

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล

2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พีช ดิน และน้ำ

กิจกรรม : การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปัจจัยการผลิต โดยใช้เทคนิค สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIRS)

กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : ศึกษาวิธีวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และธาตุอาหารรองในดิน โดยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : The Study of pH, Electrical conductivity and Secondary macronutrients in Soil by Near Infrared Spectroscopy

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นางสาวญาณธิดา จิตต์สะอาด สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

ผู้ร่วมงาน : นางสาวจรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

นางสาวสุภา โปธิจันทร์ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

นางสงกรานต์ มะลิสอน สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

นางพจมาลย์ ภู่อสาร สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

นางสาวจิตติรัตน์ ชูชาติ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

5. บทคัดย่อ

### ABSTRACT

The study of chemical and physical properties analysis method in soil using Near Infrared Spectroscopy (NIRS), a new popular measurement method today. These new measurement method were to develop for non-destructive evaluation techniques, to measure fast, accurately, reduce times, costs and chemical uses in order to be appropriate environmentally safe. The study in 2011 - 2015 at System Development of Soil and Water Sub Group, Agricultural Chemistry Group, Agricultural Production Science Research and Development Division. Department of Agricultural. The soil preparation and chemical properties were measured by standard method for the pH using pH meter 1:1 (soil : water), electrical conductivity (EC) using Conductance meter 1:1 (soil : water), calcium (Ca) and magnesium (Mg) using ammonium acetate 1 N at pH 7.0 extraction, and sulfur (S) using turbidity method. The standard method analysis results will be compared with those of NIR measurement method using correlation analysis. Measure the spectrum with wavelength region from 800 nm to

2500 nm. Partial Least Squares Regression (PLSR) was used to develop the calibration equation for prediction of soil. The correlation coefficient (R) of 0.86, 0.86, 0.92, 0.94 and 0.84, standard error of calibration (SEC) of 0.48, 0.12, 632.03, 51.10 and 43.44 and standard error of prediction (SEP) is 0.46, 0.10, 617.57, 53.76 and 46.15 respectively. Research has found that the NIR spectroscopy technique can be used to evaluate soil pH had a prediction in screening. Similarly to calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) had a prediction in very rough screening. Without destroying the sample, it is beneficial to provide soil analysis to a certain extent. This saves time and manpower, chemicals and budget earth. The development of this research will be use to examine the properties of soils and agricultural inputs effectively further.

### บทคัดย่อ

การศึกษาวิธีวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดิน โดยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) เนื่องจากเป็นวิธีใหม่ที่ได้รับค่านิยมอยู่ในปัจจุบัน เป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนในการใช้สารเคมี และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการจึงมีความสนใจศึกษาเทคนิคใหม่นี้เพื่อนำมาพัฒนาใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาในปีงบประมาณ 2559 - 2561 ณ กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยเตรียมตัวอย่างดินและวิเคราะห์ค่าทางเคมีในห้องปฏิบัติการ หาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปวัดด้วย pH meter ค่าการนำไฟฟ้าด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 นำส่วนของสารละลายไปวัดด้วย Conductivity meter ปริมาณแคลเซียม (Ca) และ แมกนีเซียม (Mg) ด้วยวิธีโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonium acetate 1 N ที่ pH 7.0 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Atomic absorption spectrophotometer หรือ Inductive couple plasma และปริมาณกำมะถัน (S) ด้วยวิธี Turbidity นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 2500 นาโนเมตร สร้างและปรับปรุงสมการคำนวณด้วยวิธี PLS calibration ได้สมการทำนาย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.86, 0.86, 0.92, 0.94 และ 0.84 ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (Standard error of calibration, SEC) เท่ากับ 0.48, 0.12, 632.03, 51.10 และ 43.44 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard error of prediction, SEP) เท่ากับ 0.46, 0.10, 617.57, 53.76 และ 46.15 ตามลำดับ การศึกษานี้สามารถนำเทคนิค NIR Spectroscopy ไปใช้ในการประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ในระดับการทำนายเพื่อปริมาณอย่างหยาบหรือ ปริมาณค่าเบื้องต้น (Screening) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ใช้เพื่อการแบ่งปริมาณอย่างหยาบ (Very rough screening) เป็นประโยชน์ต่อการให้บริการวิเคราะห์ดินได้ในระดับหนึ่ง รวมทั้งทำให้ประหยัดกำลังคน เวลา สารเคมี และงบประมาณของแผ่นดินได้ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ในการตรวจสอบคุณสมบัติอื่นของดินและปัจจัยการผลิตทางการเกษตรต่อไป

## 6. คำนำ

### คำนำ



ดินมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามปัจจัยการกำเนิดดิน สภาพแวดล้อม ตลอดจนการใช้และจัดการพื้นที่ของมนุษย์ ประเทศไทยได้มีการใช้ทรัพยากรดินต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีตามธรรมชาติจึงนับวันลดน้อยลง ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน การใช้ดินเพื่อทำการเกษตรให้ได้ผลดีจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ดินเพื่อประเมินคุณภาพดินก่อนเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงบำรุงดินให้มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ คุณสมบัติของดินตามคู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์ กรมวิชาการเกษตร (2548) นำมาใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเบื้องต้น ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH), ความต้องการปุ๋ยของดิน (LR), การนำไฟฟ้าของดิน (EC), อินทรีย์วัตถุในดิน (OM), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (P), โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (K) และเนื้อดิน (Texture) เป็นต้น ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารเสริมและอื่นตามความเหมาะสม

การวิเคราะห์ดินจะมีวิธีวิเคราะห์ที่ต่างกันและหลากหลายมาก ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัด และความเหมาะสมกับดินแตกต่างกัน ปัจจุบันกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร รับบริการวิเคราะห์ดินมีรายการวิเคราะห์ที่ไม่น้อยกว่า 7 รายการต่อตัวอย่างต่อราย ในการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้งต่อรายการใช้เวลาในการวิเคราะห์ 1-2 วันทำการ จะต้องใช้ทั้งกำลังคนและสารเคมีมาก เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) เป็นวิธีใหม่ที่ได้รับคามนิยมอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนในการใช้สารเคมี และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม จากเหตุผลดังกล่าวห้องปฏิบัติการจำเป็นจะต้องศึกษาเทคนิคใหม่นี้เพื่อนำมาพัฒนาใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษามาแล้วในปีงบประมาณ 2555-2558 รวมระยะเวลา 4 ปี จำนวน 4 รายการวิเคราะห์คือ เนื้อดิน อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งยังไม่ครอบคลุมรายการที่ให้บริการวิเคราะห์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และผลการศึกษาออกมาเป็นไปในแนวโน้มที่ดี จึงทำการศึกษารายการวิเคราะห์เพิ่มเติม คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เพื่อให้ครอบคลุมรายการที่จำเป็นในการวิเคราะห์ดินต่อไป ซึ่งเทคนิค NIRS หากสามารถหาวิธีใหม่ที่ใช้ประเมินคุณสมบัติของดินเบื้องต้นได้ จะเป็นประโยชน์มากต่อการให้บริการวิเคราะห์ดินรวมทั้งทำให้ประหยัดกำลังคน เวลา สารเคมีและ งบประมาณของแผ่นดินได้

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน เป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนในการใช้สารเคมี ทราบผลภายใน 2-3 นาที และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ประเมินองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพ เช่น คุณสมบัติเชิงเคมีและเชิงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์เคมี (จิตติมา, 2012) การพัฒนาระบบการวัดอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับดินและปุ๋ยหมัก (Ootake Y. *et al*, 1980) การศึกษาและการทำนายองค์ประกอบของดินเหนียว (Viscarrá *et al*, (1998) ; Viscarrá *et al*, (2009)) และมีการศึกษาวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินโดยเทคนิค NIRS (ญาณธิดา และคณะ, 2558) เทคนิคนี้ใช้หลักการหาความสัมพันธ์การดูดกลืนแสงในช่วง อินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared) คือ ช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น 4000-12500 ต่อเซนติเมตร กับสารที่ต้องการประเมินหรือสารที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ อันตรกิริยาดังกล่าว คือ การที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไป ซึ่งจะมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของสารที่มีความยาวคลื่นต่างๆ จะปรากฏใน

สเปกตรัม NIRS (เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม, 2555) ซึ่งสารแต่ละชนิด เมื่อได้รับแสงจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงได้ไม่เท่ากัน ทำให้ผลที่แสดงออกมาบอกถึงความแตกต่างได้ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงมาประมวลผลวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ต้องการได้

## 7. วิธีดำเนินการ :

### วิธีดำเนินการ

#### อุปกรณ์

##### ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์
  - 1.1 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)
  - 1.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
  - 1.3 pH Meter
  - 1.4 เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์
2. สารเคมี
  - 2.1 สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0, 7.0 และ 10.0

##### ตัวอย่างดิน

##### ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์
  - 1.1 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)
  - 1.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
  - 1.3 Conductivity Meter
  - 1.4 เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์
2. สารเคมี
  - 2.1 Conductivity Standard 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$

##### ตัวอย่างดิน

##### แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์
  - 1.1 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)
  - 1.2 Atomic Absorption Spectrophotometer
  - 1.3 เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
  - 1.4 เครื่องเขย่า
  - 1.5 เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์
2. สารเคมี
  - 2.1 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) 1000 mg/L
  - 2.2 Ammonium acetate ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ), AR grade

2.3 Strontium chloride hexahydrate ( $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), AR grade

2.4 Ammonium hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), AR grade

2.5 Ammonium molybdate ( $(\text{NH}_4)_4\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), AR grade

2.6 Acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), AR grade

### 3. ตัวอย่างดิน

#### กำมะถัน (S)

##### 1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์

1.1 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

1.2 UV-Vis spectrophotometer

1.3 เครื่องเขย่า

1.9 เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

##### 2. สารเคมี

2.1 สารละลายมาตรฐานซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ความเข้มข้น 1000 mg/L

2.2 Calcium tetrahydrogen Di-orthophosphat ( $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), AR grade

2.3 Barium chloride ( $\text{BaCl}_2$ ), AR grade

2.4 Gum acacia, AR grade

2.5 Activated charcoal, AR grade

##### 3. ตัวอย่างดิน

เครื่องมือ วัสดุวิทยาศาสตร์ และสารเคมี ทุกรายการวิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ตามคู่มือวิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์ของห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ

## วิธีการ

### ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่างดิน

เตรียมตัวอย่างดิน (Reeuwijk, 1998 ; คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์, 2548) โดยผึ่งดินให้แห้งในที่ร่มด้วยการนำดินมาเกลี่ยบนแผ่นพลาสติกที่วางอยู่บนชั้นในห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เป็นห้องที่สะอาดปราศจากปุ๋ย สารเคมี หรือสิ่งปนเปื้อน หลังจากดินแห้งแล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดดินและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ค่าทางเคมีต่อไป

### ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ค่าทางเคมี

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณค่าทางเคมีทั้งหมด 5 รายการวิเคราะห์ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) แล้วคัดเลือกตัวอย่างดินที่มีค่าทางเคมีดังกล่าวแตกต่างกันในช่วง ต่ำ กลาง สูง ซึ่งเป็นช่วงกว้างที่ครอบคลุมตัวอย่างที่พบและต้องการวัดเพื่อใช้งานจริง โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปวัดด้วย pH meter ค่าการนำไฟฟ้า ด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 นำส่วนของสารละลายไปวัดด้วย Conductivity meter ปริมาณแคลเซียม (Ca) และ แมกนีเซียม (Mg) ด้วยวิธีโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonium acetate 1 N ที่ pH 7.0 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Atomic absorption spectrophotometer หรือ Inductive couple plasma และปริมาณกำมะถัน (S) ด้วยวิธี Turbidity ตามวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ (Devis & Freitas, 1976; Rhoades, 1996 ; คู่มือวิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์, 2553)

### ขั้นตอนที่ 3 การวัดการดูดกลืนแสง

โดยนำตัวอย่างดินที่มีปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ที่มีค่าแตกต่างกันในช่วง ต่ำ กลาง สูง ซึ่งเป็นช่วงกว้างที่ครอบคลุมตัวอย่างที่พบและต้องการวัดเพื่อใช้งานจริง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) แบบวิธีสะท้อน (Reflectance) โดยทำการเทตัวอย่างดินที่บดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ลงใน Petridis ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง NIRS โดยใช้แสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ย่านนี้

### ขั้นตอนที่ 4 สร้างและปรับปรุงสมการเพื่อใช้ประเมิน

หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NIRCal ของเครื่อง NIR (Buchi NIRFlex N-500, Switzerland )

### ขั้นตอนที่ 5 ประเมินค่า

ปรับปรุงสมการให้มีค่าความสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ถ้ามีความสัมพันธ์ (R) สูง ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (Standard of Calibration : SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard of Error of Prediction: SEP)

ต่ำ หมายถึงสามารถตอบสนองได้ดี เมื่อเลือกสมการแคลิเบรชันที่ดีที่สุดแล้ว การประเมินผลความสามารถของสมการแคลิเบรชันสามารถอธิบายได้จากค่าทางสถิติ RPD (Ratio of standard error of performance to standard deviation) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชัน (ตารางที่ 1) และสามารถพิจารณาสมการตามแนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า R (ตารางที่ 2) (William, 2001) แล้วนำสมการไปประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ในตัวอย่างดินอื่นๆ จนแน่ใจว่าสมการมีประสิทธิภาพในการประเมิน

ตารางที่ 1 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า RPD

ค่า R	การตัดแยกกลุ่มตัวอย่าง (Classification)	การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณ
0.0-2.3	แย่มาก (Very poor)	ไม่แนะนำให้ใช้ (Not recommended)
2.4-3.0	ไม่ดีพอ (Poor)	การแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (Very rough screening)
3.1-4.9	ปานกลาง (Fair)	การแบ่งระดับปริมาณ (Screening)
5.0-6.4	ดี (Good)	การควบคุมคุณภาพ (Quality control)
6.5-8.0	ดีมาก (Very good)	การควบคุมกระบวนการ (Process control)
8.1 ขึ้นไป	ยอดเยี่ยม (Excellent)	ทุกงาน (Any application)

ตารางที่ 2 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า R

ค่า R	ความสามารถของสมการแคลิเบรชัน
± 0.5	ไม่ควรใช้ในการทำนาย (Not usable)
± 0.51-0.70	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ (Poor correlation)
± 0.71-0.80	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (Rough screening)
± 0.81-0.90	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ หรือปริมาณค่าเบื้องต้น (Screening)
± 0.91-0.95	การทำนายเพื่องานวิจัย (Research) และงานทั่วไป
± 0.96-0.98	การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพ (Quality assurance)
± 0.99 ขึ้นไป	ทุกงาน (Any application)

ระยะเวลาและสถานที่ ตุลาคม 2558 - กันยายน 2561 ณ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. การเตรียมตัวอย่างดินและวิเคราะห์ค่าทางเคมี

ผลการเตรียมตัวอย่างดินและวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปวัดด้วย pH meter จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 530 ตัวอย่าง ได้ผลวิเคราะห์ ในช่วง 3.0-8.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.91 (ตารางที่ 3)

ผลการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยวิธีโดยการใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 นำส่วนของสารละลายไปวัดด้วย Conductivity meter จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 530 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0.009-3.730 ds/m ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.23 (ตารางที่ 3)

ผลการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม (Ca) ด้วยวิธีโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonium acetate 1 N ที่ pH 7.0 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Atomic absorption spectrophotometer หรือ Inductive couple plasma จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 469 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 11-7,783 mg/kg ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1513.05 (ตารางที่ 3)

ผลการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ด้วยวิธีโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonium acetate 1 N ที่ pH 7.0 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Atomic absorption spectrophotometer หรือ Inductive couple plasma จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 432 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 4-873 mg/kg ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 155.90 (ตารางที่ 3)

ผลการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน (S) ด้วยวิธี Turbidity จากตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 489 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-490 mg/kg ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 127.37 (ตารางที่ 3)

ตัวอย่างดินที่เตรียมได้ครอบคลุมช่วงที่ใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการปัจจุบันแต่ยังขาดความสม่ำเสมอของจำนวนตัวอย่างในแต่ละช่วง

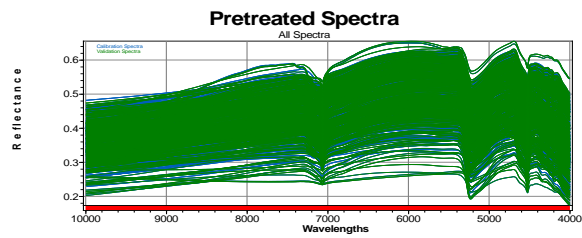
ตารางที่ 3 ผลการเตรียมตัวอย่างดินและวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S)

รายการวิเคราะห์	pH	EC	Ca	Mg	S
จำนวนตัวอย่าง	530	530	469	432	489
พิสัย	3.0-8.3	0.009-3.730	11-7,783	4-873	0-490
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.91	0.23	1513.05	155.90	127.37
หน่วย	-	ds/m	mg/kg	mg/kg	mg/kg

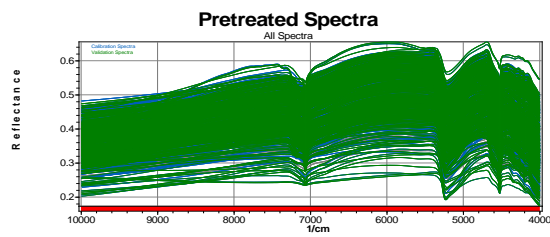
## 2. การวัดการดูดกลืนแสง

เมื่อนำตัวอย่างดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) จำนวน 530 ตัวอย่าง ปริมาณแคลเซียม (Ca) จำนวน 469 ตัวอย่าง ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) จำนวน 432 ตัวอย่าง และปริมาณกำมะถัน (S) จำนวน 489 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้ เครื่อง NIRS แบบวิธีสะท้อน (Reflectance) โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร ได้สเปกตรัมของตัวอย่างดิน แสดงให้เห็นเป็นสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectra) ตามค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (ภาพที่ 1) ค่าการนำ

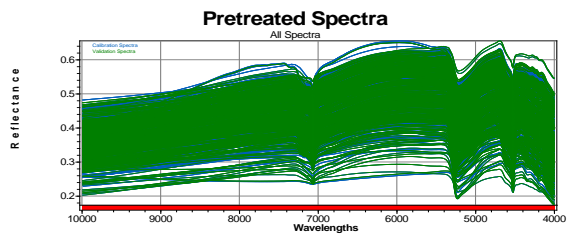
ไฟฟ้า (EC) (ภาพที่ 2) ปริมาณแคลเซียม (Ca) (ภาพที่ 3) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) (ภาพที่ 4) และปริมาณกำมะถัน (S) (ภาพที่ 5) ตามลำดับ



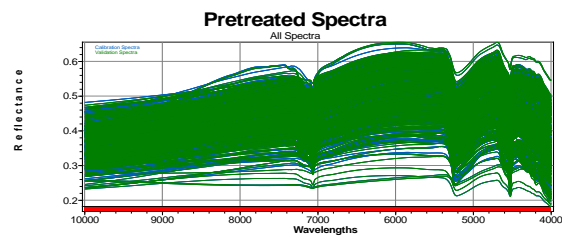
ภาพที่ 1 Original spectra ของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จำนวน 530 ตัวอย่าง



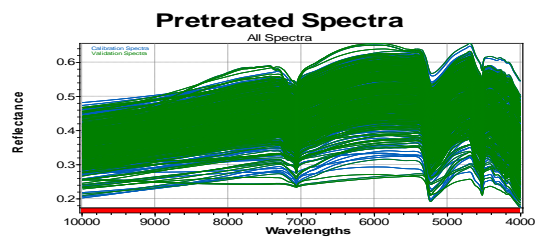
ภาพที่ 2 Original spectra ของค่าการนำไฟฟ้า (EC) จำนวน 530 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3 Original spectra ของปริมาณแคลเซียม (Ca) จำนวน 469 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4 Original spectra ของปริมาณแมกนีเซียม (Mg) จำนวน 432 ตัวอย่าง

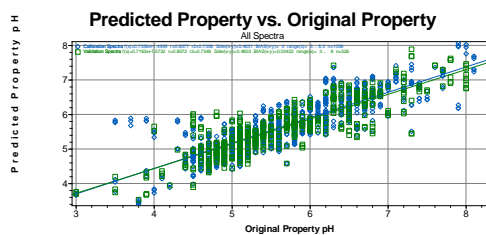
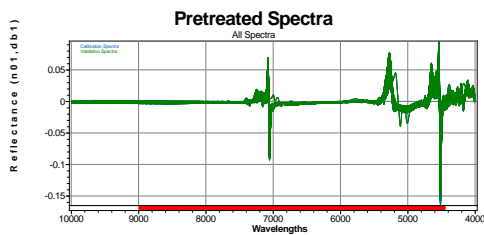


ภาพที่ 5 Original spectra ของปริมาณกำมะถัน (S) จำนวน 489 ตัวอย่าง



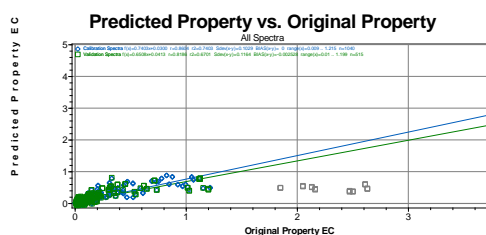
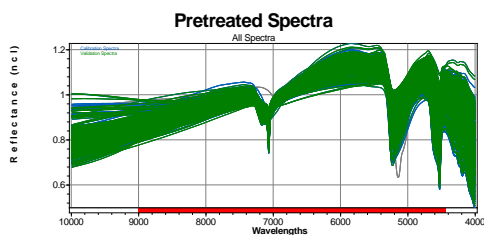
### 3. สร้างและปรับปรุงสมการเพื่อใช้ประเมิน

เมื่อนำสเปกตรัมที่ได้ ไปสร้างและปรับปรุงสมการ ในช่วงเริ่มต้นการสร้างสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Normalization between 0 and 1 (n01) และ Derivative 1st BCAP (db1) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.86 ความผิดพลาดมาตรฐานของการจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.48 ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.46 และสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP เท่ากับ 1.97 (ภาพที่ 6 และตารางที่ 4)



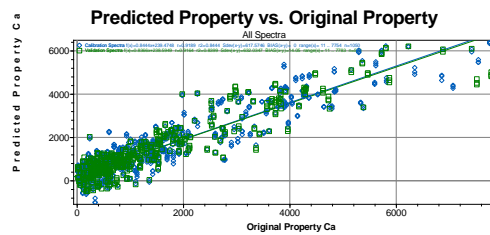
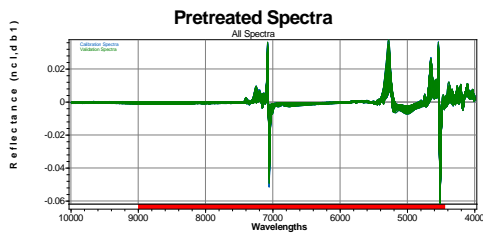
ภาพที่ 6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีจากห้องปฏิบัติการของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าจากการประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และค่าการนำไฟฟ้า (EC) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Normalization by closure (ncl) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.86 ความผิดพลาดมาตรฐานของการจำลอง (SEC) เท่ากับ 0.12 ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.10 และสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP เท่ากับ 2.30 (ภาพที่ 7 และตารางที่ 4)



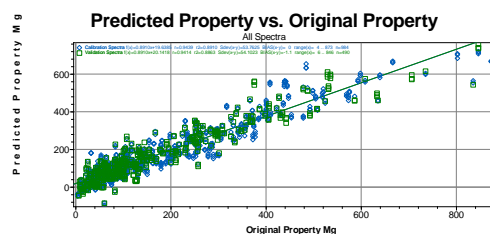
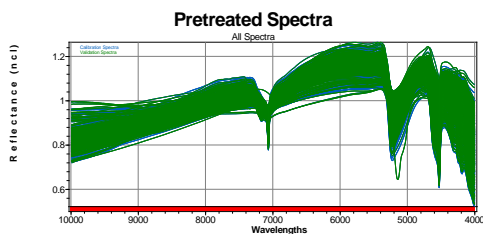
ภาพที่ 7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีจากห้องปฏิบัติการของค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าจากการประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณแคลเซียม (Ca) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Normalization by closure (ncl) และ Derivative 1st BCAP (db1) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.92 ความผิดพลาดมาตรฐานของการจำลอง (SEC) เท่ากับ 632.03 ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 617.57 และสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP เท่ากับ 2.45 (ภาพที่ 8 และตารางที่ 4)



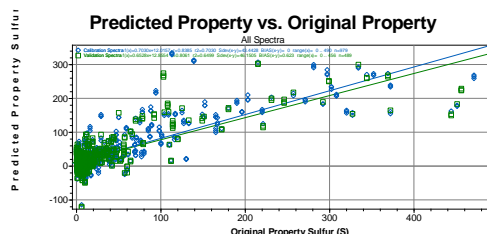
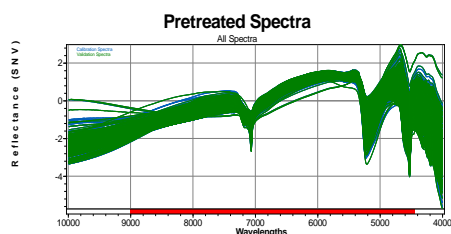
ภาพที่ 8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีจากห้องปฏิบัติการของปริมาณแคลเซียม (Ca) และค่าจากการประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณแมกนีเซียม (Mg) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Normalization by closure (ncl) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.94 ความผิดพลาดมาตรฐานของการจำลอง (SEC) เท่ากับ 51.10 ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 53.76 และสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP เท่ากับ 2.90 (ภาพที่ 9 และตารางที่ 4)



ภาพที่ 9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีจากห้องปฏิบัติการของปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และค่าจากการประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณกำมะถัน (S) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Standard Normal Variant (SNV) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.84 ความผิดพลาดมาตรฐานของการจำลอง (SEC) เท่ากับ 43.44 ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เท่ากับ 46.15 และสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP เท่ากับ 2.76 (ภาพที่ 9 และตารางที่ 4)



ภาพที่ 10 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมีจากห้องปฏิบัติการของปริมาณกำมะถัน (S) และค่าจากการประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติของสมการค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ที่ประเมินจากเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS)

รายการวิเคราะห์	Wave number (cm <sup>-1</sup> )	R	SEC	SEP	RPD
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4000-12500	0.86	0.48	0.46	1.97
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	4000-12500	0.86	0.12	0.10	2.30
แคลเซียม (Ca)	4000-12500	0.92	632.03	617.57	2.45
แมกนีเซียม (Mg)	4000-12500	0.94	51.10	53.76	2.90
กำมะถัน (S)	4000-12500	0.84	43.44	46.15	2.76

เมื่อนำสมการไปประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าที่ได้ เป็นไปตามแนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า R (ตารางที่ 2) โดยค่า R ที่ได้ของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 0.86 สามารถใช้ในการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบหรือประมาณค่าเบื้องต้น (Screening) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) ค่าที่ได้ เป็นไปตามแนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า RPD (ตารางที่ 1) โดยค่า RPD ที่ได้ของ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 3.70 การคัดแยกกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับแย่มาก (Very poor) การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณไม่แนะนำให้ใช้ (Not recommended) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) เท่ากับ 2.45, 2.90 และ 2.76 ตามลำดับ การคัดแยกกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับไม่ดีพอ (Poor) การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณใช้เพื่อการแบ่งปริมาณอย่างหยาบ (Very rough screening) นอกจากนี้ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) มีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (SEP) ที่สูงทำให้การตอบสนองยังไม่ดีพอ

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) ใช้หลักการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ และปริมาณการดูดกลืนแสง ด้วยวิธีการสะท้อนแสง (Reflection) โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร สามารถนำมาใช้ประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ในระดับการทำนายเพื่อปริมาณอย่างหยาบหรือประมาณค่าเบื้องต้น (Screening) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณใช้เพื่อการแบ่งปริมาณอย่างหยาบ (Very rough screening) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณไม่แนะนำให้ใช้ (Not recommended) และสามารถพัฒนาและปรับปรุงสมการเพื่อนำมาใช้ประเมินค่าให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณตัวอย่างให้มากขึ้นและมีความสม่ำเสมอเพื่อให้สเปกตรัมเป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่าง และครอบคลุมการใช้งานจริง หรือสามารถแบ่งช่วงสเปกตรัมเพื่อสร้างสมการให้แคบลงจะทำให้สามารถลดค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (SEP) จะทำให้สมการทำนายมีความถูกต้องแม่นยำ มากขึ้น

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

### การนำไปใช้ประโยชน์

สามารถนำเทคนิค NIR Spectroscopy ไปใช้ในการประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ในระดับการทำนายเพื่อปริมาณอย่างหยาบหรือประมาณค่าเบื้องต้น (Screening) ปริมาณแคลเซียม (Ca) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) และปริมาณกำมะถัน (S) การประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณใช้เพื่อการแบ่งปริมาณอย่างหยาบ (Very rough screening) โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง เป็นประโยชน์ต่อการให้บริการวิเคราะห์ดินได้ในระดับหนึ่ง รวมทั้งทำให้ประหยัดกำลังคน เวลา สารเคมี และงบประมาณของแผ่นดินได้ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ในการตรวจสอบคุณสมบัติอื่นของดินและปัจจัยการผลิตทางการเกษตรต่อไป

## 11. ขอบคุณ (ถ้ามี) : -

## 12. เอกสารอ้างอิง

### เอกสารอ้างอิง

คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์. 2548. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ

คู่มือวิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. 2553. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

- จิตติมา วีระนันทนาพันธ์. 2555. การใช้ประโยชน์ NIRS ในภาคอุตสาหกรรมปุ๋ยครั้งแรกในประเทศไทย. ใน **The 3<sup>rd</sup> Asian Near-Infrared Symposium , Shot Course in Thai เทคนิค Near-Infrared Spectroscopy (NIRs)**. Kasetsart University and Asian Near-Infrared Consortium. May 14-18, 2012 . Bangkok : Amari Watergate Hotel, Thailand. Pp.1-7.
- ญาณธิดา จิตต์สะอาด จีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ พจมาลย์ แก้ววิมล เทวี แสนกล้า และเจนจิรา เทเวศร์วรกุล. 2558. ศึกษาวิธีวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินโดยเทคนิค NIRS. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2558 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 80-91
- เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. 2555. สถาบันวิจัยและค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- Davis, J. and F. Freitas. 1976. Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis. FAO Soils Bulletin 10. FAO. Rome.
- Ootake Y., K. Takeda, K. Suzuki, T. Okazaki, K. Maezuka, T. Okura, S. Park and K. Sashida.1980. Development of Near-Infrared-Measurement-System for Soil and Compost Based on SIMCA Classification and X-Leverage Method. In **3<sup>rd</sup> Asian Near-Infrared Symposium**, Kasetsart University and Asian Near-Infrared Consortium. May 14-18, 2012. Bangkok : Amari Watergate Hotel, Thailand. Pp.108-109.
- Reeuwijk, L.P. van. 1998. Guidelines for Quality Management in Soil and Plant Laboratories. FAO Soil Bulletin 74. International and Information Center. Rome.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity : Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In D.L. Sparks et. al (eds). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods SSSA Book Series No. 5. SSSA, Inc. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin : 417-435.
- Viscarra Rossel, R. A., and A. B. McBratney. 1998. Laboratory evaluation of a proximal sensing technique for simultaneous measurement of soil clay and water content. *Geoderma*, 85(1), 19-39.
- Viscarra Rossel, R. A., S. R. Cattle, A.Ortega, and Y. Fouad. 2009. In situ measurements of soil color, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150(3), 253-266.
- Williams P.C., Implementation of Near-Infrared Technology, in Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, 2<sup>nd</sup> edition, Ed by P.C. Williams and K.H. Norris. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA, p. 163-165 (2001)

13. ภาคผนวก : -

