พิสูจน์เอกลักษณ์ และสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารปรับปรุงดินชนิดโดโลไมค์ โดยเทคนิคอินฟาเรดย่านใกล้

Identify and Determine the Chemical and Physical Properties of Dolomite by Near Infrared Spectroscopy

สุภา โพธิจันทร์ *ญาณธิชา จิตต์สะอาด* *สงกรานต์ มะลิสอน* *จิตติรัตน์ ชูชาติ*
พจมาลย์ ภู่สาร *กัญฐณา คล้ายแก้ว*

Supha Photichan *Yarnticha Jittsa-aad* *Songkrant Malisorn* *Jittirat Choochart*
Pojjamarn Poosarn *Kanthana Klaigaew*

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) is a sample non-destructive measurement method. It can predict chemical values quickly, accurately, saving time, reducing the cost of using chemicals and does not harm the environment. Therefore laboratory is interested in studying this technique use for classification and predicting the chemical value of soil amendment. Studied by preparing samples of dolomite and other types of soil amendment. Identification by taking a sample to measure absorbance with Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in a wavelength range from 800 to 2500 nm was identified from the spectra of each soil amendment. The PLS calibration equations were created and improved and the chemical prediction equations were created. It was found that the soil amendment identity can be distinguished from different spectra. The 1st Savitzky - Golay a points (dg1) and to Unit Length (nle) cluster calibration equations were obtained that could accurately predict the results for the cluster calibration every sample and was able to predict the presence of other mixes by 40.7%. Quantitative prediction equations that had a correlation coefficient (r) 0.6313, 0.8952, 0.9326 and 0.9180, the standard error of calibration; SEC was 0.2483, 1.0904, 0.6292 and 3.4038, the standard error of predictions; SEP were 0.3106, 1.3722, 0.8099 and 3.8764 for pH, CaO, MgO and CCE respectively. The Accuracy testing by comparing the predicted results with the chemical analyses using paired t-tests. The pH, CaO, MgO and %CCE values were $t_{ext} < t_{crit}$ indicating that the NIR analysis showed no different results from the laboratory analysis. In concluded that Near Infrared Spectroscopy (NIRS) techniques could be used to classify dolomite from other soil amendments. The chemistry of dolomite can be predicted accurately and quickly, and equations can be developed and improved for better estimation by increasing the sample volume and consistency for the spectra. good representative of the example and cover the actual usage This will make the prediction equations more accurately.

Keywords : Near Infrared Spectroscopy, Dolomite, Soil amendment, Identity, Chemical properties

บทคัดย่อ

เทคนิคอินฟาเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) เป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนในการใช้สารเคมี และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการจึงมีความสนใจศึกษาเทคนิคนี้ สำหรับใช้ในการจัดจำแนกชนิดและทำนายผลค่าทางเคมีของสารปรับปรุงดิน ประเภทปูน โดยเตรียมตัวอย่างโดโลไมท์และปูนชนิดอื่น พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยการนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 2500 นาโนเมตร พิสูจน์เอกลักษณ์จากสเปกตรัมของปูนแต่ละชนิด สร้างและปรับปรุงสมการคำนวณด้วยวิธี PLS calibration และสร้างสมการทำนายผลค่าทางเคมี พบว่า สามารถแยกเอกลักษณ์ของสารปรับปรุงดินได้จากสเปกตรัมที่แตกต่างกันได้ ได้สมการทำนายการจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) แบบ 1st Savitzky - Golay a points (dg1) และ to Unit Length (nle) ที่สามารถทำนายผลสำหรับการจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่มได้ถูกต้องทุกตัวอย่างสำหรับปูนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมอยู่สำหรับปูนผสมได้ร้อยละ 40.7 สมการทำนายเชิงปริมาณที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient ; r) เท่ากับ 0.6313, 0.8952, 0.9326 และ 0.9180 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชั่น (Standard error of calibration ; SEC) เท่ากับ 0.2483, 1.0904, 0.6292 และ 3.4038 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard error of prediction ; SEP) เท่ากับ 0.3106, 1.3722, 0.8099 และ 3.8764 สำหรับ pH, CaO, MgO และ CCE ตามลำดับ จากการประเมินความแม่นยำโดยเปรียบเทียบผลการทำนายกับค่าวิเคราะห์ทางเคมี โดยใช้ paired t-test พบว่า pH, CaO, MgO และ %CCE มีค่า $t_{ext} < t_{crit}$ แสดงว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ให้ผลไม่แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ สรุปว่า เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) สามารถใช้จัดจำแนกโดโลไมท์จากสารปรับปรุงดินชนิดอื่นได้ และสามารถทำนายผลค่าทางเคมีของโดโลไมท์ได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว และสามารถพัฒนาและปรับปรุงสมการเพื่อนำมาใช้ประเมินค่าให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณตัวอย่างให้มากขึ้นและมีความสม่ำเสมอกันเพื่อให้สเปกตรัมเป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่าง และคลอบคลุมการใช้งานจริง จะทำให้สมการทำนายมีความถูกต้อง แม่นยำ มากขึ้น

คำหลัก: อินฟาเรดย่านใกล้ โดโลไมท์ สารปรับปรุงดิน พิสูจน์เอกลักษณ์ สมบัติทางเคมี

คำนำ

ปูนเพื่อการเกษตร (Agricultural lime) หมายถึง วัสดุสารประกอบที่มีธาตุแคลเซียม หรือแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ มีสมบัติเป็นด่าง หรือหมายถึงสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม สามารถลดความเป็นกรดของดินได้ ได้แก่พวกปูนหรือหินปูนชนิดต่างๆ เช่น ปูนมาร์ล ปูนเปลือกหอยเผา ปูนขาว ปูนบด (หินฝุ่น) หรือแคลไซท์ (Calcite) ปูนโดโลไมท์ (Dolomite) และปูนยิปซัม เป็นต้น หรือความหมายของคาที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสารประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สามารถปรับปรุงดินเปรี้ยวได้ เช่น ปูนสุก ปูนขาว หินปูน (แคลไซต์ และโดโลไมท์) ปูนมาร์ล เปลือกหอย และผลพลอยได้ต่างๆ เช่นผลพลอยได้ชนิดเป็นด่าง (base) ที่ได้จากการหลอมหรือถลุงโลหะและอโลหะ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา 2548; McCart *et al*., 2009) แต่ปูนเพื่อการเกษตรที่เป็นที่นิยม หรือมีจาหน่ายในท้องตลาด แบ่งออกเป็น ปูนมาร์ลหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ปูนโดโลไมท์หรือแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($CaMg(CO_3)_2$) ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$Ca(OH_2)$] และปูนยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) จากการศึกษาชนิดและแหล่งของปูนแล้ว จะเห็นได้ว่าปูนชนิดต่างๆ ดังกล่าวจะมีส่วนประกอบของแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ และจะมีสารประกอบของแมกนีเซียมอยู่บ้างไม่มากนัก ด้วยเหตุผลดังกล่าว การใส่ปูนจึงหมายถึง การใส่สารประกอบแคลเซียมอยู่ในปริมาณมาก และสารประกอบนี้ก็คือปูนซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง (กรมพัฒนาที่ดิน 2542; Balog *et al*., 2014)

ปัจจุบันการตรวจสอบวัสดุปูนที่ใช้ในการเกษตรของประเทศไทย มีการศึกษาและจำแนกโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2542) และคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ใช้วิธีศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพ โดยสารปรับปรุงดินปูนโดโลไมท์เป็นสารปรับปรุงดิน ที่ได้จากแร่ที่เกิดจากตะกอนของแคลเซียมและแมกนีเซียมทับถมกัน [$CaMg(CO_3)_2$] มีสีต่างๆ กัน เช่น เทา ชมพู ขาว มีส่วนประกอบทางเคมีเป็น $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ ใช้ปรับปรุงดินเพื่อแก้ความเป็นกรดของดิน และยังให้ธาตุอาหารแคลเซียมและแมกนีเซียมแก่พืชอีกด้วย มาตรฐานที่กำหนดคือ มีค่าความสามารถในการทาให้เป็นกลาง (CCE) ไม่น้อยกว่า 90 มีค่า CaO (Calcium Oxide) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 และมีค่า MgO (Magnesium Oxide) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ขนาดอนุภาค มีค่าความละเอียดสามารถร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.177 มิลลิเมตร (80 เมช) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 โดยน้าหนัก ปริมาณความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ไม่น้อยกว่า 8.0 ปูนมาร์ล (Marl) หรือ ดินมาร์ล เป็นสารปรับปรุงดินประเภทวัสดุปูนเพื่อการเกษตร (Agricultural lime) ชนิดหนึ่ง องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และดินเหนียว (Clay) ในอัตราส่วน 35:65 หรือ 65:35 มีสีขาวหรือขาวขุ่นปนน้ำตาล ใช้ปรับปรุงดินเปรี้ยวเพื่อแก้ความเป็นกรดของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) เป็นทางเลือกหนึ่งของเทคนิควิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ และถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ด้านต่างๆ อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถทำนายค่าได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ และสามารถใช้พิสูจน์เอกลักษณ์ของสารต่างๆได้โดยใช้ความยาวคลื่นจำเพาะขององค์ประกอบทางเคมีที่เป็นส่วนประกอบในสารนั้นๆ เช่น การประมาณค่า โดยสเปกโตรสโกปีใกล้อินฟราเรดของแร่หินปูนภายใต้สภาวะแห้งและเปียก (Sungchan *et al.,* 2017) ทำนายการชะล้างพังทลายของดินและ $CaCO_3$ โดยใช้สเปกตรัม Vis-NIR ในห้องปฏิบัติการ (Yaser *et al*., 2018) เป็นต้น เทคนิคนี้ใช้หลักการหาความสัมพันธ์การดูดกลืนแสงในช่วง อินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared) คือ ช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น 4000-12500 ต่อเซนติเมตร กับสสารที่ต้องการประเมินหรือสสารที่สามารถเกิดอันตรกริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ อันตรกิริยาดังกล่าว คือ การที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไป ซึ่งจะมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของสสารที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะปรากฏในสเปกตรัม NIRS (เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม, 2555) ซึ่งสารแต่ละชนิด เมื่อได้รับแสงจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงได้ไม่เท่ากัน ทำให้ผลที่แสดงออกมาบอกถึงความแตกต่างได้ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงมาประมวลผลวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ต้องการได้ ปัจจุบันมีการใช้สารปรับปรุงดินอย่างแพร่หลาย แต่ยังไม่มีการควบคุมคุณภาพของสารปรับปรุงดิน ห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตรจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดังกล่าว ให้ความเหมาะสมกับประเภทตัวอย่าง ชนิดและปริมาณธาตุอาหารพืช เพื่อให้สามารถนำเทคนิควิธีวิเคราะห์ดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ นอกจากนี้ ยังเป็นการลดมลภาวะที่เกิดจากห้องปฏิบัติการจากการลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งลดต้นทุน และระยะเวลาในการวิเคราะห์

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer
2. เครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
4. pH Meter
5. ตู้อบ
6. เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์
7. สารมาตรฐานแคลเซียม แมกนีเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตร
8. Nitric acid 63 - 65% (HNO_3), AR grade
9. pH Buffer 4, 7 และ 10
10. ตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และปูนขาว

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างปูน

จัดหาตัวอย่างสารปรับปรุงดินโดโลไมท์ และปูนชนิดอื่น ได้แก่ ปูนมาร์ล และปูนขาว เพื่อนำมาใช้พิสูจน์เอกลักษณ์และสร้างสมการการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Identification) สร้างสมการการวัดเชิงปริมาณ (quantification) และทวนสอบสมการการวัดเชิงคุณภาพหรือเอกลักษณ์และการวัดเชิงปริมาณ

2. การพิสูจน์เอกลักษณ์

2.1 ศึกษาสเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของโดโลไมท์ และปูนชนิดอื่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

นำตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนขาว และปูนมาร์ล ชนิดละ 50 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) แบบวิธีสะท้อน (Reflectance) และทำการวัดเชิงคุณภาพหรือเอกลักษณ์ (Identification) โดยทำการเทตัวอย่างปูนที่เตรียม ใส่ลงใน Petridis ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง NIRS โดยใช้แสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร

2.2 ศึกษาสเปกตรัมของปูนผสม โดยการผสมโดโลไมท์ และปูนชนิดอื่น

ศึกษาสเปกตรัมของสารปรับปรุงดินชนิดโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และปูนขาว โดยนำนำสารปรับปรุงดินทั้ง 3 ชนิด วิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR และผสมสารปรับปรุงดินทั้งสามชนิดในอัตราส่วนต่างๆ แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR และศึกษาสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยผสมกับปูนชนิดอื่นทีละ 1 ชนิด อัตราส่วน เท่ากับ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยปริมาตร

3. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

3.1 นำสเปกตรัมที่ได้จาก ข้อ 2.1 ไปสร้างสมการแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) เพื่อจัดจำแนกชนิดของสารปรับปรุงดิน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NIRCal ของเครื่อง NIR (Buchi NIRFlex N-500, Switzerland) และปรับปรุงสมการโดยการปรับแต่ง (Pretreatments)

3.2 นำสมการแบบจัดกลุ่มที่ได้จากการปรับแต่งสมการไปประเมินผลในตัวอย่างปูนทวนสอบ

3.2.1 ทวนสอบกับตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และปูนขาว จำนวนชนิดละ 25 ตัวอย่าง รวม 75 ตัวอย่าง

3.2.2 ทวนสอบกับตัวอย่างปูนผสมกับปูนชนิดอื่นทีละ 1 ชนิด อัตราส่วน เท่ากับ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยปริมาตร ทั้งหมดจำนวน 27 ตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

4.1 นำตัวอย่างโดโลไมท์ 50 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี ได้แก่

4.1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้อัตราส่วนของปูนต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง pH meter

4.1.2 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยการย่อยด้วยกรดผสม (ไนตริก : เปอร์คลอริค เท่ากับ 1 : 3) แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง ICP-OES

4.1.3 นำผลวิเคราะห์ CaO และ MgO มาคำนวณค่า Calcium carbonate equivalent (CCE)

4.2 นำตัวอย่างโดโลไมท์ 50 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR โดย Scan ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 -2500 nm

4.3 หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร กับ pH, CaO, MgO และ CCE โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NIRCal ของเครื่อง NIR (Buchi NIRFlex N-500, Switzerland) และปรับปรุงสมการโดยการปรับแต่ง (Pretreatments)

4.4 พิจารณาเลือกสมการที่ความสัมพันธ์ (R) สูง ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชั่น (Standard of Calibration : SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard of Error of Prediction: SEP) ต่ำ หมายถึงสามารถตอบสนองได้ดี

4.5 นำสมการที่ได้ไปประเมินค่า pH, CaO, MgO และ CCE ในตัวอย่างปูนทวนสอบ

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือน ตุลาคม 2562 สิ้นสุด เดือน กันยายน 2564

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การพิสูจน์เอกลักษณ์

1.1 ศึกษาสเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของปูนโดโลไมท์ และปูนชนิดอื่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากการนำตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนขาว และปูนมาร์ล ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร พบว่าตัวอย่างโดโลไมท์ด้วยเครื่อง NIR ตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ได้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 4036, 4308, 4620, 5024, 5348, 5684 และ 7020 cm^{-1} ดัง Figure 1 และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และ ปูนขาว พบว่า สเปกตรัมมีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของปูนแต่ละชนิด ดัง Figure 2 และ Table 1

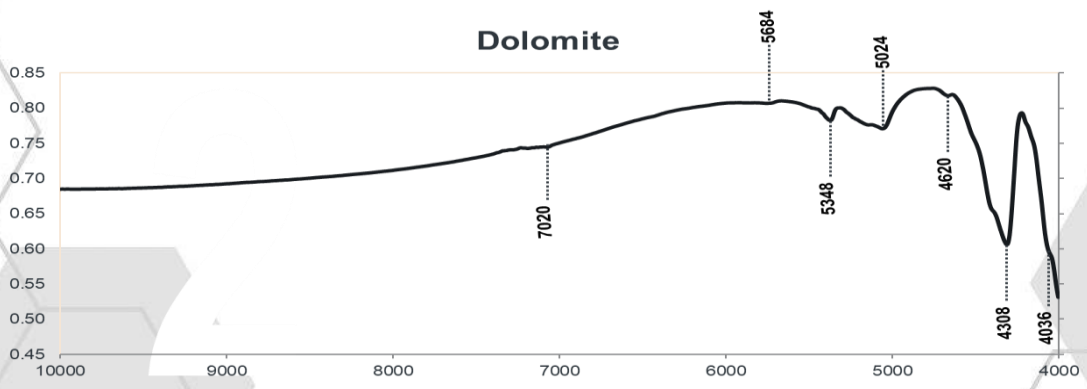


Figure 1 Original spectrum of standard dolomite

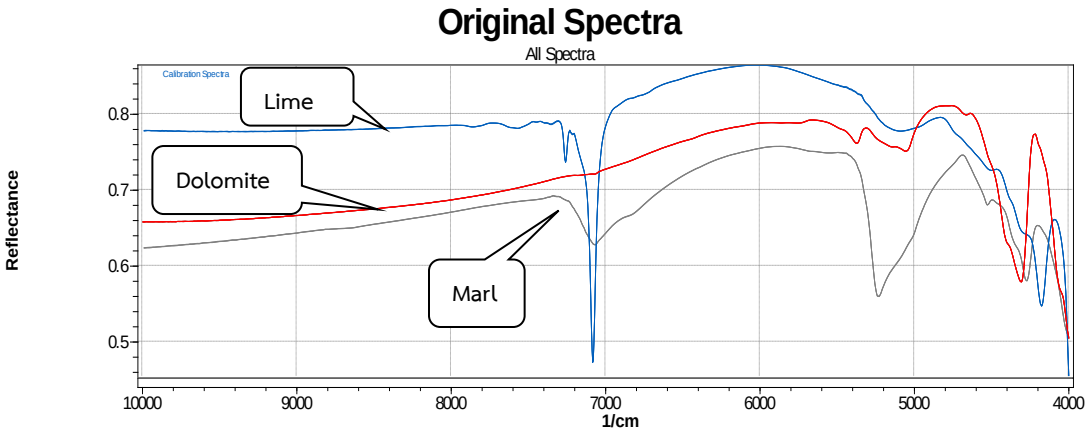


Figure 2 NIR spectrum of standard dolomite marl and lime

Table 1 The absorbance of standard dolomite, marl and lime

Absorption band	Dolomite	Marl	Lime
	(.....Absorption (cm^{-1}).....)		
1	4036	4000	-
2	4308	4272	4172
3	4620	4500	4496
4	5024	5232	5112
5	5348		
6	5684		
7	7020	7068	7084
8			7260

1.2 ศึกษาสเปกตรัมของปูนผสม โดยการผสมปูนโดโลไมท์ และปูนชนิดอื่น

1.2.1 ผสมปูนโดโลไมท์ กับปูนมาร์ล

จากการผสมตัวอย่างปูนโดโลไมท์ กับปูนมาร์ล ที่อัตราส่วน 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยปริมาตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR พบว่า สเปกตรัมซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของปูนมาร์ลชัดเจนกว่าโดโลไมท์ ที่ช่วงการดูดกลืนแสงที่ 4272 cm^{-1}, 4500 cm^{-1}, 5232 cm^{-1} และ 7068 cm^{-1} แต่ความชัดเจนลดลงตามอัตราส่วนของโดโลไมท์ที่เพิ่มขึ้น (Figure 3a) และเริ่มพบเอกลักษณ์ของโดโลไมท์ที่ 4308 cm^{-1}, 4620 cm^{-1} และ 5348 cm^{-1} ชัดเจนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดโลไมท์ที่เพิ่มขึ้น (Figure 3b, 3c)

1.2.2 ผสมปูนโดโลไมท์ กับปูนขาว

จากการผสมตัวอย่างปูนโดโลไมท์กับปูนขาว ที่อัตราส่วน 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยปริมาตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR พบว่า สเปกตรัมซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของปูนขาวชัดเจนกว่าโดโลไมท์ ที่การดูดกลืนแสงช่วง 4172 cm^{-1}, 5112 cm^{-1} และ 7084 cm^{-1} แต่ความชัดเจนจะลดลงตามอัตราส่วนของโดโลไมท์ที่เพิ่มขึ้น (Figure 4a) และพบเอกลักษณ์ของโดโลไมท์ที่ 4308 cm^{-1} 5024 cm^{-1}และ 5348 cm^{-1} ที่ชัดเจนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดโลไมท์ที่เพิ่มขึ้น (Figure 4b, 4c)

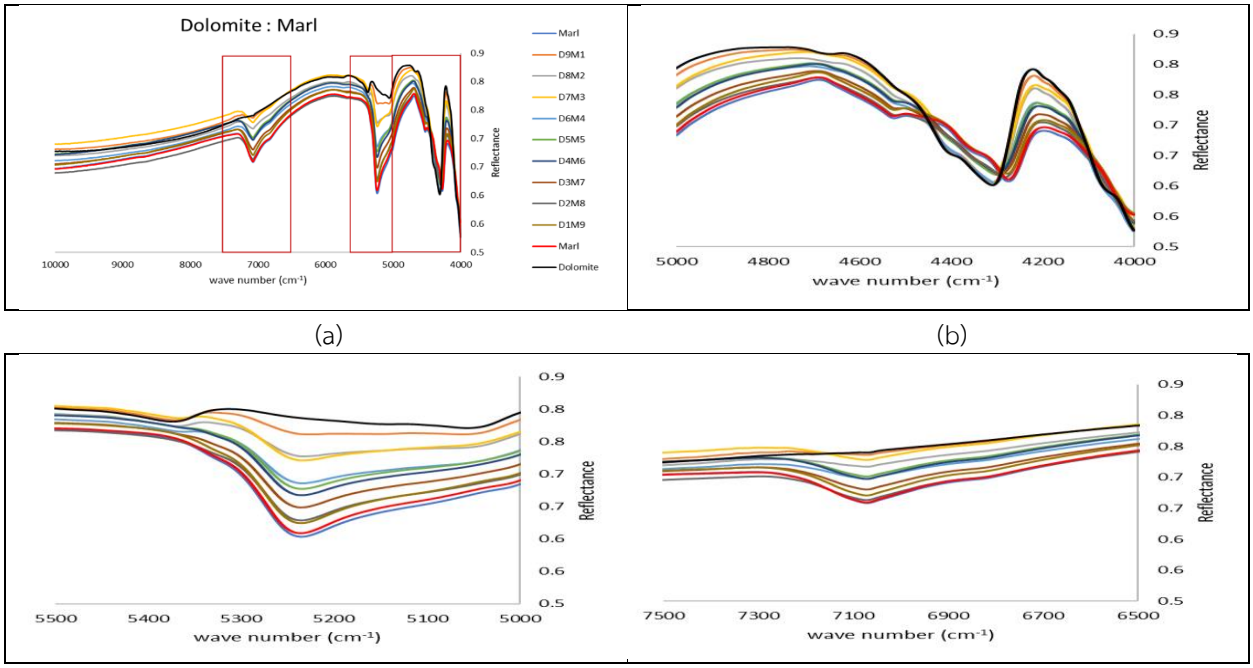


Figure 3 The original spectrum of dolomite and marl mixture
(a) 4000-10000 cm^{-1} (b) 4000-5000 cm^{-1} (c) 5000-5500 cm^{-1} (d) 6500-7500 cm^{-1}

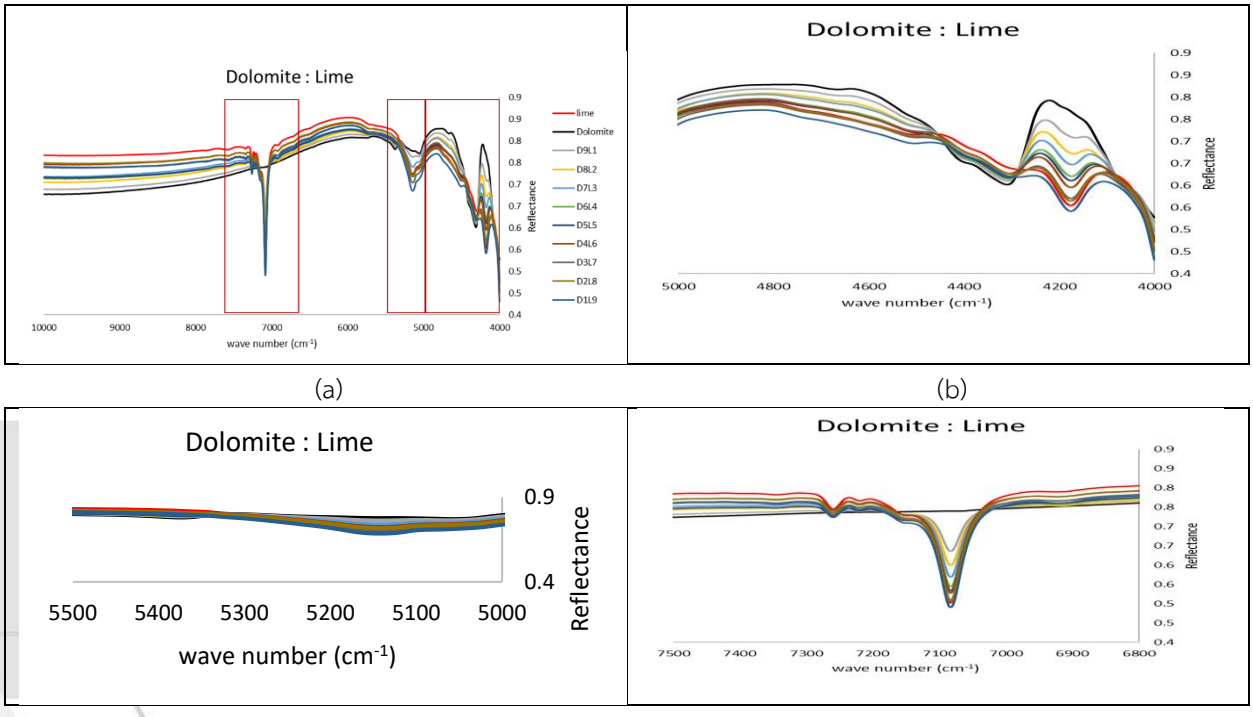


Figure 4 The original spectrum of dolomite and lime mixture.
(a) 4000-10000 cm^{-1} (b) 4000-5000 cm^{-1} (c) 5000-5500 cm^{-1} (d) 6800-7500 cm^{-1}

1.2.3 ผสมปูนมาร์ลและปูนขาว

จากการผสมตัวอย่างปูนโดโลไมท์ กับปูนขาว ที่อัตราส่วน 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 โดยปริมาตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR พบว่า สเปกตรัมซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของปูนขาว ชัดเจนกว่าปูนมาร์ล ที่การดูดกลืนแสงช่วง 4172 cm^{-1}, 5112 cm^{-1} และ 7084 cm^{-1} แต่ความชัดเจนจะลดลงตามอัตราส่วนของปูนมาร์ลที่เพิ่มขึ้น (Figure 5a) และพบเอกลักษณ์ของปูนมาร์ลที่ 4272 cm^{-1} และ 5232 cm^{-1} ที่ชัดเจนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนมาร์ลที่เพิ่มขึ้น (Figure 4b, 4c)

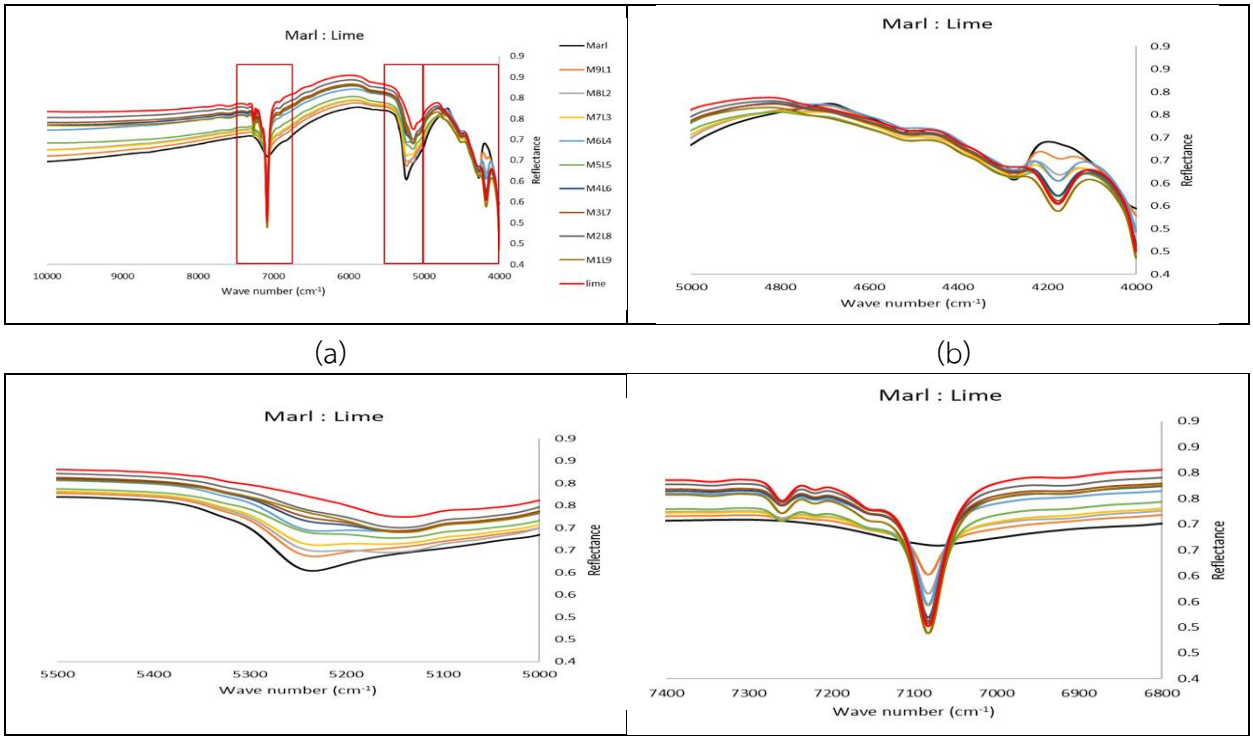


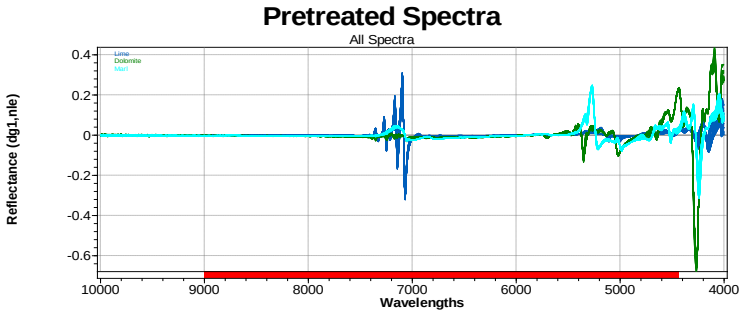
Figure 5 The original spectrum of marl and lime mixture.
(a) 4000-10000 cm^{-1} (b) 4000-5000 cm^{-1} (c) 5000-5500 cm^{-1} (d) 6800-7400 cm^{-1}

จากการศึกษาสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไปจากการผสมสารปรับปรุงดินในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า สเปกตรัมซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของปูนขาวชัดเจนที่สุด โดยเฉพาะที่ 7084 cm^{-1} ซึ่งไม่ว่าจะผสมกับปูนชนิดอื่นเอกลักษณ์นี้ยังคงชัดเจนมาก แต่เมื่อพิจารณาสเปกตรัมที่ช่วงการดูดกลืนแสงที่ 4176 cm^{-1} ที่มีการดูดกลืนแสงลดลง และเพิ่มขึ้นที่ช่วง 4272-4305 cm^{-1} ก็จะทราบได้ว่ามีปูนชนิดอื่นผสมอยู่กับปูนขาว ส่วนการผสมกันระหว่างปูนมาร์ลกับโดโลไมท์ สเปกตัมที่เป็นเอกลักษณ์ของปูนมาร์ลก็จะชัดเจนกว่าโดโลไมท์เช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาสเปกตรัมที่ช่วงการดูดกลืนแสงที่ 4232 cm^{-1} และ 7068 cm^{-1} ที่มีการดูดกลืนแสงลดลง และเกิดช่วงการดูดกลืนแสงที่ 5348 cm^{-1} ขึ้น ก็จะทราบได้ว่ามีโดโลไมท์ผสมอยู่กับปูนมาร์ล

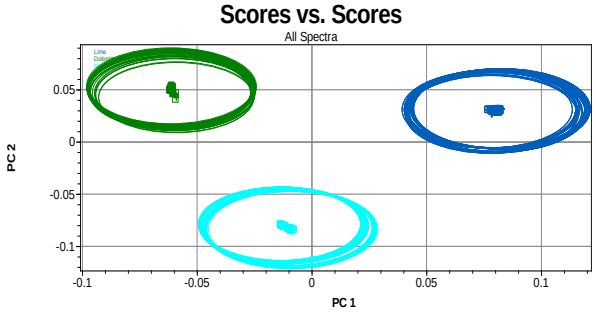
2. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

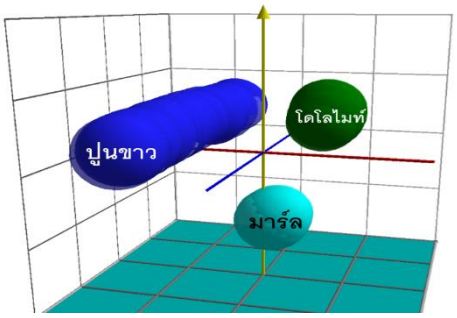
2.1 การสร้างสมการแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration)

จากการนำตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนขาว และปูนมาร์ล ชนิดละ 50 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR โดย Scan ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 - 2500 nm ได้สเปกตรัมปรับแต่ง (Pretreatments) แบบ 1st Savitzky - Golay a points (dg1) และ to Unit Length (nle) (Figure 5a) และสามารถแบ่งกลุ่มชนิดโดโลไมท์ ปูนขาว และปูนมาร์ล ได้อย่างชัดเจน (Figure 5b, 5c)



(a)





(b) (c)

Figure 5 Creation and improvement of equations to predict soil amendment classification

(a) Pretreatments spectrum of dolomite marl and lime

(b) 2D clustering equations of the pretreatments spectrum

(c) 3D clustering equations of the pretreatments spectrum

2.2 การทวนสอบสมการ

จากการสร้างสมการการจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) โดยใช้ สมการแบบจัดกลุ่มของสเปกตรัมปรับแต่ง (Pretreatments) แบบ 1st Savitzky - Golay a points (dg1) และ to Unit Length (nle) กับปูนทวนสอบ ได้ผลดังนี้

2.2.1 ทวนสอบกับตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และปูนขาว จำนวนชนิดละ 25 ตัวอย่าง พบว่าสามารถทำนายการจัดจำแนกชนิดปูนได้ถูกต้องทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100

2.2.2 ทวนสอบกับตัวอย่างปูนผสมสองชนิดใน 9 อัตราส่วนโดยปริมาตร ทั้งหมดจำนวน 27 ตัวอย่าง พบว่าสามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมอยู่ได้ จำนวน 11 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 40.7 ดังนี้

- การผสมโดโลไมท์กับปูนขาว ที่อัตราส่วนโดโลไมท์ : ปูนขาว 1 : 9 – 8 : 2 สมการทำนายเป็นปูนขาว จำนวน 8 ตัวอย่าง สามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมกับปูนขาว จำนวน 1 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วนโดโลไมท์ : ปูนขาว 9 : 1 คิดเป็นร้อยละ 11.1 เมื่อมีปริมาตรปูนขาวน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 10 (Table 2)
- การผสมโดโลไมท์กับปูนมาร์ล สมการทำนายเป็นปูนมาร์ล จำนวน 2 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วนโดโลไมท์ : ปูนมาร์ล 1 : 9 – 2 : 8 สามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมกับปูนมาร์ล จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วนโดโลไมท์ : ปูนมาร์ล 3 : 7 – 8 : 2 และทำนายพบการมีปูนอื่นผสมกับโดโลไมท์ 1 ตัวอย่าง อัตราส่วนโดโลไมท์ : ปูนมาร์ล 9 : 1 แสดงว่า สมการสามารถทำนายพบการผสมปูนได้ จำนวน 7 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 77.8 เมื่อมีปริมาตรโดโลไมท์มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 30 (Table 2)

- การผสมปูนมาร์ลกับปูนขาว สมการทำนายเป็นปูนขาว จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วนปูนมาร์ล : ปูนขาว 1 : 9 - 6 : 4 สามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมกับปูนขาวจำนวน 3 ตัวอย่าง ที่อัตราส่วนปูนมาร์ล : ปูนขาว 7 : 3 - 9 : 1 คิดเป็นร้อยละ 33.3 เมื่อมีปริมาตรปูนขาวน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 30 (Table 2)

Table 2 Verification of cluster calibration equations with two mixed samples

Ratio	Dolomite + Lime	Dolomite + Marl	Marl + Lime
1 : 9	Lime	Marl	Lime
2 : 8	Lime	Marl	Lime
3 : 7	Lime	Marl*	Lime
4 : 6	Lime	Marl*	Lime
5 : 5	Lime	Marl*	Lime*
6 : 4	Lime	Marl*	Lime*
7 : 3	Lime	Marl*	Lime*
8 : 2	Lime	Marl*	Lime*
9 : 1	Lime*	Dolomite*	Lime*

Remark : * การทำนายพบปูนอื่นผสม

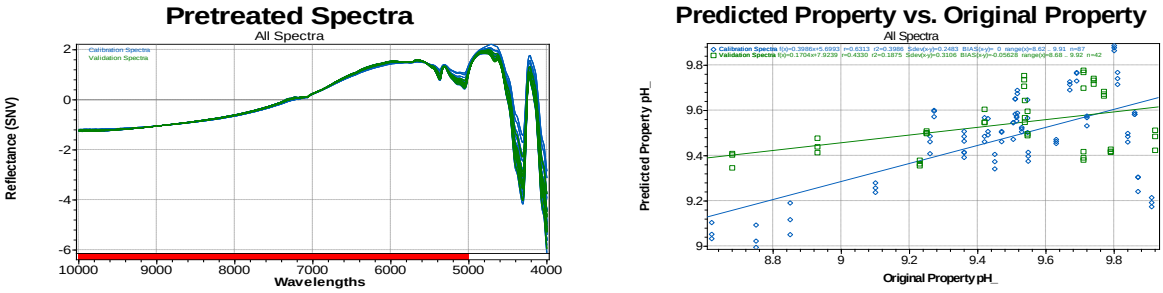
3. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

3.1 สร้างและปรับปรุงสมการประเมินผลค่าทางเคมี

จากการนำตัวอย่างโดโลไมท์ 50 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR โดย Scan ที่ช่วงความยาวคลื่น 800-2500 nm นำสเปกตรัมที่ได้ไปสร้างสมการประเมินผลค่าทางเคมีโดยใช้สเปกตรัมปรับแต่ง (Pretreatments) เทียบกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของโดโลไมท์ ได้แก่ pH, CaO, MgO และ CCE ได้ผลการดำเนินงาน ดังนี้

1) สมการประเมินผลค่า pH

ผลการเมื่อนำสเปกตรัมเริ่มต้นไปสร้างและปรับปรุงสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ Standard Normal Variate (SNV) (Figure 6 a) มีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.6313 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ Calibration (SEC) เท่ากับ 0.2483 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการ Validation (SEP) เท่ากับ 0.3106 (Figure 6 b)



(a) (b)

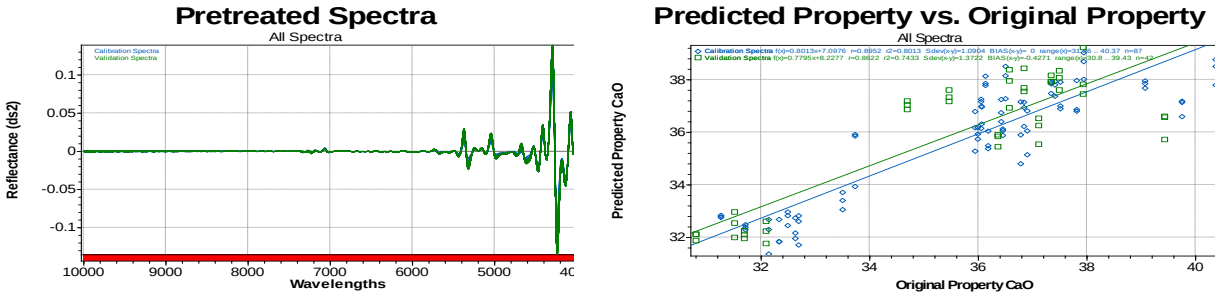
Figure 6 Creation and improvement of pH prediction equations

(a) Standard normal variate (SNV) pretreatments spectrum

(b) Correlation between the pH value that was analyzed by the laboratory and predicted by the NIR using standard normal variate (SNV) pretreatments spectrum

2) สมการประเมินผลค่า CaO

ผลการเมื่อนำสเปกตรัมเริ่มต้นไปสร้างและปรับปรุงสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและ CaO คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) (Figure 7 a) มีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.8952 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ Calibration (SEC) เท่ากับ 1.0904 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการ Validation (SEP) เท่ากับ 1.3722 (Figure 7 b)



(a) (b)

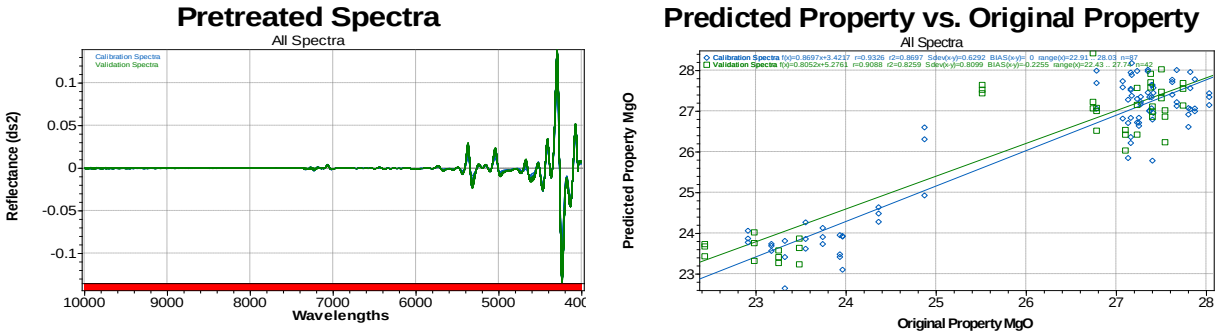
Figure 7 Creation and improvement of CaO prediction equations

(a) 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

(b) Correlation between the CaO that was analyzed by the laboratory and predicted by the NIR using 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

3) สมการประเมินผลค่า MgO

ผลการเมื่อนำสเปกตรัมเริ่มต้นไปสร้างและปรับปรุงสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและ MgO คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) (Figure 8 a) มีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9326 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ Calibration (SEC) เท่ากับ 0.6292 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการ Validation (SEP) เท่ากับ 0.8099 (Figure 8 b)



(a) (b)

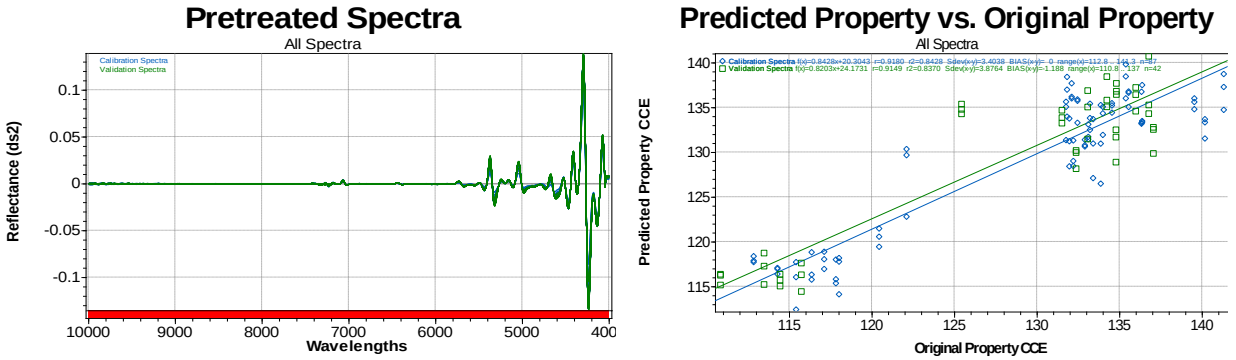
Figure 8 Creation and improvement of MgO prediction equations

(a) 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

(b) Correlation between the MgO that was analyzed by the laboratory and predicted by the NIR using 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

4) สมการประเมินผลค่า CCE

ผลการเมื่อนำสเปกตรัมเริ่มต้นไปสร้างและปรับปรุงสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและ CCE คำนวณด้วยวิธี PLS calibration ปรับแต่งสเปกตรัมและเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) ที่ตอบสนองดีที่สุดได้ 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) (Figure 9 a) มีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9180 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ Calibration (SEC) เท่ากับ 3.4038 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการ Validation (SEP) เท่ากับ 3.8764 (Figure 9 b)



(a) (b)

Figure 9 Creation and improvement of CCE prediction equations

(a) 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

(b) Correlation between the CCE that was analyzed by the laboratory and predicted by the NIR using 2nd Savitzky Golay 9 point (dg2) pretreatments spectrum

Table 3 The correlation (r) standard error of calibration equation (SEC) and the standard error of the validation equation (SEP) of created equation

รายการ	สมการ	r	SEC	SEP
pH	Standard Normal Variate (SNV)	0.6313	0.2483	0.3106
CaO	2nd Savitzky Golay 9 point (dg2)	0.8952	1.0904	1.3722
MgO	2nd Savitzky Golay 9 point (dg2)	0.9326	0.6292	0.8099
CCE	2nd Savitzky Golay 9 point (dg2)	0.9180	3.4038	3.8764

3.2 ทดสอบสมการและปรับปรุงสมการประเมินผลค่าทางเคมี

นำตัวอย่างปูนโดโลไมด์ 50 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR โดย Scan ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 nm-2500 nm ไปทดสอบทำนายผลค่าทางเคมีโดยใสมการปรับแต่ง (Pretreatments) สำหรับ pH, CaO, MgO และนำผลวิเคราะห์ CaO และ MgO จากค่าที่วิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง NIR มาคำนวณค่า %CCE พบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง NIR มีค่าวิเคราะห์ pH อยู่ในช่วง 9.04 - 9.88, CaO อยู่ในช่วง 32.04 – 38.58%, MgO อยู่ในช่วง 23.30 – 27.82% และ %CCE อยู่ในช่วง 115.43 – 138.13% ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสารปรับปรุงดินชนิดโดโลไมท์ทั้ง 50 ตัวอย่าง หรือร้อยละ 100 ผลดัง Table 4

Table 4 The results of pH, CaO, MgO and CCE analysis by laboratory method and NIR method

parameter	Lab	NIR Predicted
pH	8.62 - 9.92	9.04 – 9.88
CaO (%)	30.80 – 40.37	32.04 – 38.58
MgO (%)	22.43 – 28.03	23.30 – 27.82
CCE (%)	110.82 – 141.30	115.43 – 138.13

ประเมินความแม่นยำโดยเปรียบเทียบผลการทำนายกับค่าวิเคราะห์ทางเคมี โดยใช้ paired t-test พบว่า pH, CaO, MgO และ %CCE มีค่า $t_{ext} < t_{crit}$ แสดงว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ให้ผลไม่แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ (Absolute different) สำหรับ pH ค่า %recovery และ %RSD ของ CaO, MgO และ CCE อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (AOAC, 2016) แสดงถึงความถูกต้อง แม่นยำ ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ซึ่งซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสารปรับปรุงดินชนิดโดโลไมท์ทั้ง 50 ตัวอย่าง หรือร้อยละ 100 (Table 5)

Table 5 Accuracy and precision of dolomite prediction equation

parameter	Accuracy					Precision
	Paired t-test			% recovery	Absolute different	% RSD
	$t_{ext.}$	$t_{crit.}$	Evaluation			
pH	1.51	2.01	non significant	-	0.05 - 0.77	-
CaO (%)	0.80	2.01	non significant	92.08 – 106.76	-	0.29 – 3.35
MgO (%)	0.62	2.01	non significant	91.70 – 107.95	-	0.34 – 3.48
CCE (%)	0.77	2.01	non significant	94.81 – 107.51	-	0.29 – 3.35

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) ใช้หลักการวัดความสัมพันธ์กับสสารที่ต้องการประเมินหรือสสารที่สามารถเกิดอันตรกริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ ด้วยวิธีการสะท้อนแสง (Reflection) คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสสารได้ไม่เท่ากัน ทำให้ผลที่แสดงออกมาบอกถึงความแตกต่างได้ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงมาประมวลผลวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ต้องการได้ โดยใช้แสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร สามารถแยกเอกลักษณ์ของสารปรับปรุงดินได้จากสเปกตรัมที่แตกต่างกันได้ ได้การจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) แบบ 1st Savitzky - Golay a points (dg1) และ to Unit Length (nle) ที่สามารถทำนายผลสำหรับการจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) ได้ถูกต้องทุกตัวอย่างสำหรับปูนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถทำนายพบการมีปูนอื่นผสมอยู่สำหรับปูนผสมได้ร้อยละ 40.7 โดยจะทำนายพบได้ดีสำหรับการผสมระหว่างโดโลไมท์และปูนมาร์ล การทดสอบสมการทำนายผลค่าทางเคมี สามารถอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชั่นแบบปรับแต่งสมการ (pretreatment) ด้วยค่า R ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่า R = 0.6313 สามารถคัดแยกตัวอย่างได้ดี ใช้ในการควบคุมคุณภาพได้แต่ความสัมพันธ์ยังไม่ดีพอ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ค่า R = 0.8952 สามารถคัดแยกตัวอย่างได้ยอดเยี่ยม ทำนายผลในระดับปริมาณได้เบื้องต้นหรือ screening แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) มีค่า R = 0.9326 และ 0.9180 ตามลำดับ สามารถคัดแยกตัวอย่างได้ยอดเยี่ยม สามารถใช้ทำนายผลในงานวิจัยหรืองานทั่วไปได้ จากการประเมินความแม่นยำโดยเปรียบเทียบผลการทำนายกับค่าวิเคราะห์ทางเคมี โดยใช้ paired t-test พบว่า pH, CaO, MgO และ %CCE มีค่า $t_{ext} < t_{crit}$ แสดงว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ให้ผลไม่แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ (Absolute different) สำหรับ pH ค่า %recovery และ %RSD ของ CaO, MgO และ CCE อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงถึงความถูกต้อง แม่นยำ ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ซึ่งซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสารปรับปรุงดินชนิดโดโลไมท์ทั้ง 50 ตัวอย่าง หรือร้อยละ 100 สรุปว่า เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) สามารถใช้จัดจำแนกโดโลไมท์จากสารปรับปรุงดินชนิดอื่นได้ และสามารถทำนายผลค่าทางเคมีของโดโลไมท์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และสามารถพัฒนาและปรับปรุงสมการเพื่อนำมาใช้ประเมินค่าให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณตัวอย่างให้มากขึ้นและมีความสม่ำเสมอกันเพื่อให้สเปกตรัมเป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่าง และคลอบคลุมการใช้งานจริง จะทำให้สมการทำนายมีความถูกต้อง แม่นยำ มากขึ้น

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำเทคนิค NIR Spectroscopy ไปใช้ในการประเมินค่าการจัดจำแนกชนิดปูนแบบจัดกลุ่ม (Cluster calibration) ตัวอย่างโดโลไมท์ ปูนมาร์ล และปูนขาว และวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และ Calcium carbonate equivalent (CCE) ในตัวอย่างโดโลไมท์ เพื่อเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์ซึ่งประหยัด และรวดเร็ว โดยไม่ทำลายตัวอย่าง ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายและปลอดภัยกับผู้วิเคราะห์ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ในการตรวจสอบคุณสมบัติอื่นของปัจจัยการผลิตทางการเกษตรต่อไป

เอกสารอ้างอิง

คู่มือการใช้วัสดุปูนเพื่อการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยว. 2542. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ระเบียบกรมพัฒนาที่ดินว่าด้วยการใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2556. กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. 2555. สถาบันวิจัยและค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

Balog, A.A., Cobirzan N. and L. Barbu-Tudoran. 2014. Evaluation of Limestone with Non-Invasive Analytical Methods. Rom. Jour. Phys., Vol. 59, Nos. 5–6, P. 601–607.

Official Methods of Analysis of AOAC International. 2016. AOAC International Gaithersburg, MD, USA, Official Method 20th Ed.

Sungchan Oh, Chang-Uk Hyun and Hyeong-Dong Park. Near-Infrared Spectroscopy of Limestone Ore for CaO Estimation under Dry and Wet Conditions. Minerals. 16 September 2017 : 1-11.

Yaser Ostovaria, Shoja Ghorbani-Dashtakia, Hossein-Ali Bahramib, Mozhgan Abbasic, Alexandre M. Dematteee, Emmanuel Arthurd, Panos Panagos. Towards prediction of soil erodibility, SOM and $CaCO_3$ using laboratory Vis-NIR spectra: A case study in a semi-arid region of Iran. Geoderma Volume 314, 15 March 2018, 102-112.