

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. ชุดโครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตรความแม่นยำสูงสำหรับอ้อย
2. โครงการวิจัย : การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย
3. กิจกรรม : การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย
4. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Design and Development of Automatic Fertilizer Mixer using Soil Analysis for Sugar Cane

5. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าโครงการวิจัย :	นายพินิจ จิรัคคกุล	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
ผู้ร่วมงาน :	นายวิชัย โอบานกุล	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายคทาฐ จงสุขไฉ	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายอนุชา เขาวโซติ	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายสิทธิชัย ดาศรี	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นางอุษมา สุขจันทร์	สังกัด ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

6. บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดิน เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีหลายศาสตร์ เพื่อพัฒนาเครื่องจักรและระบบการวิเคราะห์ทางการเกษตร โดยโครงการวิจัยเลือกพืชที่มีศักยภาพในการใช้ปุ๋ยคือ อ้อย ซึ่งจากการศึกษาระบบทางการผสมปุ๋ยเชิงผสม และระบบการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากชุดวิเคราะห์อย่างง่าย พบว่า 1) การผสมควรมีการเลือกชนิดแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จะช่วยให้การผสมเป็นไปได้ อย่างสม่ำเสมอและลดอิทธิพลจากการแยกตัวของขนาดปุ๋ย โดยปริมาณการผสมไม่ส่งผลต่อสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารในแต่ละช่วงของการบรรจุ ซึ่งในการผสมปุ๋ยเพื่อการบรรจุสำหรับกลุ่มเกษตรกรเกษตรกรควรมีพิกัดความคลาดเคลื่อน +4% เพื่อให้ปุ๋ยที่ผ่านการผสมและทำการสุ่มตรวจอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตาม พรบ. ปุ๋ย ส่วนที่ 2 การพัฒนาเซนเซอร์และระบบควบคุมเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ พบว่า การใช้เซนเซอร์สีกับชุดตรวจธาตุอาหารในดินอย่างง่าย ไม่สามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากการสะท้อนแสงของภาชนะ เนื่องจากการสะท้อนแสงของ

ภาชนะทำผลการวิเคราะห์ไม่คงที่และถูกต้อง เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์จะใช้การถ่ายภาพเพื่อแปลงการสะท้อนของภาพเป็นสี แต่เมื่อในสภาพภาพปกติสีจะมีความแตกต่างและเกิดความแปรปรวนเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินควรใช้ภาพเป็นการวิเคราะห์ และทำการปรับเทียบเทียบสีมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรง และใช้การรวมแสงเพื่อการแยกชนิดสีจะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีความชันสูงขึ้นและส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารได้อย่างละเอียดมากขึ้น โดยการวิเคราะห์สีแยกเป็น R G B พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรตและฟอสฟอรัส ความสัมพันธ์ของความถี่กับความเข้มข้นมีสมการเป็นพหุนามเมื่อยล้าลำดับ 3 (polynomial equation order 3) และค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 0.9998 และ 0.9943 และใช้สีแดงและสีน้ำเงินในการวิเคราะห์ภาพของปริมาณไนเตรตและฟอสฟอรัส ตามลำดับตามลำดับ ส่วนโพแทสเซียมการใช้สีแดงเพียงสีเดียวและสมการเป็นพหุนามเมื่อยล้าลำดับ 2 (polynomial equation order 2) และค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 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.

7. คำนำ

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

การใช้ปุ๋ยตามศักยภาพของการวิเคราะห์ดินในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือจากภาครัฐอย่างมาก และต้องใช้เครื่องมือจำนวนมาก เช่น ชุดวิเคราะห์สมบัติธาตุอาหารของดิน เครื่องผสมปุ๋ยคุณภาพสูง เครื่องหยอดปุ๋ย และนักวิชาการที่มีความเข้าใจในการผลิตพืชแต่ละชนิด เพื่อให้การผลิตและการแนะนำไปใช้เป็นไปอย่างถูกวิธี และจะส่งผลกระทบต่อการผลิตทางการเกษตรเป็นไปตามเป้าหมาย จากข้อมูลข้างต้นพบว่า การใช้ปุ๋ยสั่งตัดหรือปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดินนั้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างยั่งยืนและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อดีของปุ๋ยสั่งตัดจะนำข้อมูลสมบัติธาตุอาหารของดิน ชนิดพืช การจัดการสภาพแวดล้อม มาวิเคราะห์ตามหลักวิชาการเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีความเหมาะสมต่อพืชและสภาพแวดล้อมรวมทั้งผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยปัจจุบันมีการนำโปรแกรมช่วยตัดสินใจในการเพาะปลูกพืชมาใช้ เช่น โปรแกรม DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), NuMaSS (Nutrient Management Support System) และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ซึ่งมีความซับซ้อนยังไม่เหมาะสมกับเกษตรกรรายเล็กที่มีจำนวนมากของประเทศ จำเป็นต้องมีการพัฒนา

เทคโนโลยีเหล่านี้ให้มีความง่ายต่อความเข้าใจของเกษตรกร เพื่อเป็นเครื่องมือส่งถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร

โดยขอบเขตการวิจัยจะมีการประยุกต์ใช้ระบบชุดตรวจวิเคราะห์ดินอย่างง่ายมาเป็นตัวชี้วัดสมบัติความอุดมสมบูรณ์ของดิน และพัฒนาเครื่องวัดสีเพื่อประเมินผลการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และนำข้อมูลข้างต้นไปประมวลผลกับฐานข้อมูลพีชอย่างง่าย เพื่อผสมปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมกับพืชให้กับเกษตรกร ซึ่งการผลิตปุ๋ยสั่งตัดสามารถผลิตได้จากการผสมแบบคลุกเคล้า โดยใช้แม่ปุ๋ย ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้หรือความเข้าคู่ทางเคมีที่นำแม่ปุ๋ยมาผสมกัน และไม่ทำปฏิกิริยากัน จนเป็นเหตุให้คุณภาพของปุ๋ยผสมต่ำลง เช่น ปัจจัยจากความชื้นวิกฤต(critical relative humidity) จนเป็นสาเหตุของการจับตัวเป็นก้อน(caking) โดยแม่ปุ๋ยที่นิยมนำมาผลิตแบบคลุกเคล้าทั้ง 3 ชนิด คือ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0) เป็นส่วนผสมและนำไปคลุกเคล้าตามสูตรการคำนวณ เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่ และยังมีการทดสอบเครื่องหยอดปุ๋ยผสมจากการคลุกเคล้าด้วยเครื่องหยอดปุ๋ยที่สามารถปรับปริมาณการให้ปุ๋ยได้ในแปลง ซึ่งโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยนี้จะอยู่ภายใต้ชุดโครงการวิจัยการจักรการพื้นที่เกษตรแบบแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาการใช้ปุ๋ยอย่างไม่ถูกต้อง และเป็นการเพิ่มผลผลิตอย่างยั่งยืน

8. วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนคือ

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยตามการวิเคราะห์ดิน ใช้ระบบควบคุมการผสมแบบอัตโนมัติ
 - ศึกษาสมบัติทางกายและทางเคมีของชนิดปุ๋ยที่มีจำหน่ายในประเทศ โดยมุ่งเน้นที่แม่ปุ๋ย 3 ชนิด คือ DAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0) เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องผสมและชุดอุปกรณ์ควบคุม
 - ทดสอบปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้าด้วยคนและเครื่องผสมทำการสุ่มเก็บ 3 สูตร 15-7-18, 16-8-8 และ 9.4-24-24 ตามหลักการคำนวณ *ไม่ใส่สารเติมน้ำหนัก* และทดสอบการนำไปใช้ในแปลงในกิจกรรมที่ 2

การวางแผนการทดลอง Randomized 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 เท่าของ ปริมาตรผสม

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 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (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

- พัฒนาด้านแบบเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม
- พัฒนาระบบการประมวลผลโดยใช้ฐานข้อมูลต่างๆ ข้อมูลปฐมภูมิ
- พัฒนาระบบเชื่อมโยงระบบทางไกลและระบบการตัดสินใจการผลิต
- ศึกษาสมบัติของดินด้วย ชุดตรวจสอบดินแบบรวดเร็ว (N-P-K test kit) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวิเคราะห์กับห้องปฏิบัติการมาตรฐาน

2. พัฒนาระบบ software สำหรับการคำนวณในเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ
3. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ส่วนประกอบ

- 3.1 กระท้อสำหรับลำเลียงแม่ปุ๋ยสู่ถังเก็บแม่ปุ๋ย
- 3.2 เครื่องผสมปุ๋ยแบบถ่วงนอนพร้อมโพลดเซลล์สำหรับชั่งน้ำหนัก
- 3.3 software สำหรับการคำนวณในเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ
- 3.4 ชุดตรวจสอบดินแบบรวดเร็ว (N-P-K test kit)
- 3.5 ชุดรับดินจากเกษตรกร
- 3.6 บรรจุกะสอบ
- 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 ทรีทเมนท์ ทำ 3 ซ้ำ (Replications) ในห้องทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติ ในแต่ละวิธีการทดลอง โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

5. ปรับปรุงพร้อมทดสอบเครื่องผสมปุ๋ยสังเคราะห์โดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติให้มีความเหมาะสม และทำการปรับปรุงเครื่องให้มีความสามารถในการส่งเสริมการผลิตเชิงพาณิชย์

5.1 นำปุ๋ยที่ผ่านการผสมโดยเครื่องผสมไปทดสอบในแปลงทดลองและปรับปรุงเครื่องใส่ปุ๋ยให้มีความเหมาะสมกับปุ๋ยที่ทำการผสม

5.2 นำปุ๋ยที่ผ่านการผสมโดยเครื่องผสมไปทดสอบในแปลงเกษตรกรและปรับปรุงเครื่องใส่ปุ๋ยให้มีความเหมาะสมกับปุ๋ยที่ทำการผสม

ทั้ง 2 การทดสอบพื้นที่ทดสอบอย่างน้อย 2 ไร่ จำนวน 3 ที่ และทำการวิเคราะห์สถิติ

6. ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องผสมปุ๋ยสำหรับปุ๋ยสังเคราะห์โดยใช้ระบบควบคุมการผสมแบบอัตโนมัติให้แก่เกษตรกร โรงงานอุตสาหกรรมเกษตร และ หน่วยงานที่สนใจ

- จัดทำแบบพิมพ์เขียว หรือ (ทำการจดอนุสิทธิบัตร)
- เผยแพร่เอกสารวิชาการ

สถานที่ทำการทดลอง/วิจัย

- ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558 รวม 2 ปี

9. ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วน 1) การวิเคราะห์คุณภาพดินและปุ๋ย 2) ส่วนการพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบผสมปุ๋ย ได้สร้างเครื่องต้นแบบจำนวน 2 เครื่อง โดยใช้หลักการผสมแนวตั้ง และการผสมแนวนอน ดังรูปที่ 9.1 และ รูปที่ 9.2 ขนาดบรรจุ 200 กิโลกรัม เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และนำไปพัฒนาต้นแบบ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ควรใช้เครื่องผสมแนวนอนซึ่งจะทำให้สามารถผสมได้จำนวนมากและไม่ส่งผลต่อการแตกของแม่ปุ๋ยจากการทดสอบใช้เครื่องผสมแนวตั้งพบว่า เม็ดปุ๋ยที่มีขนาดเล็กจะลงไปอยู่ข้างล่างเป็นส่วนใหญ่และเม็ดก็จะแตก เพราะฉะนั้นการสร้างต้นแบบจะใช้เป็นแบบเครื่องผสมแบบนอนโดยใช้ใบโรย ดังรูปที่ 9.3 เพื่อไม่ให้ผลการหมุนของเครื่องส่งผลต่อเม็ดปุ๋ย ซึ่งต้นแบบทดสอบเดินระบบ ดังรูปที่ 9.4 และ 9.5 ทำการทดสอบเดินระบบผสมโดยใช้

ปรับความรอบการหมุนด้วย Inverter โดยใช้หลักการปรับคลื่นความถี่ เพื่อหารอบที่เหมาะสมพบว่า รอบการหมุนที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 15 Hz หรือเทียบเท่ากับ 46.2 รอบต่อนาที อัตราการบรรจุปุ๋ย 50-80 เปอร์เซ็นต์ ของ ปริมาณ 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 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-0-0)



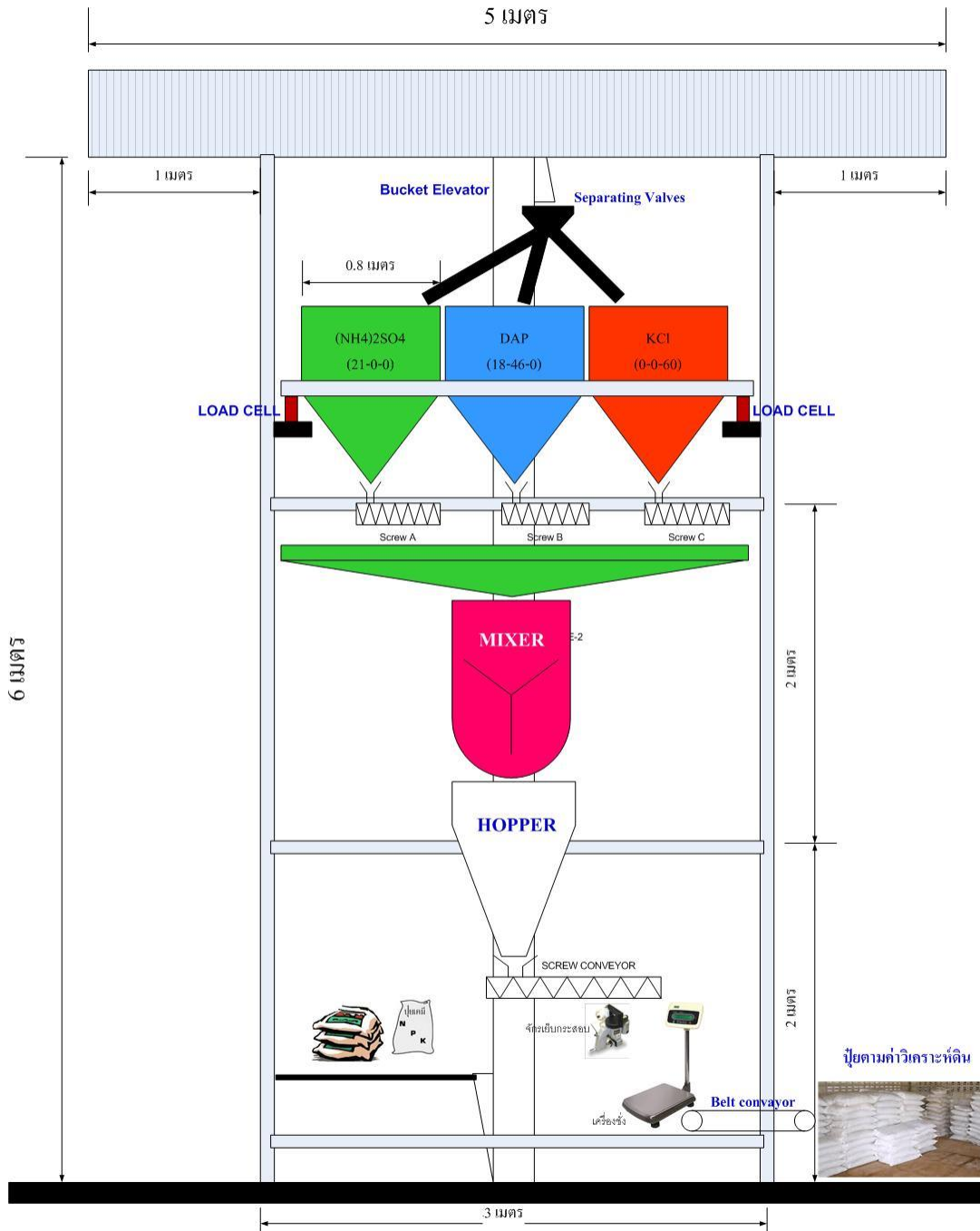
รูปที่ 9.1 เครื่องผสมแนวตั้ง



รูปที่ 9.2 เครื่องผสมแนวนอน



รูปที่ 9.3 เครื่องผสมแวนอนที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 9.4 การออกแบบเครื่องผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต้นแบบ



รูปที่ 9.5 เครื่องผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต้นแบบ

ผลการศึกษามบัตินทางกายภาพ ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของขนาดแม่ปุ๋ยพบว่า การเลือกยี่ห้อแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพการผสมดีกว่า จากรูปที่ 9.6 จะเห็นได้ว่าแม่ปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างจากกลุ่มจะเป็นแม่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 และ 0-0-60 ของบางยี่ห้อ ซึ่งเมื่อนำไปผสมจะส่งผลต่อการผสม โดยจากผลการสำรวจพบว่าแหล่งไนโตรเจนปุ๋ยผสมทั่วไปจะใช้ 46-0-0 (ยูเรีย) เพื่อลดอิทธิพลของขนาดเม็ดปุ๋ย และจากการศึกษาพบว่า แม่ปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้และจำหน่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเป็นปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกันและเหมาะสมกับการผสมปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน รูปที่ 9.7 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 แต่การนำแม่ปุ๋ยมาใช้ในการผสมจำเป็นต้องตรวจสอบก่อนว่าแม่ปุ๋ยมีการจับตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ ซึ่งถ้ามีการจับตัวเป็นก้อน ดังรูปที่ 9.7 ให้ทำการบดหรือทำให้แตกก่อนผสม เนื่องจากถ้าไม่ทำการบดให้แตกก่อนจะส่งผลต่ออัตราส่วนผสมของปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ จากการทดสอบนำแม่ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิดมาผสมในเครื่องผสมแบบแนวตั้ง พบว่า ขนาดของเม็ดปุ๋ยที่มีขนาดเล็กหรือขนาดที่แตกต่างกันจะผสมกันไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 9.8 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าการผสมในด้วยเครื่องผสมแนวตั้งจำเป็นต้องใช้เวลาในการผสมมากกว่า 4 นาที จะทำให้การผสมสามารถผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 9.9 เป็นการเปรียบเทียบการผสมปุ๋ยด้วยเครื่องผสมแนวตั้ง สูตร 15-7-18 กับปุ๋ยผสมที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด 15-7-18 และ 16-8-8 โดยเครื่องผสมแนวตั้งได้ปรับปรุงมาจากเครื่องผสมปูน และ

ทำการใส่ใบกวนที่เป็นแผ่นยางดังรูปที่ 9.10 เพื่อให้การผสมที่ไม่เกิดการสะสมที่บริเวณพื้นและทำให้เม็ดปุ๋ยไม่แตก ช่วยในการผสม



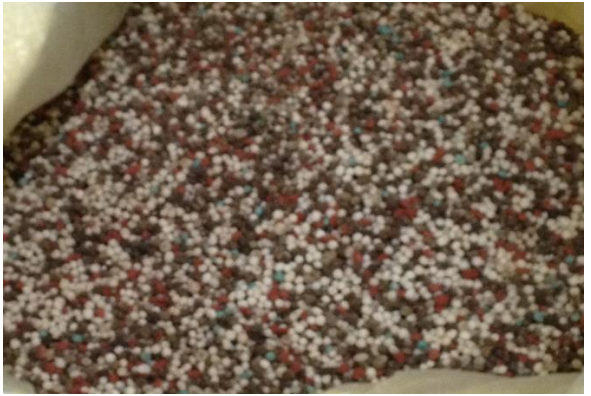
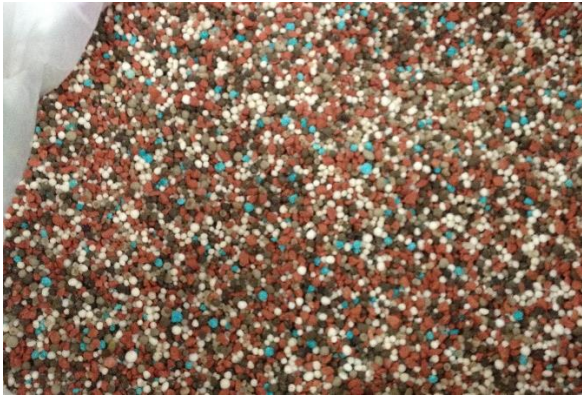
รูปที่ 9.6 ลักษณะแม่ปุ๋ยและปุ๋ยเชิงประกอบที่มีจำหน่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 9.7 ลักษณะของปุ๋ยที่มีการจับตัวกันเป็นก้อน



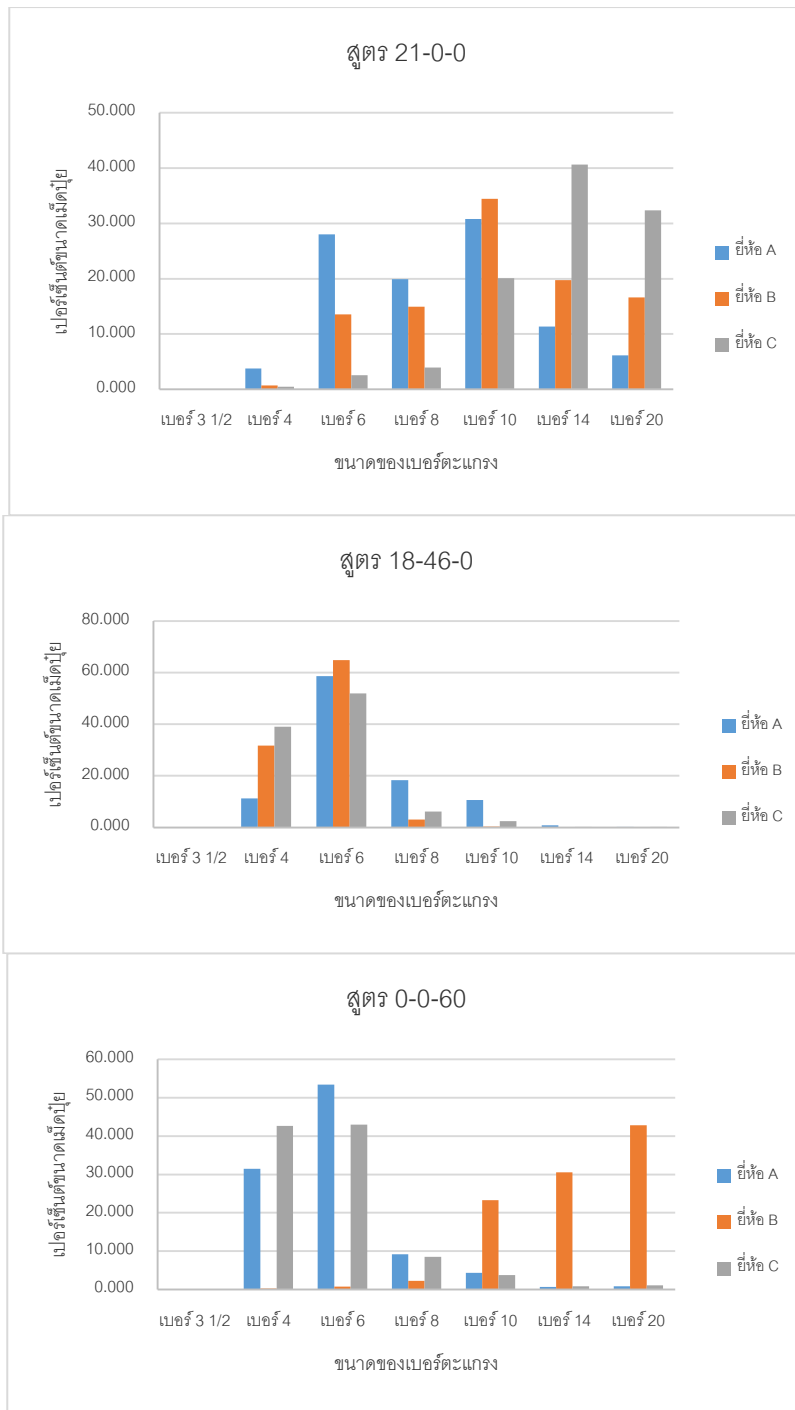
รูปที่ 9.8 ลักษณะการแยกตัวของปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างกัน



รูปที่ 9.9 ลักษณะการแยกตัวของปุ๋ยที่มีขนาดแตกต่างกัน



รูปที่ 9.10 การปรับปรุงเครื่องผสมปูนให้เป็นเครื่องผสมปุ๋ยโดยการใส่แผ่นยางที่ใบกวน



รูปที่ 9.11 ลักษณะการเปรียบเทียบขนาดของแม่ปุ๋ย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดแม่ปุ๋ย จึงได้ทำการทดสอบแม่ปุ๋ยที่หน้าจะมีปัญหาต่อการผสม 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 ยี่ห้อที่มีค่าใกล้เคียงกันคือ 51.56 และ 63.26 % ซึ่งเมื่อนำไปบรรจุ ถูจะมีโอกาสที่จะแยกตัวของเม็ดปุ๋ย เนื่องจากแม่ปุ๋ย 2 ยี่ห้อหลังมีขนาดแตกต่างกันถ้านำไปผสมโดยเน้น N และ K₂O ดังสูตร 15-7-18 พบว่า ขนาดความสม่ำเสมอจะมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ ชนิด B และ C มีค่า 59.06 และ

59.68 % ตามลำดับ แต่การผสมปุ๋ยบางสูตรสามารถใช้แม่เพียง 2 ชนิดผสมเพื่อให้ได้ปุ๋ยผสมตามที่เกษตรกรต้องการคือ 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) ความสม่ำเสมอตั้งรูปที่ 9.7 ทำให้ถ้า KCl (0-0-60) เป็นลักษณะเม็ดกรวดจะทำให้มีความสม่ำเสมอสูง ดังการผสมของแม่ปุ๋ยยี่ห้อ C มีค่า 99.26% ยี่ห้อ B มีค่า 71.42 % โดยปริมาณ N ต่ำสุดที่ผสมได้คือ 9.4 %

ยงยุทธ โอสดสภา (มมป.) ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดกับคุณภาพของปุ๋ยผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้ความสำคัญของขนาดเม็ดปุ๋ยต่อการผสมแบบคลุกเคล้า (bulk blending) ปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพปุ๋ยเคมีแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน คือ ความหนาแน่นและรูปร่าง มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทำให้โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นปัจจัยทางกายภาพกับเครื่องจักร

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

ซึ่งผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นจากปุ๋ยที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยงยุทธ โอสดสภา ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของแม่ปุ๋ยดังตารางที่ 9.1 ซึ่งจากการวิเคราะห์แม่ปุ๋ยและนำผลของปริมาณธาตุในปุ๋ยเพื่อไปเขียนสมการการผสมดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นแม่ปุ๋ย

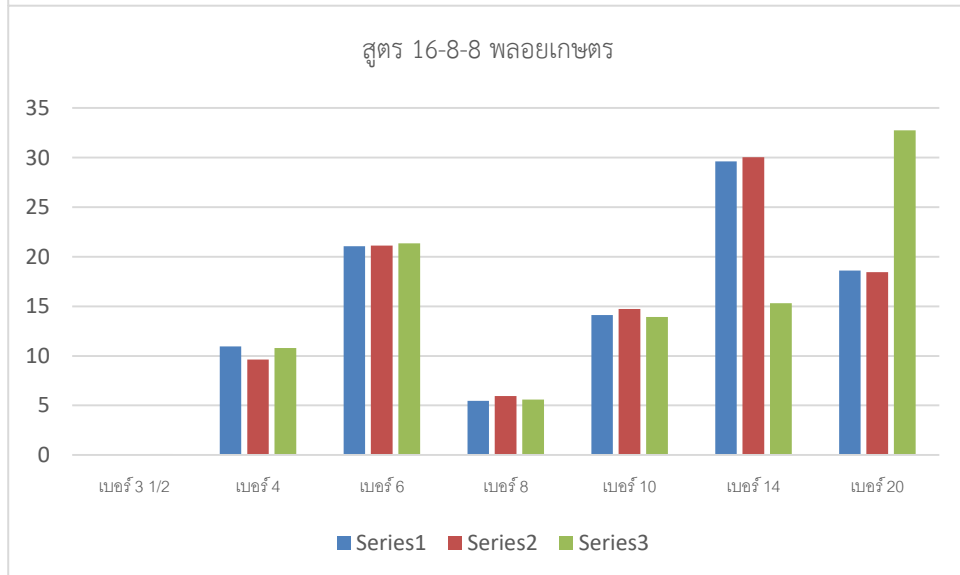
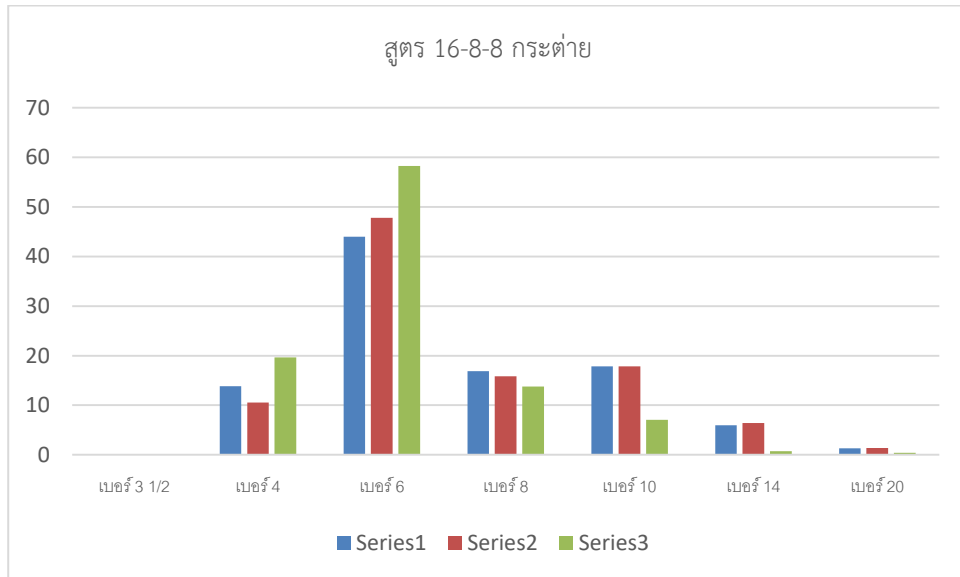
		ยี่ห้อ	ปกติ kg/m ³	กระแทก kg/m ³	หมายเหตุ
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	18-46-0	A	893.51	950.12	
		B	920.03	992.45	
		C	920.03	992.45	
โพแทสเซียมคลอไรด์	0-0-60	A	1022.54	1104.14	เม็ด
		B	1099.55	1204.61	น้ำตาล
		C	1031.21	1109.24	เม็ด

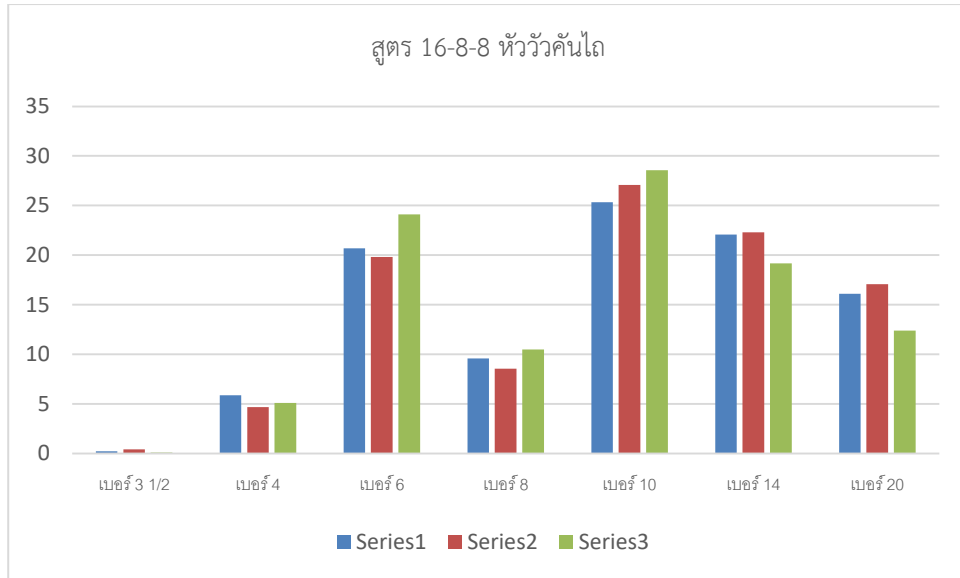
แอมโมเนียมซัลเฟต	21-0-0	A	1011.83	1061.81	
		B	1065.38	1136.78	
		C	1065.38	1136.78	

ตารางที่ 9.2 สมการในการผสมปุ๋ยตามสูตรที่ต้องการ (excel)

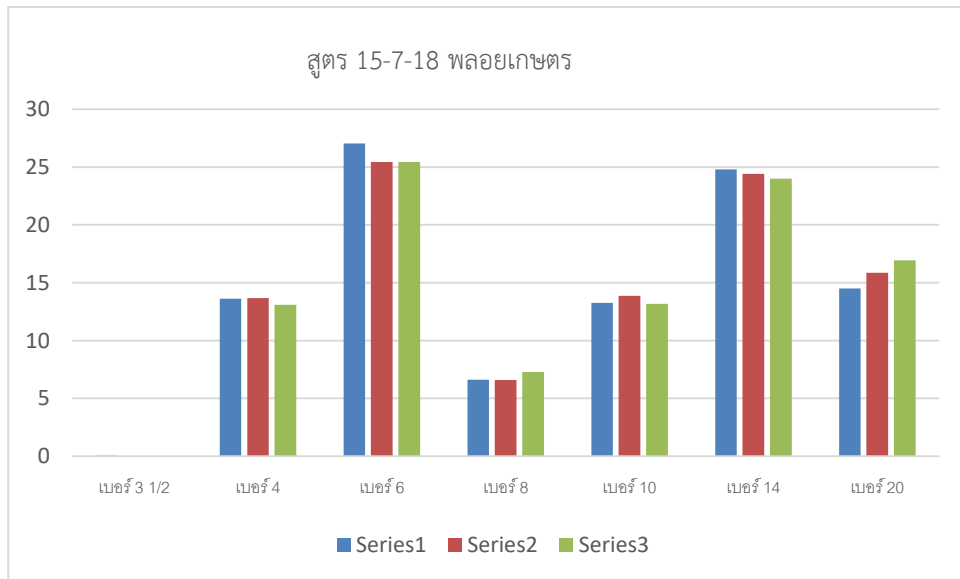
สูตรปุ๋ย			ปริมาณปุ๋ยที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ปุ๋ยเคมีที่ต้องการใช้ผสม (กิโลกรัม)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		21-0-0	18-46-0	0-0-60
15	7	18	50	29.19	7.61	15.00
16	8	8	50	30.64	8.70	6.67
9.4	24	24	50	0.02	26.09	20.00

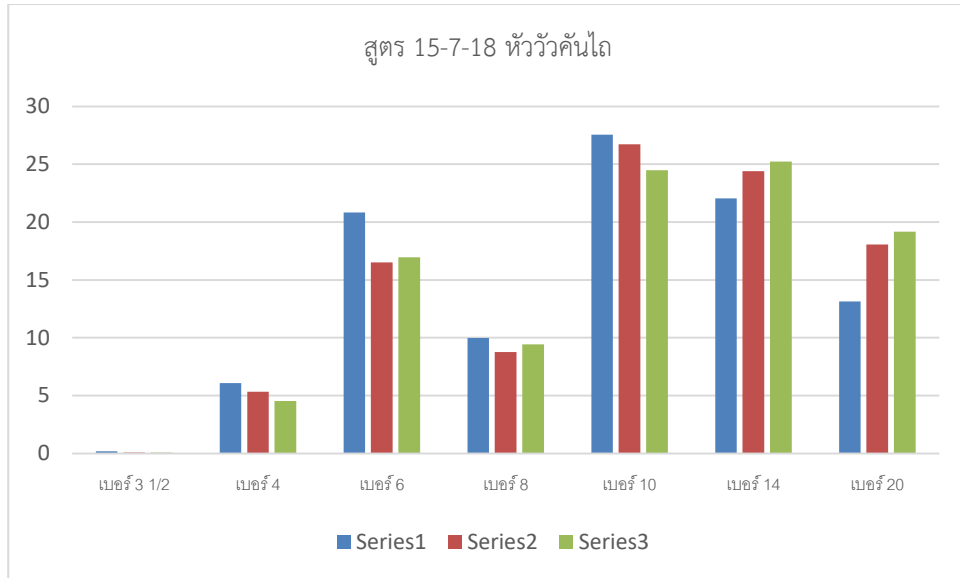
ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่มีในปุ๋ย จำเป็นต้องใช้วิธีทางเคมีเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยการรับประกันปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีในส่วนของไนโตรเจน จะบอกถึงปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยทั้งหมด (Total N) ไม่จำเป็นต้องบอกถึง available N ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม (K₂O) จะพิจารณาจากความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งเรียกว่า water soluble potash (K₂O) และในส่วนของฟอสฟอรัสในปุ๋ยจะพิจารณาเฉพาะฟอสฟอริกแอซิด(P₂O₅) ที่ละลายในน้ำยา neutral ammonium citrate เข้มข้น 15% แล้วบอกออกมาเป็น available phosphoric acid (P₂O₅)



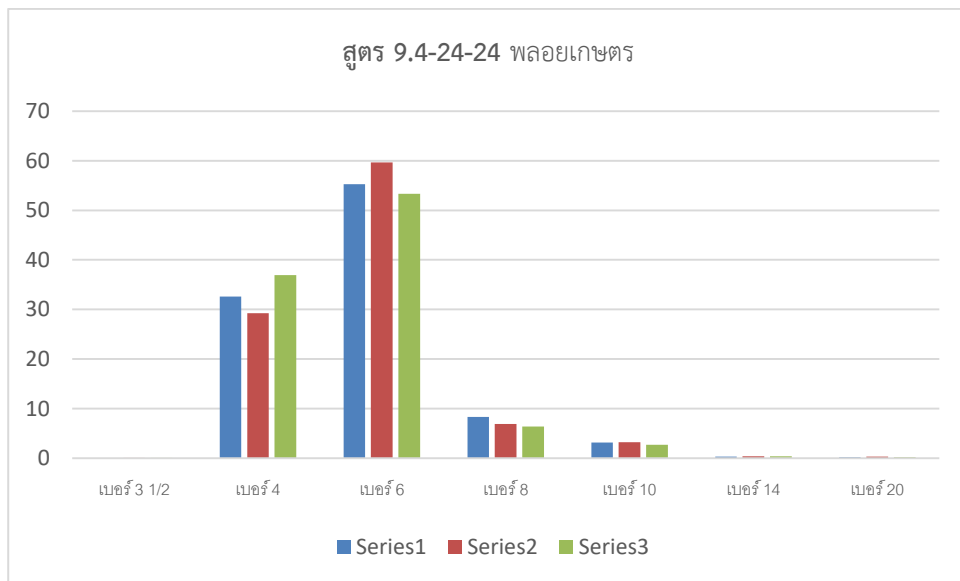


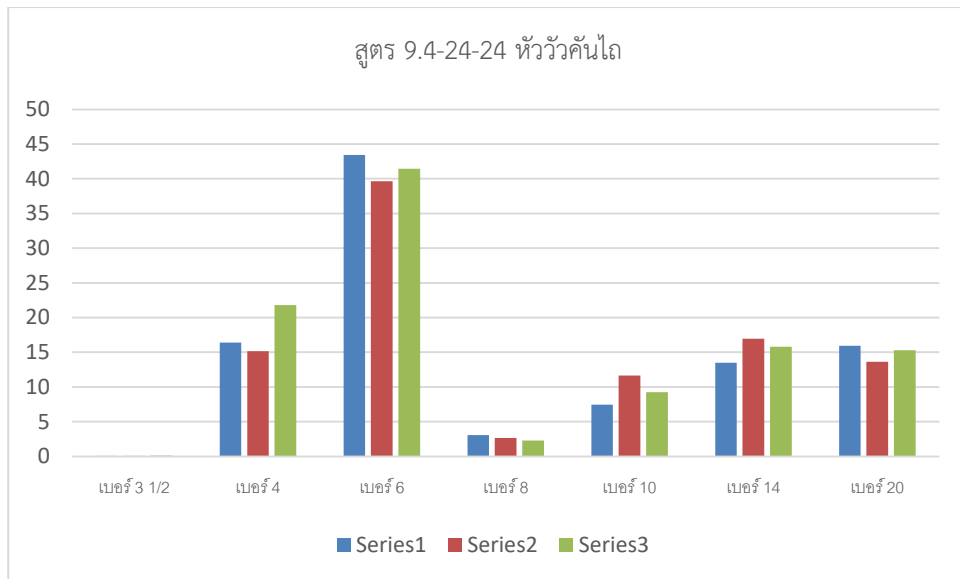
รูปที่ 9.12 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 3 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 16-8-8 เน้นปริมาณ N





รูปที่ 9.13 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 2 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 15-7-18 เน้นปริมาณ N และ K₂O





รูปที่ 9.14 ลักษณะการเปรียบเทียบปุ๋ย 2 ยี่ห้อกับปริมาณการผสมของแม่ปุ๋ย ในอัตรา 0.5, 0.75 และ 1 ของถังบรรจุในสูตร 9.4-24-24 เน้นปริมาณ P_2O_5 และ K_2O

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยทางเคมี ได้ศึกษาและสุ่มปุ๋ยชนิดผสมที่กำหนดในท้องตลาดในจังหวัดขอนแก่นพบว่า ค่าของปริมาณธาตุอาหารจะสูงกว่าสูตรทุกตัว โดยจะสูงกว่าสูตรที่กำหนดในช่วง 0.526-3.388 % ดังตารางที่ 9.3 เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานและ 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 ปริมาณธาตุอาหารฟอสเฟสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 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 ในชนิดแม่ปุ๋ยที่มีลักษณะเม็ดคล้ายน้ำตาลทราย ส่วนชนิดเม็ดที่เป็นกรวด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ ต่ำกว่า 0.374 % โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคือ 1% โดยน้ำหนัก เพราะฉะนั้นการเลือกแม่ปุ๋ยในการผสมควรเลือกแม่ปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่ควรเลือกแม่ปุ๋ยที่ขนาดของเม็ดเป็นเม็ดเล็กซึ่งจะส่งผลต่อการผสม ซึ่งการผสมเพื่อจำหน่ายหรือกลุ่มสหกรณ์จำเป็นต้องมีการเผื่อค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 4% เพื่อให้ในการบรรจุกระสอบแล้วไม่เป็นปุ๋ยต่ำกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 9.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมที่จำหน่ายในท้องตลาดในจังหวัดขอนแก่น

		Total	available phosphoric acid (P ₂ O ₅)	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 9.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมจากแม่ปุ๋ยในสูตร 15-7-18 ในอัตรา 50, 75, และ 100 % ของปริมาณผสม

ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการผสม		
	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 9.5 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
หัววัวคั่นไถ	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 9.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยผสมจากแม่ปุ๋ยในสูตร 9.4-24-24 ในอัตรา 50, 75, และ 100 % ของปริมาณผสม

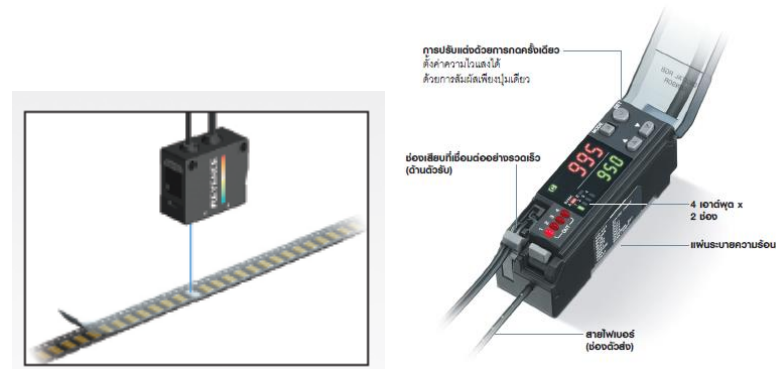
ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการผสม		
	N (%)	P (%)	K(%)	N (%)	P (%)	K(%)
พลอยเกษตร	10.563	26.421	28.810	1.163	2.421	4.810
	10.170	27.678	28.418	0.770	3.678	4.418
	9.909	23.118	23.626	0.509	-0.882	-0.374
หัววัวคั่นไถ	12.315	33.200	23.173	2.915	9.200	-0.827
	11.814	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

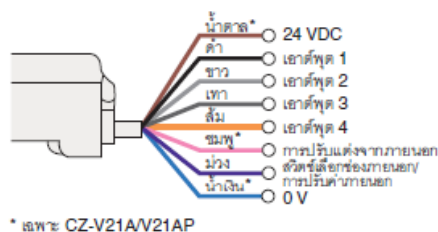


รูปที่ 9.13 เซนเซอร์ตรวจจับสี KEYENCE รุ่น CZ-V21A

คุณสมบัติ

- เซนเซอร์อ่านค่าสี RGB ชนิดไฟเบอร์ออปติกเซนเซอร์
- แหล่งกำเนิดแสง 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 สำหรับหนึ่งเอาต์พุต, สูงถึง 200 mA ใน 4 เอาต์พุต, แรงดันไฟฟ้าตกค้าง: สูงสุด 1.0 V*1
- ความเร็วในการทำงาน 200 μ s (HIGH SPEED-ความเร็วสูง)/1 ms (FINE-ละเอียด)/4 ms (TURBO-เทอร์โบ)/8 ms (SUPER-ซูเปอร์)

เซนเซอร์ มีคุณสมบัติไม่ตรงตามการใช้งานคือ เซนเซอร์มีหลักการทำงานส่งสัญญาณออก 4 ช่อง โดยเลือกตามระดับสีตามที่ตั้งค่าไว้ ไม่ใช่ส่งสัญญาณออกมาเป็นระดับสี RGB อีกทั้งเซนเซอร์ไม่สามารถตรวจจับสีบนพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นมันเงาได้ จึงไม่สามารถอ่านสีของตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วได้



รูปที่ 9.14 สายสัญญาณเซนเซอร์ตรวจจับสี KEYENCE รุ่น CZ-V21A

2) เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS230/TCS3200



รูปที่ 9.15 เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS230/TCS3200

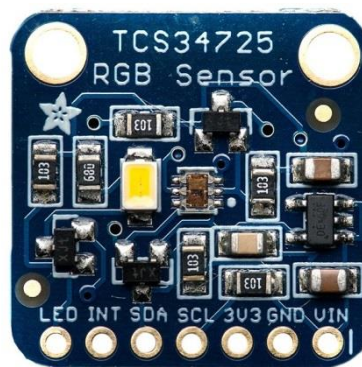
เซนเซอร์วัดความเข้มของแสงสเปกตรัมสีแดง(R) เขียว(G) และฟ้า(B) ในแสงที่มองเห็น (visible light) ใช้ IC เบอร์ TCS3200 อ่านค่าแสงที่สะท้อนกลับมาจากผิวของวัตถุ สัญญาณขาออกมาเป็นค่าความถี่ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าความถี่เป็นระดับความเข้มแสง RGB อีกที

คุณสมบัติ

- 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 9.16 เซนเซอร์วัดค่าสี RGB Colour Sensor - TCS34725

เซนเซอร์วัดค่าสี อุณหภูมิ และความเข้มแสงโดยใช้ IC เบอร์ TCS34725 สามารถตรวจจับสีจากแสงโดยตรง หรือ แสงที่ตกกระทบกับวัตถุ (ควรใช้แสงสีขาวเป็น Light Source สำหรับตรวจจับแสงที่วัตถุ) มีวงจรจัดการแปลงสัญญาณความถี่ออกมาเป็นสัญญาณสื่อสารแบบ I²C เพื่อความแม่นยำ และความสะดวกในการใช้งาน

คุณสมบัติ

- Using imported chip TCS34725
- Red, Green, Blue (RGB), and Clear Light Sensing with IR Blocking Filter
- 16-Bit digital output with I²C at 400 kHz
- SYNC Input Synchronizes Integration Cycle to Modulated Light Sources
- Operating temperature range -40°C to 85°C

เซนเซอร์มีคุณสมบัติในการตรวจจับสีพื้นผิวโดยตรงจึงเหมาะแก่การตรวจจับค่าสีของตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้ว

2. บอร์ดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3



รูปที่ 9.17 บอร์ดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

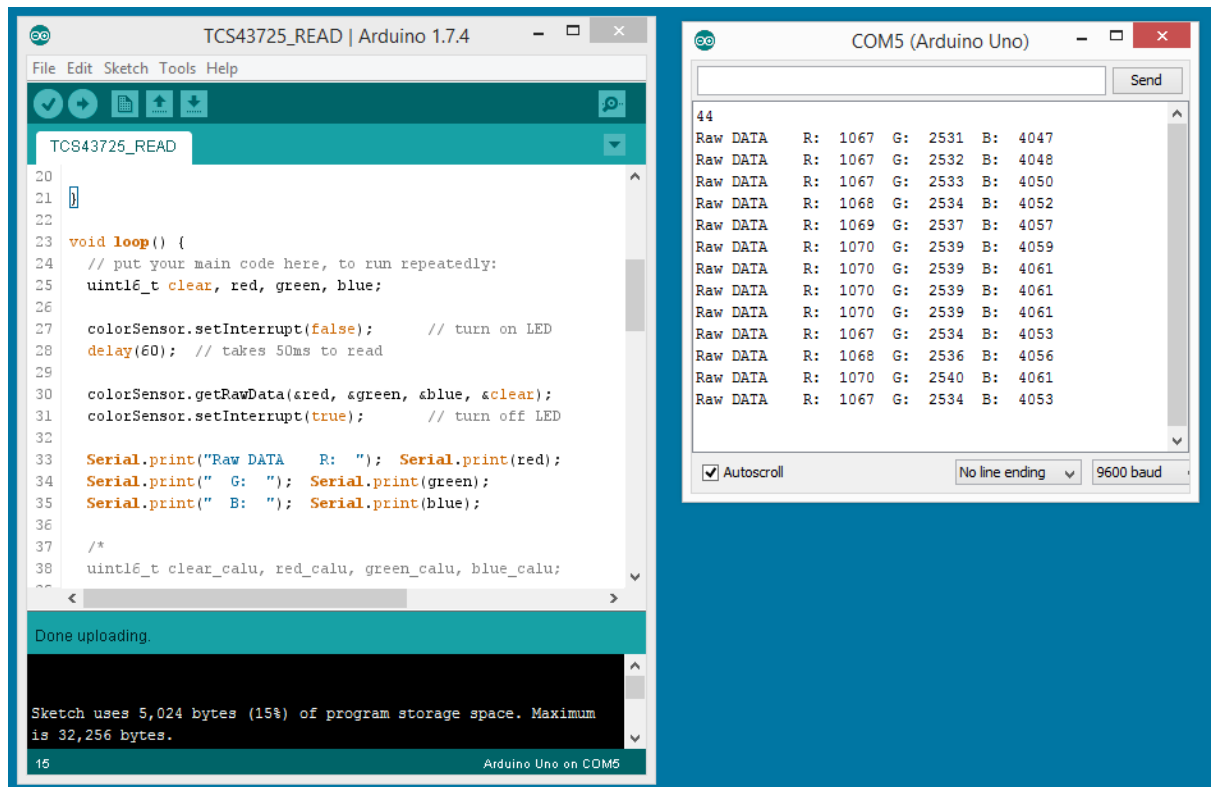
Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย พร้อมชุดเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB โดยนำมาใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์เพื่อแปลงเป็นค่าระดับสี แล้วแปลงค่าสีเป็นปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผสม

คุณสมบัติ

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า(แนะนำ)	7-12V
ขาดิจิตอล I/O	14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM)

ขานาฬิกาอินพุต	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

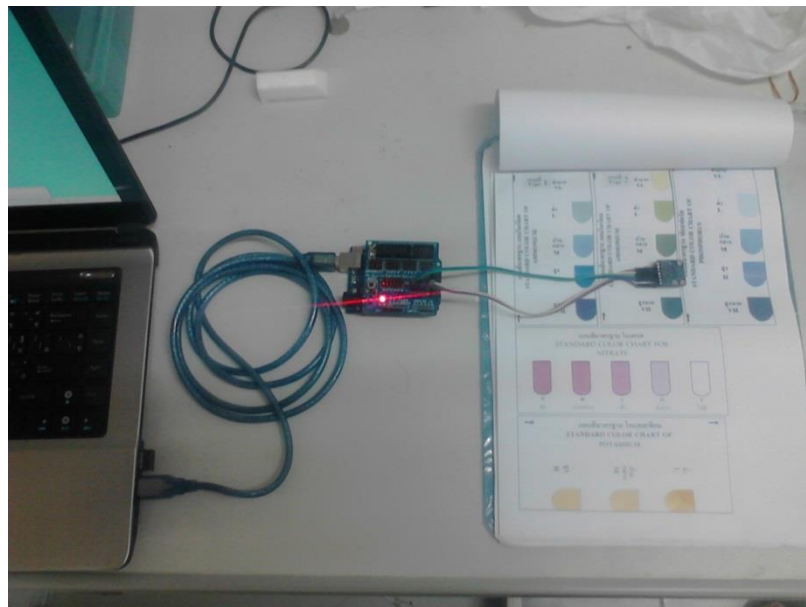


รูปที่ 9.18 โปรแกรม Arduino IDE 1.7.4

โปรแกรม Arduino เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในการทดลองใช้โปรแกรมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่อรับสัญญาณเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 และแปลงค่าออกมาเป็นระดับสี RGB

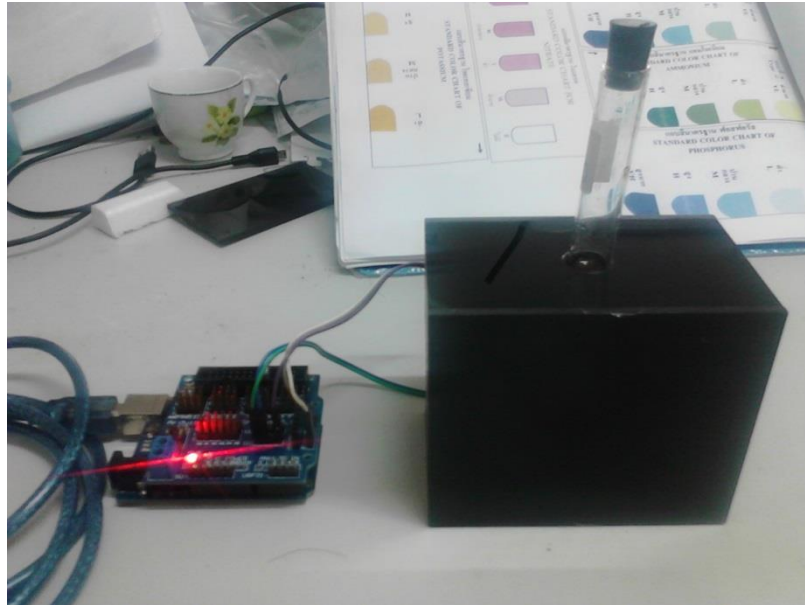
4. การทดลอง

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



รูปที่ 9.19 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

หลังจากนั้นใช้เซนเซอร์อ่านค่าสีจากผลตรวจปุ๋ย นำค่าที่ได้มาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย แสดงผลออกมาเป็นประมาณปุ๋ยที่มีอยู่ในดิน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ต้องผสมต่อไป



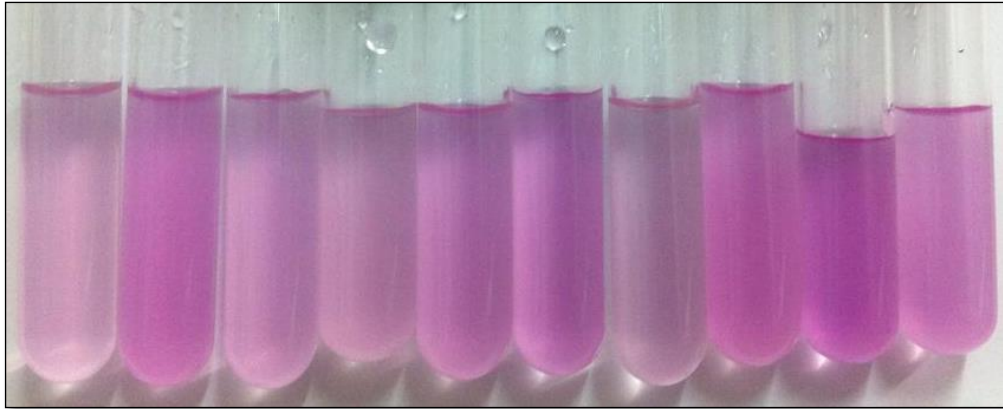
รูปที่ 9.20 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับขวดวิเคราะห์ดิน



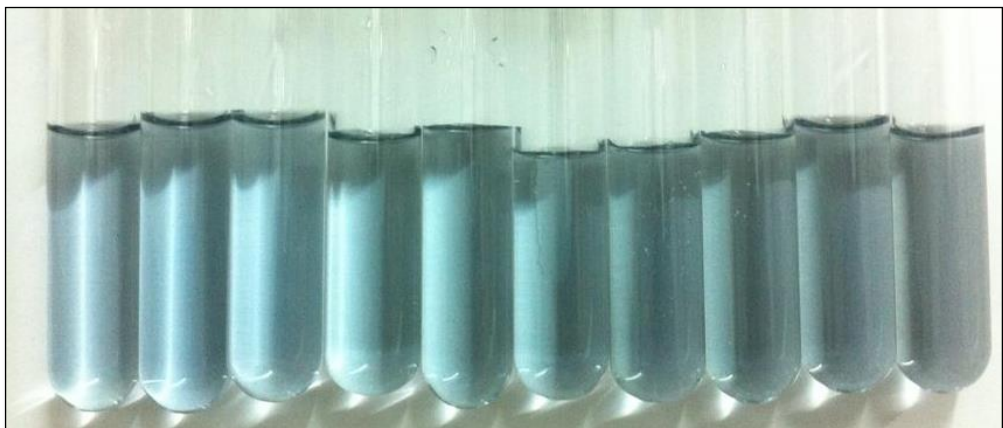
รูปที่ 9.21 ชนิดดินที่ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและทราบค่าในการวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับชุด KIT

ผลการตรวจสอบธาตุอาหารในดินแต่ละตัวอย่าง

1. ตัวอย่างดินชุดที่ 1



รูปที่ 9.22 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)



รูปที่ 9.23 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)

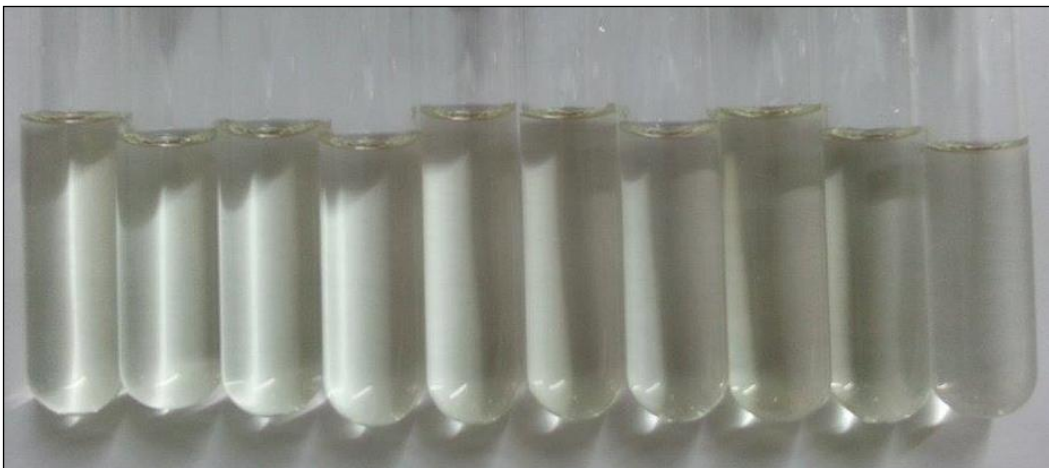


รูปที่ 9.24 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 1 (ดิน1)

ตัวอย่างดินชุดที่ 2



รูปที่ 9.25 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 2 (ดิน2)



รูปที่ 9.26 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 2 (ดิน2)

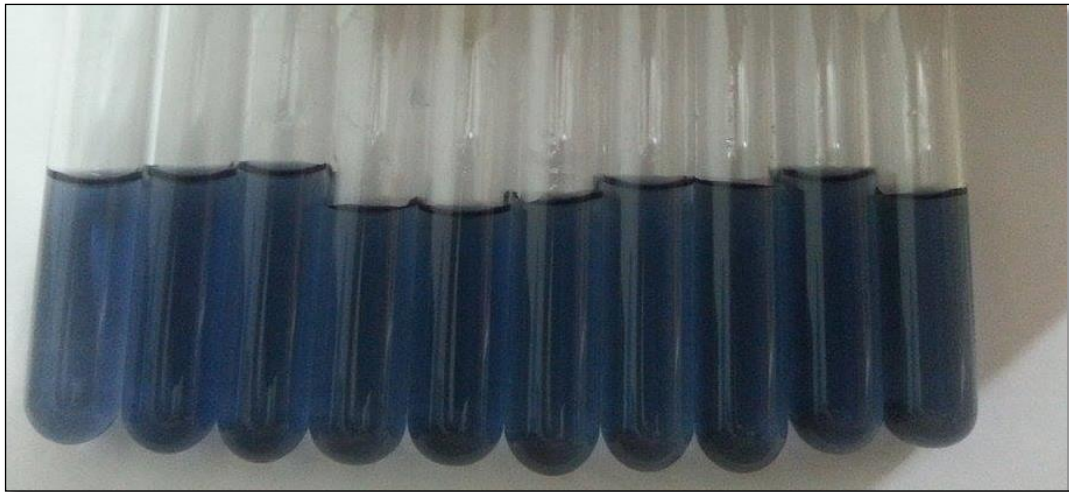


รูปที่ 9.27 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 2 (ดิน 2)

ตัวอย่างดินชุดที่ 3



รูปที่ 9.28 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)



รูปที่ 9.29 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)

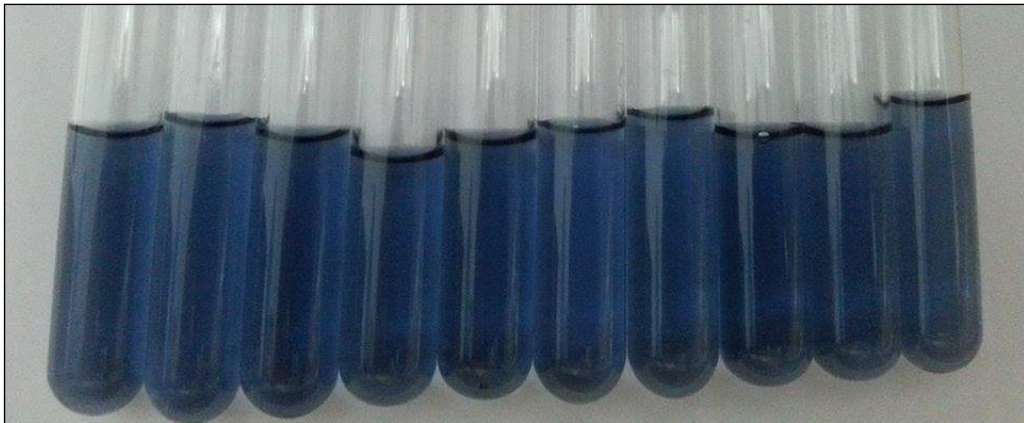


รูปที่ 9.30 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 3 (Ct S4)

ตัวอย่างดินชุดที่ 4



รูปที่ 9.31 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)



รูปที่ 9.32 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร P ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)



รูปที่ 9.33 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร K ในดินชุดที่ 4 (Ng S5)

จากรูปที่ 9.31 ผลการตรวจสอบธาตุอาหาร N ในดินชุดที่ 4 (Ng S5) มีผลที่ผิดเพี้ยนไปคือหลอดทดลองที่ 10 ที่มีสัญลักษณ์กรอบสีแดงครอบอยู่ จากการตรวจสอบพบว่าหลอดทดลองซ้ำที่ 10 มีสีเข้มกว่าหลอดทดลองซ้ำอื่น อาจเนื่องมาจากการทดสอบที่ผิดพลาด จึงทำการตั้งตัวอย่าง 10 ออก ซึ่งจากการวิเคราะห์สีต่างๆสามารถสรุปผลการตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ตารางที่ 9.7

ตารางที่ 9.7 ตารางสรุปผลการตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินแต่ละตัวอย่าง เปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐานของชุดตรวจ

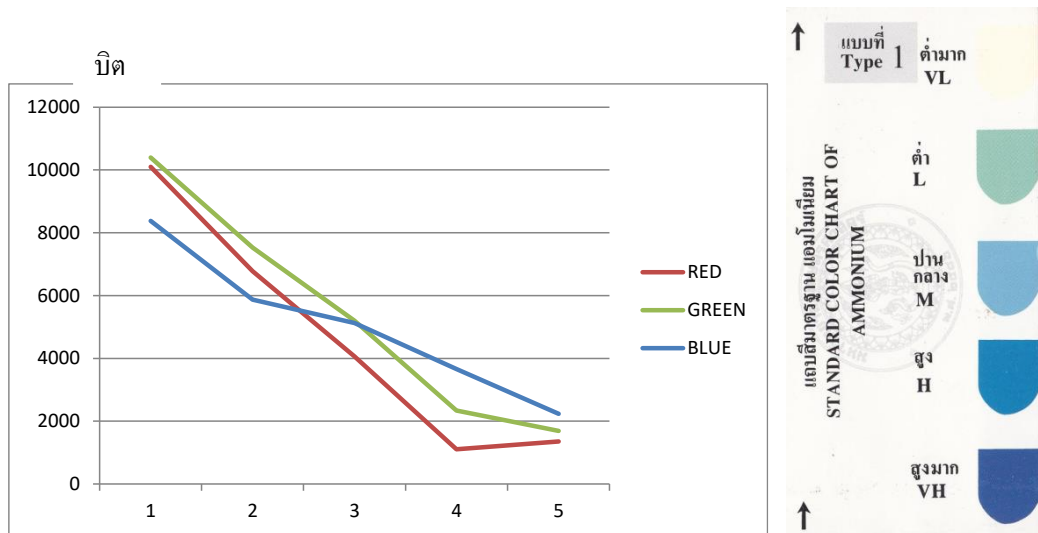
ตัวอย่างดิน	ธาตุอาหารในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์		
	N	P	K
ดินชุดที่ 1 (ดิน1)	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ
ดินชุดที่ 2 (ดิน2)	ต่ำ	ต่ำมาก	ปานกลาง

ดินชุดที่ 3 (Ct S4)	ต่ำมาก	สูงมาก	ปานกลาง
ดินชุดที่ 4 (Ng S5)	ต่ำมาก	สูง	ต่ำ

จากการวิเคราะห์และตรวจธาตุอาหารในดินของชุดตรวจวิเคราะห์พบว่า เมื่อปริมาณ N สูงขึ้นจะมีความแปรปรวนสูง ดังรูปที่ 9.22 และ 9.25 ส่วนค่า P และ K มีความสม่ำเสมอในการวิเคราะห์ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้เซนเซอร์ จากการทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับชุดวิเคราะห์ดิน พบว่าอิทธิพลของชุดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ค่าสี ทำให้คณะผู้วิจัยจึงเปลี่ยนเป็นการใช้สีจากการถ่ายภาพเพื่อการวิเคราะห์

ผลการทดลองและวิเคราะห์เซนเซอร์สีกับการวิเคราะห์ดิน

ระดับสีที่เซนเซอร์อ่านได้จากแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจปุ๋ย มีหน่วยเป็นความถี่ บิต ดังแสดงในกราฟดังต่อไปนี้

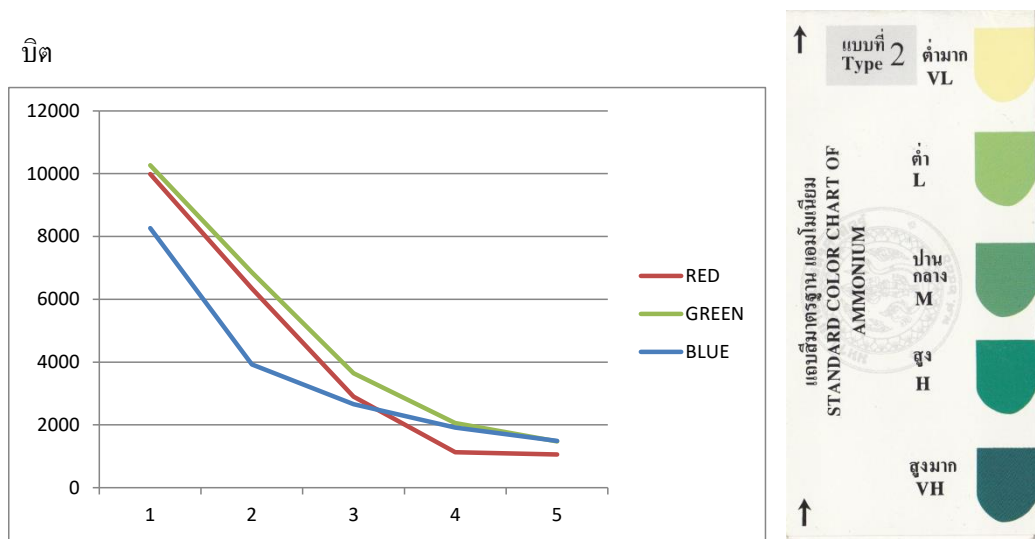


ปริมาณ Ammonium

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

รูปที่ 9.34 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 1

แถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 2

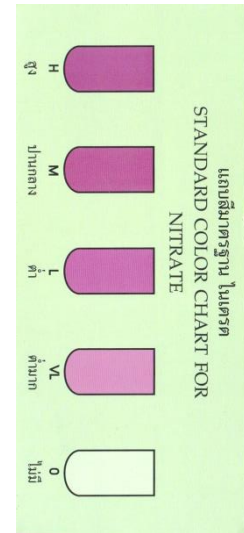
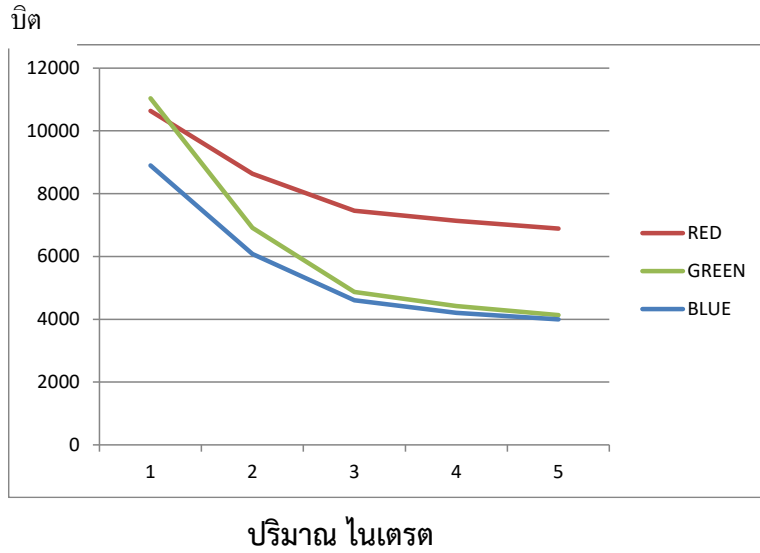


ปริมาณ Ammonium

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

รูปที่ 9.35 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแอมโมเนียม แบบที่ 2

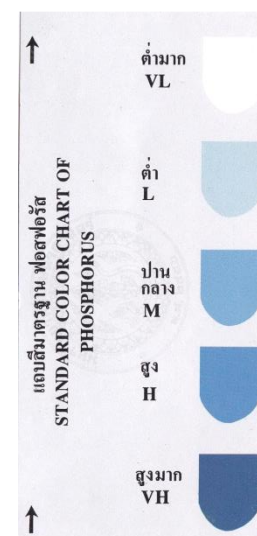
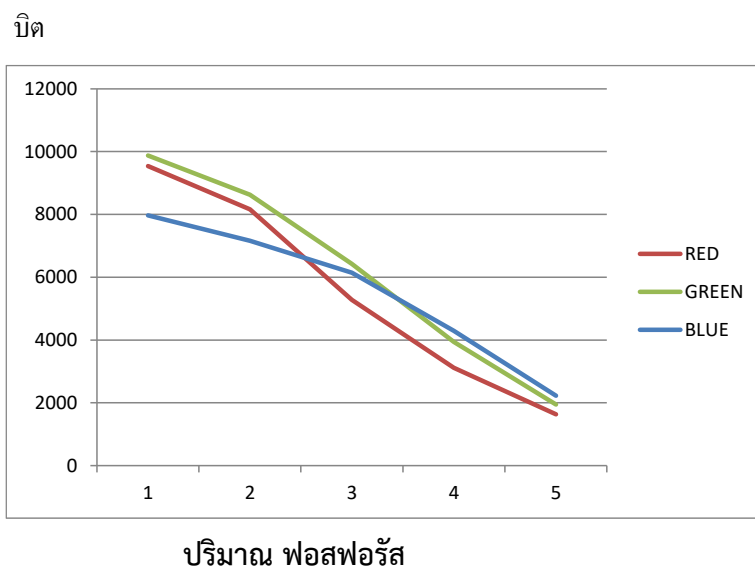
แถบสีมาตรฐานไนเตรต



แกนนอน 1 ไม่มี 2 ต่ำมาก 3 ต่ำ 4 ปานกลาง และ 5 ระดับสูง

รูปที่ 9.36 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสีมาตรฐานแถบสีมาตรฐานไนเตรต

แถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส

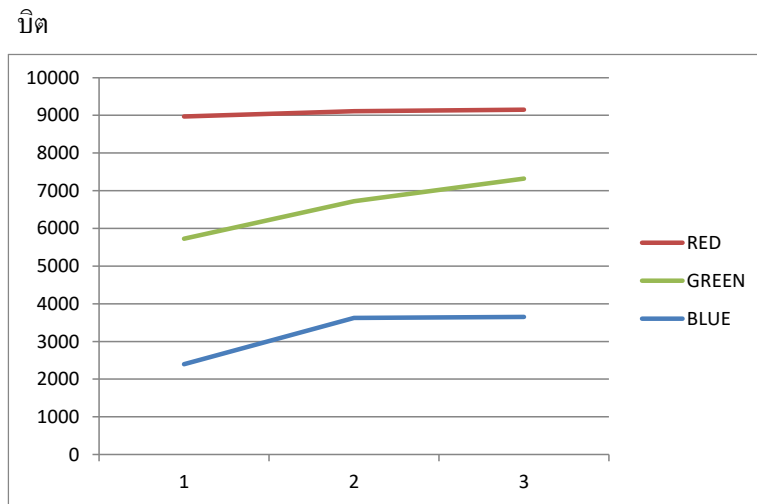


แกนนอน 1 ต่ำมาก 2 ต่ำ 3 ปานกลาง 4 สูง และ 5 สูงมาก

รูปที่ 9.37 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสี

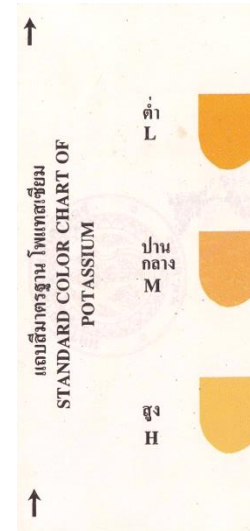
มาตรฐานฟอสฟอรัส

แถบสีมาตรฐานโพแทสเซียม



ปริมาณโพแทสเซียม

แกนนอน 1 ต่ำ 2 ปานกลาง และ 3 สูง



รูปที่ 9.38 การทดลองเซนเซอร์วัดค่าสี TCS34725 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 กับแถบสี

มาตรฐานโพแทสเซียม

การทดสอบใช้เลนส์รวมแสง

เซนเซอร์อ่านค่าสีนั้นใช้หลักการสะท้อนแสงจากผิวของวัตถุ ดังนั้นเพื่อให้เซนเซอร์สามารถอ่านค่าได้อย่างแม่นยำขึ้นจะต้องใช้เลนส์เพื่อรวมแสงที่สะท้อนกลับมาจากผิวของวัตถุ โดยใช้เลนส์ IR ขนาด 12 มิลลิเมตร มุม 25 องศา ที่มีคุณสมบัติรวมแสงได้ดีใช้รวมแสงตกกระทบบที่เซนเซอร์ 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 แสดงผลออกมาเป็นประมาณปุ๋ยที่

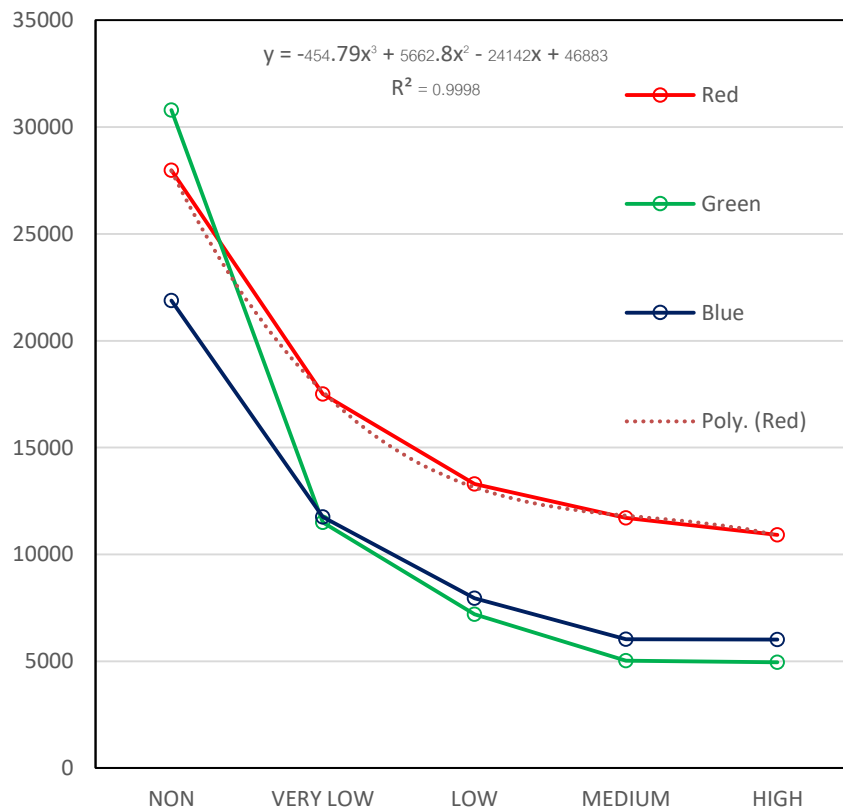
มีอยู่ในดิน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ต้องผสมต่อไป ซึ่งจากการศึกษาขั้นตอนการหน่วยความจำขนาด 8 บิต (256) ไม่สามารถจำแนกสีได้อย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นการนำหน่วยความจำ 16 บิต นำมาใช้พบว่าเป็นแนวทางการเพิ่มความละเอียดในการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากผลของการกระจายของสีจำเป็นต้องมีการรวมแสง โดยผลการศึกษาแสดงรูปที่ 9.41, 9.43 และ 9.45



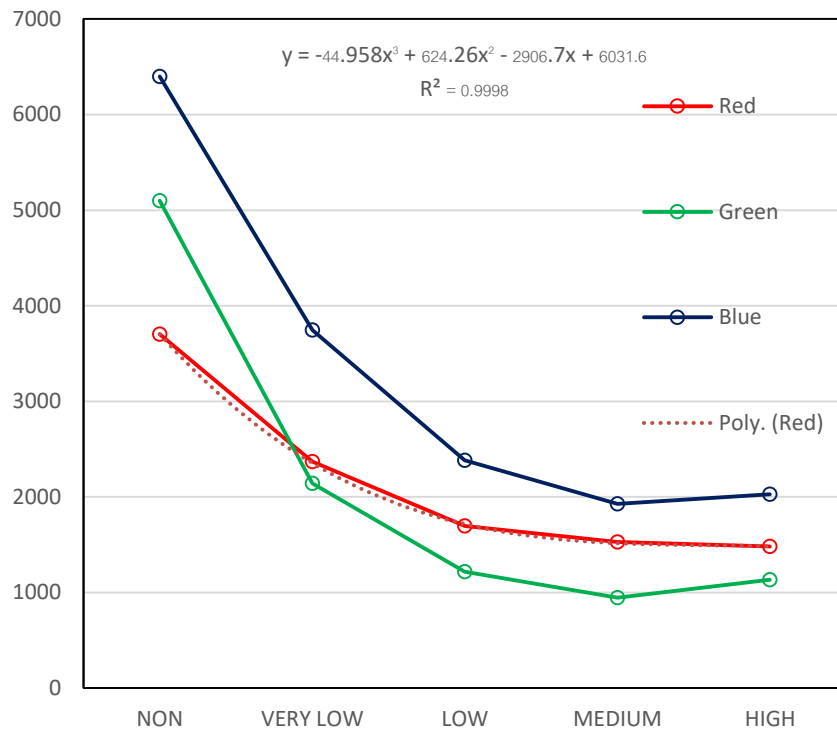
รูปที่ 9.39 เลนส์ IR ขนาด 12 มิลลิเมตร มุม 25 องศา

จากการวิเคราะห์คลื่นความถี่ของแถบสีในเตรต เส้นสีแดงจะเป็นเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต เนื่องจากเมื่อทำการรวมแสงแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อช่วงที่มีปริมาณไนเตรตสูง

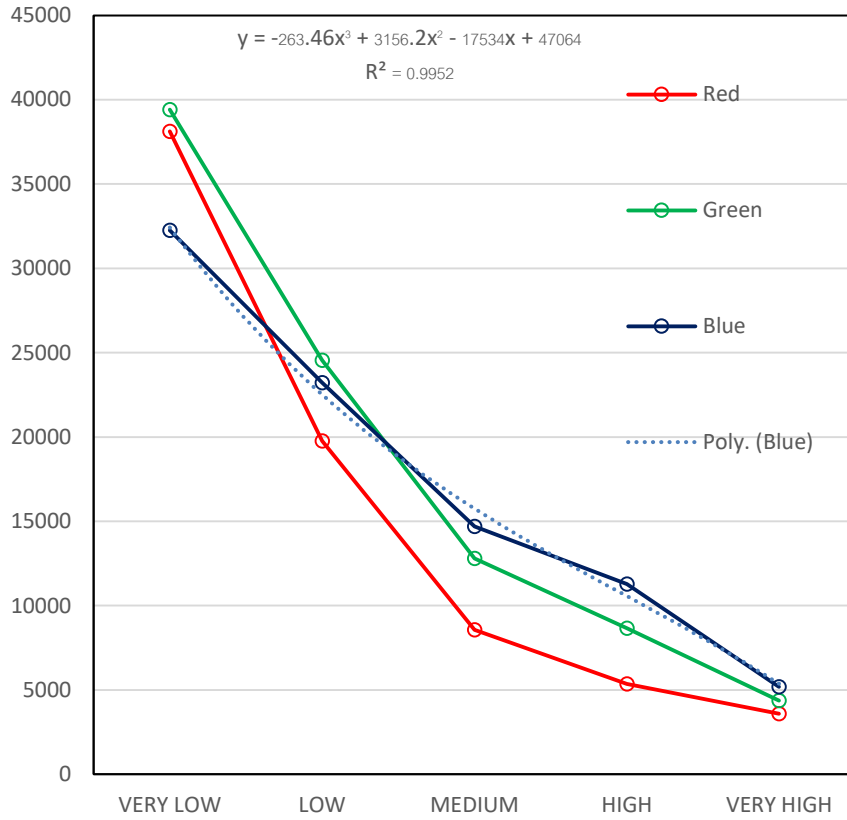
แถบสีมาตรฐานไนเตรต



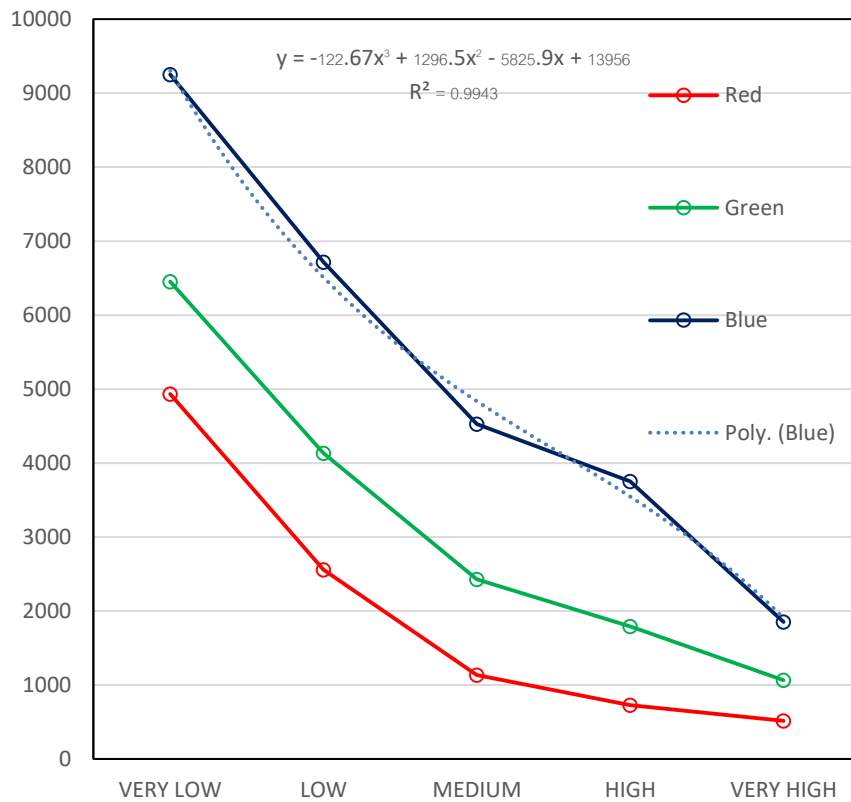
รูปที่ 9.40 การวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานไนเตรต



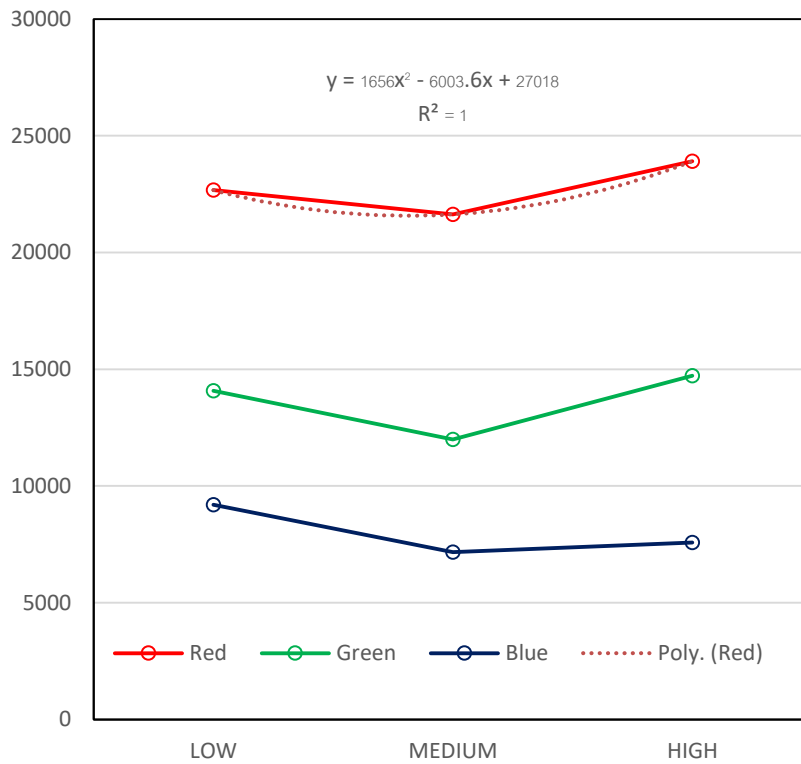
รูปที่ 9.41 การใช้เส้นสีร่วมกับวิเคราะห์สีแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐานไนเตรต



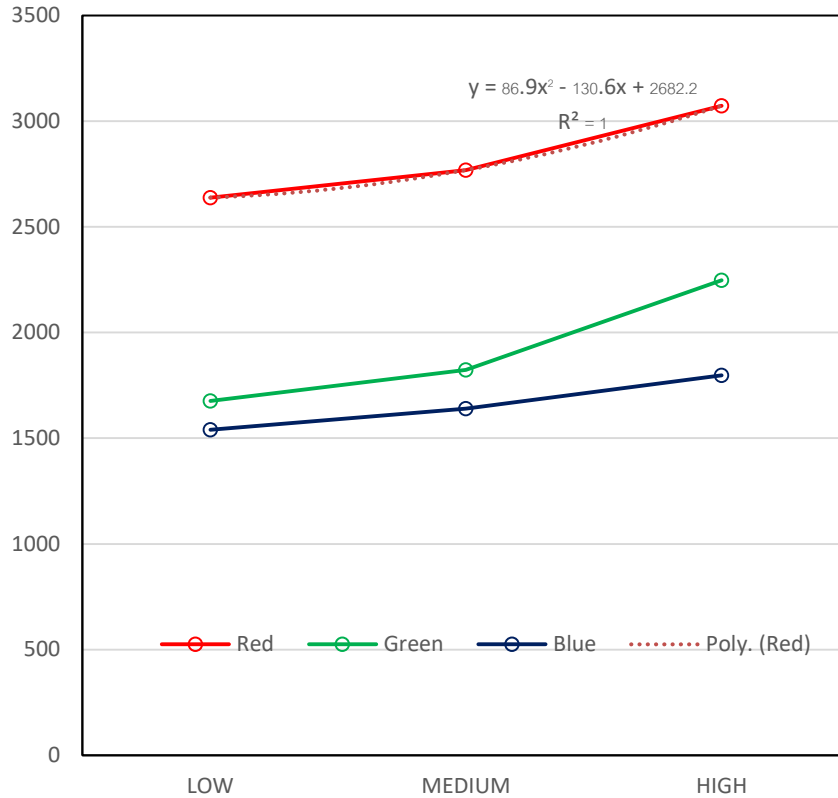
รูปที่ 9.42 การวิเคราะห์ที่สืแปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานฟอสฟอรัส



รูปที่ 9.43 การใช้เส้นสีร่วมกับวิเคราะห์หีสี่แปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐาน ฟอสฟอรัส



รูปที่ 9.44 การวิเคราะห์หีสี่แปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model แถบสีมาตรฐานโพแทสเซียม



รูปที่ 9.45 การใช้เส้นสีร่วมกับวิเคราะห์หีสี่แปลงค่าเป็นสีในระบบแม่สี RGB Color Model โดยแถบสีมาตรฐาน ฟอสฟอรัส

จากการทดลองพบว่าเมื่อเทียบการอ่านค่าแถบสีมาตรฐานจากชุดตรวจดินแบบปกติเทียบกับแบบใส่เลนส์นั้น ค่าที่อ่านได้นั้น เส้นกราฟที่ได้มีความชันเพิ่มขึ้นทำให้สามารถแยกปริมาณธาตุอาหารในดินได้ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย โดยเลือกค่าสีมา 1 ชนิด เพื่อใช้ในการแยกปริมาณธาตุอาหารในดินดังนี้

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

$$R^2 = 0.9998$$

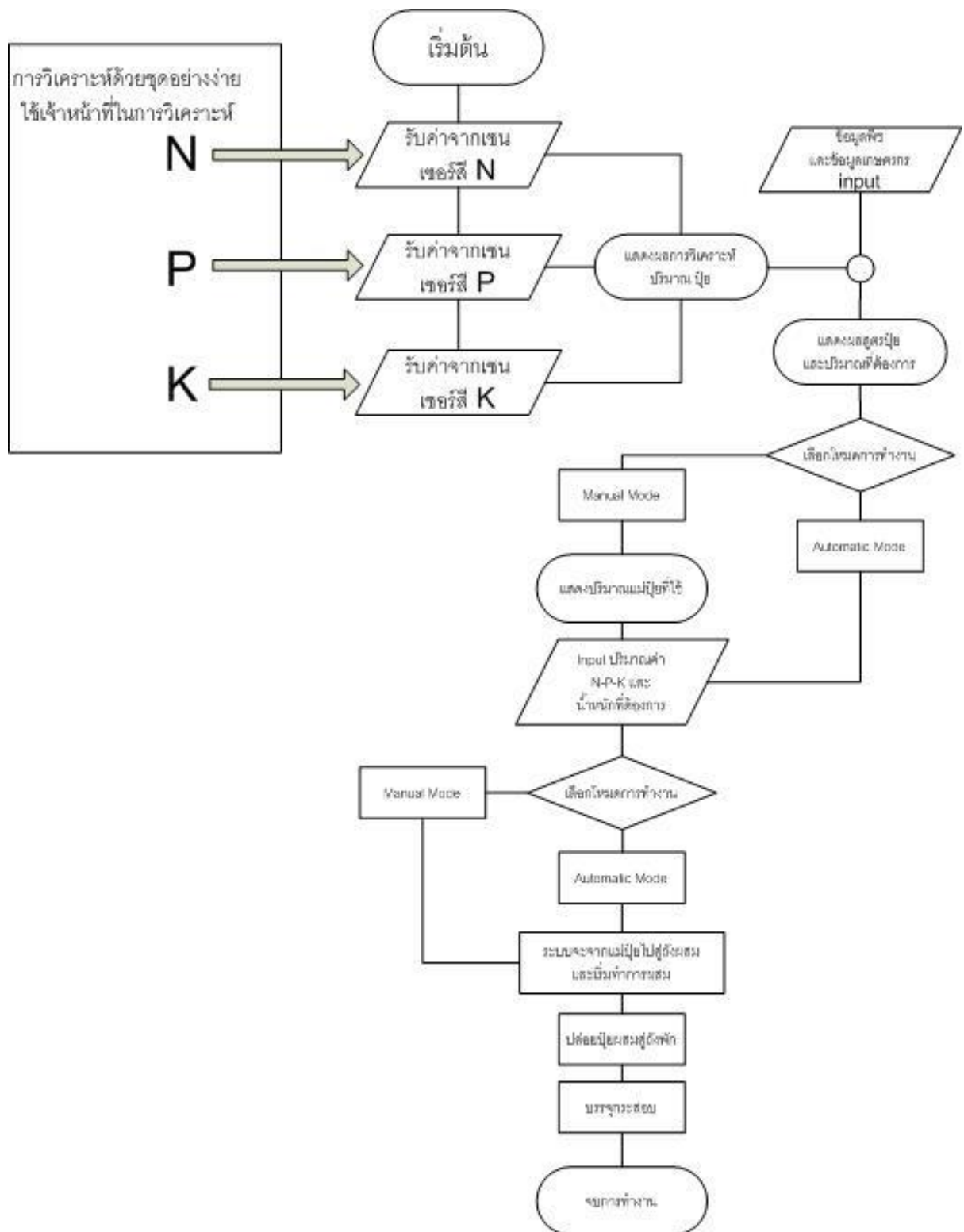
ฟอสฟอรัส ใช้สีน้ำเงิน (BLUE) ใช้สมการ $y = -122.67x^3 + 1296.6x^2 - 5825.9x + 13956$

$$R^2 = 0.9943$$

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

$$R^2 = 1$$

การพัฒนากระบวนการควบคุม PLC Development Flow



รูปที่ 9.46 ระบบควบคุม PLC Development Flow

10. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

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

11. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ได้ข้อมูลการใช้เครื่องผสมปุ๋ยชนิดต่างๆ และข้อมูลในการวิเคราะห์ดินอัตโนมัติ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนากับพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำไปสู่การใช้งานทั้งเกษตรกรและกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อการใช้ปัจจัยการผลิต

12. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาโครงการวิจัยนี้ และสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่นและหน่วยงานภายในกรมวิชาการเกษตรขอขอบคุณ ช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆ ซึ่งล้วนแต่มีส่วนส่งเสริมให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

13. เอกสารอ้างอิง

- คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่(2548). เครื่องผสมปุ๋ย PLC. 22 เมษายน 2555
<http://www.clinictech.most.go.th/techlist/0214/agriculture/00000-393.html>
- มติคณะรัฐมนตรี.(2554). โครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยสั่งตัดเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรและโครงการเงินกู้ให้เกษตรกรจัดหาปุ๋ยของ ธ ก ส . : 22 เมษายน 2555
http://www.dit.go.th/service/Pr/InfoService/group1/5.1/pdf/2554/78_100554.pdf
- ยงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร(2551). ปุ๋ยเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- ประธานกรรมการนโยบายและมาตรการช่วยเหลือเกษตรกร.(2554)รายงานความก้าวหน้าโครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร: 22 มีย. 2554. <http://new.measwatch.org/news/1799>
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์น ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ สมชายกริธาภิรมย์ และบุญแสน เตียนกุลธรรม.(2542). การวิเคราะห์ N P K ในดินอย่างง่าย วารสารดินและปุ๋ย 21: 46-51
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์น และคณะ(2550). การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่เพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน(ข้าวและอ้อย) สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์น และ รุ่งโรจน์ พิทักษ์ด้านธรรม.(2554) คลินิกปุ๋ยสั่งตัด : เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตข้าวและข้าวโพดได้ด้วยตนเอง.ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:
<http://www.ssnm.agr.ku.ac.th>
- ศุภกิตต์ สายสุนทร,ปณณธร ภัทรสถาพรกุล, วิณา ชาลียุทธ,เยาวลักษณ์ พัสตุ และ นรินทร์ จันทวงศ์.(2553) การพัฒนาต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยหมักแบบถังหมุน.วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 41: 25-28
- Katsuhiko Ogata(1990). Modern Control Engineering. Prentice Hall International Edition
- Shibusawa,S., Anom,W.S.,H.,Sasao,A.,2 0 0 0 . On- line real time soil spectrophotometer. Proceedings of fifth International Conference on Precision Agriculture, July 16-19,2000. Bloommington, MN, USA

