

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจสอบวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล

2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พืช ดิน และน้ำ

กิจกรรม : พัฒนาเทคนิคระบบการตรวจวิเคราะห์ และตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย

กิจกรรมย่อย : -

3. ชื่อการทดลอง : พัฒนาระบบการวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ

ชื่อภาษาอังกฤษ : Development on Analysis of Moisture in Chemical Fertilizers

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง	น.ส.ศุภากร ดวนใหญ่	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ผู้ร่วมงาน	นางทองจันทร์ พิมพ์เพชร	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	น.ส.อารีรัตน์ วงศ์สุวรรณ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

5. บทคัดย่อ

พัฒนาระบบการวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ โดย 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคที่ 1 เทคนิค Inhouse method ดัดแปลงจาก AOAC Official Method 950.01 (Oven drying) เทคนิคที่ 2 เทคนิค Vacuum-Desiccation Methods 965.08 A. Method I (Vacuum desiccator) และเทคนิคที่ 3 เทคนิค Vacuum-Desiccation Methods 965.08 B. Method II (Vacuum oven) จากการวิเคราะห์สารตัวเติมและตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น พบว่า ความชื้นของสารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 เทคนิค ได้ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า สูตรต่ำมีความชื้นมากกว่าสูตรกลาง และสูตรสูง เนื่องมาจากปุ๋ยสูตรต่ำมีปริมาณสารตัวเติมมากกว่าสูตรกลาง และสูตรเข้มข้น ดังนั้นสารตัวเติมจึงมีความสำคัญในการผลิตปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า และตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบ เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot H_2O$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot H_2O$, $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) บอแรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$) กรดบอริก (Boric acid) แคลเซียมไนเตรท ($5Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3 \cdot 10H_2O$) แมกนีเซียมไนเตรท ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เมื่อนำตัวอย่างปุ๋ยเม็ดดังกล่าวมาทดสอบทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ลักษณะของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงสภาพ เช่น สีเปลี่ยนไปจากสีเดิม ปุ๋ยบางส่วนละลาย

ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้ (Limit of Quantitation; LOQ) เทคนิคที่ 1 LOD เท่ากับ 0.037% LOQ เท่ากับ 0.072% เทคนิคที่ 2 LOD เท่ากับ 0.004% LOQ เท่ากับ 0.046% และเทคนิคที่ 3 LOD เท่ากับ 0.062% LOQ เท่ากับ 0.139% การหาความเที่ยง ของตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นต่ำ กลาง และสูง ของ 3 เทคนิค พบว่า เทคนิคที่ 1 มีค่าความเที่ยง

มากกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 และทั้ง 3 เทคนิคเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมี แต่วิธีวิเคราะห์ความชื้นทั้ง 3 เทคนิคยังไม่เหมาะสม สำหรับตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบและปุ๋ยกลุ่มไนเตรท อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด ปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด ปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ มีค่าความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยทั้ง 3 เทคนิค มีค่าความชื้นไปในทิศทางเดียวกัน คือมีค่าความชื้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

Abstract

The purpose this study was to development on analysis of moisture in chemical fertilizers. This study was composed of 3 methods. Method I; Inhouse method base on AOAC Official Method 9 5 0 .0 1 (Oven drying). Method II; Vacuum-Desiccation Methods 965.08 A. Method I (Vacuum desiccator). And method III; Vacuum-Desiccation Methods 965.08 B. Method II (Vacuum oven). Method I had most precision. Analysis filler and bulk blending fertilizer was low analysis fertilizer, medium analysis fertilizer and concentrated fertilizer. Three method was moisture of filler t Stat > t Critical. Method had also statistically significant effect on moisture ($p \leq 0.05$). Bulk blending fertilizer was low analysis fertilizer had moisture more than medium analysis fertilizer and concentrated fertilizer. Because low analysis fertilizer had filler quantity is greater than medium analysis fertilizer and concentrated fertilizer. So filler content is important to bulk blending fertilizer manufacturers. Chemical fertilizer has contained of water such as copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ferrus sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, zinc sulfate ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, calcium nitrate ($5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), magnesium nitrate ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Test 3 methods found characteristics of the sample changed. Such as color and some soluble.

Limit of Detection (LOD) and Limit of Quantitation (LOQ). Method I 1 LOD had 0.037%, LOQ had 0.072%, Method II LOD had 0.004%, LOQ had 0.046% and Method III LOD had 0.062%, LOQ had 0.13%. Precision was sample fertilizer had low, medium and high moisture. Found method I had precision more than method II and method III. Three methods had improper for chemical fertilizers had contained of water.

This study found that bulk blending fertilizer, compaction granulation fertilizer, scales fertilizer, single fertilizer and compound fertilizer. Three methods had moisture less than 3%. Follow up Fertilizer act B.E.2518 amended by fertilizer act (No.2) B.E.2550.

6. คำนำ

ความชื้นในปุ๋ยเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิต ลูกค้า เจ้าหน้าที่ที่กำกับดูแล สูตรปุ๋ย และเกษตรกร ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ย จึงมีความสำคัญเพื่อให้ค่าวิเคราะห์ที่ได้มีความเชื่อถือ (IFA, 2014) การวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ย มีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิต หรือนำเข้า เพื่อให้เกษตรกรมีความมั่นใจในคุณภาพของปุ๋ยที่นำไปใช้ การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ยให้มีความเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานและประเภทของปุ๋ย เป็นการยืนยันถึงวิธีการที่นำมาใช้ตรวจสอบว่าให้ผลวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล (ISO/IEC 17025, 2005) ปัจจุบันห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยใช้วิธีวิเคราะห์ความชื้นที่พัฒนา (Inhouse method) จากวิธีวิเคราะห์ของ AOAC Official Method (ปิยะรัตน์, 2550) โดยใช้ตู้อบอากาศร้อนแบบธรรมดา (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 20 ชั่วโมง เนื่องจากตัวอย่างปุ๋ยที่ส่งมาวิเคราะห์มีหลากหลายประเภท ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับตัวอย่างปุ๋ยบางประเภท ทำให้ตัวอย่างเสียหาย ค่าวิเคราะห์ผิดพลาด หรือได้ผลทดสอบที่ไม่แน่นอน จนไม่สามารถทำการทดสอบและออกรายงานผลได้ ซึ่งอาจมาจากลักษณะเฉพาะของตัวอย่างปุ๋ย เช่น จุดหลอมเหลวต่ำ เป็นสารดูดซับความชื้น หรือมีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ความชื้นในตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม โดยใช้ Vacuum-Desiccation Method เป็นวิธีมาตรฐาน AOAC Official Method 965.08 (George and Latimer, 2016) ซึ่งวิธี Vacuum-Desiccation Method เป็นวิธีวิเคราะห์ความชื้นในสภาวะความดันบรรยากาศ (9-21 นิ้ว) อุณหภูมิต่ำและเวลาที่กำหนด ซึ่งการใช้อุณหภูมิต่ำช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาพของตัวอย่างปุ๋ยได้

เนื่องจากห้องปฏิบัติการไม่มีและไม่สามารถจัดหาวัสดุอ้างอิงรับรอง หรือวัสดุอ้างอิงที่ระบุค่าความถูกต้องของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความไม่แน่นอน เพื่อนำไปตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์โดยตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีที่ทดสอบที่แตกต่างกัน (Paired t-test)

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

- 1) ตัวอย่างปุ๋ยเคมีตัวอย่างปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด ปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด ปุ๋ยเชิงเดี่ยว และเชิงประกอบ จำนวน 40 สูตร
- 2) ตัวอย่างปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ สูตร 46-0-0, 0-0-60 และ 18-46-0
- 3) ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ สูตร 0-0-60 ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับกลาง สูตร 28-10-5 และ ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับสูง สูตร 12-3-3
- 4) ตัวอย่างสารตัวเติม (Filler) และตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้าที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง
- 5) ตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีส่วนประกอบของโมเลกุลน้ำ จำนวน 10 ตัวอย่าง
- 6) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo Model MS 204)
- 7) เครื่องอบลมร้อน (Memmert Model U 40)

- 8) เครื่อง Vacuum desiccator (AS ONE Model MVD 100)
- 9) เครื่อง Vacuum oven (WTB binder Model VD-23)
- 10) ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Sanplatec Model Auto C-3W)
- 11) ปีกเกอร์แก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 12) ถาดอะลูมิเนียม
- 13) ซ้อนตักสาร

7.2 วิธีการ

1) การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมี

นำตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบบับเม็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงผสม จำนวน 10 สูตร แบบเกล็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงเดี่ยว และเชิงประกอบ จำนวน 10 สูตร น้ำหนักอย่างน้อย 700 กรัม ผสมคลุกเคล้า และทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง (Riffle) แล้วนำตัวอย่างปุ๋ย 2 ส่วน มาแบ่งอีกครั้ง จะได้ตัวอย่างปุ๋ย 4 ส่วน เตรียมใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค ไล่อากาศออกให้หมดและปิดถุงให้สนิท เขียนป้ายบ่งชี้ตัวอย่าง

2) การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง สูตรต่ำ ได้แก่ สูตร 5-5-5, 3-3-3 และ 4-4-4 สูตรกลาง ได้แก่ สูตร 12-4-4, 12-3-3 และ 11-3-5 สูตรเข้มข้น ได้แก่ สูตร 15-15-15, 16-16-8 และ 13-13-21 โดยนำตัวอย่างปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ สูตร 46-0-0, 0-0-60 และ 18-46-0 มาซึ่งตามน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณ ตัวอย่างละ 200 กรัม เตรียมใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค ไล่อากาศออกให้หมดและปิดถุงให้สนิท เขียนป้ายบ่งชี้ตัวอย่าง

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ ประกอบด้วย 3 เทคนิค ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 7 ซ้ำ

เทคนิคที่ 1 เทคนิค Inhouse method (Oven drying) ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ยังไม่ผ่านการบด จำนวน 5.0xxx กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์แก้วขนาด 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างปุ๋ยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำปีกเกอร์ออกจากตู้อบมาวางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ นำปีกเกอร์ไปชั่งอีกครั้ง

เทคนิคที่ 2 เทคนิค Vacuum-Desiccation methods (Vacuum desiccator) ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ยังไม่ผ่านการบด จำนวน 2.0xxx กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์แก้วขนาด 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างปุ๋ยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 22 นิ้ว เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง นำปีกเกอร์ออกจากตู้ Vacuum มาวางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ นำปีกเกอร์ไปชั่งอีกครั้ง

เทคนิคที่ 3 เทคนิค Vacuum-Desiccation methods (Vacuum oven) ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ยังไม่ผ่านการบด จำนวน 2.0xxx กรัม ใส่ลงใน ปีกเกอร์แก้วขนาด 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างปุ๋ยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 21 นิ้ว เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ± 10 นาที นำปีกเกอร์ออกจากตู้ Vacuum-Desiccation มาวางไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ นำปีกเกอร์ไปชั่งอีกครั้ง

การคำนวณความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในปุ๋ย} \times 100}{\text{น้ำหนักปุ๋ย}} = \frac{(B - C) \times 100}{B - A}$$

- A หมายถึง น้ำหนักปิกเกอร์
 B หมายถึง น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ + น้ำหนักปิกเกอร์
 C หมายถึง น้ำหนักปุ๋ยหลังอบ + น้ำหนักปิกเกอร์

เกณฑ์การวิเคราะห์ความชื้น ปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์กำหนด (ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 126 ตอนพิเศษ 63 ง) คือ

- ปุ๋ยเคมีที่มีผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์
- ปุ๋ยฟอสเฟต มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ปุ๋ยเคมีซูเปอร์ฟอสเฟต (Available P_2O_5 ไม่ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก) ปุ๋ยเคมีดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Available P_2O_5 ไม่ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก) ปุ๋ยเคมีทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Available P_2O_5 ไม่ต่ำกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก)

4) วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงผสมจำนวน 10 สูตร แบบเกล็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงเดี่ยว และเชิงประกอบ จำนวน 10 สูตร ทั้ง 3 เทคนิค แล้วนำมาเปรียบเทียบความชื้นในปุ๋ยเคมี ด้วย Paired t-test

5) วิเคราะห์สารตัวเติม (Filler) และเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ทั้ง 3 เทคนิค แล้วนำมาเปรียบเทียบความชื้นในปุ๋ยเคมี ด้วย Paired t-test

6) วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีโมเลกุลน้ำเป็นส่วนประกอบ จำนวน 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ทั้ง 3 เทคนิค

7) การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ความชื้น โดยนำตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นต่ำ สูตร 0-0-50 ลักษณะผงละเอียดสีขาว หาปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถทดสอบและรายงานผล

8) การหาความเที่ยง (Precision) ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ กลาง และสูง ของ 3 เทคนิค โดยตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ไม่มีส่วนประกอบของ Volatile Substance ได้แก่ ปุ๋ยเคมีที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำใช้สูตร 0-0-60 ปุ๋ยเคมีที่มีความชื้นอยู่ในระดับกลาง ใช้สูตร 28-10-5 และปุ๋ยเคมีที่มีความชื้นอยู่ในระดับสูง 12-3-3 ตัวอย่างละ 20 ซ้ำ

เวลาและสถานที่

เวลาการดำเนินงาน	เริ่มต้นตุลาคม 2558 สิ้นสุดกันยายน 2559
สถานที่ทำการทดลอง	กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในปุ๋ยเคมีของ 3 เทคนิค

จากนั้นนำตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลูกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงผสมจำนวน 10 สูตร แบบเกล็ด จำนวน 10 สูตร ปุ๋ยเชิงเดี่ยว และเชิงประกอบ จำนวน 10 สูตร ทั้ง 3 เทคนิค แล้วนำมาเปรียบเทียบความชื้นในปุ๋ยเคมี ด้วย Paired t-test ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 1,2 และ 3

ตารางที่ 1 ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเชิงผสมแบบคลูกเคล้า

ตัวอย่างที่	สูตร	ลักษณะตัวอย่าง	ความชื้น (%)		
			เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	28-10-5	เม็ดสีขาว ดำ เขียวอ่อน ก้อนเหลี่ยมสีแดง	2.0	1.2	1.1
2	22-4-4	เม็ดสีขาว ดำ เขียวอ่อน ก้อนเหลี่ยมสีแดง	1.0	0.7	0.5
3	21-7-18	เม็ดสีขาว ดำ น้ำตาล ผลึกเหลี่ยมสีแดง	1.3	0.9	0.7
4	15-3-21	เม็ดสีขาว ดำ เขียวอมน้ำตาล ผลึกเหลี่ยมสีแดง	0.9	0.9	0.5
5	20-10-12	เม็ดสีขาว ดำ ผลึกเหลี่ยมสีแดง	1.6	1.2	0.9
6	28-11-5	เม็ดสีขาว ดำ ผลึกเหลี่ยมสีแดง	1.5	1.3	0.9
7	16-24-10	เม็ดสีเทา เขียวอ่อน เขียวเข้ม ฟ้ำอ่อน	1.6	0.8	0.6
8	15-6-35	เม็ดสีขาว ดำ ผลึกเหลี่ยมสีแดง	1.7	1.3	1.1
9	16-16-16	เม็ดสีขาว ดำ เหลืองอ่อน ผลึกเหลี่ยมสีแดง	1.8	1.2	0.8
10	16-20-0	เม็ดสีครีม เขียว น้ำตาล	1.9	0.7	0.6

จากการทดสอบ Paired t-test พบว่า เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 ยกเว้นตัวอย่างปุ๋ยสูตร 15-3-21 ซึ่งมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากัน เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์% โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3

ตารางที่ 2 ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด

ตัวอย่างที่	สูตร	ลักษณะตัวอย่าง	ความชื้น (%)		
			เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	16-16-8	เม็ดสีน้ำตาลอมเทา	0.7	0.2	0.2

2	20-10-10	เม็ดสีน้ำตาลอมเทา	0.9	0.4	0.2
3	8-24-24	เม็ดสีฟ้าอ่อน	0.4	0.1	0.1
4	10-10-30	เม็ดสีฟ้าอ่อน	0.3	0.1	0.1
5	13-13-21	เม็ดสีเขียวอ่อน	0.6	0.3	0.1
6	20-5-8	เม็ดสีเขียว	1.4	1.2	0.9
7	16-16-16	เม็ดสีเทา	0.6	0.7	0.4
8	25-9-9	เม็ดสีน้ำตาลอมเทาอ่อน	0.7	0.6	0.2
9	10-26-26	เม็ดสีน้ำตาลอมชมพูอ่อน	1.1	0.4	0.3
10	15-15-15	เม็ดสีชมพูเข้ม	0.9	0.4	0.4

จากการทดสอบ Paired t-test พบว่า เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความขึ้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 3 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความขึ้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 2 มีค่าความขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3

ตารางที่ 3 ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด

ตัวอย่างที่	สูตร	ลักษณะตัวอย่าง	ความชื้น (%)		
			เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	13-40-13	เกล็ดสีม่วงเข้มปนขาว,ชมพู,ฟ้า	0.6	0.7	0.4
2	6-20-30	ผงเกล็ดสีขาวปนน้ำตาลเล็กน้อย	0.3	0.0	0.0
3	10-52-10	เกล็ดสีม่วง	0.3	0.3	0.2
4	9-19-34	เกล็ดสีชมพู	1.2	1.1	1.0
5	15-4-30	เกล็ดสีเขียวอมฟ้า	1.0	1.1	1.1
6	13-27-27	เกล็ดสีเขียวอมฟ้า	1.4	0.6	0.8
7	10-30-30	เกล็ดสีฟ้าปนขาวเล็กน้อย	1.7	1.9	1.5
8	16-21-27	เกล็ดสีชมพูเข้ม	0.8	1.2	0.8
9	21-21-21	เกล็ดสีเขียวอ่อน	0.6	0.6	0.4
10	20-20-20	เกล็ดสีเขียวอมเหลือง	1.2	1.4	1.0

จากการทดสอบ Paired t-test พบว่า เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 ค่า $t \text{ Stat} < t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค ไม่มีความแตกต่างกัน เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ 2 เทคนิค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3

ตารางที่ 4 ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ

ตัวอย่างที่	สูตร	ลักษณะตัวอย่าง	ความชื้น (%)		
			เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	0-0-50	ก้อนเหลี่ยมสีเทา	0.1	0.0	0.0
2	0-0-60	ก้อนเหลี่ยมสีแดง	0.1	0.2	0.1
3	46-0-0	เม็ดโพนขาว	0.1	0.1	0.1
4	21-0-0	ผลึกเหลี่ยมใส	0.0	0.0	0.0
5	12-60-0	ผลึกขาวใส	0.0	0.0	0.0
6	0-52-34	ผลึกขาวใส	0.2	0.0	0.1
7	21-53-0	ผลึกขาวใส	0.5	0.0	0.1
8	0-40-54	ผงสีขาว	1.7	1.0	0.7
9	18-46-0	เม็ดสีดำ, น้ำตาลเทา	1.9	0.5	0.4
10	13-0-46	ผงสีขาว	0.2	0.1	0.0

จากการทดสอบ Paired t-test พบว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ได้ค่า $t \text{ Stat} < t \text{ Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค ไม่มีความแตกต่างกัน

8.2 วิเคราะห์สารตัวเติม (Filler) และเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีสูตรต่ำ กลาง สูง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 กรัม

เมื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ ค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทั้ง 3 เทคนิค ดังนั้นผู้ทดลองจึงนำสารตัวเติม (Filler) และเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีสูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 5 ความชื้นของสารตัวเติม (Filler)

ซ้ำที่	ความชื้น (%)		
	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	1.69	0.59	0.97
2	1.71	0.58	0.93
3	1.64	0.61	0.85
4	1.67	0.63	0.87
5	1.65	0.61	0.93
6	1.63	0.64	0.94
7	1.69	0.59	0.86
8	1.74	0.67	0.89
9	1.66	0.67	0.92
10	1.68	0.62	0.92
Mean	1.68	0.62	0.91
SD	0.03	0.03	0.04
RSD	1.83	4.84	4.05

จากการทดสอบ Paired t-test พบว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ได้ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 และ 3 ส่วนเทคนิคที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 1 มีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 แสดงว่าสารตัวเติมมีผลต่อความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า หากตัวอย่างปุ๋ยสูตรต่ำ มีสารตัวเติมมากกว่าในตัวอย่างปุ๋ยสูตรสูง

ตารางที่ 6 ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรองสูตรต่ำ กลาง และ เข้มข้น

ปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง	สูตร	ความชื้น (%)		
		เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
ต่ำ	5-5-5	1.62	0.63	0.72
	3-3-3	1.53	0.67	0.96
	4-4-4	1.71	0.73	0.95
กลาง	12-4-4	1.55	0.56	0.73
	12-3-3	1.57	0.66	0.99
	11-3-5	1.72	0.95	1.16
เข้มข้น	15-15-15	1.34	0.41	0.47
	16-16-8	1.35	0.51	0.55
	13-13-21	1.24	0.51	0.54

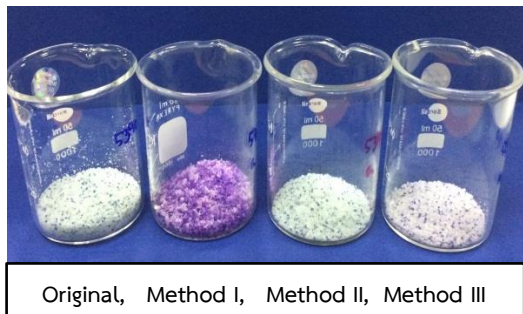
จากการทดสอบ Paired t-test ของตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรองสูตรต่ำ และสูตรกลาง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ได้ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3 และ 2 และเทคนิคที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 และการทดสอบ Paired t-test ของตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรเข้มข้น พบว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 สูตร 15-15-15 และสูตร 16-16-8 ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3 และ 2 และเทคนิคที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 ส่วนสูตร 13-13-21 เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคที่ 1 กับเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 พบว่า ค่า $t \text{ Stat} > t \text{ Critical}$ ของค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 3 และ 2 และเทคนิคที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 เทคนิคที่ 1 ส่วนเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 พบว่า ค่า $t \text{ Stat} < t \text{ Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของเทคนิคที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกัน

จากการเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น ที่เตรียมจากปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ โดยผสมปุ๋ยสูตร 46-0-0, 0-0-60 และ 18-46-0 ตามอัตราส่วนที่ต้องการ ค่าความชื้นของความชื้นของตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง เทคนิคที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความชื้นมากกว่าเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 มีค่าเฉลี่ยความชื้นมากกว่าเทคนิคที่ 2 จากข้อมูลความชื้นของทั้ง 3 วิธีเห็นได้ว่า สูตรต่ำมีความชื้นมากกว่าสูตรกลาง และสูตรสูง ทั้ง 3 เทคนิค เนื่องมาจากปุ๋ยสูตร

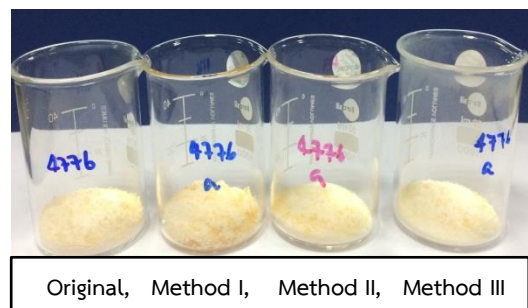
ตำมีปริมาณสารตัวเติมมากกว่าสูตรกลาง และสูตรเข้มข้น ดังนั้นสารตัวเติมจึงมีความสำคัญในการผลิตปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า

8.3 วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีส่วนประกอบของโมเลกุลน้ำ จำนวน 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำทั้ง 3 เทคนิค

ส่วนประกอบของตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีส่วนประกอบของโมเลกุลน้ำ เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) กรดบอริก (Boric acid) แคลเซียมไนเตรท ($5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) เมื่อทดสอบทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนสภาพ เช่น สีเปลี่ยนไปจากสีเดิม ปุ๋ยละลายบางส่วน (ภาพที่ 1-2) และได้นำตัวอย่างปุ๋ยเชิงเดี่ยวของธาตุไนโตรเจน ได้แก่ แคลเซียมไนเตรท ($5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) สูตร 15-0-0 แมกนีเซียมไนเตรท ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) สูตร 11-0-0 และสูตร 10-0-0 ตัวอย่างที่ทำการทดลองมีลักษณะ 3 แบบ ได้แก่ เม็ดสีขาว แผ่นกลมบางใส และแผ่นบางสีขาวขุ่นผสมผงสีขาว เมื่อทดสอบทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ลักษณะของตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ จากเม็ดสีขาวเปลี่ยนเป็นเม็ดสีขาวขุ่น ส่วนลักษณะแผ่นกลมบางใส และแผ่นบางสีขาวขุ่นผสมผงสีขาว พบว่า ปุ๋ยบางส่วนจะละลาย (ภาพที่ 3-4) ดังนั้นการวิเคราะห์ความชื้นทั้ง 3 เทคนิค จึงไม่เหมาะสม เนื่องจากจากปุ๋ยกลุ่มไนเตรทดูดความชื้นได้ง่าย และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นปุ๋ยจะดูดความชื้นเข้ามาได้ง่ายขึ้น (Hygroscopic point ต่ำ) ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรท มีค่าจุดวิกฤตของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 46.7 และปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท มีค่าจุดวิกฤตของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 59.4 ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตมีผลต่อความชื้นของปุ๋ยเคมี ซึ่งจุดวิกฤตของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ปุ๋ยจะขึ้น โดยทั่วไปกำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หากปุ๋ยใดมีความชื้นความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตต่ำจะขึ้นง่ายกว่าปุ๋ยที่มีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตสูง (UNIDO and IFDC, 1979; Clayton, 1984; ยงยุทธ และคณะ, 2556; Fertilizers Europe, 2014)



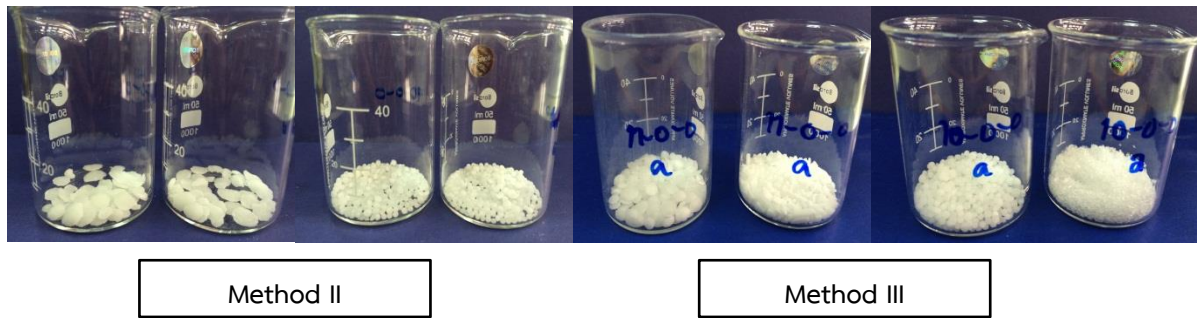
ภาพที่ 1 ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนสภาพทั้ง 3 เทคนิค



ภาพที่ 2 ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนสภาพทั้ง 3 เทคนิค



ภาพที่ 3 ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนสภาพของเทคนิคที่ 1



ภาพที่ 4 ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนแปลงสภาพของเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3

8.4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ความชื้นทั้ง 3 เทคนิค

นำตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นต่ำ สูตร 0-0-50 ลักษณะผงละเอียดสีขาว ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถทดสอบและรายงานผล ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้

ซ้ำที่	ความชื้น (%)		
	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	0.027	-0.020	0.043
2	0.025	-0.020	0.015
3	0.020	-0.014	0.025
4	0.028	-0.014	0.024
5	0.027	-0.005	0.035
6	0.016	-0.014	0.039
7	0.021	-0.020	0.040
8	0.020	-0.004	0.029
9	0.025	-0.014	0.010
10	0.016	-0.015	0.030
Mean	0.022	-0.014	0.029
SD	0.005	0.006	0.011
LOD	0.037	0.004	0.062
LOQ	0.072	0.046	0.139

$$\begin{aligned} \text{สูตรคำนวณ } \text{LOD} &= 3S_0' \\ \text{LOQ} &= 10S_0' \end{aligned}$$

ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้ เทคนิคที่ 1 LOD = 0.037%, LOQ = 0.072% เทคนิคที่ 2 LOD = 0.004%, LOQ = 0.046% และเทคนิคที่ 3 LOD = 0.062%, LOQ = 0.139%

8.5 การหาความเที่ยง (Precision) ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ กลาง และสูง ของทั้ง 3 เทคนิค โดยตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำใช้สูตร 0-0-60 ความชื้นอยู่ในระดับกลาง ใช้สูตร 28-10-5 และความชื้นอยู่ในระดับสูง 12-3-3 จากนั้นนำตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ กลาง สูง จำนวน 20 ซ้ำ เพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) ดังแสดงในตารางที่ 8-10

ตารางที่ 8 ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ สูตร 0-0-60

ซ้ำที่	ความชื้น (%)		
	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	0.030	0.000	0.024
2	0.030	0.004	0.015
3	0.028	0.015	0.009
4	0.034	0.024	0.025
5	0.026	0.019	0.020
6	0.031	0.015	0.025
7	0.036	0.014	0.010
8	0.024	0.019	0.005
9	0.026	0.029	0.005
10	0.026	0.009	0.024
11	0.035	0.009	0.005
12	0.032	0.000	0.005
13	0.039	0.020	0.013
14	0.041	0.005	0.017
15	0.036	0.014	0.020
16	0.033	0.009	0.009
17	0.035	0.025	0.005
18	0.042	0.014	0.009
19	0.033	0.019	0.010
20	0.041	0.017	0.015

Mean	0.033	0.014	0.013
SD	0.005	0.008	0.007
RSD	15.15	57.14	53.85

เทคนิคที่ 1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ น้อยที่สุด แสดงว่ามีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 มีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 2

ตารางที่ 9 ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับกลาง สูตร 28-10-5

ซ้ำที่	ความชื้น (%)		
	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	2.083	1.034	0.916
2	1.969	1.150	0.760
3	1.882	1.105	0.908
4	1.922	1.119	0.808
5	1.829	1.042	0.749
6	1.985	1.061	0.818
7	1.969	0.994	0.844
8	1.960	0.990	0.890
9	1.905	0.962	0.881
10	2.135	1.139	0.760
11	1.979	1.064	0.881
12	1.933	1.021	0.847
13	2.023	1.041	0.841
14	2.094	1.104	0.780
15	2.098	1.078	0.710
16	1.979	1.010	0.727
17	2.119	1.083	0.769
18	1.934	0.931	0.736
19	1.972	1.061	0.833
20	1.888	0.978	0.921
Mean	1.983	1.048	0.819
SD	0.08	0.06	0.07
RSD	4.29	5.72	8.18

เทคนิคที่ 1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์น้อยที่สุด แสดงว่ามีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 มีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 3

ตารางที่ 10 ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่ในระดับสูง สูตร 12-3-3

ซ้ำที่	ความชื้น (%)		
	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3
1	8.229	6.866	5.671
2	8.246	6.734	5.130
3	8.360	6.903	5.118
4	7.938	7.042	5.565
5	7.993	6.500	5.097
6	8.310	6.863	5.457
7	7.872	6.592	5.382
8	7.722	6.678	5.631
9	8.199	6.811	5.581
10	7.894	6.365	5.678
11	8.011	6.606	5.402
12	8.121	6.262	5.924
13	8.050	6.634	5.253
14	7.745	6.811	5.146
15	8.037	7.064	6.046
16	8.076	6.553	5.870
17	7.730	6.513	5.355
18	8.130	6.410	5.980
19	8.109	6.724	5.404
20	8.092	6.933	5.571
Mean	8.043	6.693	5.513
SD	0.18	0.22	0.29
RSD	2.30	3.32	5.30

เทคนิคที่ 1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์น้อยที่สุด แสดงว่ามีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 มีความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 3

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด ปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด ปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ โดยหาค่า LOD, LOQ และ Precision ของทั้ง 3 เทคนิค

1) การหาค่า Accuracy โดยเปรียบเทียบทั้ง 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคที่ 1 Inhouse method ดัดแปลงจาก AOAC Official Method 950.01 (Oven drying) เทคนิคที่ 2 เทคนิค Vacuum-Desiccation Methods A.Method I (Vacuum desiccator) เทคนิคที่ 3 เทคนิค Vacuum-Desiccation Methods A.Method II (Vacuum oven)

Paired t-test ของเทคนิคทดสอบความชื้นของปุ๋ยเคมี

1.1) ปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า และปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ เช่นเดียวกันกับเมื่อเปรียบเทียบเทคนิคที่ 2 กับเทคนิคที่ 3 แสดงว่าทั้ง 3 เทคนิค ให้ค่าความชื้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1.2) ปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 ค่า $t_{Stat} < t_{Critical}$ แสดงว่าทั้ง 2 เทคนิคไม่มีความแตกต่างกัน เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ แสดงเทคนิคที่ 1 กับเทคนิคที่ 3 และเทคนิคที่ 2 กับเทคนิคที่ 3 ให้ค่าความชื้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1.3) ปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคนิค ค่า $t_{Stat} < t_{Critical}$ แสดงว่าทั้ง 3 เทคนิคไม่มีความแตกต่างกัน

ความชื้นของตัวอย่างปุ๋ยของปุ๋ยเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ปุ๋ยเชิงผสมแบบปั้นเม็ด ปุ๋ยเชิงผสมแบบเกล็ด และปุ๋ยเชิงเดี่ยวและเชิงประกอบ ทั้ง 3 เทคนิค มีค่าความชื้นไปในทิศทางเดียวกัน คือมีค่าความชื้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานพระราชบัญญัติปุ๋ย

2) วิเคราะห์สารตัวเติม (Filler) และเตรียมตัวอย่างปุ๋ยเคมีแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ กลาง และเข้มข้น สูตรละ 3 ตัวอย่าง

2.1) สารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ได้ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเทคนิคที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2 และ 3 ส่วนเทคนิคที่ 3 มีค่าความชื้นเฉลี่ยสูงกว่าเทคนิคที่ 2

2.2) ตัวอย่างปุ๋ยเคมีเชิงผสมแบบคลุกเคล้า ที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรอง สูตรต่ำ และสูตรกลาง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ได้ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสูตรเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบทั้งเทคนิคที่ 1 เทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 สูตร 15-15-15 และสูตร 16-16-8 ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ทุกเทคนิค แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสูตร 13-13-21 เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคที่ 1 กับเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3

พบว่า ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ของค่าความชื้นเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 เทคนิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 พบว่าค่า $t_{Stat} < t_{Critical}$ แสดงว่าค่าความชื้นเฉลี่ยของเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ไม่แตกต่างกัน

3) วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีโมเลกุลน้ำเป็นส่วนประกอบ จำนวน 10 ตัวอย่าง ทั้ง 3 เทคนิค

ส่วนประกอบของตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีส่วนประกอบของโมเลกุลน้ำ เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot H_2O$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot H_2O$, $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) โบแรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$) กรดบอริก (Boric acid) แคลเซียมไนเตรท ($5Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3 \cdot 10H_2O$) เมื่อทดสอบทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ตัวอย่างปุ๋ยเปลี่ยนสภาพ เช่น สีเปลี่ยนไปจากสีเดิม ปุ๋ยบางส่วนละลาย ดังนั้นทั้ง 3 เทคนิคยังไม่มี ความเหมาะสมสำหรับตัวอย่างปุ๋ยที่มีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบ

4) Paired t-test ของเทคนิคทดสอบความชื้นของปุ๋ยเคมีที่มีความชื้นต่ำ กลาง และสูง ที่ไม่มีส่วนประกอบของ Volatile Substance ได้แก่ สูตร 0-0-60 สูตร 28-10-5 และ สูตร 12-3-3

- ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นต่ำ สูตร 0-0-60 เทคนิคที่ 1 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3 ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ ส่วนเทคนิคที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ 3 ค่า $t_{Stat} < t_{Critical}$ แสดงว่าเทคนิคที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน

- ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นกลาง สูตร 28-10-5 เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคนิค ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ แสดงว่าทั้ง 3 ให้ค่าความชื้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

- ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นสูง สูตร 12-3-3 เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคนิค ค่า $t_{Stat} > t_{Critical}$ แสดงว่าทั้ง 3 ให้ค่าความชื้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5) ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้

เทคนิคที่ 1 LOD = 0.037% LOQ = 0.072%

เทคนิคที่ 2 LOD = 0.004% LOQ = 0.046%

เทคนิคที่ 3 LOD = 0.062% LOQ = 0.139%

6) การหาความเที่ยง ตัวอย่างปุ๋ยที่มีความชื้นต่ำ กลาง และสูง ของ 3 เทคนิค พบว่า เทคนิคที่ 1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยที่สุด ดังนั้นเทคนิคที่ 1 มีค่าความเที่ยงมากกว่าเทคนิคที่ 2 และเทคนิคที่ 3

ข้อเสนอแนะ

เทคนิคที่ 3 เป็นเทคนิคที่อบตัวอย่างที่ 50 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 21 นิ้ว ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ± 10 นาที ซึ่งต้องใช้ปั๊มสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ประกอบ การทำงานต้องเปิดปั๊มตลอดการทำงาน ซึ่งปั๊มสุญญากาศแบบโรตารีเวน (Rotary vane) โดยการทำงานของปั๊มชนิดนี้จะใช้ใบเวน (Vane) หมุนกวาดไปรอบๆ ตัวเรือนจึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดสีของใบเวนกับตัวเรือน ถ้าหากมีความชื้นเข้าสู่ปั๊มได้บ่อยๆ จะทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้ภายในปั๊มเกิดการเสื่อมสภาพ และอายุการใช้งานสั้นลง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยน

น้ำมันหล่อลื่น และเปลี่ยนอะไหล่อยู่บ่อยครั้ง ทำให้มีค่าการบำรุงรักษาสูงกว่าเทคนิคที่ 1 และเทคนิคที่ 2 และเนื่องจากเทคนิคทั้ง 3 ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ความชื้นในตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่มีโมเลกุลน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นห้องปฏิบัติการจึงควรพัฒนาวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมีด้วยวิธีอื่นๆ เช่น วิธี Karl-Fisher

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ห้องปฏิบัติการได้วิธีวิเคราะห์ทางเลือกที่ให้ผลวิเคราะห์ถูกต้อง น่าเชื่อถือ ใช้ทดแทนวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน เนื่องจากก่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และมีความเหมาะสมที่นำไปใช้วิเคราะห์ทดสอบความชื้นในปุ๋ยในงานประจำวันได้ และผู้มาใช้บริการมั่นใจในผลการทดสอบ ช่วยลดข้อโต้แย้ง ข้อสงสัยเกี่ยวกับผลวิเคราะห์ได้

11. เอกสารอ้างอิง

ปิยะรัตน์ ปานอินทร์. 2550. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์และการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ความชื้นในปุ๋ย.

ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2550 สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร หน้า 328-337. กรมวิชาการเกษตร.

ราชกิจจานุเบกษา. 2552. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดปุ๋ยเคมีมาตรฐาน ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. เล่ม 126 ตอนพิเศษ 63 ง. 29 เมษายน 2552.

ยงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2556. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

Clayton, W.E. 1984. Humidity Factors Affecting Storage and Handling of Fertilizers. International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals. AL 35662, USA.

Fertilizer Europe. 2014. Guidance for Compatibility of fertilizer blending Materials Product Stewardship fertilizers.

George, W. and Jr. Latimer. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC international. 20th ed. Maryland 20850-3250, USA.

International Fertilizer Industry Association. 2014. Determination of Moisture of Fertilizer. Paris, France.

ISO/IEC 17025:2005. 2005. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. Thai Industrial Standard. 28 p.

United Nations Industrial Development Organization and International Fertilizer Development Center. 1979. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.