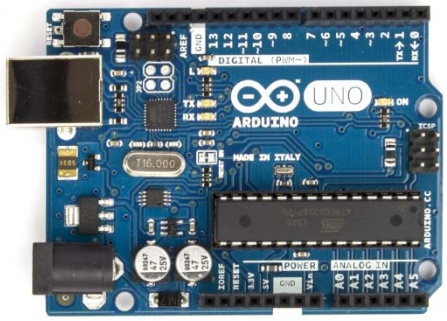
เซนเซอร์วัดค่าสี อุณหภูมิ และความเข้มแสงโดยใช้ IC เบอร์ TCS34725 สามารถตรวจจับสีจากแสงโดยตรง หรือ แสงที่ตกกระทบกับวัตถุ (ควรใช้แสงสีขาวเป็น Light Source สำหรับตรวจจับแสงที่วัตถุ) มีวงจรจัดการแปลงสัญญาณความถี่ออกมาเป็นสัญญาณสื่อสารแบบ I^2C เพื่อความแม่นยำ และความสะดวกในการใช้งาน

<u>คุณสมบัติ</u>

- Using imported chip TCS34725
- Red, Green, Blue (RGB), and Clear Light Sensing with IR Blocking Filter
- 16-Bit digital output with I 2C at 400 kHz
- SYNC Input Synchronizes Integration Cycle to Modulated Light Sources
- Operating temperature range -40°C to 85°C

เซนเซอร์มีคุณสมบัติในการตรวจจับสีพื้นผิวโดยตรงจึงเหมาะแก่การตรวจจับค่าสีของตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้ว

2. บอร์ดวงจรไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R3



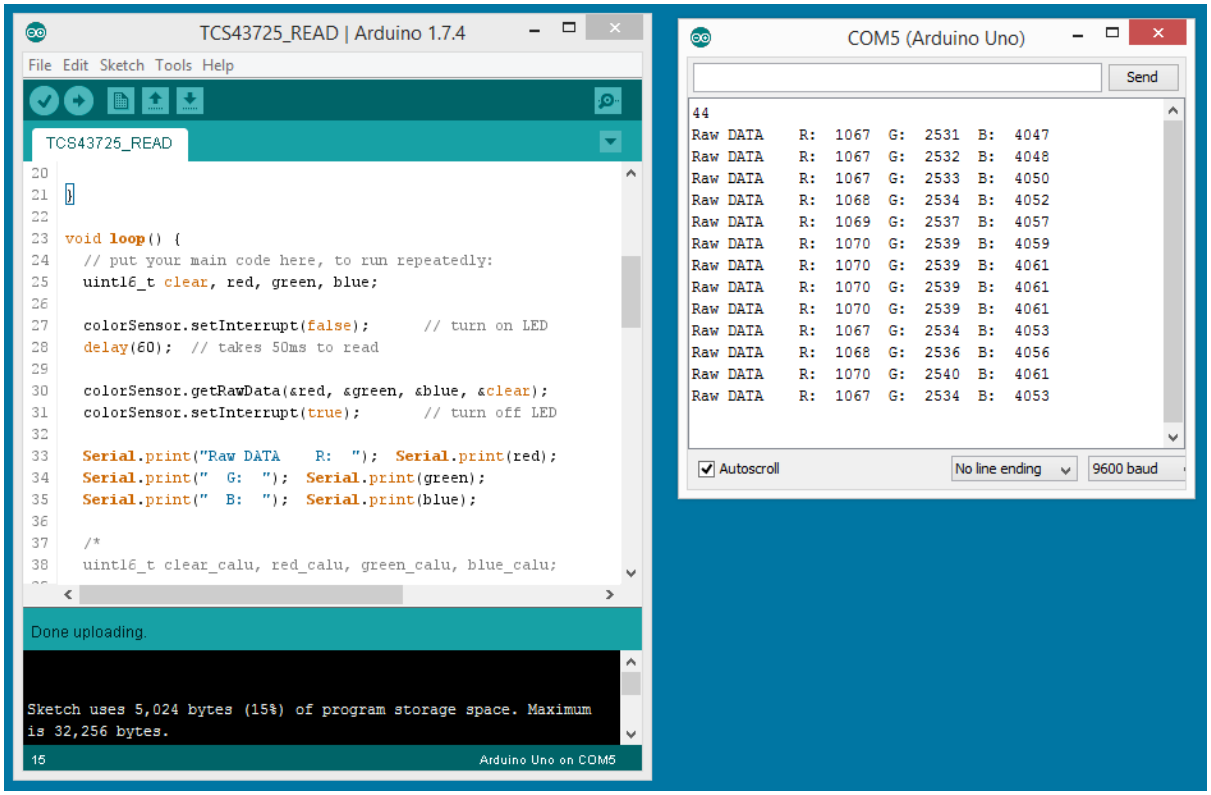
รูปที่ 17 บอร์ดวงจรไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย พร้อมชุดเขียนโปรแกรมบนซอฟท์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB โดยนำมาใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์เพื่อแปลงเป็นค่าระดับสี แล้วแปลงค่าสีเป็นปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผสม

<u>คุณสมบัติ</u>

ไมโครคอนโทรนเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า(แนะนำ)	7-12V
ขาดิจิตอล I/O	14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM
ขาอนาล็อกอินพุต	6 ขา
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

3. โปรแกรม Arduino IDE 1.7.4

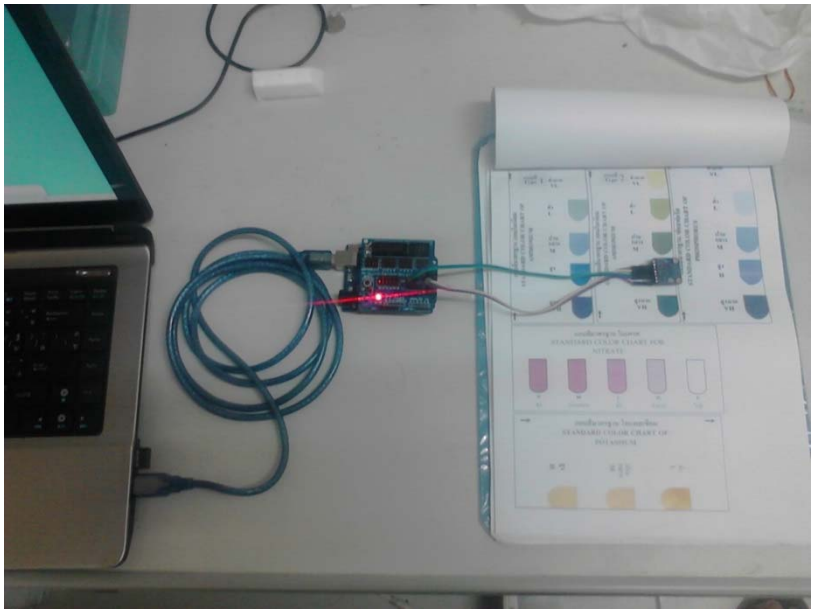


รูปที่ 18 โปรแกรม Arduino IDE 1.7.4

โปรแกรม Arduino เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในการทดลองใช้โปรแกรมความการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่อรับสัญญาณเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 และแปลงค่าออกออกมาเป็นระดับสี RGB

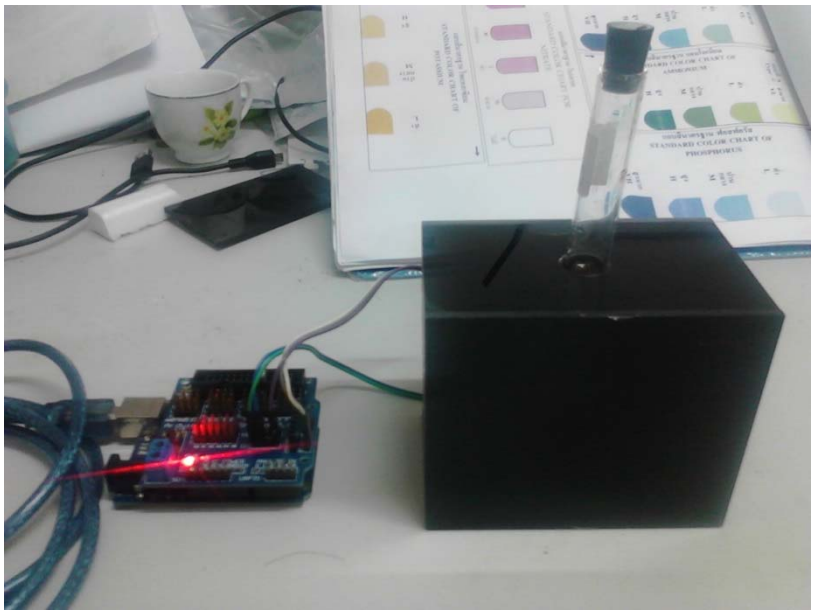
4. การทดลอง

เริ่มจากต่อเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และต่อสาย USB เข้ากับคอมพิวเตอร์ ในขั้นแรกใช้เซนเซอร์อ่านค่าสีจากแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย เป็นข้อมูลเป็นค่าความถี่หน่วยเป็น Hz



รูปที่ 19 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

หลังจากนั้นใช้เซนเซอร์อ่านค่าสีจากผลตรวจปุ๋ย นำค่าที่ได้มาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย แสดงผลออกมาเป็นประมาณปุ๋ยที่มีอยู่ในดิน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ต้องผสมต่อไป

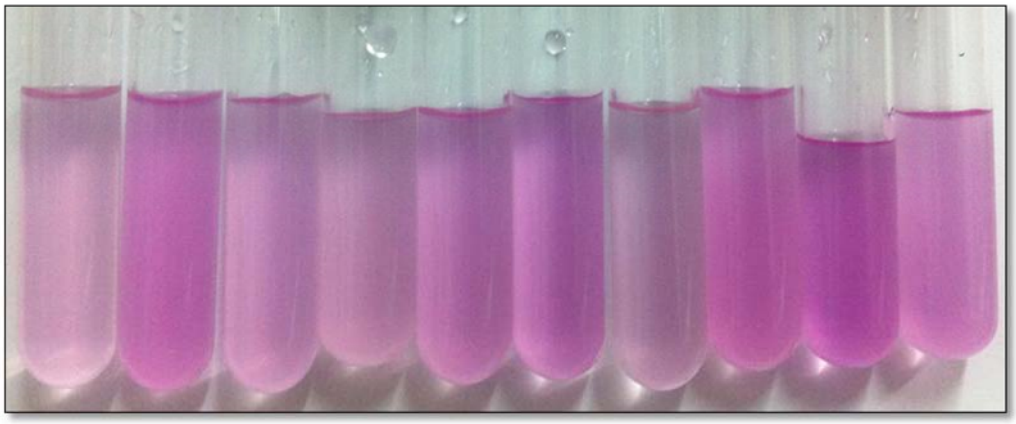


รูปที่ 20 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับขวดวิเคราะห์ดิน

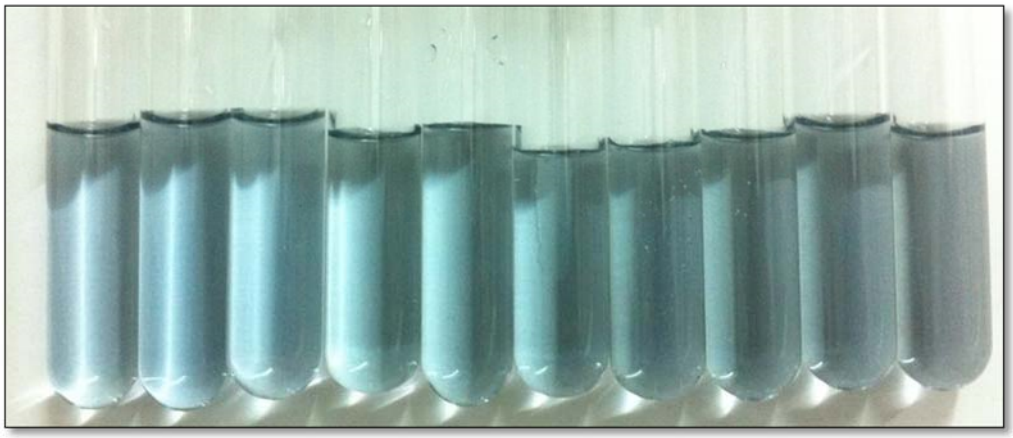
รูปที่ 21 ชนิดดินที่ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและทราบค่าในการวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับชุด KIT

ผลการตรวจสอบธาตุอาหารในดินแต่ละตัวอย่าง

1. ตัวอย่างดินชุดที่ 1



รูปที่ 22 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)

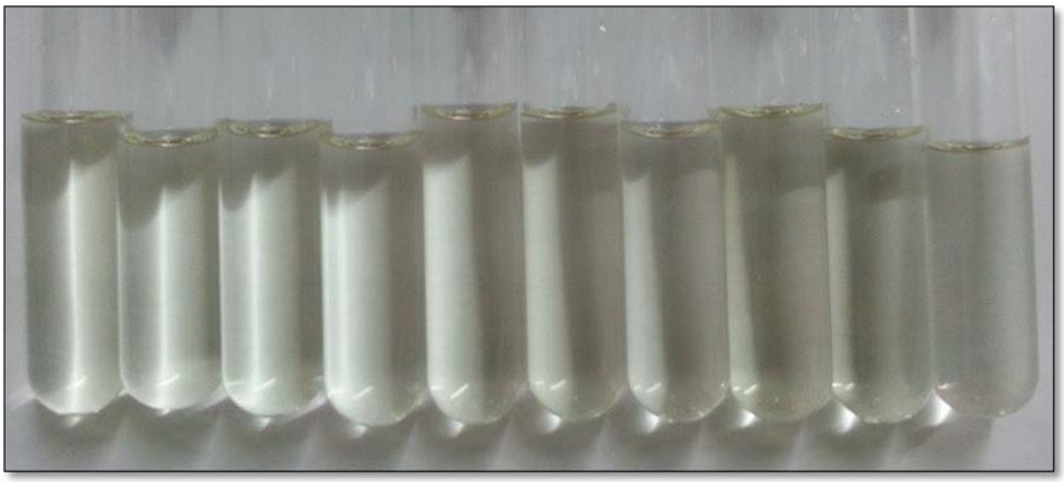


รูปที่ 23 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)

รูปที่ 24 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)

ตัวอย่างดินชุดที่ 2

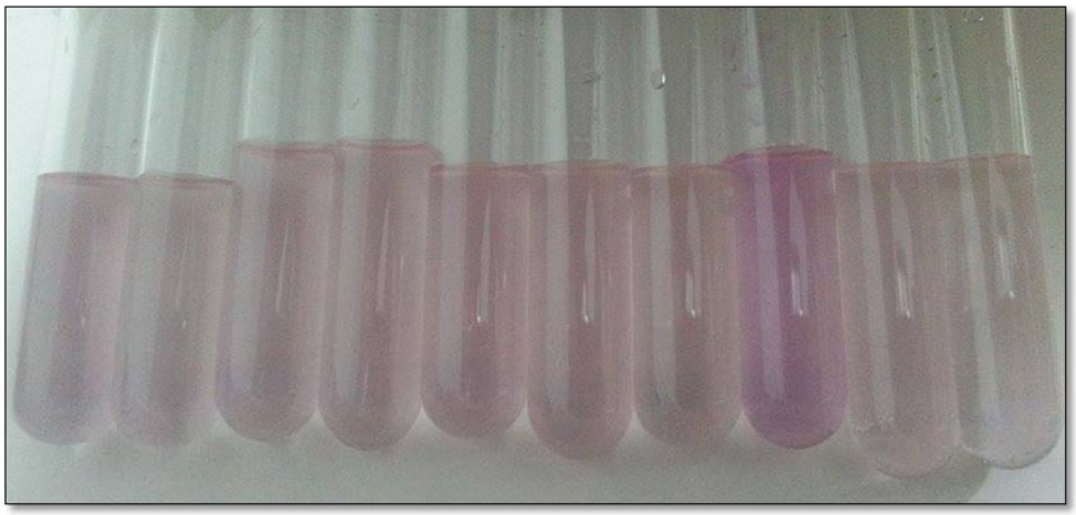
รูปที่ 25 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 2 (ดิน2)



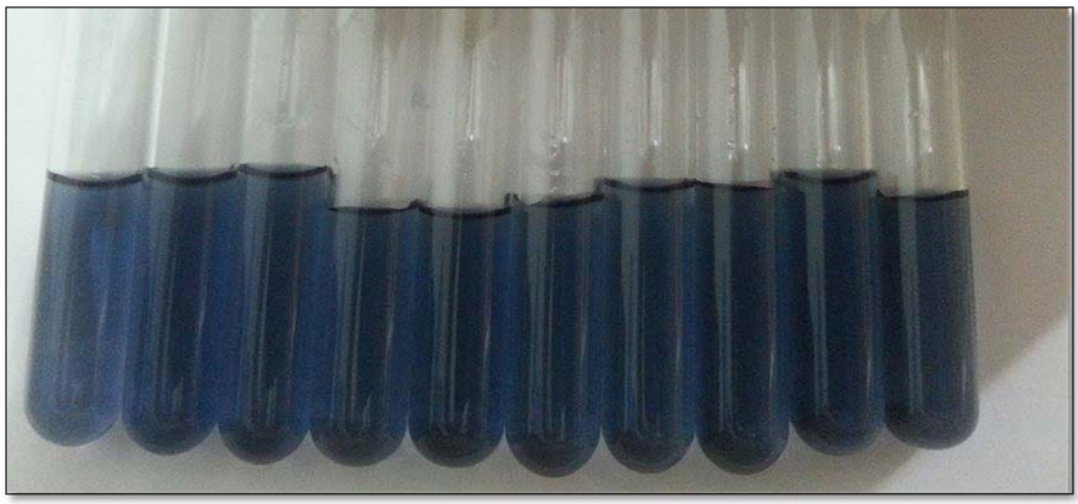
รูปที่ 26 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 2 (ดิน2)

รูปที่ 27 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 2 (ดิน2)

ตัวอย่างดินชุดที่3



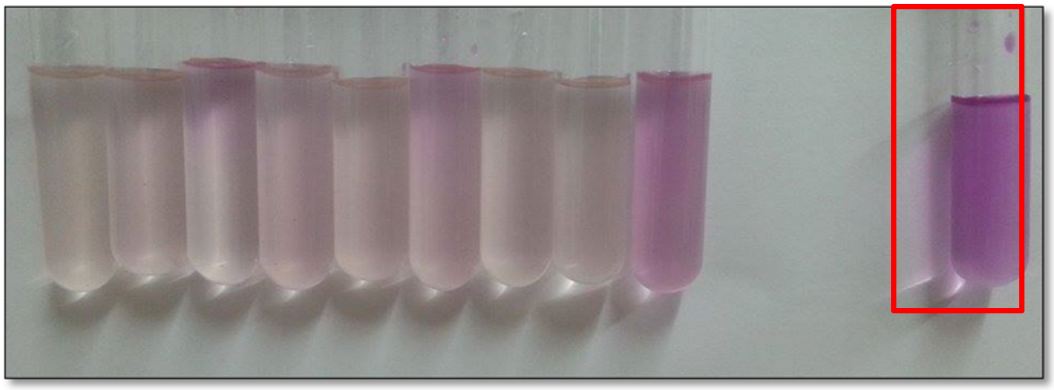
รูปที่ 28 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)



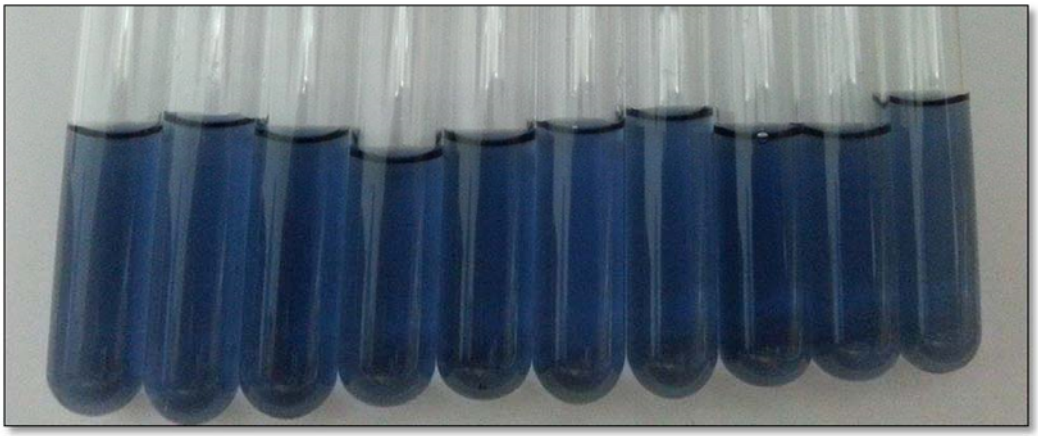
รูปที่ 29 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)

รูปที่ 30 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)

ตัวอย่างดินชุดที่4



รูปที่ 31 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)



รูปที่ 32 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)

รูปที่ 33 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)

จากรูปที่ 31 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 4 (Ng S5) มีผลที่ผิดเพี้ยนไปคือหลอดทดลองที่ 10 ที่มีสัญลักษณ์กรอบสีแดงครอบอยู่ จากการตรวจสอบพบว่าหลอดทดลองซ้ำที่10 มีสีเข้มกว่าหลอดทดลองซ้ำอื่น อาจเนื่องมาจากการทดสอบที่ผิดพลาด จึงทำการตั้งตัวอย่าง 10 ออก ซึ่งจากการวิเคราะห์สีต่างๆสามารถสรุปผลการตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางสรุปผลการตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินแต่ล่ะตัวอย่าง เปรียบเทียบกับแทบสีมาตรฐานของชุดตรวจ

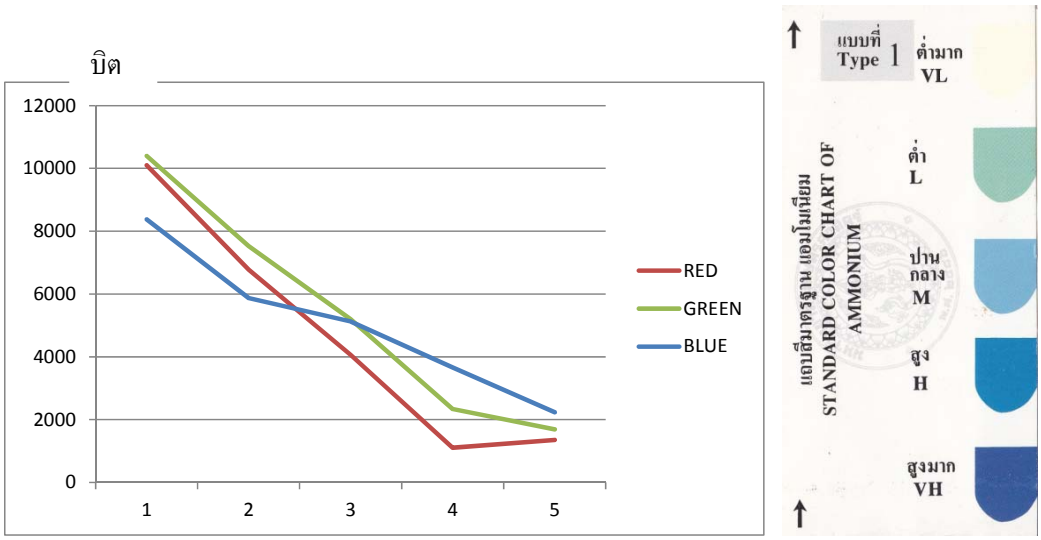
ตัวอย่างดิน	ธาตุอาหารในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์		
	N	P	K
ดินชุดที่ 1 (ดิน1)	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ
ดินชุดที่ 2 (ดิน2)	ต่ำ	ต่ำมาก	ปานกลาง
ดินชุดที่ 3 (Ct S4)	ต่ำมาก	สูงมาก	ปานกลาง
ดินชุดที่ 4 (Ng S5)	ต่ำมาก	สูง	ต่ำ

จากการวิเคราะห์และตรวจธาตุอาหารในดินของชุดตรวจวิเคราะห์พบว่า เมื่อปริมาณ N สูงขึ้นจะมีความแปรปรวนสูง ดังรูปที่ 22 และ 25 ส่วนค่า P และ K มีความสม่ำเสมอในการวิเคราะห์ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อการใช้เซนเซอร์ จากการทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับขวดวิเคราะห์ดิน พบว่าอิทธิพลของขวดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าสี ทำให้คณะผู้วิจัยจึงเปลี่ยนเป็นการใช้สีจากการถ่ายภาพเพื่อการวิเคราะห์

ผลการทดลองและวิเคราะห์เซนเซอร์สีกับการวิเคราะห์ดิน

ระดับสีที่เซนเซอร์อ่านได้จากแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย มีหน่วยเป็นความถี่ บิต ดังแสดงในกราฟดังต่อไปนี้

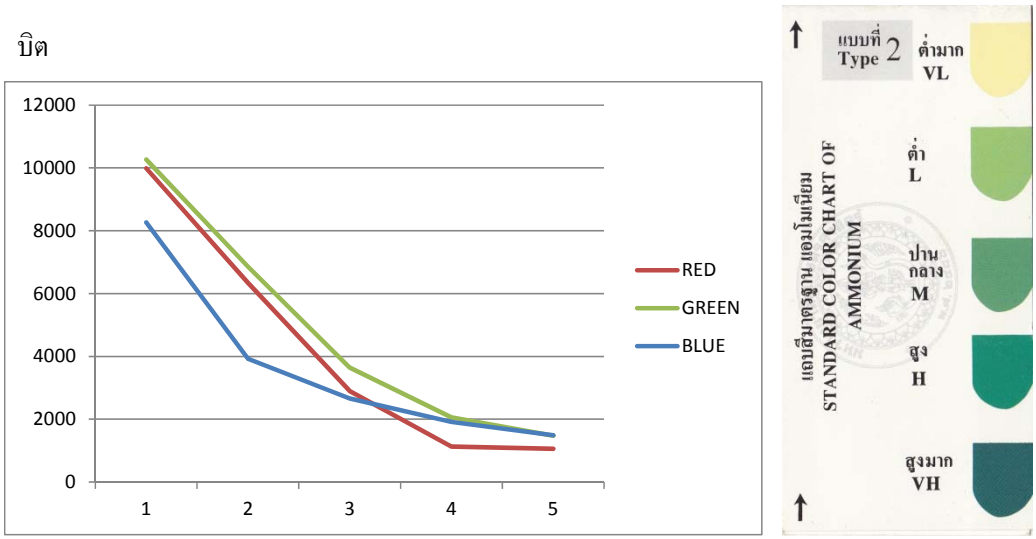
แถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 1



แกนนอน 1 ต่ำมาก 2 ต่ำ 3 ปานกลาง 4 สูง และ 5 สูงมาก

รูปที่ 34 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 1

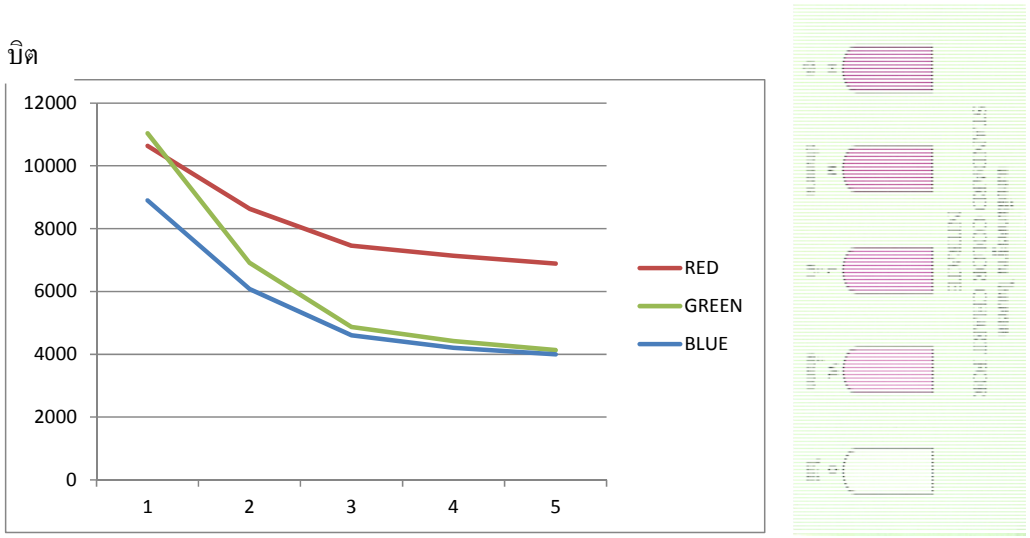
แถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 2



แกนนอน 1 ต่ำมาก 2 ต่ำ 3 ปานกลาง 4 สูง และ 5 สูงมาก

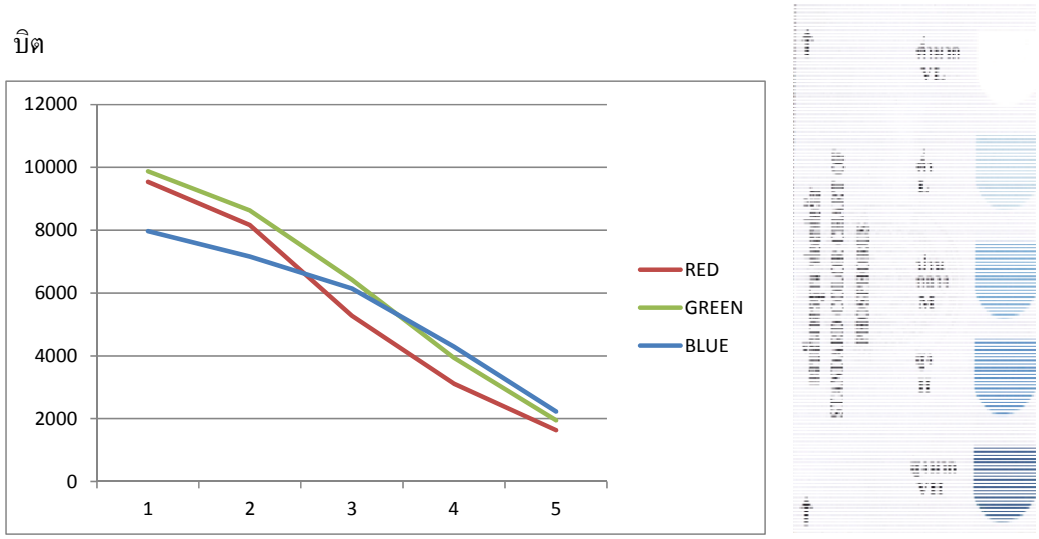
รูปที่ 35 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 2

แถบสีมาตรฐานไนเตรต



รูปที่ 36 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแถบสีมาตรฐานไนเตรต

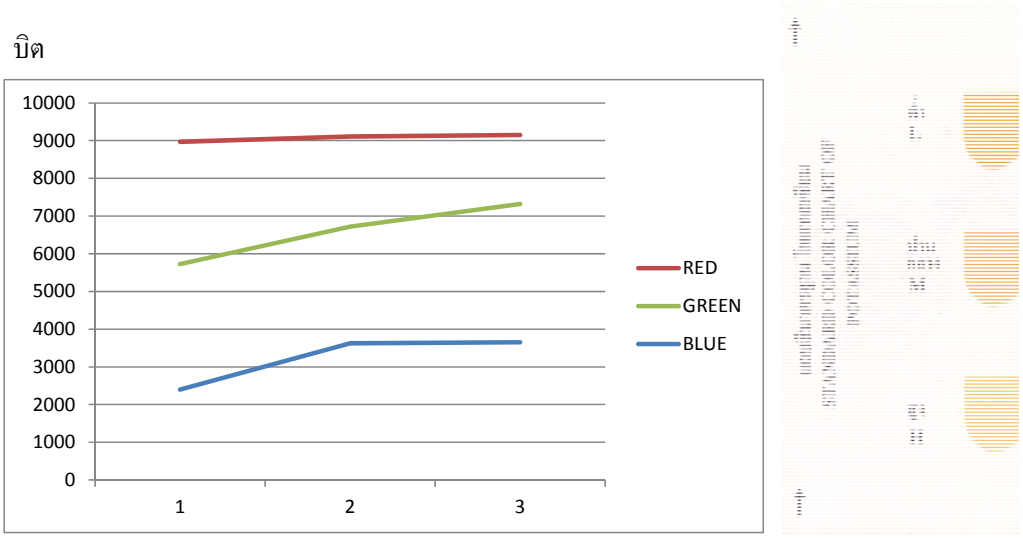
แถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส



แกนนอน 1 ต่ำมาก 2 ต่ำ 3 ปานกลาง 4 สูง และ 5 สูงมาก

รูปที่ 37 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส

แถบสีมาตรฐานโพแทสเซียม



ปริมาณโพแทสเซียม

แกนนอน 1 ต่ำ 2 ปานกลาง และ 3 สูง

รูปที่ 38 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานโพแทสเซียม

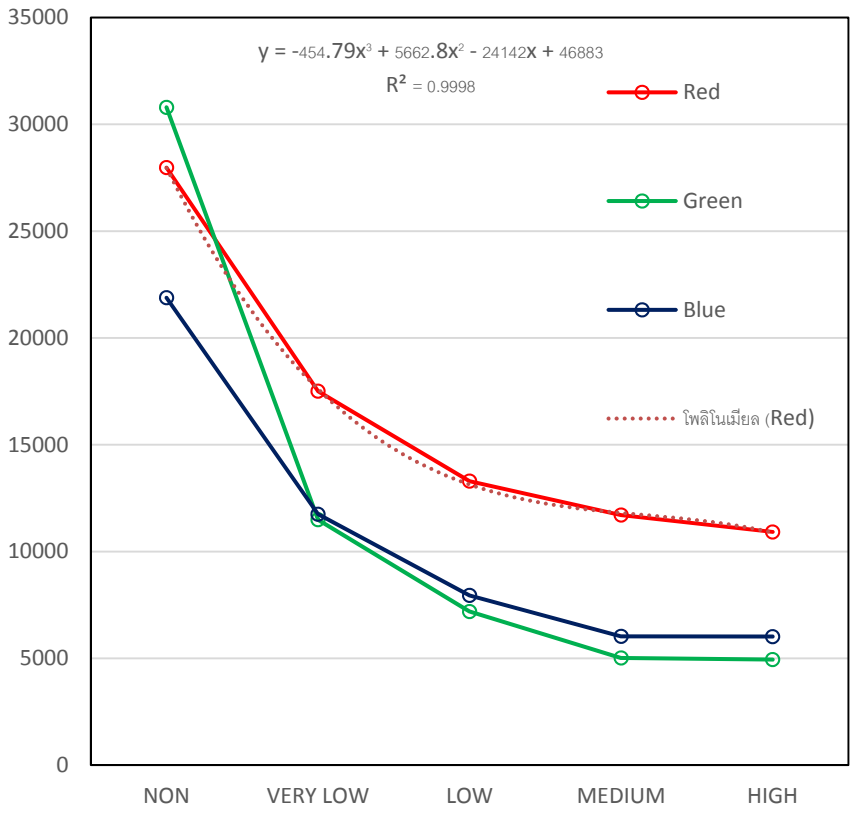
การทดสอบใช้เลนส์รวมแสง

เซนเซอร์อ่านค่าสีนั้นใช้หลักการสะท้อนแสงจากผิวของวัตถุ ดังนั้นเพื่อให้เซนเซอร์สามารถอ่านค่าได้อย่างแม่นยำขึ้นจะต้องใช้เลนส์เพื่อรวมแสงที่สะท้อนกลับมาจากผิวของวัตถุ โดยใช้เลนส์ IR ขนาด 12 มิลลิเมตร มุม 25 องศา ที่มีคุณสมบัติรวมแสงได้ดีใช้รวมแสงตกกระทบที่เซนเซอร์ โดยการทดลองเริ่มจากต่อเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และต่อสาย USB เข้ากับคอมพิวเตอร์ ในขั้นแรกใช้เซนเซอร์อ่านค่าสีจากแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลทางระบบ I2C แปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model คือ ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง (Red), เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) เป็นค่าตัวเลข 16 bits (0 – 65535) เป็นข้อมูลเป็นค่าความถี่หน่วยเป็น Hz หลังจากนั้นใช้เซนเซอร์จะอ่านค่าสีจากผลตรวจปุ๋ย นำค่าที่ได้มาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย แสดงผลออกมาเป็นประมาณปุ๋ยที่มีอยู่ในดิน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ต้องผสมต่อไป ซึ่งจากการศึกษาขั้นต้นการหน่วยความจำขนาด 8 บิต (256) ไม่สามารถจำแนกสีได้อย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นการนำหน่วยความจำ 16 บิต นำมาใช้พบว่าเป็นแนวทางการเพิ่มความละเอียดในการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากผลของการกระจายของสีจำเป็นต้องมีการรวมแสง โดยผลการศึกษาแสดงรูปที่ 41, 43 และ 45

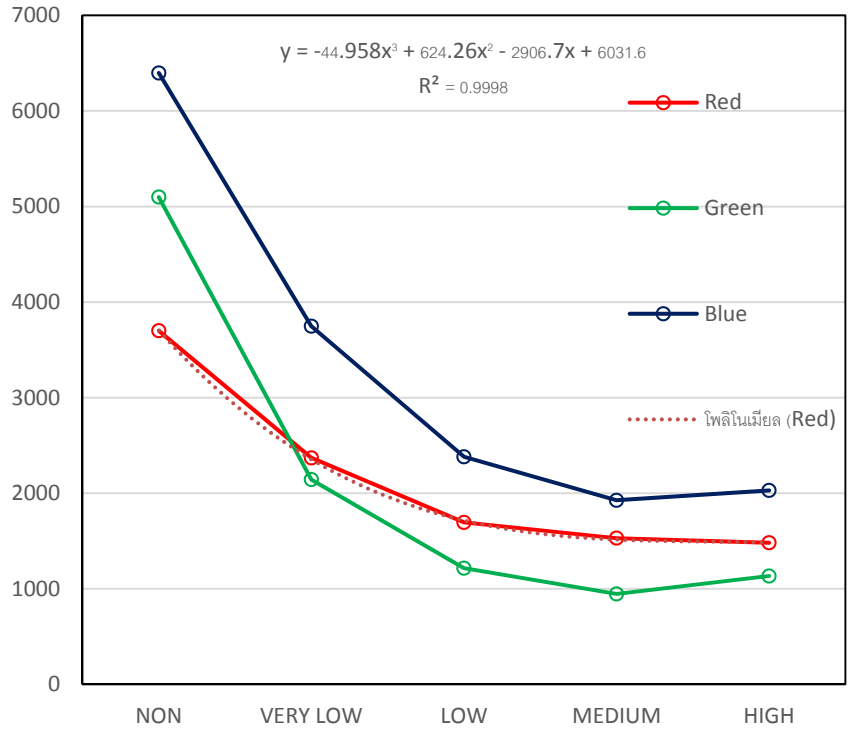
รูปที่ 9.39 เลนส์ IR ขนาด 12 มิลลิเมตร มุม 25 องศา

จากการวิเคราะห์คลื่นความถี่ของแถบสีไนเตรต เส้นสีแดงจะเป็นเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต เนื่องจากเมื่อทำการรวมแสงแล้วจะไม่ส่งผลต่อช่วงที่มีปริมาณไนเตรสูง

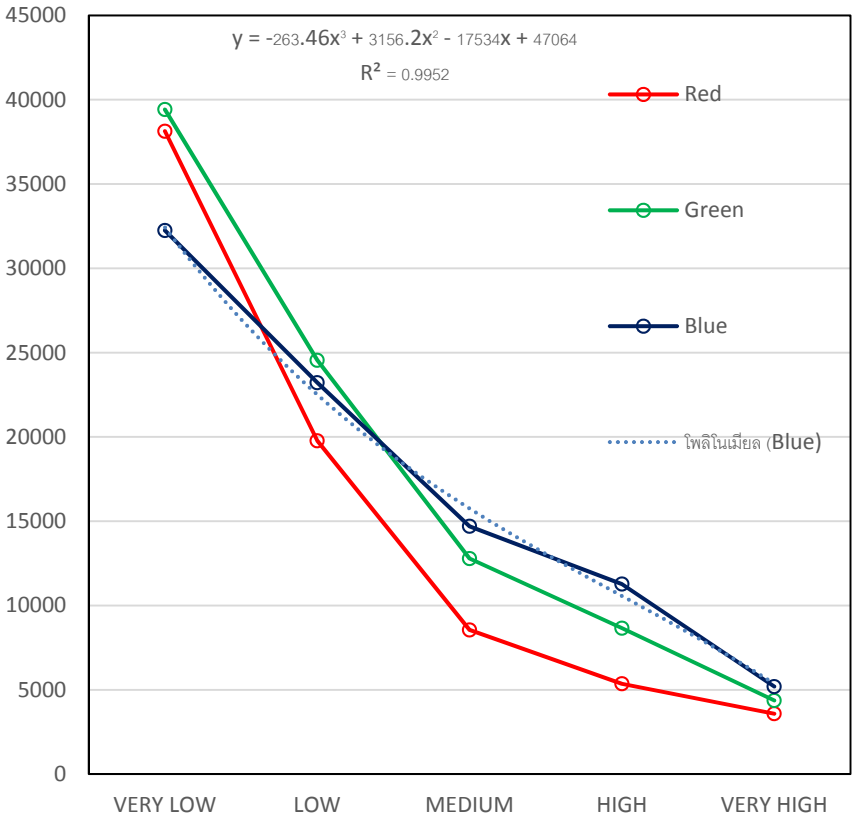
แถบสีมาตรฐานไนเตรต



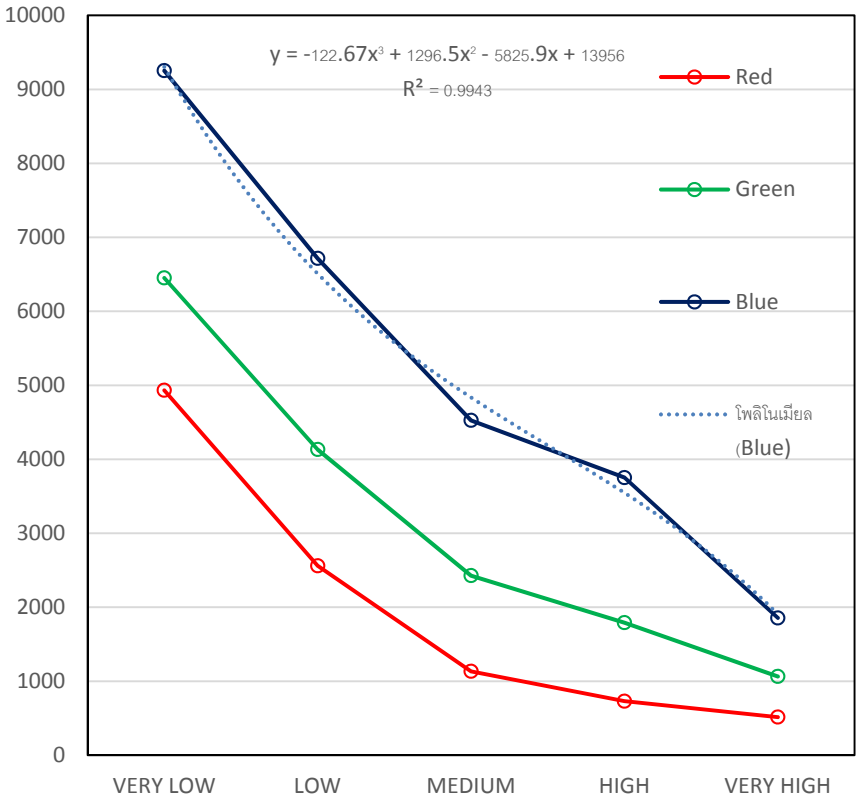
รูปที่ 40 การวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานไนเตรต



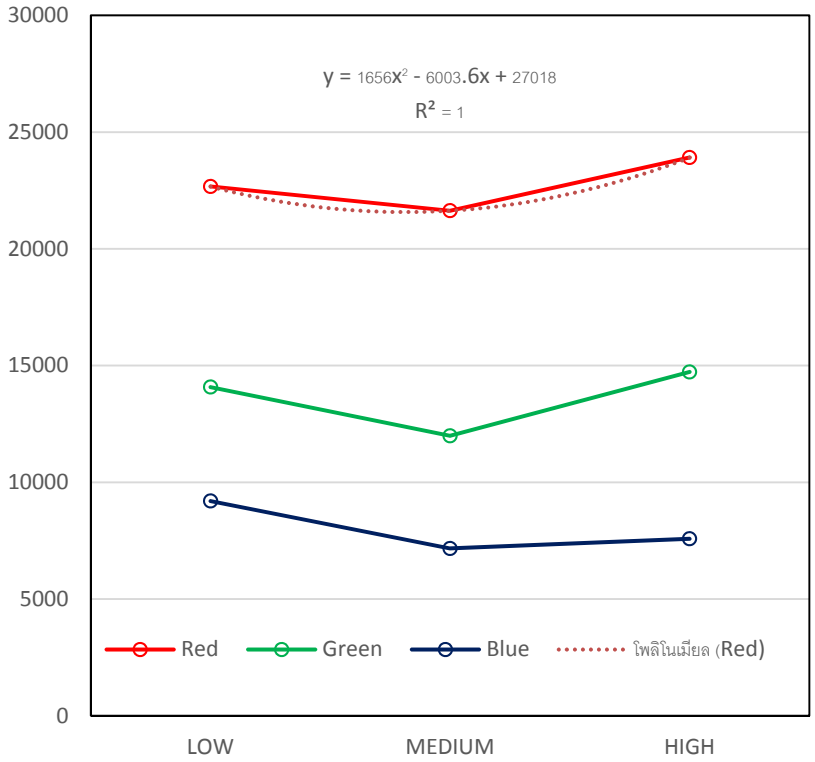
รูปที่ 41 การใช้เลนส์ร่วมกับวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐานไนเตรต



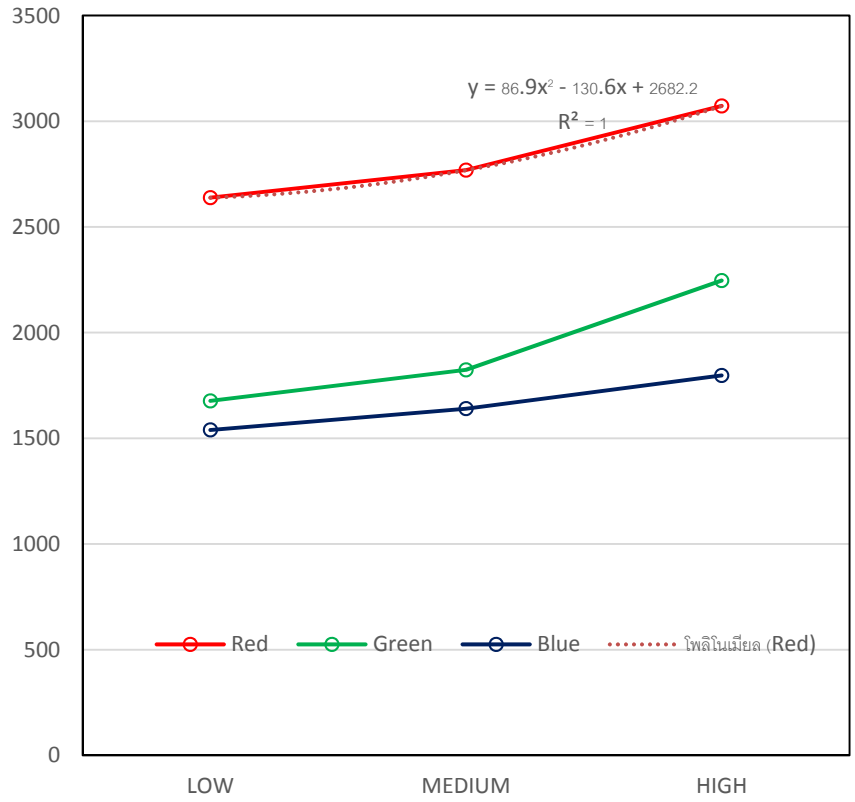
รูปที่ 42 การวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส



รูปที่ 43 การใช้เลนส์ร่วมกับวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส



รูปที่ 44 การวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานโพแทสเซียม



รูปที่ 45 การใช้เลนส์ร่วมกับวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส

จากการทดลองพบว่าเมื่อเทียบการอ่านค่าแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจดินแบบปกติเทียบกับแบบใส่เลนส์นั้น ค่าที่อ่านได้นั้น เส้นกราฟที่ได้มีความชันเพิ่มขึ้นทำให้สามารถแยกปริมาณธาตุอาหารในดินได้ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย โดยเลือกค่าสีมา 1 ชนิด เพื่อใช้ในการแยกปริมาณธาตุอาหารในดินดังนี้

ไนเตรค ใช้สีแดง (RED) ใช้สมการ $y=-44.958x^3 + 624.26x^2 - 2906.7x +6031.6$

$R^2 = 0.9998$

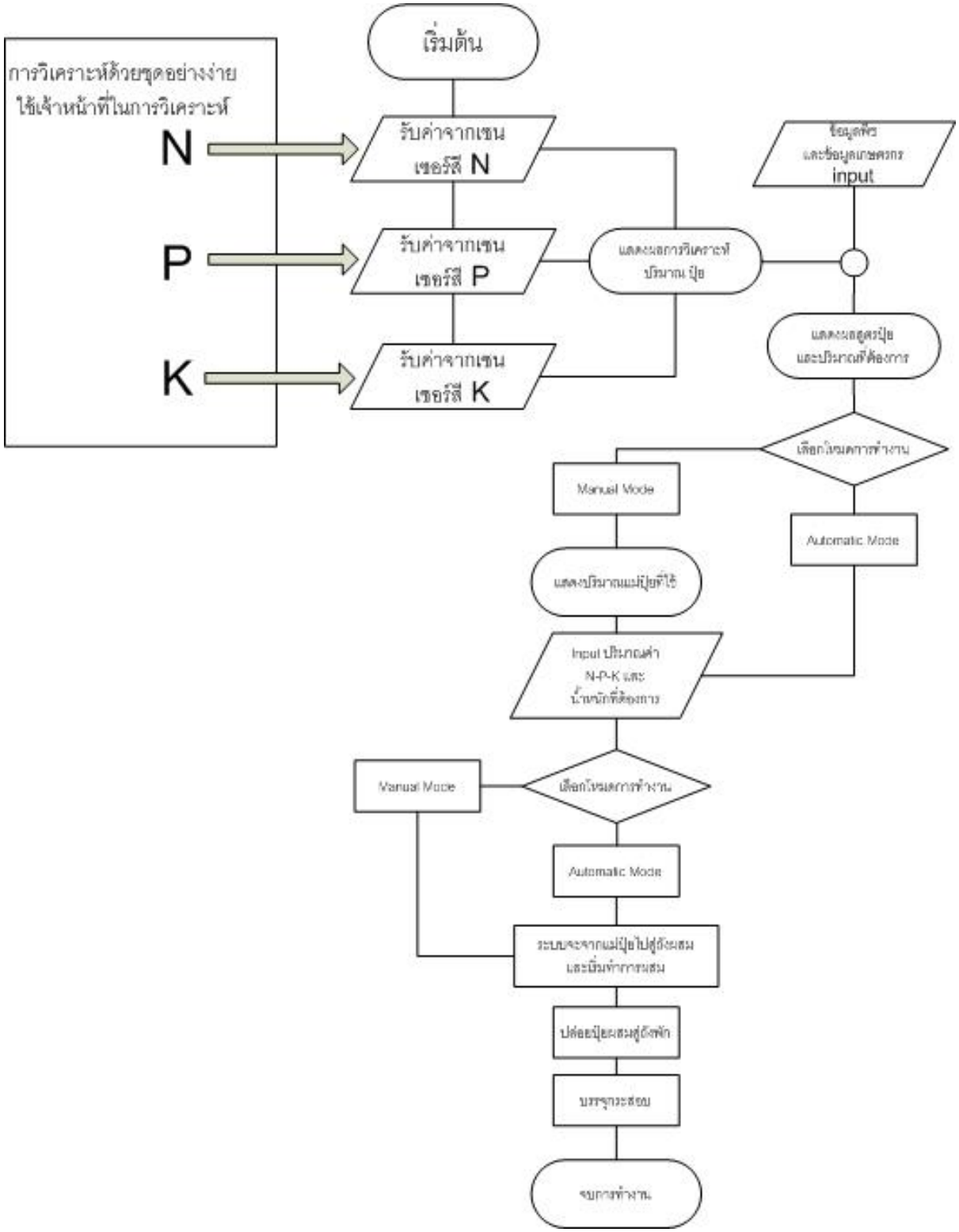
ฟอสฟอรัส ใช้สีน้ำเงิน (BLUE) ใช้สมการ $y = -122.67x^3 + 1296.6x^2 - 5825.9x + 13956$

$R^2 = 0.9943$

โพแทสเซียม ใช้สีแดง (RED) ใช้สมการ $y = 86.9x^2 - 130.6x + 2682.2$

$R^2 = 1$

การพัฒนาระบบควบคุม PLC Development Flow



รูปที่ 46 ระบบควบคุม PLC Development Flow

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย สามารถสรุปผลได้เป็น 2 ส่วน คือ ระบบทางกลของการผสม และระบบการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากชุดวิเคราะห์อย่างง่าย พบว่า 1) การผสมควรมีการเลือกชนิดแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันในการทำปุ๋ยเชิงผสม ซึ่งจะช่วยให้การผสมเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอและลดอิทธิพลจากการแยกตัวของขนาดปุ๋ย โดยปริมาณการผสมไม่ส่งผลต่อสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารในแต่ละช่วงของการบรรจุซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ยจากปุ๋ยเชิงผสม ซึ่งในการผสมปุ๋ยเพื่อการบรรจุสำหรับกลุ่มเกษตรเกษตรควรมีพิกัดความคลาดเคลื่อน +4% เพื่อให้ปุ๋ยที่ผ่านการผสมและทำการสุ่มตรวจอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตาม พรบ. ปุ๋ย 2) การพัฒนาเซนเซอร์และระบบควบคุมเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ พบว่า การใช้เซนเซอร์สีกับชุดตรวจธาตุอาหารในดินอย่างง่ายไม่สามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากการสะท้อนแสงของภาชนะทำผลการวิเคราะห์ไม่คงที่และถูกต้อง เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์จะใช้การถ่ายภาพเพื่อแปลงการสะท้อนของภาพเป็นสี แต่เมื่อในสภาพภาพปกติสีจะมีความแตกต่างและเกิดความแปรปรวนเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินควรใช้ภาพเป็นการวิเคราะห์ และทำการปรับเปรียบเทียบสีมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรง และใช้การรวมแสงเพื่อการแยกชนิดสีจะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีความชันสูงขึ้นและส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารได้อย่างละเอียดมากขึ้น โดยการวิเคราะห์สีแยกเป็น R G B พบว่า ธาตุอาหารสำหรับพืชไร่ เช่นอ้อย การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนจะวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรต ซึ่งพบว่าการใช้สีแดงเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 0.9998 และมีสมการ $y=-44.958x^3 + 624.26x^2 - 2906.7x +6031.6$ ส่วนการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส การใช้สีน้ำเงินเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด เนื่องจากความชันของสมการมีค่ามากที่สุด โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 0.9943 และมีสมการ $y = -122.67x^3 + 1296.6x^2 - 5825.9x + 13956$ ส่วนโพแทสเซียมการใช้สีแดงเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสีน้ำเงิน โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 2 (polynomial equation order 2) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 1 และมีสมการ $y = 86.9x^2 - 130.6x + 2682.2$ ซึ่งสมการทั้ง 3 ได้นำมาเป็นข้อมูลในระบบ PLC ในการประมวลธาตุอาหารในดินเพื่อการผสมปุ๋ย

บทที่ 2

ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม
Testing and Development of a Sugarcane Fertilizer Applicator for Blended fertilizer

ขนิษฐ์ หว่านณรงค์ อัคคพล เสนาณรงค์
Khanit Wannaronk Akkapol Senanarong

พินิจ จิรัคคกุล เวียง อากรชี
Pinit Jirukkakul Weang Arekornchee

อุทัย ธานี
Uthai Thani

คำสำคัญ: เครื่องหยอดปุ๋ย, ปุ๋ยเชิงผสม
Keywords: Fertilizer Applicator , Blended fertilizer

บทคัดย่อ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมในอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้า ขึ้นไป เพื่อใช้กับปุ๋ยที่ผสมเองตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยสามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุมตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้วตามค่าวิเคราะห์ดิน ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่ ใบมีดตัดใบอ้อยแบบกงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย จากการทดสอบในแปลงอ้อย พบว่าเครื่องต้นแบบมีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่

Abstract

A two-row sugarcane fertilizer applicator attached with a 4-wheel tractor (60 hp up) for bulk-blended fertilizer was developed by Agricultural Engineering Research Institute (AERI). It was suitable for farmers who want to follow the site-specific fertilizer recommendations from DOA. Since, it provides a wide range in the application rate. The prototype consisted of 2 hopper, metering mechanisms which provide application rate 7-87 kg/rai, straw cutting disk (toothed edge), delivery tube, reaper and ground wheel. Testing were conducted in sugarcane field. Testing results found that average field capacity was 5.30 rai/h, at average travelling speed of tractor 1.23 m/s, average field efficiency was 65.88% and average fuel consumption was 1.70 lit/rai

บทนำ

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 ยิ่งไปกว่านั้นการใส่ปุ๋ยมากเกินไปนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว ยังทำให้เกิดโรคและแมลงระบาดมากขึ้น และการใช้ไนโตรเจนมากเกินไปทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เพราะปุ๋ยไนโตรเจนจะถูกชะล้างไปกับน้ำได้ง่ายจึงปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินและไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง ในขณะเดียวกันก็ส่งผลกระทบต่อพืช โดยพืชจะมีอาการอวบน้ำ อ่อนแอ เฝือใบ ล้มง่าย เกิดโรคระบาดของโรคและแมลงติดตามมา (ทัศนีย์, 2555)

ในช่วงปี 2540–2551 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยที่มีความแม่นยำสำหรับข้าว ข้าวโพด และอ้อย ต่อมาได้เรียกว่า เทคโนโลยี “ปุ๋ยสั่งตัด” โดยนำข้อมูลพันธุ์พืช แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน และ เอ็น-พี-เค ในดินในขณะนั้น มากำหนดคำแนะนำการใช้ปุ๋ย โดยใช้แม่ปุ๋ยDAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(NH_4)_2SO_4$ (46-0-0) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาผสมกัน (ทัศนีย์, 2555)

กรมวิชาการเกษตร (2553) ได้ออกคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว พืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ปาล์มน้ำมัน ยางพารา โดยมีคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยตามลักษณะเนื้อดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งคำแนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินดังกล่าวมีช่วงกว้าง ตัวอย่างเช่น คำแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับอ้อยมีตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้เกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำปุ๋ยที่ได้พัฒนาขึ้นมาได้ เนื่องจากเครื่องใส่ปุ๋ยอยู่ในปัจจุบันจะใส่ปุ๋ยได้ปริมาณเดียว หรือเปลี่ยนอัตราหยอดได้เล็กน้อยโดยการซื้อเฟืองโซ่มาเปลี่ยน

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยผสมตามค่าวิเคราะห์ดินติดพ่วงรถแทรกเตอร์สำหรับอ้อย เพื่อใส่ปุ๋ยได้ครอบคลุมตามอัตราการใส่ที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร เครื่องใส่ปุ๋ยดังกล่าวจะมีส่วนสนับสนุนให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมากขึ้น ทำให้เกิดการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการสูญเสียทรัพยากรได้ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายปรับโครงสร้างเศรษฐกิจภาคเกษตร เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยตามคุณสมบัติของดินแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาคุณภาพผลผลิต

ระเบียบวิธีการวิจัย

1) ตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง และสำรวจข้อมูลการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และแนวทางการออกแบบเครื่องต้นแบบแนวทางการออกแบบเครื่องต้นแบบ

2) ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยผสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว โดยมีถังปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้ว ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้กว้าง ใบมีดตัดใบอ้อย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย

3) ทดสอบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ และปรับปรุงแก้ไขต้นแบบ เพื่อให้ได้สูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยที่ถูกต้องตามทฤษฎี

4) ทดสอบการทำงานจริงของเครื่องต้นแบบในแปลงของเกษตรกรที่ปลูกอ้อย เพื่อหาค่าความสามารถการทำงานจริงในสนาม ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และความถูกต้องของอัตราการใส่ปุ๋ยในแปลงจริง

5) วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสรุปผลการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลการทำงาน ข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องต้นแบบ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเผยแพร่เครื่องต้นแบบให้กับกลุ่มเกษตรกรที่มีความเหมาะสมในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติ

สถานที่ทำการทดลอง/วิจัย

- สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ
- แปลงปลูกพืชของเกษตรกร

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558 รวม 2 ปี

ผลการทดลองและวิจารณ์

การใส่ปุ๋ยเคมีในอ้อย

กรมวิชาการเกษตร (2555) ได้แนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในพืชเศรษฐกิจสำหรับอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 การใช้ปุ๋ยเคมีกับอ้อยปลูก

แบบที่	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	อินทรียวัตถุ (OM)%	ฟอสฟอรัส (P) มก./กก.	โพแทสเซียม (K) มก./กก.	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	<1	<15 หรือ >15	<90	17	13	20	50	17
2	<1	<15 หรือ >15	>90	17	13	10	40	17
3	>1	<15 หรือ >15	<90	10	13	20	44	10
4	>1	<15 หรือ >15	>90	10	13	10	34	10

ตารางที่ 2 การใช้ปุ๋ยเคมีกับอ้อยตอ

แบบที่	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	อินทรียวัตถุ (OM)%	ฟอสฟอรัส (P) มก./กก.	โพแทสเซียม (K) มก./กก.	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	<1	<15	<60	21	26	40	87	21
2	<1	<15	>60	21	26	30	77	21
3	<1	>15	<60	22	20	40	82	22
4	<1	>15	>60	22	20	30	72	22
5	>1	<15	<60	14	26	40	81	14
6	>1	<15	>60	14	26	30	71	14
7	>1	>15	<60	16	20	40	75	16
8	>1	>15	>60	16	20	30	65	16

ในปี 2542 ทัศนีย์และคณะ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ประดิษฐ์ชุดตรวจสอบ เอ็น-พี-เค ในดิน ซึ่งชุดตรวจดินอย่างง่ายนี้มีความรวดเร็วในการประมวลผลเพียง 30 นาที ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์สมบัติของดินในแปลงเกษตรกร ที่ไม่ต้องการผลที่มีความแม่นยำสูงมากเทียบเท่าระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณสูงต่ำของปริมาณธาตุอาหาร จากนั้นจึงเลือกใช้สูตรปุ๋ยและอัตราตามตารางที่แนะนำ โดยใช้ปุ๋ยหลักที่มี

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยโปแตสเซียม ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาผสมกัน คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูก ดังแสดงในตารางที่ 3 และคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับสำหรับอ้อยตอ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 คำแนะนำการใช้ปุ๋ย เอ็น-พี-เค สำหรับอ้อยปลูก

แบบ	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	เอ็น (N)	พี (P)	เค (K)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	8	13	20	41	14
2	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	8	13	10	31	14
3	ต่ำ	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	11	7	20	38	14
4	ต่ำ	สูง	สูง	11	7	10	28	14
5	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	2	13	20	35	7
6	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	2	13	10	25	7
7	ปานกลาง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	4	7	20	31	7
8	ปานกลาง	สูง	สูง	4	7	10	21	7

ตารางที่ 4 คำแนะนำการใช้ปุ๋ย เอ็น-พี-เค สำหรับอ้อยตอ

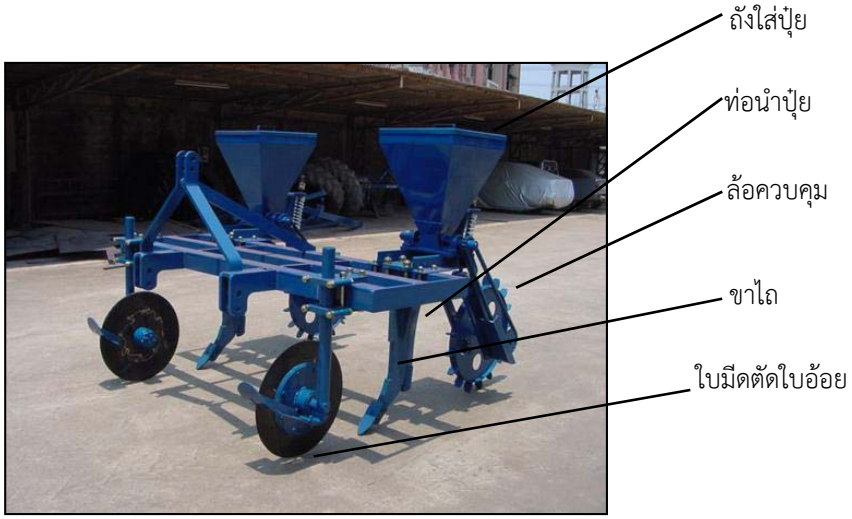
แบบ	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	เอ็น (N)	พี (P)	เค (K)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	12	20	30	62	20
2	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	12	20	20	52	20
3	ต่ำ	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	15	13	30	58	20
4	ต่ำ	สูง	สูง	15	13	20	48	20
5	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	6	20	30	56	13
6	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	6	20	20	46	13
7	ปานกลาง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	8	13	30	51	13
8	ปานกลาง	สูง	สูง	8	13	20	41	13

จากคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยทั้งของกรมวิชาการเกษตร และของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าอัตราการใช้ปุ๋ยครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยหลักที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (18-46-0) ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) และปุ๋ยโปแตสเซียม (0-0-60) อยู่ในช่วง 21-87 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใช้ปุ๋ยครั้งที่ 2 เป็นปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) อยู่ในช่วง 7-22 กิโลกรัม/ไร่ ดังนั้นจะต้องออกแบบชุดเฟืองโซ่ให้ปรับอัตราหยอดตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่ และสามารถเลือกเปลี่ยนเฟืองโซ่ได้ง่าย

เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อยที่ใช้ในประเทศ

เครื่องฝังปุ๋ยที่เกษตรกรใช้สำหรับบำรุงอ้อยตอภายในประเทศ จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ปลูกในแต่ละภาคซึ่งมีผลจากห่างระหว่างร่องของอ้อย 80-150 ซม. ชนิดของเครื่องมีทั้งแบบ 2 หรือ 4 ขาไถ อัตราการฝังปุ๋ย 30-75 กิโลกรัมต่อไร่ เกษตรกรจะฝังปุ๋ยลึก 10-30 ซม. อัตราการทำงาน 6-10 ไร่/วัน ใช้ต้นกำลังรถแทรกเตอร์ขนาด 80 แรงม้าขึ้นไป โดยเกษตรกรจะรีบฝังปุ๋ยทันทีหลังเก็บเกี่ยวอ้อย ส่วนปริมาณปุ๋ยที่ใช้เกษตรกรจะพิจารณาจากสภาพของดินและน้ำที่อ้อยจะได้รับ เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการวิเคราะห์ดินก่อนใส่ปุ๋ยเนื่องจากเห็นว่ามีความยุ่งยาก

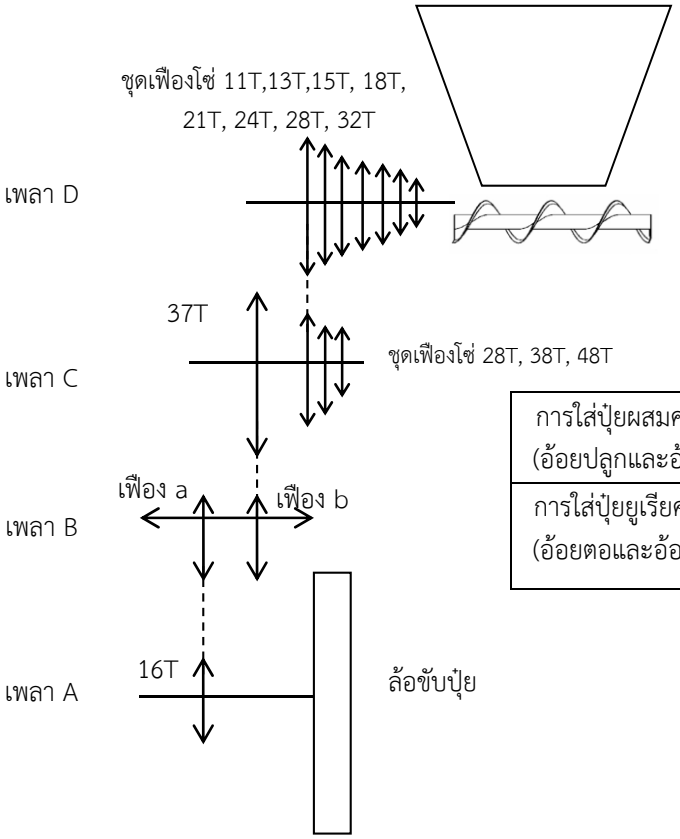
เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับใส่ปุ๋ยในระดับที่รากอ้อย คือเครื่องฝังปุ๋ย มีส่วนประกอบหลักคือถังใส่ปุ๋ย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน ใบมีดตัดใบอ้อย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 1 การใช้งานของเกษตรกรจะใช้รถแทรกเตอร์ลากพ่วงเครื่องฝังปุ๋ยคร่อมระหว่างแถวอ้อย ใช้กดขาไถเข้าไปในดินความลึก 10-30 ซม. ขณะเคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดินทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ทำให้ปุ๋ยไหลมาตามท่อนำปุ๋ยเข้าสู่ร่องดินที่ขาไถเปิดไว้ (วิชัย และคณะ, 2556)



รูปที่ 1 เครื่องฝังปุ๋ยที่จำหน่ายในท้องตลาด
ที่มา: วิชัย และคณะ (2556)

การพัฒนาต้นแบบ

ในปี 2557 ได้ทำการพัฒนาเครื่องต้นแบบจากเครื่องฝั่งปุ๋ยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ที่เกษตรกรนิยมใช้ของบริษัท ก.แสงยนต์ ลูกแก จำกัด ซึ่งเป็นเครื่องใส่ปุ๋ยระดับที่รากอ้อยความลึก 10-30 ซม. ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือถังใส่ปุ๋ย ใบมีดตัดใบอ้อย ขาไถเปิดร่องดิน ท่อนำปุ๋ย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย ทำการพัฒนาเพื่อให้ปรับอัตราการใส่ปุ๋ยอ้อยได้ตามค่าวิเคราะห์ดิน ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เป็นการใส่ปุ๋ยผสมอัตราตั้งแต่ 33.5-87.0 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เป็นการใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตราตั้งแต่ 10.5-22.5 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ชุดเฟืองโซ่ของจักรยานยี่ห้อ SHIMANO ซึ่งมีเฟืองโซ่สับจานหน้าขนาด 28, 38 และ 48 ฟัน และชุดเฟืองโซ่ดุมล้อหลังจักรยานขนาด 11, 13, 15, 18, 21, 24, 28 และ 32 ฟัน ซึ่งสามารถเลือกเกียร์ได้ 24 แบบ มาติดตั้งกับชุดเกลียวลำเลียงปุ๋ย เพื่อเปลี่ยนรอบหมุนของเกลียวลำเลียงเพื่อให้ได้อัตราการใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ผังชุดเฟืองโซ่ถ่ายทอดกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2



การใส่ปุ๋ยผสมครั้งที่ 1 (อ้อยปลูกและอ้อยตอ)	a = 16 ฟัน b = 24 ฟัน
การใส่ปุ๋ยยูเรียครั้งที่ 2 (อ้อยตอและอ้อยปลูก)	a = 24 ฟัน b = 16 ฟัน

รูปที่ 2 ชุดเฟืองโซ่ถ่ายทอดกำลัง

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ได้ทำการทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ยที่เกียร์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ โดยหมุนล้อขับจำนวน 10 รอบ และชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ ค่าอัตราการใส่ปุ๋ยผสม NPK (ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.947 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) และปุ๋ยยูเรีย (ความหนาแน่นปุ๋ย เท่ากับ 0.7282 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยตอครั้งที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 อย่างไรก็ตามอัตราการใส่ปุ๋ยที่คำนวณได้ขึ้นกับความหนาแน่นของปุ๋ยสูตรต่างๆ ก่อนการทดสอบจริงจำเป็นต้องสอบเทียบอัตราของปุ๋ยที่ใช้ก่อน และการสอบเทียบต้องทำในแปลงทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากในดินที่มีความชื้นสูงล้อขับปุ๋ยอาจเกิดการลื่นไถลได้ถึง 10%

ตารางที่ 5 อัตราปุ๋ยผสม NPK (กิโลกรัม/ไร่) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยตอครั้งที่ 1

เฟืองขับ	เฟืองตาม	อัตราทด	น้ำหนักปุ๋ยผสม NPK (กรัม/10รอบ)	อัตราปุ๋ยผสม NPK ที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูกต่างๆ (กิโลกรัม/ไร่)				
				1.2 ม.	1.3 ม.	1.4 ม.	1.5 ม.	1.6 ม.
28	11	2.545	1145.80	81.70	75.41	70.03	65.36	61.27
	13	2.154	942.23	67.18	62.01	57.58	53.75	50.39
	15	1.867	822.80	58.67	54.15	50.29	46.93	44.00
	18	1.556	689.85	49.19	45.40	42.16	39.35	36.89
	21	1.333	609.00	43.42	40.08	37.22	34.74	32.57
	24	1.167	537.30	38.31	35.36	32.84	30.65	28.73
	28	1.000	461.47	32.90	30.37	28.20	26.32	24.68
	32	0.875	357.660	25.50	23.54	21.86	20.40	19.13
38	11	3.455	1462.18	104.26	96.24	89.36	83.40	78.19
	13	2.923	1243.30	88.65	81.83	75.98	70.92	66.49
	15	2.533	1064.80	75.92	70.08	65.08	60.74	56.94
	18	2.111	914.23	65.19	60.17	55.87	52.15	48.89
	21	1.810	758.86	54.11	49.95	46.38	43.29	40.58
	24	1.583	704.200	50.21	46.35	43.04	40.17	37.66
	28	1.357	587.610	41.90	38.67	35.91	33.52	31.42
	32	1.188	526.67	37.55	34.66	32.19	30.04	28.16
48	11	4.364	1878.20	133.92	123.62	114.79	107.13	100.44
	13	3.692	1572.76	112.14	103.51	96.12	89.71	84.10
	15	3.200	1370.40	97.71	90.19	83.75	78.17	73.28
	18	2.667	1136.48	81.03	74.80	69.46	64.83	60.77
	21	2.286	984.76	70.21	64.81	60.18	56.17	52.66
	24	2.000	862.97	61.53	56.80	52.74	49.22	46.15
	28	1.714	733.700	52.31	48.29	44.84	41.85	39.24
	32	1.500	625.800	44.62	41.19	38.25	35.70	33.47

หมายเหตุ: ที่ความหนาแน่นปุ๋ย (Bulk density) เท่ากับ 0.947 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6 อัตราปุ๋ยยูเรีย (กิโลกรัม/ไร่) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยตอครั้งที่ 2

เฟืองขับ	เฟืองตาม	อัตราทด	น้ำหนักปุ๋ยยูเรีย (กรัม/10รอบ)	อัตราปุ๋ยยูเรียที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูกต่างๆ (กิโลกรัม/ไร่)				
				1.2 ม.	1.3 ม.	1.4 ม.	1.5 ม.	1.6 ม.
28	11	2.545	451.20	32.17	29.70	27.58	25.74	24.13
	13	2.154	405.65	28.92	26.70	24.79	23.14	21.69
	15	1.867	380.79	27.15	25.06	23.27	21.72	20.36
	18	1.556	273.52	19.50	18.00	16.72	15.60	14.63
	21	1.333	252.90	18.03	16.65	15.46	14.43	13.52
	24	1.167	250.60	17.87	16.49	15.32	14.29	13.40
	28	1.000	193.53	13.80	12.74	11.83	11.04	10.35
	32	0.875	158.33	11.29	10.42	9.68	9.03	8.47
38	11	3.455	651.24	46.43	42.86	39.80	37.15	34.83
	13	2.923	560.47	39.96	36.89	34.25	31.97	29.97
	15	2.533	463.20	33.03	30.49	28.31	26.42	24.77
	18	2.111	393.23	28.04	25.88	24.03	22.43	21.03
	21	1.810	342.80	24.44	22.56	20.95	19.55	18.33
	24	1.583	322.95	23.03	21.26	19.74	18.42	17.27
	28	1.357	264.88	18.89	17.43	16.19	15.11	14.16
	32	1.188	208.64	14.88	13.73	12.75	11.90	11.16
48	11	4.364	772.27	55.06	50.83	47.20	44.05	41.30
	13	3.692	654.33	46.65	43.07	39.99	37.32	34.99
	15	3.200	585.32	41.73	38.52	35.77	33.39	31.30
	18	2.667	514.42	36.68	33.86	31.44	29.34	27.51
	21	2.286	446.82	31.86	29.41	27.31	25.49	23.89
	24	2.000	388.31	27.69	25.56	23.73	22.15	20.77
	28	1.714	328.87	23.45	21.65	20.10	18.76	17.59
	32	1.500	271.34	19.35	17.86	16.58	15.48	14.51

หมายเหตุ: ที่ความหนาแน่นปุ๋ย (Bulk density) เท่ากับ 0.7282 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

การทดสอบต้นแบบเบื้องต้น

นำเครื่องต้นแบบซึ่งเป็นแบบแถวเดียวไปทดสอบในแปลงอ้อยของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการทำงาน โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 6600 ขนาด 77 แรงม้า ใช้เกียร์ Low 2 ความเร็วรถแทรกเตอร์ประมาณ 0.5 เมตร/วินาที จากการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้โดยไม่ชำรุด ฝังปุ๋ยได้ลึกประมาณ 15 ซม. แต่เมื่อเครื่องต้นแบบทำงานในสภาพแปลงที่ใบอ้อยจำนวนมาก จานสับใบอ้อยไม่สามารถตัดใบอ้อยได้ขาด จึงทำให้เกิดการสะสมใบดังรูปที่ 3

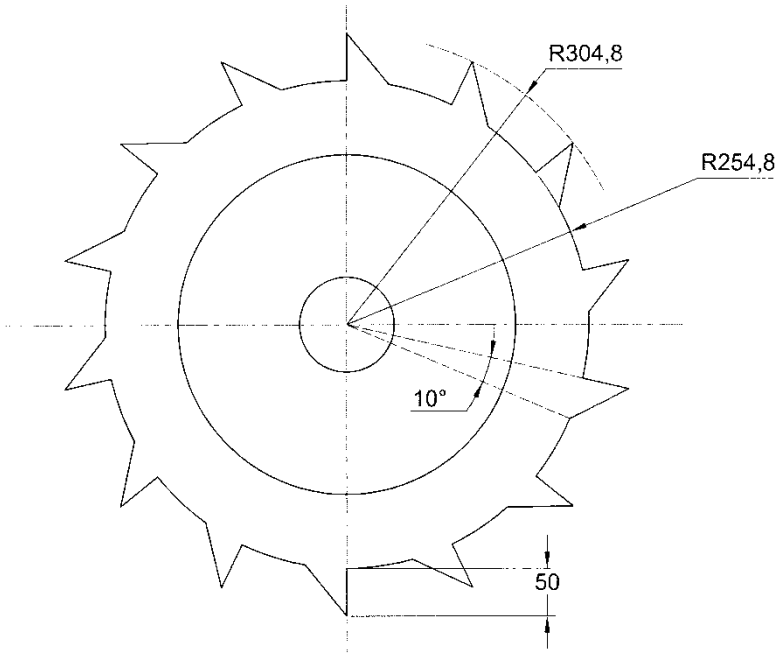
จากการศึกษารูปแบบของจานตัดเศษซากอ้อยในต่างประเทศ พบว่าใบตัดแบบที่มีลักษณะเป็นซี่จะช่วยลดแรงตัดใบอ้อยทั้งแรงในแนวราบ แนวดิ่ง และแรงบิดได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับแบบใบตัดเรียบ (Bianchini et al, 2014) จึงได้ดำเนินการสร้างใบตัดเป็นแบบซี่ รูปที่ 4

รูปที่ 3 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น ใบอ้อยสะสมเนื่องจากสับใบไม่ขาด

รูปที่ 4 ใบตัดที่สร้างขึ้นใหม่

ได้เครื่องต้นแบบที่ออกแบบใบตัดใหม่ไปทดสอบในแปลง พบว่าใบตัดแบบชี่มีแนวโน้มตัดใบได้ดี แต่เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดขนาด 22 นิ้ว มีขนาดเล็กเกินไปเมื่อนำมาตัดเป็นกงจักรแล้วมีส่วนใบที่จะเฉือนน้อยทำให้ตัดใบไม่ขาดในบางช่วงที่ใบอ้อยหนา (รูปที่ 5) จึงได้ออกแบบใหม่ให้ใช้ใบจานแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว จำนวน 2 ใบ มาตัดดังรูปที่ 6 และสร้างต้นแบบใหม่เป็นแบบแถวคู่เพื่อให้ทำงานได้ครั้งละ 2 แถว

รูปที่ 5 ทดสอบใบตัดแบบกงจักรที่สร้างขึ้นใหม่ในแปลง



รูปที่ 6 ใบตัดแบบกงจักรที่ออกแบบใหม่

ได้ทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นในแปลงอ้อยอายุประมาณ 3 เดือน อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก (รูปที่ 2.7) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า ใช้เกียร์ Low 4 จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ใบตัดที่ออกแบบใหม่มีแนวโน้มทำงานได้ดี ซึ่งกรีดลงบนดินได้ลึกโดยไม่ต้องถ่วงน้ำหนัก แต่เนื่องจากขณะทดสอบใบอ้อยในแปลงค่อนข้างน้อยจึงยังไม่เห็นผลชัดเจน (รูปที่ 7) ได้ทดสอบใส่ปุ๋ยสูตร 24-12-24 ในอัตรา 54 กิโลกรัม/ไร่ สภาพแปลงขณะทำการทดสอบ

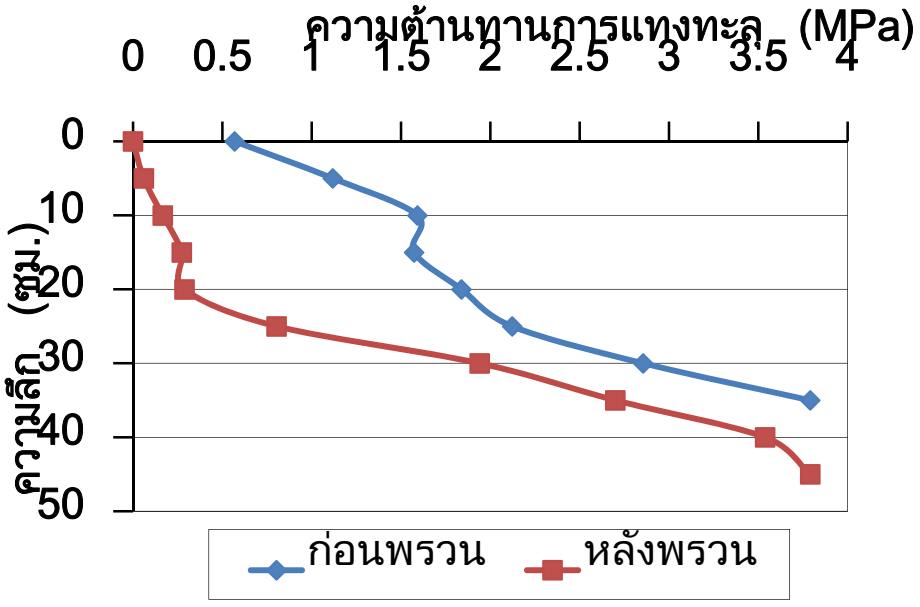
ความชื้นของดิน 13.32 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.21 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 2 Mpa

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.55 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.09 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 75.25% หลังการทดสอบวัดค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ได้น้อยกว่า 0.5 Mpa (รูปที่ 8)

รูปที่ 7 ทดสอบต้นแบบสองแถวในแปลง



รูปที่ 8 ค่าความต้านทานการแทงทะลุที่ระดับความลึกต่างๆ

การทดสอบการทำงานจริง

แปลงอ้อยตอแบบเผาใบ

ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอแบบเผาใบ สภาพดินในแปลงค่อนข้างแข็งและแห้ง ที่ อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก (รูปที่ 9) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.4 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า

ความชื้นของดิน 5.22 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.598 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 5 ซม. ประมาณ 3.8 Mpa

ความหนาแน่นใบอ้อย 211.5 กรัม/ตร.ม.

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.37 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.40 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 61.14% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.89 ลิตร/ไร่

รูปที่ 9 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยเผาใบ จ. พิษณุโลก

แปลงอ้อยตอแบบไม่เผาใบ

ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอแบบไม่เผาใบ ซึ่งใช้แรงงานคนเก็บเกี่ยวอ้อย และสภาพดินในแปลงค่อนข้างแข็งและแห้ง ที่ อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าเครื่องต้นแบบไม่สามารถทำงานได้ในสภาพที่ใบอ้อยสะสมในแปลงจำนวนมากได้ ต้องหยุดทำงานเพื่อเอาใบอ้อยออก (รูปที่ 10) เนื่องจากใบอ้อยไปสะสมอยู่บริเวณขาริปเปอร์ตัวริม จึงได้ทดสอบโดยเอาขาริปเปอร์ออก ให้เหลือแบบใส่ปุ๋ยแถวเดี่ยว (รูปที่ 11) พบว่าสามารถทำงานได้ดีขึ้น ใบอ้อยสามารถหมุนออกไปด้านข้างได้เอง

ความชื้นของดิน 3.77 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.700 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 5 ซม. ประมาณ 3.8 Mpa

ความหนาแน่นใบอ้อย 872.3 กรัม/ตร.ม.

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงานแบบแถวเดี่ยว 2.21 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.36 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 48.02% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.49 ลิตร/ไร่ ประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีการหยุดรถแทรกเตอร์เพื่อเอาใบอ้อยออกบางช่วง

รูปที่ 10 สภาพที่ใบอ้อยสะสมในแปลงจำนวนมากได้ต้องหยุดทำงานเพื่อเอาใบอ้อยออก

รูปที่ 11 ทดสอบต้นแบบโดยใช้แถวเดียว

แปลงอ้อยตอ

ได้ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอ สภาพดินในแปลงผ่านการกำจัดวัชพืชด้วยจอบหมุนแล้ว ที่ อ. บ้านไร่ จ. อุทัยธานี (รูปที่ 12) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 7810 ขนาด 100 แรงม้า

ความชื้นของดิน 8.68 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.539 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 2.54 Mpa

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.09 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.06 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 71.32% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.48 ลิตร/ไร่

รูปที่ 12 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอ จ. อุทัยธานี

แปลงอ้อยปลูก

ได้ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยปลูก สภาพดินในแปลงผ่านการกำจัดวัชพืชด้วยจอบหมุนแล้ว ที่ อ. บ้านไร่ จ. อุทัยธานี (รูปที่ 13) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 6640 ขนาด 76 แรงม้า

ความชื้นของดิน 10.13 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.2947 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 3.34 Mpa

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.44 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.24 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 65.19% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.72 ลิตร/ไร่

รูปที่ 13 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยปลูก จ. อุทัยธานี

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

กำหนดให้ราคารถแทรกเตอร์ขนาด 75 แรงม้า เท่ากับ 930,000 บาท เครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม ราคา 90,000 บาท รวมราคาทั้งหมด 1,020,000 บาท โดยใช้งานรถแทรกเตอร์ 10 ปี และอุปกรณ์ 7 ปี

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของแทรกเตอร์ต้นกำลัง

ราคารถแทรกเตอร์, P	= 930,000	บาท
ราคาซาก, S	= 20 %ของ P	บาท
อายุการใช้งาน, N	= 10	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i	= 5.5	เปอร์เซ็นต์/ปี
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	= 19.29 (ม.ค. 2559)	บาท/ลิตร
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	= 1.70	ลิตร/ไร่
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	= 10% ของค่าน้ำมัน	
ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์และคนงาน 1 คน	= 300	บาท/วัน/คน
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	= 0.50% ของP/100 ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องหยอดปุ๋ย

ราคา, P_1	90,000	บาท
ราคาซาก, S_1	10%ของ P_1	บาท
อายุการใช้งาน, N_1	7	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i_1	5.5	เปอร์เซ็นต์ต่อปี
ค่าบำรุงรักษา	0.5% ของ P_1/100ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	5.30	ไร่/ชั่วโมง
พื้นที่ทำงานต่อปี	A	ไร่

การคำนวณต้นทุนต่อปีของรถแทรกเตอร์

ราคารถแทรกเตอร์	930,000	บาท
<u>ค่าต้นทุนคงที่:</u>		
ค่าเสื่อมราคา	74,400	บาท/ปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	30,690	บาท/ปี
รวมต้นทุนคงที่	105,090	บาท/ปี
ต้นทุนคงที่ในการเป็นต้นกำลังของเครื่องหยอดปุ๋ย (หนึ่งในสี่ของค่าใช้จ่ายคงที่รวม)	26,272.50	บาท/ปี
<u>ค่าต้นทุนผันแปร:</u>		
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	173.46	บาท/ชั่วโมง
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	17.35	บาท/ชั่วโมง
ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์และคนงานรวม 4 คน	37.50	บาท/ชั่วโมง
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	46.50	บาท/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	274.81	บาท/ชั่วโมง
การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องหยอดปุ๋ย		
ราคา, P	90,000	บาท
<u>ค่าต้นทุนคงที่:</u>		
ค่าเสื่อมราคา	11,571.43	บาท/ปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	2,722.50	บาท/ปี
ค่าต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์	26,272.50	บาท/ปี
รวมค่าต้นทุนคงที่	40,566.43	บาท/ปี
<u>ค่าต้นทุนผันแปร:</u>		
ค่าบำรุงรักษาเครื่องหยอดปุ๋ย	4.50	บาท/ชั่วโมง
ค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	274.81	บาท/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร	279.31	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	5.30	ไร่/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร	52.70	บาท/ไร่

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A)
สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ย, บาท/ไร่ = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

= (26,272.50/A)+52.70 (1)

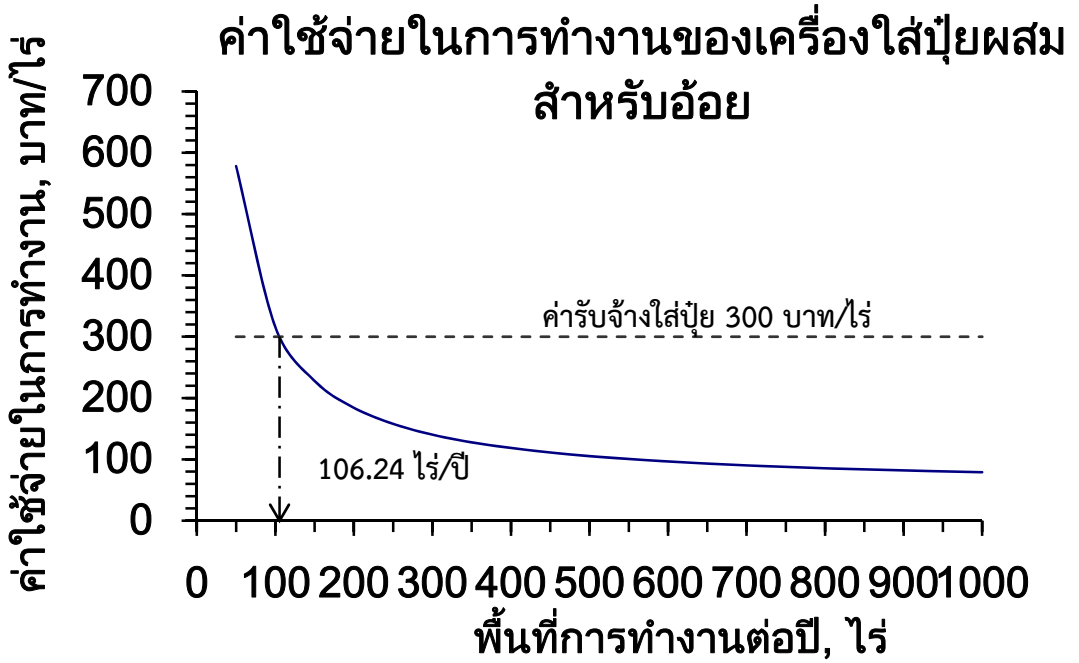
จุดที่คุ้มทุนของการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ย สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนในการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ยในสมการที่ (1) เท่ากับราคารับจ้างฝังปุ๋ยในปัจจุบันเท่ากับ 300 บาท/ไร่ (วิชัย และคณะ, 2555)

ต้นทุนในการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ย = ค่ารับจ้างฝังปุ๋ย

(26,272.50/A)+52.70 = 300

A = 106.24 ไร่/ปี

จากการคำนวณสามารถเขียนกราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยผสม และราคารับจ้างฝังปุ๋ย 300 บาท/ไร่ ได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยผสม และราคารับจ้างฝังปุ๋ย

จากกราฟจะเห็นว่าถ้าเกษตรกร ควรจะพิจารณาเลือกซื้อเครื่องใส่ปุ๋ยผสม มาใช้งานหรือรับจ้าง ควรมีพื้นที่การใช้งานหรือรับจ้างไม่ต่ำกว่า 106.24 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มทุน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยผสมสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้วตามค่าวิเคราะห์ดิน ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ใบมีดตัดใบอ้อยแบบกงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย การใช้งานจะใช้รถแทรกเตอร์ขนาดมากกว่า 60 แรงม้า ติดพ่วงเครื่องใส่ปุ๋ย จากนั้นเกษตรกรจะต้องเลือกเฟืองขับและเฟืองตามให้ได้อัตราหยอดตามที่ต้องการ ในการทำงานรถแทรกเตอร์จะวิ่งคร่อมต้นอ้อย ใบตัดด้านหน้าจะทำหน้าที่ตัดเศษใบอ้อยที่อยู่ในแปลง ถัดจากนั้นขาไถจะขุดเข้าไปในดินความลึก 10-30 ซม. ขณะที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดิน ทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ปุ๋ยจะไหลมาตามท่อนำปุ๋ยมาที่ขาไถและปล่อยลงสู่ดินที่เปิดไว้

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า มีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่ จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการทำงาน พบว่า เกษตรกรควรจะพิจารณาเลือกซื้อเครื่องใส่ปุ๋ยผสม มาใช้งานหรือรับจ้าง ควรมีพื้นที่การใช้งานหรือรับจ้างไม่ต่ำกว่า 106.24 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มทุน

เครื่องใส่ปุ๋ยผสมสามารถใช้กับการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ โดยสามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุมอัตราการใช้ปุ๋ยอ้อยที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร แม้จะไม่สามารถใส่ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำเนื่องจากระบบการขับลูกหยอดปุ๋ยเป็นแบบเฟือง แต่ก็สามารถเลือกอัตราการใส่ปุ๋ยได้ใกล้เคียงคำแนะนำ ซึ่งจะมีอัตราความผิดพลาดไม่เกิน 10% อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องต้นแบบนี้จะต้องมีใบอ้อยในแปลงไม่มากจนเกินไป จึงจะใช้เครื่องใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องใส่ปุ๋ยผสมดังกล่าวจะมีส่วนช่วยสนับสนุนการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามนโยบายของรัฐบาล

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินและเครื่องใส่ปุ๋ยผสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย การวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากชุดวิเคราะห์อย่างง่าย พบว่า ควรมีการเลือกชนิดแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันในการทำปุ๋ยเชิงผสม ซึ่งจะช่วยให้การผสมเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอและลดอิทธิพลจากการแยกตัวของขนาดปุ๋ย โดยปริมาณการผสมไม่ส่งผลต่อสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารในแต่ละช่วงของการบรรจุซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ยจากปุ๋ยเชิงผสม ซึ่งในการผสมปุ๋ยเพื่อการบรรจุสำหรับกลุ่มเกษตรเกษตรควรมีพิกัดความคลาดเคลื่อน +4% เพื่อให้ปุ๋ยที่ผ่านการผสมและทำการสุ่มตรวจอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตาม พรบ. ปุ๋ย ส่วนการใช้เซนเซอร์และระบบควบคุมในการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน พบว่า การใช้เซนเซอร์สีกับชุดตรวจธาตุอาหารในดินอย่างง่ายไม่สามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากการสะท้อนแสงของภาชนะทำผลการวิเคราะห์ไม่คงที่และถูกต้อง เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์จะใช้การถ่ายภาพเพื่อแปลงการสะท้อนของภาพเป็นสี แต่เมื่อในสภาพภาพปกติสีจะมีความแตกต่างและเกิดความแปรปรวนเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินควรใช้ภาพเป็นการวิเคราะห์ และทำการปรับเปรียบเทียบสีมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรง และใช้การรวมแสงเพื่อการแยกชนิดสีจะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีความชันสูงขึ้นและส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารได้อย่างละเอียดมากขึ้น โดยการวิเคราะห์สีแยกเป็น R G B พบว่า ธาตุอาหารสำหรับพืชไร่ เช่นอ้อย การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนจะวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรต ซึ่งพบว่าการใช้สีแดงเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 0.9998 และมีสมการ $y=-44.958x^3 + 624.26x^2 - 2906.7x +6031.6$ ส่วนการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส การใช้สีน้ำเงินเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด เนื่องจากความชันของสมการมีค่ามากที่สุด โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 0.9943 และมีสมการ $y = -122.67x^3 + 1296.6x^2 - 5825.9x + 13956$ ส่วนโพแทสเซียมการใช้สีแดงเพียงสีเดียวสามารถแยกความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสีน้ำเงิน โดยสมการความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นโพลิโนเมียลลำดับ 2 (polynomial equation order 2) และค่าความเชื่อมันมีค่าเท่ากับ 1 และมีสมการ $y = 86.9x^2 - 130.6x + 2682.2$ ซึ่งสมการทั้ง 3 ได้นำมาเป็นข้อมูลในระบบ PLC ในการประมวลธาตุอาหารในดินเพื่อการผสมปุ๋ยซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในกิจกรรมต่อไป

ส่วนการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยผสมสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้วตามค่าวิเคราะห์ดิน ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ใบมีดตัดใบอ้อยแบบกงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย การใช้งานจะใช้รถแทรกเตอร์ขนาดมากกว่า 60 แรงม้า ติดพ่วงเครื่องใส่ปุ๋ย จากนั้นเกษตรกรจะต้องเลือกเฟืองขับและเฟืองตามให้ได้อัตราหยอดตามที่ต้องการ ในการทำงานรถแทรกเตอร์จะวิ่งคร่อมต้นอ้อย ใบตัดด้านหน้าจะทำหน้าที่ตัดเศษใบอ้อยที่อยู่ในแปลง ถัดจากนั้นขาไถจะขุดเข้าไปในดินความลึก 10-30 ซม. ขณะที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดิน ทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ปุ๋ยจะไหลมาตามท่อนำปุ๋ยมาที่ขาไถและปล่อยลงสู่ดินที่เปิดไว้

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า มีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่ จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการทำงาน พบว่า เกษตรกรควรจะ

พิจารณาเลือกซื้อเครื่องใส่ปุ๋ยผสม มาใช้งานหรือรับจ้าง ควรมีพื้นที่การใช้งานหรือรับจ้างไม่ต่ำกว่า 106.24 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มทุน

เครื่องใส่ปุ๋ยผสมสามารถใช้กับการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ โดยสามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุมอัตราการใช้ปุ๋ยอ้อยที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร แม้จะไม่สามารถใส่ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำเนื่องจากระบบการขับลูกหยอดปุ๋ยเป็นแบบเฟือง แต่ก็สามารถเลือกอัตราการใส่ปุ๋ยได้ใกล้เคียงคำแนะนำ ซึ่งจะมีอัตราความผิดพลาดไม่เกิน 10% อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องต้นแบบนี้จะต้องมีใบอ้อยในแปลงไม่มากจนเกินไป จึงจะใช้เครื่องใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องใส่ปุ๋ยผสมดังกล่าวจะมีส่วนช่วยสนับสนุนการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามนโยบายของรัฐบาล

เอกสารอ้างอิง

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

คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่(2548). เครื่องผสมปุ๋ย PLC. 22 เมษายน 2555 http://www.clinictech.most.go.th/techlist/0214/agriculture/00000-393.html

มติคณะรัฐมนตรี.(2554). โครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยสั่งตัดเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรและโครงการเงินกู้ให้เกษตรกรจัดหาปุ๋ยของ ธกส.: 22 เมษายน 2555 http://www.dit.go.th/service/Pr/InfoService/group1/5.1/pdf/2554/78_100554.pdf

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร(2551). ปุ๋ยเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ประธานกรรมการนโยบายและมาตรการช่วยเหลือเกษตรกร.(2554)รายงานความก้าวหน้าโครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร: 22 มิย. 2554. http://new.measwatch.org/news/1799

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ สมชายกรีฑาภิรมย์ และบุญแสน เตียวนุกูลธรรม. (2542). การวิเคราะห์ N P K ในดินอย่างง่าย วารสารดินและปุ๋ย 21: 46-51

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และคณะ(2550). การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่เพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน(ข้าวและอ้อย) สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ รุ่งโรจน์ พิทักษ์ด่านธรรม.(2554) คลินิกปุ๋ยสั่งตัด : เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตข้าวและข้าวโพดได้ด้วยตนเอง.ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: http://www.ssnm.agr.ku.ac.th

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2555. การจัดการธาตุอาหารเฉพาะที่สำหรับข้าวโพด. สืบค้นจาก: http://www.ssnm.agr.ku.ac.th/main/Manage/Corn.htm [เม.ย. 2557].

พรรณพิมล ฉัตราคม. 2558. ความต้องการใช้ปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย. ส่วนวิจัยครัวเรือนเกษตรการจัดการฟาร์มและปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=684&filename=index [พ.ค. 2558].

ศุภกิตต์ สายสุนทร,ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล, วีณา ชาลียุทธ,เยาวลักษณ์ พัสดุ และ นรินทร์ จันทวงศ์.(2553) การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน.วารสารวิทศาสตร์การเกษตร 41: 25-28

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2552-2557 สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html [พ.ค. 2558].

วิชัย โอภานุกูล พินิจ จิรัคคกุล และ วีระ สุขประเสริฐ. 2556. รายงานวิจัยกิจกรรมสำรวจการใช้เครื่องฝังปุ๋ยอ้อยในประเทศ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

Bianchini, A.; Daniel D. Valadão Junior; Rodrigo P. Rosa; Frederick Colhado and Rodrigo F. Daros. 2014. Soil chiseling and fertilizer location in sugarcane ratoon cultivation. Eng. Agríc. Jaboticabal, vol.34 no.1 p.57-65.

Katsuhiko Ogata(1990). Modern Control Engineering. Prentice Hall International Edition

Shibusawa,S., Anom,W.S.,H.,Sasao,A.,2000. On- line real time soil spectrophotometer. Proceedings of fifth International Conference on Precision Agriculture, July 16-19,2000. Bloommington, MN, USA