

รายงานผลงานการทดลองที่สิ้นสุด

1. ชุดโครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พืช ดินและน้ำ พัฒนาเทคนิคระบบการตรวจวิเคราะห์ และตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีของห้องปฏิบัติการพื้นที่ภาคกลาง

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Method Validation on Analysis of Minor Element in Chemical Fertilizer of Laboratory in central Region

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นางสาวจิราภา เมืองคล้าย

ผู้ร่วมงาน : นางรัตติญา คงเม่น

: นางสาวทิตยา ประเสริฐกุล

5. บทคัดย่อ : ห้องปฏิบัติการปุ๋ยเคมีของสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 (สวพ.5) มีความประสงค์จะขยายขอบข่ายการให้บริการวิเคราะห์ธาตุอาหารรองซึ่งได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และกำมะถัน (S) ในปุ๋ยเคมี ให้แก่พนักงานเจ้าหน้าที่ของ สวพ.5 เพื่อใช้กำกับดูแลคุณภาพปุ๋ยเคมีในเขตรับผิดชอบ และผู้ประกอบการที่มีความประสงค์จะขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมี เพื่อความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการปุ๋ยเคมีจึงดำเนินการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารรองดังกล่าว จากการ Validate พบว่า CaO มีช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ คือ 0-250 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.997 มีค่าต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลให้ (Limit of Quantitation; LOQ) เท่ากับ 0.04 % และ 1.31 % ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ค่า Accuracy และ Precision วัสดุอ้างอิงมาตรฐานที่ความเข้มข้นของ CaO เท่ากับ 1.31 % 29.95 % และ 51.80 % พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด

จากการ Validate วิธีวิเคราะห์ MgO พบว่าช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์คือ 0-100 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.998 มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.015 % และ 0.40 % ตามลำดับ และมีค่า Accuracy และ Precision จากการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงมาตรฐานที่ความเข้มข้นของ MgO เท่ากับ 0.40 21.03 และ 81.03 พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด

ส่วนการ Validate วิธีวิเคราะห์ S พบว่าช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ คือ 0-50 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.997 มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.13% และ 0.74% ตามลำดับ และมีค่า Accuracy และ Precision จากการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงมาตรฐานที่ความเข้มข้นของ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % พบว่าค่า Accuracy ประเมินจาก % Recovery ผ่านเกณฑ์ยอมรับ 1 ค่าคือ 33.07 % ส่วนค่า Precision พบว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด

Chemical Laboratory of Office of Agricultural of Research and Development Region 5 (OARD 5) Objective to expand the scope of minor element analytical services. Such as Cao, MgO and S in chemical fertilizers. Confident the results. The chemical fertilizer laboratory was conducted a validation check of minor element. From the results found that CaO had ranges that are liner which suitable for analytical 0-250 ppm and 0.997 correlation coefficient. Limit of Detection; LOD and Limit of Quantitation; LOQ was 0.04% and 1.31% respectively. Based on Accuracy and Precision analysis, the concentration of CaO was 1.31%, 29.95% and 51.80% which all was accepted.

The validation method of MgO, the results found that MgO had ranges that are liner which suitable for analytical 0-100 ppm and 0.998 correlation coefficient. Limit of Detection; LOD and Limit of Quantitation; LOQ was 0.015% and 0.40% respectively. Based on Accuracy and Precision analysis, the concentration of MgO was 0.40%, 21.03% and 81.03% which all was accepted.

The validation method of S, the results found that S, had ranges that are liner which suitable for analytical 0-50 ppm and 0.997 correlation coefficient. Limit of Detection; LOD and Limit of Quantitation; LOQ was 0.13% and 0.74% respectively. Based on Accuracy analysis, the concentration of S was 33.07% and precision was accepted.

6. คำนำ : กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.5 มีความประสงค์จะขยายขอบข่ายการให้บริการวิเคราะห์ธาตุอาหารรอง ซึ่งได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และกำมะถัน ในปุ๋ยเคมี ให้กับพนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อใช้ในการควบคุมกำกับดูแลคุณภาพปุ๋ยเคมีในเขตรับผิดชอบ และผู้ประกอบการที่มีความประสงค์จะขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมี เพื่อความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ และเป็นข้อมูลในการขอการรับรอง ISO/IEC 17025:2005 ต่อไป ห้องปฏิบัติการปุ๋ยเคมีจึงดำเนินการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นไปตามข้อกำหนดของ Validation method ในหัวข้อ 5.4.5.2 เนื่องจากวิธีที่ใช้วิเคราะห์ธาตุอาหารรองทั้ง 3 ชนิด ซึ่งวิเคราะห์ตามคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551) เป็นวิธีที่ดัดแปลงและปรับปรุงจากวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000) และ OMAF (1987) ดังนั้นห้องปฏิบัติการปุ๋ยเคมี สวพ.5 จึงต้องตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์นี้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการวิเคราะห์และเป็นไปตามมาตรฐานสากล

7. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

- การหาค่า Range และ Linearity ของการวิเคราะห์ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และ กำมะถัน (S) ในปุ๋ยเคมี
- การหาค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้ (Limit of Detection ; LOQ) ของ CaO MgO และ S ในปุ๋ยเคมี
- การหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการวิเคราะห์ CaO MgO และ S ในปุ๋ยเคมี
- การหาค่าความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ CaO MgO และ S ในปุ๋ยเคมี

1. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี ของการวิเคราะห์ CaO

- Inductively coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) รุ่น OPTIMA 8000 ยี่ห้อ PerkinElmer
- Microwave Digestion รุ่น Ultrawave ยี่ห้อ MILESTONE
- เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 1000 ppm
- Nitric acid
- วัสดุอ้างอิงรองรับ/วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน ได้แก่
 - BCR 114 Calcium Oxide 1.31 %
 - SRM 88b Calcium Oxide 29.95 %
 - BCR 032 Calcium Oxide 51.80 %

1.2 วิธีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี

1.2.1 การหาค่า Range และ Linearity

- ชั่ง sample blank น้ำหนัก 0.3xxx – 0.4xxx กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 7 ระดับ ความเข้มข้น คือ 0 50 100 150 200 250 และ 300 ppm
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี
- นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม กับค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่อง ICP-OES
- พิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง
- ชั่ง Sample blank แล้วเติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมในช่วงที่ความเข้มข้นเป็นเส้นตรง ตามข้อ 1.4
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี
- วิเคราะห์ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

- บันทึกผลและสร้างกราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของตัวอย่างที่เดิมสารมาตรฐาน แคลเซียมกับค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่อง ICP-OES

1.2.2 การหาค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection : LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ และรายงานผลได้ (Limit of Quantitation : LOQ)

- ชั่ง Sample blank น้ำหนัก 0.3xxx-0.5xxx กรัม จำนวน 20 ซ้ำ
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูล คำนวณหาค่าเบี่ยงเบน และค่าเฉลี่ย
- คำนวณหาค่า LOD และ LOQ

$$LOD = \bar{x} + 3SD$$

$$LOQ = \bar{x} + 10SD$$

1.2.3 การหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ CaO เท่ากับ 1.31% 29.95% และ 51.80 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคล และเครื่องเดียวกันทำการวิเคราะห์ในเวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูลและคำนวณผล

$$\text{การคำนวณ \% Recovery} = \% \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้} \times 100}{\text{ค่าอ้างอิง}}$$

ค่าอ้างอิง

- ประเมินความแตกต่างโดยใช้ t-test เกณฑ์การยอมรับ $t < t_c$ ที่ความเชื่อมั่น 95%

$$t = (x - \mu) / (s / \sqrt{n})$$

เมื่อ x = ค่าความเฉลี่ยของการวิเคราะห์ของชุดทดสอบ

μ = ค่าอ้างอิง

n = จำนวนซ้ำ

s = SD ของชุดทดสอบ

1.2.4 การหาค่าความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ CaO เท่ากับ 1.31% 29.95% และ 51.80 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคล และเครื่องมือเดียวกัน ทำการวิเคราะห์ในเวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูล และคำนวณผล
- การประเมินค่า Precision โดยใช้ Horwitz equation คำนวณแบบ Repeatability
- การประเมินค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM โดยการคำนวณ % RSD และประเมินโดยใช้ HORRAT เกณฑ์การยอมรับ HORRAT < 2 (AOAC,2012)

$$\% \text{ RSD} = (\text{SD}/\bar{x}) \times 100$$

$$\text{HORRAT} = \% \text{ RSD} / \text{Predicted Horwitz RSD}$$

$$\text{Predicted Horwitz RSD} = 0.66 \times 2^{(1-0.5 \log C)}$$

$$C = \text{Concentration ratio} = \text{Concentration} / 100$$

2. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี ของการวิเคราะห์ MgO

- Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy รุ่น OPTIMA 8000 ยี่ห้อ PerkinElmer
- Microwave Digestion รุ่น Ultrawave ยี่ห้อ MILESTONE
- เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 1000 ppm
- Nitric acid
- วัสดุอ้างอิงรองรับ/วัสดุอ้างอิงมาตรฐานได้แก่

BCR 032	Magnesium Oxide	0.40 %
SRM 88b	Magnesium Oxide	21.03 %
MRC 778-1	Magnesium Oxide	81.03 %

2.2 วิธีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี

2.2.1 การหาค่า Range และ Linearity

- ชั่ง sample blank น้ำหนัก 0.3xxx – 0.4xxx กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 7 ระดับ ความเข้มข้น คือ 0 20 40 60 80 100 และ 120 ppm
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี
- นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมกับค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่อง ICP-OES
- พิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง
- ชั่ง Sample blank แล้วเติมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมในช่วงที่ความเข้มข้นเป็นเส้นตรง ตามข้อ 1.4
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี
- วิเคราะห์ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย
- บันทึกผลและสร้างกราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานแมกนีเซียมกับค่าสัญญาณ

2.2.2 การหาค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection : LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้ (Limit of Quantitation : LOQ)

- ชั่ง Sample blank น้ำหนัก 0.3xxx-0.5xxx กรัม จำนวน 20 ซ้ำ
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูล คำนวณหาค่าเบี่ยงเบน และค่าเฉลี่ย
- คำนวณหาค่า LOD และ LOQ

$$LOD = \bar{x} + 3SD$$

$$LOQ = \bar{x} + 10SD$$

2.2.3 การหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ MgO เท่ากับ 0.40 % 21.03 % และ 81.03 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคลและเครื่องเดียวกันทำการวิเคราะห์ในเวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูลและคำนวณผล

$$\text{การคำนวณ \% Recovery} = \% \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้} \times 100}{\text{ค่าอ้างอิง}}$$

- ประเมินความแตกต่างโดยใช้ t-test เกณฑ์การยอมรับ $t < t_c$ ที่ความเชื่อมั่น 95%

$$t = (x - \mu) / s / \sqrt{n}$$

เมื่อ x = ค่าความเฉลี่ยของการวิเคราะห์ของชุดทดสอบ

μ = ค่าอ้างอิง

n = จำนวนซ้ำ

s = SD ของชุดทดสอบ

2.2.4 การหาค่าความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ MgO เท่ากับ 0.40 % 21.03 % และ 81.03 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคลและเครื่องมือเดียวกันทำการวิเคราะห์ที่เวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูล และคำนวณผล
- การประเมินค่า Precision โดยใช้ Horwitz equation คำนวณแบบ Repeatability
- การประเมินค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM โดยการคำนวณ % RSD และประเมินโดยใช้ HORRAT เกณฑ์การยอมรับ HORRAT < 2 (AOAC,2012)

$$\% RSD = (SD/\bar{x}) \times 100$$

$$HORRAT = \% RSD / \text{Predicted Horwitz RSD}$$

$$\text{Predicted Horwitz RSD} = 0.66 \times 2^{(1-0.5 \log C)}$$

$$C = \text{Concentration ratio} = \text{Concentration} / 100$$

3. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี ของการวิเคราะห์ S

- Spectrophotometer รุ่น Lambda 40 PerkinElmer
- Microwave Digestion รุ่น Ultrawave ยี่ห้อ MILESTONE
- เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- สารละลายมาตรฐาน Sulfate ความเข้มข้น 1000 ppm
- Nitric acid
- Barium chloride
- วัสดุอ้างอิงรองรับ/วัสดุอ้างอิงมาตรฐานได้แก่
 - BCR 032 Sulphur 0.737 %
 - BCR 114 Sulphur 17.79 %
 - CZN -4 Sulphur 33.07 %

3.2 วิธีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี

3.2.1 การหาค่า Range และ Linearity

- ชั่ง sample blank น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม เติมสารละลายมาตรฐานกำมะถัน 7 ระดับความเข้มข้น คือ 0 10 20 30 40 50 และ 60 ppm
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี
- นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานกำมะถัน กับค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่อง Spectrophotometer
- พิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง
- ชั่ง Sample blank แล้วเติมสารละลายมาตรฐานกำมะถันในช่วงที่ความเข้มข้นเป็นเส้นตรง ตามข้อ 1.4
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี
- วิเคราะห์ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย
- บันทึกผลและสร้างกราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานกำมะถันกับค่าสัญญาณ

3.2.2 การหาค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (Limit of Detection : LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์และรายงานผลได้ (Limit of Quantitation : LOQ)

- ชั่ง Sample blank น้ำหนัก 0.3xxx - 4xxx กรัม จำนวน 20 ซ้ำ
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี

- บันทึกข้อมูล คำนวณหาค่าเบี่ยงเบน และค่าเฉลี่ย
- คำนวณหาค่า LOD และ LOQ

$$LOD = \bar{x} + 3SD$$

$$LOQ = \bar{x} + 10SD$$

3.2.3 การหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคลและเครื่องเดียวกันทำการวิเคราะห์ในเวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูลและคำนวณผล

$$\text{การคำนวณ \% Recovery} = \% \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้}}{\text{ค่าอ้างอิง}} \times 100$$

ค่าอ้างอิง

- ประเมินความแตกต่างโดยใช้ t-test เกณฑ์การยอมรับ $t < t_c$ ที่ความเชื่อมั่น 95%

$$t = (x - \mu) / (s / \sqrt{n})$$

เมื่อ x = ค่าความเฉลี่ยของการวิเคราะห์ของชุดทดสอบ

μ = ค่าอ้างอิง

n = จำนวนซ้ำ

s = SD ของชุดทดสอบ

3.2.4 การหาค่าความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ CRM ที่มีปริมาณ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % ดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- ชั่ง CRM น้ำหนัก 0.3xxx - 0.4xxx กรัม ความเข้มข้นละ 20 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยบุคคลและเครื่องมือเดียวกัน ทำการวิเคราะห์ที่เวลาใกล้เคียงกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี
- บันทึกข้อมูล และคำนวณผล

- การประเมินค่า Precision โดยใช้ Horwitz equation คำนวณแบบ Repeatability

- การประเมินค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM โดยการคำนวณ % RSD และประเมินโดยใช้ HORRAT เกณฑ์การยอมรับ HORRAT < 2 (AOAC,2012)

$$\% RSD = (SD / \bar{x}) \times 100$$

$$HORRAT = \% RSD / \text{Predicted Horwitz RSD}$$

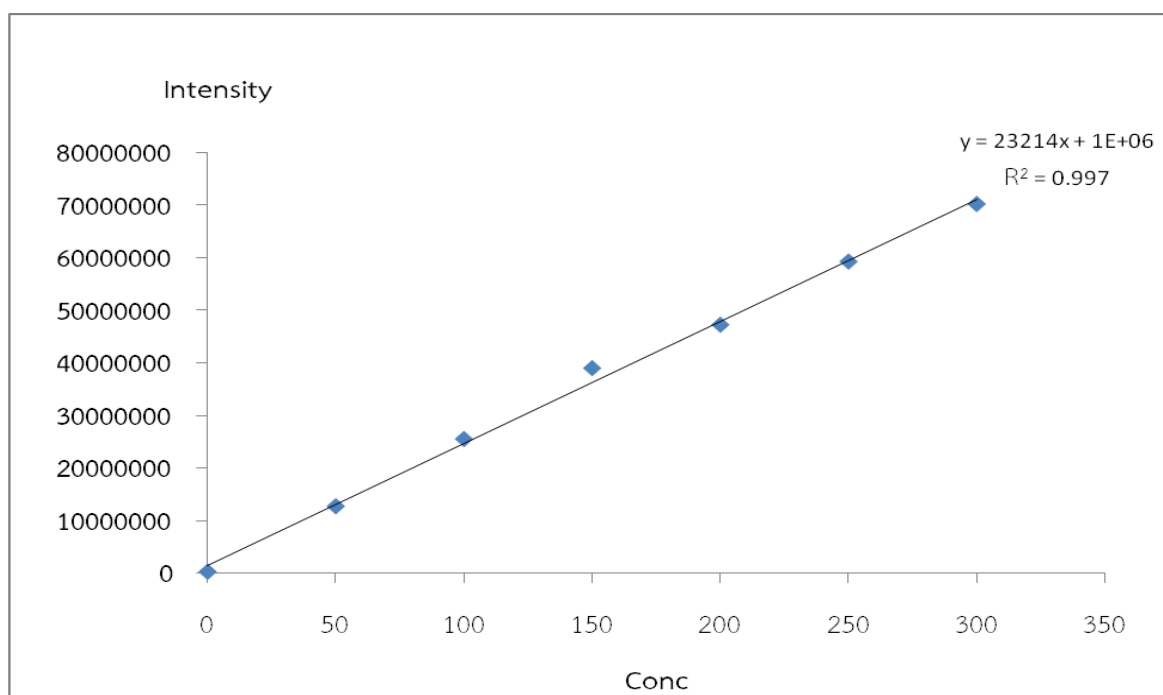
$$\text{Predicted Horwitz RSD} = 0.66 \times 2^{(1 - 0.5 \log C)}$$

$$C = \text{Concentration ratio} = \text{Concentration} / 100$$

8. ผลการทดลองและวิจารณ์ :

1. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ CaO ในปุ๋ยเคมี

1.1 ค่า Range และ Linearity จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า Range ที่ระดับความเข้มข้น 0-300 ppm และค่า Linearity ที่ระดับความเข้มข้น 0-250 ppm มีความสัมพันธ์อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง ซึ่งมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.997 ดังนั้น ช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ CaO คือ 0-250 ppm (ตารางที่ 1)



รูปที่ 1 ค่า Range ของการวิเคราะห์สารมาตรฐาน Ca ที่ความเข้มข้น 0-300 ppm

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่า Linearity ของสารมาตรฐาน Ca แต่ละความเข้มข้น

ครั้งที่	ค่าสัญญาณของแต่ละความเข้มข้น					
	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm
1	0.370	49.772	100.148	153.387	201.077	254.016
2	0.383	49.803	100.741	152.678	200.319	254.383
3	0.387	50.253	101.357	153.568	200.678	254.750
เฉลี่ย	0.380	49.943	100.749	153.211	200.691	254.383

$$r = 0.997$$

1.2 การหาค่า LOD และ LOQ จากการวิเคราะห์ sample blank จำนวน 20 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่า SD พบว่า

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0.02 \\ \text{SD} &= \text{ค่าอ้างอิง} \\ \text{LOD} &= \bar{x} + 3\text{SD} \\ &= 0.02 + 3(0.008) = 0.04\% \\ \text{LOQ} &= \bar{x} + 10\text{SD} \\ &= 0.10\end{aligned}$$

เลือก LOQ = 1.31 % หาค่า Accuracy และ Precision พบว่าค่า Accuracy และ Precision อยู่ในเกณฑ์การยอมรับตาม AOAC (2012) โดยมีค่า % Recovery เท่ากับ 99.65 และค่า HORRAT เท่ากับ 0.38 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่า Accuracy และ Precision ของการวิเคราะห์ที่ระดับ LOQ = 1.31%

	Accuracy		Precision	
	% Recovery (98-102)	ผลการประเมิน	HORRAT (<2)	ผลการประเมิน
1.31% CaO	99.65	ผ่าน	0.38	ผ่าน

1.3 การหาค่า Accuracy ของการวิเคราะห์ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีค่าความเข้มข้นของ CaO เท่ากับ 1.31 % 29.95 % และ 51.80 % จากผลการวิเคราะห์ CRM ทั้ง 3 ระดับ พบว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ โดยมีค่า % Recovery อยู่ระหว่าง 98-102 และ ค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 3) ของ CRM โดยใช้ t-test

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ Accuracy ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% CaO)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (% CaO)	% Recovery (98-102)	t-test ที่ 95 %
1.31	1.3104	99.65	- 1.57 ยอมรับ

29.95	29.8500	99.67	- 1.60 ยอมรับ
51.80	51.9991	100.38	1.95 ยอมรับ

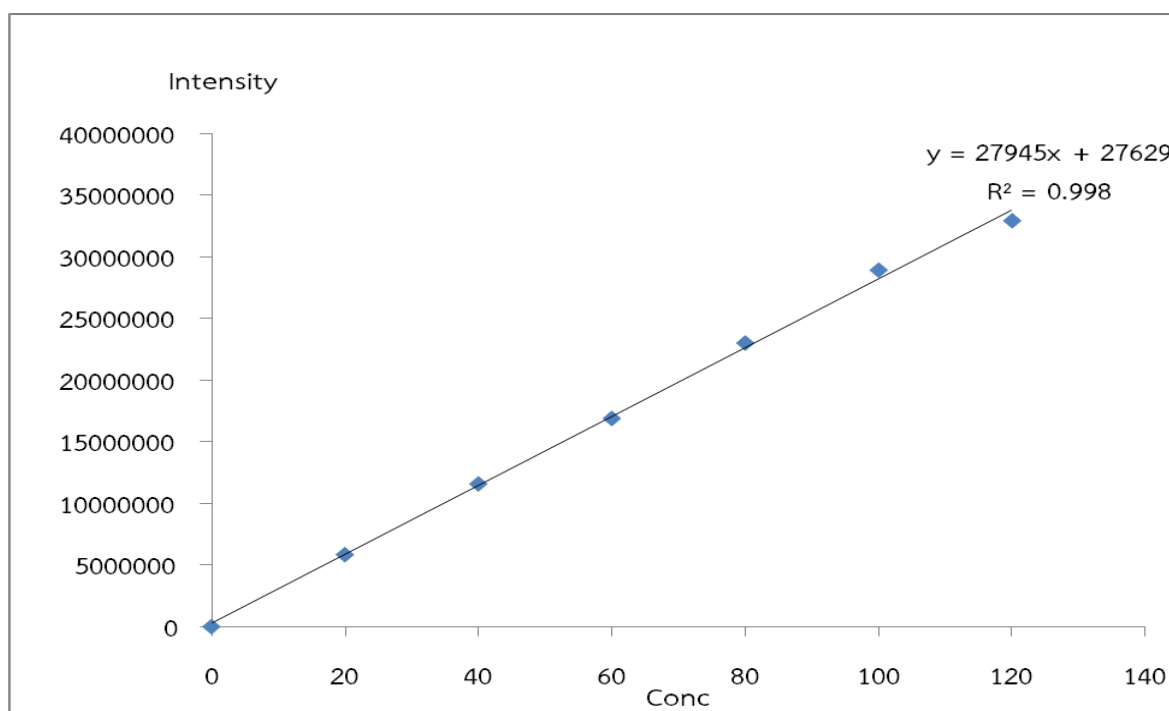
1.4 การหาค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีความเข้มข้นของ CaO เท่ากับ 1.31% 29.95% และ 51.80 % จากผลการวิเคราะห์ โดยการประเมินด้วย Horwitz equation พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด โดยมีค่า HORRAT เท่ากับ 0.38 0.59 และ 0.60 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Precision ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% CaO)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (% CaO)	% RSD	HORRAT
1.31	1.3104	1.00	0.38
29.95	29.8500	0.94	0.59
51.84	51.9991	0.88	0.60

2. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ MgO ในปุ๋ยเคมี

2.1 ค่า Range และ Linearity จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า Range ที่ระดับความเข้มข้น 0-120 ppm และค่า Linearity ที่ระดับความเข้มข้น 0-100 ppm มีความสัมพันธ์อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง ซึ่งมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.998 ดังนั้น ช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ MgO คือ 0-100 ppm (ตารางที่ 5)



รูปที่ 2 ค่า Range ของการวิเคราะห์สารมาตรฐาน Mg ที่ความเข้มข้น 0-120 ppm

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่า Linearity ของสารมาตรฐาน MgO แต่ละความเข้มข้น

ครั้งที่	ค่าสัญญาณของแต่ละความเข้มข้น					
	0	20	40	60	80	100
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.003	20.705	41.424	61.688	82.436	102.853
2	0.011	26.701	41.454	61.924	80.599	102.574
3	- 0.001	20.455	41.421	61.779	81.999	102.324
เฉลี่ย	0.004	20.621	41.433	61.797	81.678	102.584

$$r = 0.998$$

2.2 การหาค่า LOD และ LOQ จากการวิเคราะห์ sample blank จำนวน 20 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่า SD พบว่า

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0.006 \\ \text{SD} &= \text{ค่าอ้างอิง} \\ \text{LOD} &= \bar{x} + 3\text{SD} \\ &= 0.006 + 3(0.003) = 0.015 \% \\ \text{LOQ} &= \bar{x} + 10\text{SD} \\ &= 0.036\end{aligned}$$

เลือก LOQ = 0.40 % หาค่า Accuracy และ Precision พบว่าค่า Accuracy และ Precision อยู่ในเกณฑ์การยอมรับตาม AOAC (2012) โดยมีค่า % Recovery เท่ากับ 100.48 และค่า HORRAT เท่ากับ 0.38 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่า Accuracy และ Precision ของการวิเคราะห์ที่ระดับ LOQ=0.40 %

	Accuracy		Precision	
	% Recovery (98-102)	ผลการประเมิน	HORRAT (<2)	ผลการประเมิน
0.40 % MgO	100.48	ผ่าน	0.38	ผ่าน

2.3 การหาค่า Accuracy ของการวิเคราะห์ CRM ที่ ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีค่าปริมาณของ MgO เท่ากับ 0.40 % 21.03 % และ 81.03 % จากผลการวิเคราะห์ CRM ทั้ง 3 ระดับ พบว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ โดยมีค่า % Recovery อยู่ระหว่าง 98-102 และ ค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 7) ของ CRM โดยใช้ t-test

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ Accuracy ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% MgO)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (%MgO)	% Recovery (98-102)	t-test ที่ 95 %
0.40	0.4019	100.48	1.87 ยอมรับ

21.03	21.0888	100.28	1.42 ยอมรับ
81.03	81.0264	100.19	0.89 ยอมรับ

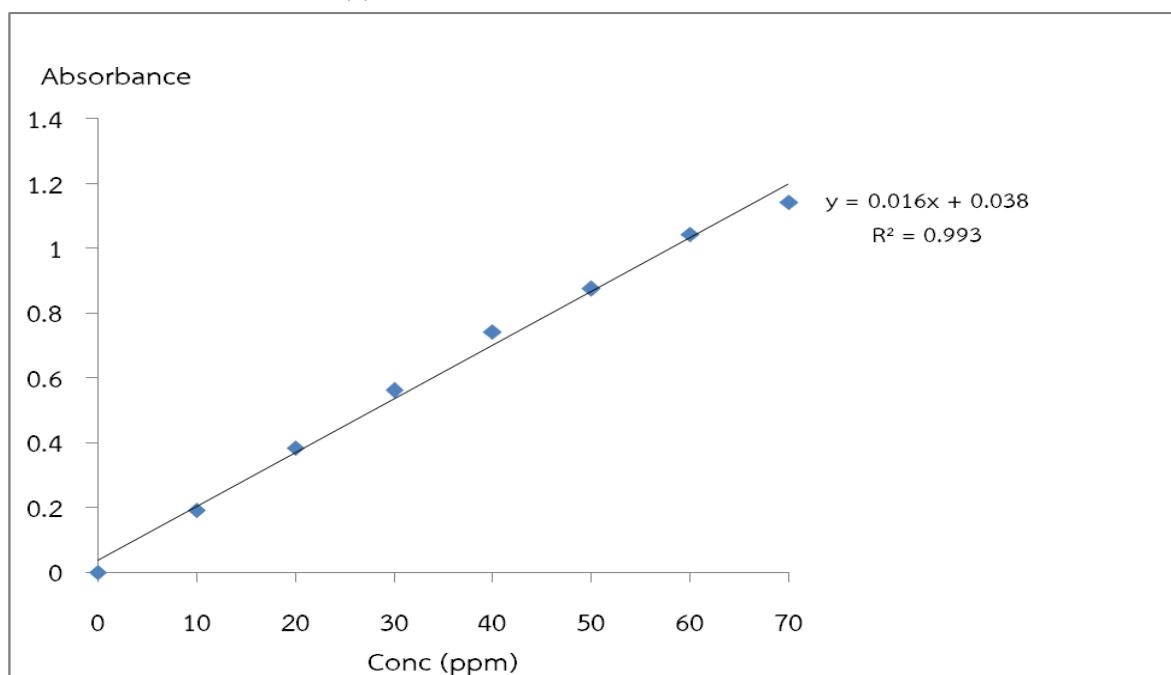
2.4 การหาค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีปริมาณของ MgO เท่ากับ 0.40 % 21.03 % และ 81.03 % จากผลการวิเคราะห์ โดยการประเมินด้วย Horwitz equation พบว่า อยู่ในเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด โดยมีค่า HORRAT เท่ากับ 0.38 0.53 และ 0.65 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ Precision ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% MgO)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (%MgO)	% RSD	HORRAT
0.40	0.4019	1.15	0.38
21.03	21.0888	0.88	0.53
81.03	81.0264	0.96	0.65

3. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ S ในปุ๋ยเคมี

3.1 ค่า Range และ Linearity จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า Range ที่ระดับความเข้มข้น 0-70 ppm และค่า Linearity ที่ระดับความเข้มข้น 0-50 ppm มีความสัมพันธ์อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง ซึ่งมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.996 ดังนั้น ช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ S คือ 0-50 ppm (ตารางที่ 9)



รูปที่ 3 ค่า Range ของการวิเคราะห์สารมาตรฐาน SO₄ ที่ความเข้มข้น 0-70 ppm

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่า Linearity ของสารมาตรฐาน S แต่ละความเข้มข้น

ครั้งที่	ค่าสัญญาณของแต่ละความเข้มข้น					
	0	10	20	30	40	50
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.000	0.1190	0.2696	0.4198	0.5114	0.6285
2	0.000	0.1135	0.2700	0.4088	0.5112	0.7160
3	0.000	0.1126	0.2498	0.4024	0.5233	0.7308
เฉลี่ย	0.000	0.1150	0.2631	0.4103	0.5153	0.6918

$$r = 0.996$$

3.2 การหาค่า LOD และ LOQ จากการวิเคราะห์ sample blank จำนวน 20 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่า SD พบว่า

$$\bar{x} = 0.07$$

$$SD = \text{ค่าอ้างอิง}$$

$$\begin{aligned} LOD &= \bar{x} + 3SD \\ &= 0.07 + 3(0.02) = 0.13 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LOQ &= \bar{x} + 10SD \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

เลือก LOQ = 0.74 % หาค่า Accuracy และ Precision พบว่าค่า Accuracy และ Precision อยู่ในเกณฑ์การยอมรับตาม AOAC (2012) โดยมีค่า % Recovery เท่ากับ 102.62 และค่า HORRAT เท่ากับ 1.00 (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ค่า Accuracy และ Precision ของการวิเคราะห์ที่ระดับ LOQ=0.74 %

	Accuracy		Precision	
	% Recovery	ผลการประเมิน	HORRAT	ผลการประเมิน
	(98-102)		(<2)	
0.74 % S	102.62	ผ่าน	1.00	ผ่าน

1.3 การหาค่า Accuracy ของการวิเคราะห์ CRM ที่ ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีค่าความเข้มข้นของ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % จากผลการวิเคราะห์ CRM ทั้ง 3 ระดับ พบว่าที่ความเข้มข้น 33.07 % S มีค่า % Recovery อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ และ ค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของ CRM โดยใช้ t-test มีเพียงค่าความเข้มข้น 0.74 % ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ Accuracy ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% S)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (%S)	% Recovery (98-102)	t-test 1.729 ที่ 95 %
0.74	0.76	102.62	1.71 ยอมรับ
17.79	18.48	103.87	3.18 ไม่ยอมรับ
33.07	33.62	100.67	3.32 ไม่ยอมรับ

1.4 การหาค่า Precision ของการวิเคราะห์ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยมีปริมาณของ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % จากผลการวิเคราะห์ โดยการประเมินด้วย Horwitz equation พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด โดยมีค่า HORRAT เท่ากับ 1.00 1.92 และ 0.81 ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ Precision ของ CRM ที่ระดับต่ำ กลาง และสูง

ค่าจริงจากใบ cer (% S)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (%S)	% RSD	HORRAT
0.74	0.76	2.73	1.00
17.79	18.48	5.52	1.92
33.07	33.62	2.21	0.81

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

จากการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารรองในปุ๋ยเคมี คือ CaO MgO และ S ของห้องปฏิบัติการปุ๋ยเคมี กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สวพ.5

1. ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ CaO พบว่าช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ คือ 0-250 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.997 มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.04 % และ 1.31 % ตามลำดับ

- 1.1 ค่า Accuracy และ Precision โดยการวิเคราะห์ CRM ของ CaO เท่ากับ 1.31 % 29.95 % และ 51.80 % ผลการวิเคราะห์ค่า Accuracy ประเมินจาก % Recovery พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงโดยใช้ t-test พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า Precision ประเมินโดยใช้ Horwitz equation พบว่าค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด
2. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ MgO พบว่าช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ คือ 0-100 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.998 มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.015 % และ 0.40 % ตามลำดับ
- 2.1 ค่า Accuracy และ Precision โดยการวิเคราะห์ CRM ของ MgO เท่ากับ 0.40 % 21.03 % และ 81.03 % ผลการวิเคราะห์ค่า Accuracy ประเมินจาก % Recovery พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงโดยใช้ t-test พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า Precision ประเมินโดยใช้ Horwitz equation พบว่าค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด
3. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ S พบว่าช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ คือ 0-50 ppm โดยมีค่า Correlation coefficient เท่ากับ 0.997 มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.13 % และ 0.74 % ตามลำดับ
- 3.1 ค่า Accuracy และ Precision โดยการวิเคราะห์ CRM ของ S เท่ากับ 0.74 % 17.79 % และ 33.07 % ผลการวิเคราะห์ค่า Accuracy ประเมินจาก % Recovery พบว่า ที่ความเข้มข้น 33.07 % มี % Recovery เท่ากับ 100.67 มีค่าอยู่ระหว่าง 98-102 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับและจากการใช้ t-test ตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าจริงพบว่าผ่านเกณฑ์ยอมรับที่ 0.74 % ความเข้มข้นเดียว ส่วนค่า Precision ประเมินโดยใช้ Horwitz equation พบว่าค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด

จากการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ CaO MgO และ S ในปุ๋ยเคมี ของห้องปฏิบัติการปุ๋ย สวพ.5 ห้องปฏิบัติการปุ๋ยสามารถที่จะให้บริการวิเคราะห์ CaO และ MgO ในปุ๋ยเคมีได้ ส่วนค่า S ยังไม่สามารถให้บริการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากการทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ไม่ผ่าน

11. คำขอบคุณ :

12. เอกสารอ้างอิง :

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี. สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th Ed. AOAC International Inc., Gaithersberg, MD.

The National Institute of Agro-environmental Sciences. 1987. Official Methods of Analysis of Fertilizers. Foundation Norin Kosail, Tsukuba-shi. 130 pp.

13. ภาคผนวก :

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า CaO เท่ากับ 1.31%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	% Ca	%CaO (*1.399)	% recovery
1	0.3004	11.201	0.932142	1.3041	99.16
2	0.3088	11.829	0.957675	1.3398	101.88
3	0.3186	12.119	0.950986	1.3304	101.17
4	0.3217	12.058	0.937070	1.3110	99.69
5	0.3028	11.422	0.943045	1.3193	100.32
6	0.3227	12.069	0.934985	1.3080	99.47
7	0.3142	11.918	0.948271	1.3266	100.88
8	0.3244	12.181	0.938726	1.3133	99.86
9	0.3371	12.800	0.949242	1.3280	100.98
10	0.3057	11.429	0.934692	1.3076	99.44
11	0.3061	11.378	0.929260	1.3000	98.86
12	0.3250	12.059	0.929260	1.3000	98.86
13	0.3106	11.710	0.942566	1.3186	100.27
14	0.3261	12.093	0.927114	1.2970	98.63
15	0.3118	11.577	0.928242	1.2986	98.75
16	0.3255	12.171	0.934826	1.3078	99.45
17	0.3432	12.656	0.921923	1.2898	98.08
18	0.3138	11.615	0.925379	1.2946	98.44
19	0.3115	11.663	0.936070	1.3096	99.58
20	0.3215	11.994	0.932633	1.3048	99.22

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า CaO เท่ากับ 29.95%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	% Ca	%CaO (*1.399)	% recovery
1	0.3139	135.075	21.5157	30.1005	100.50
2	0.3080	130.829	21.2385	29.7127	99.21
3	0.3215	139.715	21.3235	29.8316	99.60
4	0.3263	141.313	21.6539	30.2938	101.15
5	0.3179	137.059	21.5569	30.1581	100.69
6	0.3189	138.073	21.6484	30.2861	101.12
7	0.3264	138.469	21.2115	29.6749	99.08
8	0.3249	136.714	21.0393	29.4340	98.28
9	0.3389	143.112	21.1142	29.5388	98.63
10	0.3512	148.201	21.0992	29.5178	98.56
11	0.3016	130.298	21.6011	30.2199	100.90
12	0.3200	137.382	21.4660	30.0309	100.27
13	0.3151	134.421	21.3300	29.8407	99.63
14	0.3233	137.287	21.2321	29.7037	99.18
15	0.3222	138.236	21.4518	30.0111	100.20
16	0.3398	144.042	21.1951	29.6519	99.00
17	0.3749	159.101	21.2191	29.6855	99.12
18	0.3195	134.986	21.1245	29.5532	98.68
19	0.3094	131.003	21.1705	29.6175	98.89
20	0.3031	130.590	21.5423	30.1377	100.63

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า CaO เท่ากับ 51.80%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	% Ca	%CaO (*1.399)	% recovery
1	0.3124	93.565	37.4380	52.3758	101.11
2	0.3156	93.913	37.1962	52.0375	100.46
3	0.3059	91.519	37.3976	52.3192	101.00
4	0.3398	101.362	37.2873	52.1649	100.70
5	0.3291	97.596	37.0693	51.8600	100.12
6	0.3323	100.114	37.6596	52.6858	101.71
7	0.3128	93.631	37.4164	52.3455	101.05
8	0.3069	92.529	37.6870	52.7241	101.78
9	0.3059	90.375	36.9299	51.6649	99.74
10	0.3167	94.039	37.1167	51.9263	100.24
11	0.3102	92.378	37.2252	52.0781	100.54
12	0.3054	90.559	37.0657	51.8549	100.11
13	0.3146	93.177	37.0220	51.7938	99.99
14	0.3126	92.915	37.1542	51.9787	100.35
15	0.3171	93.479	36.8491	51.5519	99.52
16	0.3105	91.656	36.8984	51.6209	99.65
17	0.3254	96.112	36.9207	51.6521	99.71
18	0.3231	95.239	36.8458	51.5473	99.51
19	0.3350	101.176	37.7522	52.8153	101.96
20	0.3310	96.504	36.4441	50.9853	98.43

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า MgO เท่ากับ 0.40%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	% Mg	%MgO (*1.658)	% recovery
1	0.3398	3.340	0.245747	0.4074	101.86
2	0.3291	3.172	0.240961	0.3995	99.88
3	0.3069	3.012	0.245348	0.4068	101.70
4	0.3094	3.027	0.244622	0.4056	101.40
5	0.3044	2.963	0.243357	0.4035	100.87
6	0.3102	3.004	0.242105	0.4014	100.35
7	0.3054	2.970	0.243094	0.4030	100.76
8	0.3171	3.086	0.243284	0.4034	100.84
9	0.3105	3.024	0.243451	0.4036	100.91
10	0.3186	3.108	0.243884	0.4044	101.09
11	0.3384	3.261	0.240923	0.3995	99.86
12	0.3501	3.432	0.245084	0.4063	101.59
13	0.3384	3.327	0.245790	0.4075	101.88
14	0.3267	3.199	0.244773	0.4058	101.46
15	0.3329	3.239	0.243217	0.4033	100.81
16	0.3350	3.181	0.237407	0.3936	98.41
17	0.3312	3.202	0.241737	0.4008	100.20
18	0.3498	3.340	0.238688	0.3957	98.94

19	0.3384	3.222	0.238059	0.3947	98.68
20	0.3298	3.125	0.236907	0.3928	98.20

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า MgO เท่ากับ 21.03%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	% Mg	%MgO (*1.658)	% recovery
1	0.3139	80.994	12.9013	21.3904	101.71
2	0.3080	79.322	12.877	21.3501	101.52
3	0.3215	82.276	12.7956	21.2151	100.88
4	0.3263	83.682	12.8228	21.2602	101.09
5	0.3179	81.015	12.7422	21.1266	100.46
6	0.3189	81.699	12.8095	21.2382	100.99
7	0.3264	82.695	12.6677	21.0030	99.87
8	0.3249	82.462	12.6904	21.0407	100.05
9	0.3389	85.526	12.6182	20.9210	99.48
10	0.3512	88.404	12.5860	20.8676	99.23
11	0.3016	75.533	12.5220	20.7615	98.72
12	0.3200	80.971	12.6517	20.9765	99.75
13	0.3151	79.686	12.6445	20.9646	99.69
14	0.3233	81.851	12.6586	20.9880	99.80
15	0.3222	83.121	12.8989	21.3864	101.69
16	0.3398	85.899	12.6397	20.9566	99.65

17	0.3749	94.214	12.5652	20.8331	99.06
18	0.3195	81.796	12.8006	21.2234	100.92
19	0.3168	80.784	12.7500	21.1395	100.52
20	0.3094	84.867	12.7466	21.1339	100.49

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า MgO เท่ากับ 81.03%

No.	weight (g)	reading (mg/L)	mg/kg	% Mg	%MgO (*1.658)	% recovery
1	0.3176	125.902	495520	49.5520	82.1572	101.40
2	0.3282	128.711	490214	49.0214	81.2775	100.31
3	0.3613	141.685	490192	49.0192	81.2738	100.31
4	0.3467	135.936	490106	49.0106	81.2596	100.29
5	0.3070	121.490	494664	49.4664	82.0153	101.22
6	0.3173	125.030	492556	49.2556	81.6658	100.79
7	0.3229	127.008	491670	49.1670	81.5189	100.61
8	0.3264	128.244	491132	49.1132	81.4297	100.50
9	0.3481	136.303	489455	48.9455	81.1516	100.15
10	0.3148	124.240	493327	49.3327	81.7936	100.95
11	0.3066	121.382	494872	49.4872	82.0498	101.26
12	0.3191	125.510	491655	49.1655	81.5164	100.60
13	0.3313	130.331	491741	49.1741	81.5307	100.62
14	0.3084	121.804	493692	49.3692	81.8541	101.02

15	0.3486	135.979	487588	48.7588	80.8421	99.77
16	0.3578	139.834	488521	48.8521	80.9968	99.96
17	0.3068	117.919	480440	48.0440	79.6570	98.31
18	0.3104	119.544	481411	48.1411	79.8179	98.51
19	0.3145	121.084	481254	48.1254	79.7919	98.48
20	0.3017	116.503	482694	48.2694	80.0307	98.77

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า S เท่ากับ 0.737%

No.	นน.	Reading	%S	%revery
1	0.3269	7.7932	0.7958	108.0
2	0.3102	7.1458	0.7689	104.3
3	0.3213	7.7672	0.8069	109.5
4	0.3249	7.5915	0.7799	105.8
5	0.3153	7.3312	0.7761	105.3
6	0.2147	7.7029	0.5988	81.2
7	0.2124	8.2223	0.6461	87.7
8	0.2226	8.7425	0.6555	88.9
9	0.3062	14.1134	0.7693	104.4
10	0.3028	14.1454	0.7797	105.8
11	0.3076	14.2314	0.7722	104.8

12	0.3041	14.1129	0.7746	105.1
13	0.3085	14.2239	0.7695	104.4
14	0.3036	14.1879	0.7800	105.8
15	0.3067	14.4339	0.7855	106.6
16	0.3018	13.1539	0.7274	98.7
17	0.3171	14.8379	0.7810	106.0
18	0.3145	14.7269	0.7815	106.0
19	0.3152	14.7689	0.7820	106.1
20	0.3189	15.1929	0.7951	107.9

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า S เท่ากับ 17.79%

No.	นน.	Reading	%S	%revery
1	0.2245	7.2027	17.8490	100.3
2	0.2399	7.6663	17.7783	99.9
3	0.2128	6.444	16.8469	94.7
4	0.2248	6.881	17.0290	95.7
5	0.2063	6.446	17.3831	97.7
6	0.3137	20.1074	17.8298	100.2
7	0.3025	19.4324	17.8692	100.4
8	0.3025	19.5874	18.0118	101.2
9	0.3048	20.3124	18.5375	104.2
10	0.3037	19.7014	18.0450	101.4

11	0.2153	11.9341	18.5026	104.0
12	0.2042	11.3787	18.6004	104.6
13	0.2037	11.5497	18.9263	106.4
14	0.208	12.0507	19.3391	108.7
15	0.2264	13.2517	19.5381	109.8
16	0.2054	11.7381	19.0758	107.2
17	0.2153	11.9341	18.5026	104.0
18	0.2283	13.4881	19.7211	110.9
19	0.3263	22.8595	19.4874	109.5
20	0.3159	23.486	20.6807	116.2

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ CRM ที่มีค่า S เท่ากับ 33.07%

No.	นน.	Reading	%S	%revery
1	0.1249	12.488	33.3747	100.9
2	0.1467	14.791	33.6553	101.8
3	0.1449	14.309	32.9630	99.7
4	0.211	25.7495	33.9462	102.6
5	0.2334	28.7995	34.3233	103.8
6	0.2186	26.5835	33.8273	102.3
7	0.2186	26.5835	33.8273	102.3
8	0.2302	27.5054	33.2367	100.5
9	0.2467	30.4184	34.2983	103.7

10	0.2537	30.5014	33.4429	101.1
11	0.2407	28.5234	32.9633	99.7
12	0.244	28.7234	32.7455	99.0
13	0.1616	15.5711	32.1636	97.3
14	0.1434	14.4551	33.6479	101.7
15	0.127	13.3217	35.0140	105.9
16	0.1251	13.1377	35.0549	106.0
17	0.1579	19.1037	33.6543	101.8
18	0.1366	16.2867	33.1656	100.3
19	0.2208	26.0321	32.7956	99.2
20	0.2308	28.4841	34.3298	103.8
