การตรวจวิเคราะห์ดิน โดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน

โดย
นายศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน

โดย
นายศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

FTIR ANALYSIS OF SOIL AND DETERMINATION OF SOIL COLOR

By

MR. Saranthum PHURIJARUYANGKUN

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Science Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน
โดย	ศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.... ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(อาจารย์ ดร. ยุภาพร สมีน้อย)

57312326 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : การวัดสีดิน FTIR UV-VIS SPECTROPHOTOMETER ระบบสี CIE

นาย ศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร: การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์แยกความแตกต่างของตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และตรวจวัดสี โดยเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่างๆ จำนวน 30 ตัวอย่าง จากสถานที่ต่างๆ ที่มีสภาวะแวดล้อมต่างกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR จะให้ผล IR สเปกตรัมโดยแสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชั่นของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดินในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผลจากการตรวจวัดสีดินด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามระบบสี CIE L*a*b* พบว่าค่า L*a*b* ที่วัดได้มีความต่างกันแม้ว่าเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าตัวอย่างดินจะมีสีคล้ายคลึงกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ในการยืนยันแหล่งที่มาของดิน และทั้งสองเทคนิคเป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกในการเตรียมตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

57312326 : Major (FORENSIC SCIENCE)
Keyword : SOIL COLORS FTIR UV-VIS SPECTROPHOTOMETER CIE COLORS

MR. Saranthum PHURIJARUYANGKUN : FTIR analysis of soil and determination of soil color Thesis advisor : Supachai Supalaknari, Ph.D.

The objective of this study was to apply the methods of ATR-FTIR and color determination in the differentiation of soil samples. Thirty soil specimens were collected from locations of different environments. The IR spectra of the samples revealed the presences of organic and inorganic materials in the samples in different proportions. In the color determination, color values of the samples were obtained by using a color spectrophotometer and the color values were measured in a CIE L*a*b* color format. All soil samples had different color values even the samples having a similar color as observed with the naked eye. The results demonstrated that it would be able to employ the two methods in forensic comparisons of soil samples for the identification of samples. The two techniques are convenient methods and involve a simple method of sample preparation.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านและหลายหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องเรียบร้อยและสมบูรณ์ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ยุภาพร สมีน้อย กรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีมีความถูกต้อง เรียบร้อย และสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ เพื่อน และเพื่อนร่วมงานที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

3. สมมติฐานของการวิจัย 2

4. ขอบเขตของการวิจัย 2

5. นิยามศัพท์เฉพาะ 3

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

1. ดิน (Soil) 4

2. แร่ธาตุ 16

3. UV-Vis สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 20

4. ระบบสี CIE Lab 24

5. อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy) 25

6. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) 30

มหาวิทยาลัยศิลปากร

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย 34
1. วัสดุและอุปกรณ์ 34
2 วิธีดำเนินการวิจัย 41
บทที่ 4 ผลการศึกษา 44
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา 55
1. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย 55
2. ข้อเสนอแนะ 57
ภาคผนวก 58
รายการอ้างอิง 92
ประวัติผู้เขียน 94

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ช่วงคลื่นของรังสีอินฟราเรด 26
ตารางที่ 2 ผลสเปกตรัมของ FTIR 31
ตารางที่ 3 ตัวอย่างดินที่เก็บจากนาปลูกข้าว ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 34
ตารางที่ 4 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไร่อ้อย ไร่ข้าวโพด และไร่มันสำปะหลัง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 35
ตารางที่ 5 ตัวอย่างดินที่เก็บจากริมตลิ่งแม่น้ำ คลอง บึง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 36
ตารางที่ 6 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไหล่ถนน ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 37
ตารางที่ 7 ตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนสาธารณะ ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 38
ตารางที่ 8 ตัวอย่างดินที่เก็บจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาและดินสอพอง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ 39
ตารางที่ 9 เครื่องตรวจวิเคราะห์ 40
ตารางที่ 10 วัสดุ – อุปกรณ์ 40
ตารางที่ 11 ตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงนาปลูกข้าวในเขตจังหวัดต่าง ๆ 44
ตารางที่ 12 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไร่ข้าวโพด ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง ในเขตจังหวัดต่าง ๆ 45
ตารางที่ 13 ตัวอย่างดินที่เก็บจากริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำตก ในเขตจังหวัดต่าง ๆ 45
ตารางที่ 14 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไหล่ถนน ในเขตจังหวัดต่าง ๆ 45
ตารางที่ 15 ตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนสาธารณะ ในเขตจังหวัดต่าง ๆ 46
ตารางที่ 16 ตัวอย่างดินที่เก็บจากดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผาและแหล่งผลิตดินสอพอง....46
ตารางที่ 17 กลุ่มตัวอย่างดินที่แบ่งตามเลขคลื่นสเปกตรัม 50
ตารางที่ 18 กลุ่มสีของตัวอย่างดินเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า 51
ตารางที่ 19 ผลการตรวจวัดสีดินด้วยเครื่องวิเคราะห์รุ่น Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer 52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กระบวนการเกิดของดิน.....6

ภาพที่ 2 ชั้นดินต่าง ๆ.....7

ภาพที่ 3 สัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน.....9

ภาพที่ 4 องค์ประกอบของดิน.....10

ภาพที่ 5 โครงสร้างของดิน.....12

ภาพที่ 6 ระบบสีมันเซลล์ (Munsell color).....15

ภาพที่ 7 องค์ประกอบและทางเดินแสงของเครื่อง UV Spectroscopy.....21

ภาพที่ 8 ตัวอย่าง UV สเปกตรัมที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่อง UV สเปกโทรมิเตอร์.....22

ภาพที่ 9 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab.....25

ภาพที่ 10 รังสีอินฟราเรด.....26

ภาพที่ 11 ชนิดของการสั่นของพันธะในสารอินทรีย์ที่มีหมู่ XY_2.....28

ภาพที่ 12 อินฟราเรดสเปกตรัมของเอทานอล.....28

ภาพที่ 13 องค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....29

ภาพที่ 14 หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR Spectroscopy.....31

ภาพที่ 15 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่นา ไร่มันสำปะหลัง และไร่อ้อย.....41

ภาพที่ 16 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินจากแม่น้ำ หนอง คลอง บึง.....41

ภาพที่ 17 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และวัดสีของดินด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน.....43

ภาพที่ 18 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 01 เก็บจากแปลงนา ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา.....46

ภาพที่ 19 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 06 เก็บจากไร่ข้าวโพด.....47

ภาพที่ 20 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 23 เก็บจาก ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี.....48

ภาพที่ 21 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 17 เก็บจากไหล่ถนน ต.หนองละลอก อ.บ้านค่าย จ.ระยอง 48
ภาพที่ 22 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 20 เก็บจากไหล่ถนน ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน 49
ภาพที่ 23 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 26 เก็บจากแหล่งผลิตดินสอพอง อ.เมือง จ.ลพบุรี...........50
ภาพที่ 24 สีของตัวอย่างดินเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า (A) กลุ่มดินสี ดำ-เทา (B) กลุ่มดินสีน้ำตาล 51
ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน X) และ b* (แกน Y) ของดินที่มีสีเทา – ดำ......53
ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน Y) และ b* (แกน X) ของดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง 54

บทที่ 1 บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดินจะมีหลักฐานทางกายภาพที่สำคัญในการสืบสวนคดีอาชญากรรมที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างการพิสูจน์ผู้ต้องสงสัยและสถานที่เกิดเหตุซึ่งสามารถใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ [1] Forensic Soil Analysis คือการใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ธรณี และสาขาวิชาอื่น ๆ เพื่อช่วยในการสืบสวนคดีอาชญากรรม ดินเป็นเหมือนรอยนิ้วมือเพราะดินแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องหมายประจำตัว ซึ่งหมายความว่าสามารถระบุแหล่งที่มาของตัวอย่างดินได้ [2] ดินมีองค์ประกอบของแร่ธาตุออกไซด์อินทรีย์ จุลินทรีย์ และสารประกอบอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินชนิดต่าง ๆ โดยใช้เวลาที่นานมาก หินที่สลายตัวผุกร่อนนี้จะมีขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อผสมรวมกับซากพืช ซากสัตว์ น้ำ อากาศ ก็กลายเป็นเนื้อดินซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ส่วนประกอบของดินมี 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ แร่ธาตุ อินทรียวัตถุ อากาศ และน้ำ [3] จากลักษณะโครงสร้างของดินรวมถึงองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวในพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ ดินอาจจะให้ทั้งหลักฐานที่สำคัญ สามารถช่วยให้เชื่อมโยงไปยังสถานที่เกิดเหตุหรือให้ข้อมูลทางธรณีวิทยารวมถึงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ที่ก่ออาชญากรรม โดยการศึกษาลักษณะทางกายภาพเช่น ชนิดดิน สีดิน และองค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น X-ray Fluorescence (XRF), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS, Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectrometry, Neutron Activation Analysis (NAA), Energy Dispersive X-ray (EDX) และ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) [4] โดยเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ เก็บจากตัวผู้ต้องสงสัยหรือคนร้ายโดยอาจจะพบได้ตามเสื้อผ้า รองเท้า หรือแม้แต่ยางรถยนต์ ก็อาจจะใช้เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ก่อคดีอาชญากรรมว่าได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานที่เกิดเหตุหรือไม่ [5] จากความสำคัญ และปัญหาในการตรวจวิเคราะห์ดิน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตรวจวิเคราะห์สีของดินด้วยเทคนิค Spectroscopy ด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer ระบบCIE L*a*b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ มีความหมาย ดังนี้ แกน L* บรรยายความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) [6] และวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมที่เป็นหมู่ฟังก์ชั่นของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดิน ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นเทคนิค

ที่รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการวิเคราะห์ สามารถบอกองค์ประกอบของดินจากแหล่งที่มาต่าง ๆได้ อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของดินโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR)

2.2 เพื่อศึกษาการตรวจวัดสีดินด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer

2.3 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งนำไปเชื่อมโยงกับผู้ต้องสงสัย ผู้เสียหาย หรือยานพาหนะต้องสงสัย

3. สมมติฐานของการวิจัย

สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของดินที่เก็บมาจากสถานที่ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) และการตรวจวัดสีด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer โดยพบว่ามีองค์ประกอบของดินที่แตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเชื่อมโยงกับผู้ต้องสงสัย ผู้เสียหาย หรือยานพาหนะต้องสงสัย ทำให้สามารถสืบสวนสอบสวนคดีได้เป็นผลสำเร็จ

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สีและองค์ประกอบของตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่าง ๆจำนวน 30 ตัวอย่าง นำมาบันทึกลักษณะของดิน ชนิดดิน และสีดิน โดยเลือกเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ดินจากแปลงนาปลูกข้าว จำนวน 5 แห่ง

4.2 ดินจากไร่มันสำปะหลัง ไร่อ้อย ไร่ข้าวโพด จำนวน 5 แห่ง

4.3 ดินจากริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง จำนวน 5 แห่ง

4.4 ดินจากไหล่ถนน จำนวน 5 แห่ง

4.5 ดินจากสวนสาธารณะ จำนวน 5 แห่ง

4.6 ดินจากแหล่งผลิตดินสอพองและเครื่องปั้นดินเผา จำนวน 5 แห่ง

นำตัวอย่างดินทั้งหมด จำนวน 30 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของดินโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และการตรวจวัดสีด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

ดิน (Soil) หมายถึง วัตถุทางธรรมชาติ (Natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ธาตุต่าง ๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบาง ๆ เป็นวัตถุที่ค้ำจุนการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช มีการแบ่งชั้น (horizon) ที่สามารถสังเกตเห็นได้จากตอนบนลงไปตอนล่าง มีอาณาเขตและลักษณะประจำตัวของมันเอง

Fourier Transform Infrared (FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่มีทราบชนิดโดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ

UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวี (UV) และในช่วงแสงขาว (Visible) ที่ทะลุผ่าน (Transmission)หรือถูกดูดกลืน (Absorption) ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 นาโนเมตร

ระบบสี CIE เป็นระบบสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ L*-a*-b* เป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ

6.1 สามารถใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างดินได้

6.2 สามารถใช้การตรวจวัดสีด้วยเทคนิค Spectroscopy ระบบ CIE L*a*b* color spectrophotometer ในการแยกความแตกต่างของสีในตัวอย่างดินได้

6.3 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในการตรวจสถานที่เกิดเหตุ เพื่อเชื่อมโยงกับผู้ต้องสงสัย ผู้เสียหาย หรือยานพาหนะต้องสงสัย ทำให้สามารถสืบสวนสอบสวนคดีได้เป็นผลสำเร็จ และถูกต้อง

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ดิน (Soil)

ดิน (Soils) หมายถึง วัตถุทางธรรมชาติ (Natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ธาตุต่าง ๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบาง ๆ เป็นวัตถุที่ค้ำจุนการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช มีการแบ่งชั้น (Horizon) ที่สามารถสังเกตเห็นได้จากตอนบนลงไปตอนล่าง มีอาณาเขตและลักษณะประจำตัวของมันเอง ซึ่งมนุษย์สามารถแบ่งแยกดินออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้

ดินประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นของแข็ง อินทรียวัตถุ น้ำ และอากาศที่มีสัดส่วนแตกต่างกันออกไป การเกิดขึ้นของดินเป็นผลจากการกระทำร่วมกันของปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ พืช และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ต่อวัตถุต้นกำเนิดของดิน ในสภาพพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น “ดิน” ในที่แห่งหนึ่งจึงอาจเหมือนหรือต่างไปจากดินในที่อีกแห่งหนึ่งได้ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งมีความมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณส่งผลให้ดินมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว และเมื่อปัจจัยเปลี่ยนไป ดินจะมีลักษณะหรือสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของดินหรือทำให้ดินมีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิ และ ปริมาณน้ำฝน ซึ่งทั้งสองอย่างนี้มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของหิน แร่ ทั้งในด้าน กายภาพ และเคมี (Physical and chemical weathering) ทั้งยังมีอิทธิพลต่ออัตราความเร็วของการเคลื่อนย้ายและการสะสมใหม่ของหินและแร่ที่ถูกแปรสภาพโดยตัวการสำคัญๆ มาเป็นวัตถุต้นกำเนิดของดิน ในเขตร้อน หิน แร่ จะสลายตัวมาเป็นดินได้เร็วกว่าในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว เนื่องจาก ในเขตร้อนมีอุณหภูมิสูง และมีปริมาณฝนตกมากกว่าเขตหนาว การผุพังสลายตัวต่าง ๆ จึงดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เกิดการชะล้างธาตุอาหารพืชออกไปได้มาก จึงมักทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

วัตถุต้นกำเนิดของดิน เป็นปัจจัยควบคุมการเกิดดินที่สำคัญ และมองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนที่สุด และมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของดิน เช่น สี เนื้อดิน โครงสร้าง และสมบัติทางเคมีของดิน โดยทั่วไปดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่สลายตัวมาจากหินพวกที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (Basic rock) มักจะเป็นดินเนื้อละเอียด สีคล้ำ ความอุดมสมบูรณ์ ส่วนดินที่เกิดจากหินพวกที่มี

ปฏิกิริยาเป็นกรด (Acid rock) มักจะเป็นดินเนื้อหยาบ สีจาง ความอุดมสมบูรณ์ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ เป็นต้น

สภาพภูมิประเทศหมายถึงความสูงต่ำ หรือระดับที่ไม่เท่ากันของสภาพพื้นที่ และความลาดชันของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเกิดลักษณะของชั้นต่าง ๆ ในหน้าตัดดิน ความลึกของดิน สี ความชื้นสัมพัทธ์ในดิน และความรุนแรงของการชะล้างเป็นต้น ตัวอย่างเช่น ดินที่เกิดในที่ที่มีความลาดชันสูง มักจะเป็นดินตื้น มีชั้นดินน้อย มีการชะล้างหน้าดินมาก ชั้นดินบนจะบาง หรืออาจจะไม่มีชั้นดินบนเลยก็ได้ ตรงกันข้ามกับดินที่เกิดในที่ราบลุ่ม ที่มักจะมีชั้นดินบนที่หนากว่าเนื่องจากเป็นแหล่งทับถมของตะกอน เนื้อดินละเอียดกว่าเพราะมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคขนาดดินเหนียวจากดินชั้นบนลงไปสะสมอยู่ในดินล่าง

ปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยพืชและสัตว์ แต่มักจะเน้นที่พืชพรรณต่าง ๆ ที่ขึ้นปกคลุมบนผิวดิน ซึ่งมีอิทธิพลต่อ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินและองค์ประกอบทางเคมีของดิน ดินที่เกิดภายใต้สภาพพืชพันธุ์ที่เป็นทุ่งหญ้า มักจะมีอินทรียวัตถุและธาตุที่เป็นอาหารพืชมากกว่าดินบริเวณป่าสนหรือป่าไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น เวลา อิทธิพลของเวลาในแง่ของการเกิดดินนั้น หมายถึง ช่วงหนึ่งของเวลาที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีเหตุการณ์รุนแรงขัดจังหวะการพัฒนาตัวของดิน เวลาที่เป็นศูนย์สำหรับดินชนิดหนึ่งๆ ก็คือ จุดที่ได้มีเหตุการณ์ที่รุนแรงอย่างหนึ่งทางดินเกิดขึ้น ถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดของเวลาในการสร้างตัวของดิน และจะเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาในการสร้างตัวของดินช่วงต่อไป เหตุการณ์รุนแรงดังกล่าวอาจหมายถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ ระดับน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในทันทีทันใด หรือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุต้นกำเนิดดิน เช่น มีการทับถมอย่างรุนแรงของตะกอนใหม่ เป็นต้น

การเกิดของดินจะเกี่ยวข้องกับการผุพังสลายตัวของทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์กับการสังเคราะห์วัตถุใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของกระบวนการสร้างดินต่าง ๆ และอยู่ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยควบคุมการเกิดดิน โดยทั่วไปมักจะแยกกระบวนการเกิดของดินออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ด้วยกันคือ กระบวนการทำลาย และกระบวนการสร้าง ซึ่งกระบวนการทั้งสองแบบนี้อาจจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน หรือเกิดกระบวนการทำลายขึ้นก่อนแล้วเกิดกระบวนการสร้างดินตามมาก็ได้

กระบวนการทำลาย หมายถึงกระบวนการที่ทำให้หิน แร่ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เกิดการอ่อนตัวลง สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย หรือเปลี่ยนไปเป็นสารใหม่ และทับถมรวมตัวกัน

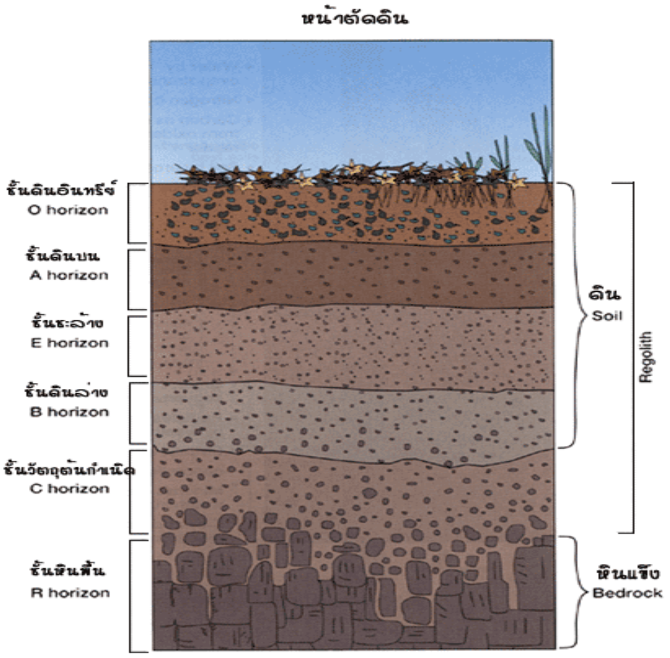
เกิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินขึ้น ซึ่งอาจเกิดอยู่กับที่ หรืออาจถูกพาหะต่าง ๆ พัดพาออกไปจากที่เดิม และไปสะสมรวมตัวกันใหม่ในแหล่งอื่นก็ได้

กระบวนการสร้างตัวของดิน คือกระบวนการที่ทำให้เกิดพัฒนาการของลักษณะต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในดิน เช่น สีดิน เนื้อดิน โครงสร้าง ความเป็นกรดเป็นด่าง รวมถึงการเกิดเป็นชั้นต่าง ๆ ขึ้นในหน้าตัดดิน ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นสิ่งที่จะบ่งบอกถึงความแตกต่างของดินแต่ละชนิดแต่ละประเภท และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ไปถึงชนิดของวัตถุต้นกำเนิด กระบวนการ และผลของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อกระบวนการสร้างตัวของดิน ณ บริเวณนั้น อาทิเช่น สีของดินมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และความเปียกแห้งของดิน โดยทั่วไปดินที่มีสีคล้ำควรจะมีอินทรียวัตถุมากกว่าดินสีจาง สีเทาที่ปรากฏอยู่ในหน้าตัดดินบ่งบอกถึงสภาวะที่ดินมีการขังน้ำ หรือการพบจุดสีประในดินบ่งบอกถึงสภาพที่ดินมีการเปียกสลับแห้ง เป็นต้น

ภาพที่ 1 กระบวนการเกิดของดิน

ที่มา : *ดินและการเกิดดิน* [cited 2016 12/15]; Available from: http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/AboutSoils57.htm

โดยสรุปจึงอาจกล่าวได้ว่า ดินเป็นผลลัพธ์โดยตรงของหิน แร่ ที่สลายตัวผุพังแล้ว ทับถมกันเกิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน เมื่อผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุ และผ่านกระบวนการทางดินจะปรากฏลักษณะและเกิดเป็นชั้นดินต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งเราสามารถประเมินคุณสมบัติและจำแนกดินออกเป็นชนิดๆ ได้โดยการศึกษาลักษณะ และชั้นดินต่าง ๆ ที่เรียงต่อเนื่องกันจากข้างบนลงไปข้างล่างจนถึงชั้นหินที่สลายตัวหรือชั้นของวัตถุอื่น ๆ ชั้นต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในหน้าตัดดิน แบ่งเป็นชั้นดินหลักได้ 5 ชนิดด้วยกัน คือ O-A-E-B-C แต่ชั้นที่เป็นองค์ประกอบหน้าตัดดินอาจมีชั้น R อยู่ใต้สุดของชั้นดินหลักด้วย โดยทั่วไปแล้วชั้น R ถือว่าเป็นชั้นหินพื้น (Bed rock) ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับชั้นดินหลักตอนบนหรือไม่ก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดและกระบวนการทางธรณีที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 2 ชั้นดินต่าง ๆ

ที่มา : *ดินและการเกิดดิน* [cited 2016 12/15]; Available from: http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/AboutSoils57.htm

1.1 ลักษณะโครงสร้างของดิน

1.1.1 ชั้น O หรือชั้นดินอินทรีย์ ตามปกติจะอยู่ตอนบนสุดของหน้าตัดดิน เป็นชั้นที่ประกอบด้วยอินทรียวัตถุเป็นส่วนใหญ่ มีสีค่อนข้างดำจัด ประกอบด้วยเศษซากพืชต่างๆ ที่ยังไม่ผุพังสลายตัว หรือมีการสลายตัวบ้างแล้วเป็นบางส่วนชั้นดินแบบนี้มีอยู่แต่เพียงในสภาพของป่าไม้หรือทุ่งหญ้าที่สามารถให้อินทรียวัตถุได้เป็นจำนวนมากเท่านั้น

1.1.1.1 Oi เป็นชั้นวัสดุอินทรีย์ที่ซากพืชหรือสัตว์มีการสลายตัวเพียงเล็กน้อย ยังสามารถสังเกตเห็นลักษณะดั้งเดิมได้

1.1.1.2 Oe เป็นชั้นวัสดุอินทรีย์ที่ซากพืชหรือสัตว์มีการสลายตัวปานกลาง

1.1.1.3 Oa เป็นชั้นวัสดุอินทรีย์ที่ซากสารอินทรีย์มีการสลายตัวมาก จนไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะดั้งเดิมได้

1.1.2 ชั้น A เป็นชั้นดินแร่ (mineral horizon) เกิดอยู่บนผิวหน้าของดิน หรือใต้ชั้น O ลักษณะเด่นของชั้นดิน A คือเป็นชั้นที่ประกอบด้วยอินทรียวัตถุที่สลายตัวแล้วผสม

คลุกเคล้าอยู่กับแร่ธาตุในดิน มีสีคล้ำ หรืออาจพบลักษณะที่บ่งชี้ว่ามีการไถพรวน

1.1.3 ชั้น E หรือ ชั้นชะล้าง เป็นชั้นดินบนตอนล่างที่มีการชะละลาย (Leaching) หรือมีการเคลื่อนย้ายออก (Eluviation) มากที่สุดของวัสดุต่าง ๆ เช่น ดินเหนียว เหล็ก และอะลูมินัมออกไซด์ เป็นผลให้เกิดการสะสมของแร่ที่มีความคงทนต่อการสลายตัว เช่น ควอตซ์ ในอนุภาคขนาดทรายและทรายแป้งในปริมาณที่สูง ลักษณะเด่นคือเป็นชั้นที่มีสีจาง มีอินทรียวัตถุต่ำกว่าชั้น A และมักจะมีเนื้อดินหยาบกว่าชั้น B ที่อยู่ตอนล่างลงไป

1.1.4 ชั้น B หรือ ชั้นสะสม เป็นชั้นหลักของหน้าตัดดิน มักจะมีความหนามากกว่าชั้นดินอื่น ๆ ชั้น B ต่าง ๆ เป็นชั้นใต้ชั้นดินบน (Subsurface horizons) ที่แสดงถึงการเคลื่อนย้ายมาสะสม (illuviation) ของวัสดุจากชั้นดินตอนบน ในเขตชื้น ชั้น B เหล่านี้จะเป็นชั้นที่มีการสะสมสูงสุดของแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็ก อะลูมินัมออกไซด์ แร่ดินเหนียวซิลิเกต ส่วนในเขตแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ในชั้นนี้อาจมีการสะสมของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต และเกลือต่าง ๆ

1.1.5 ชั้น C หรือ ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน เป็นชั้นของวัสดุที่เกาะตัวกันอยู่หลวมๆ ใต้ชั้นที่เป็นดิน ประกอบด้วยหินและแร่ที่กำลังผุพังสลายตัว ซึ่งอาจจะมีองค์ประกอบที่เหมือนหรือต่างไปจากวัสดุที่ทำให้เกิดชั้น A E หรือ B ก็ได้

1.1.6 ชั้น R คือชั้นของหินแข็ง เป็นชั้นหินพื้น หรือชั้นของหินแข็งชนิดต่าง ๆ ที่ยังไม่มีการผุพังสลายตัวเป็นชั้นที่เชื่อมติดแน่นใช้พลั่วขุดไม่ค่อยเข้าถึงแม้จะได้รับความชื้น [7]

1.2 ชนิดของดิน

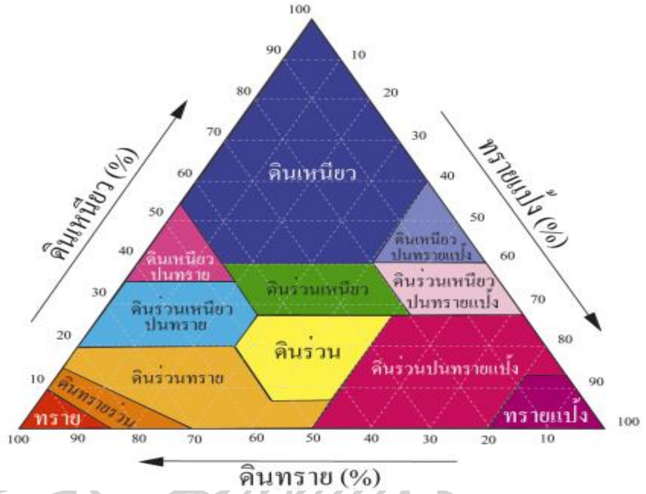
อนุภาคของดินจะรวมตัวกันเป็นเม็ดดิน อนุภาคนี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน ขนาดเล็กที่สุดคืออนุภาคดินเหนียว อนุภาคขนาดกลางเรียกอนุภาคทรายแป้ง อนุภาคขนาดใหญ่เรียกว่า อนุภาคทรายเนื้อดิน จะมีอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มนี้ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดลักษณะของดิน 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ดินเหนียว ดินทราย และดินร่วน

1.2.1 ดินเหนียว เป็นดินที่เมื่อเปียกแล้วมีความยืดหยุ่น อาจปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้เหนียวเหนอะหนะติดมือ เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีความสามารถในการจับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้สูงหรือค่อนข้างสูง เป็นดินที่มีก้อนเนื้อละเอียด เพราะมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวอยู่มาก เหมาะที่จะใช้ทำนาปลูกข้าวเพราะเก็บน้ำได้นาน

1.2.2. ดินทราย เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดีมาก มีความสามารถ

ในการอุ้มน้ำต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารพืชมีน้อย พืชที่ชั้นบนดินทรายจึงมักขาดทั้งอาหารและน้ำเป็นดินที่มีเนื้อดินทรายเพราะมีปริมาณอนุภาคทรายมาก

1.2.3. ดินร่วน เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียดนุ่มมือ ยืดหยุ่นได้บ้าง มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในธรรมชาติ มักไม่ค่อยพบ แต่จะพบดินที่มีเนื้อดินใกล้เคียงกันมากกว่า [8]



ภาพที่ 3 สัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน

ที่มา : *ทรัพยากรดิน* [cited 2016 12/15]; Available from: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/subsoil/soil.htm.

1.3 ส่วนประกอบของดิน

1.3.1 อนินทรียวัตถุหรือแร่ธาตุ เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในดินทั่วไป ได้มาจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ อนินทรียวัตถุ อยู่ในดินในลักษณะของชิ้นส่วนที่เรียกว่า อนุภาคดิน ซึ่งมีหลายรูปทรงและมีขนาดแตกต่างกันไป แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.3.1.1 กลุ่มอนุภาคขนาดทราย (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00-0.05 ม.ม.)

1.3.1.2 กลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05-0.002 ม.ม.)

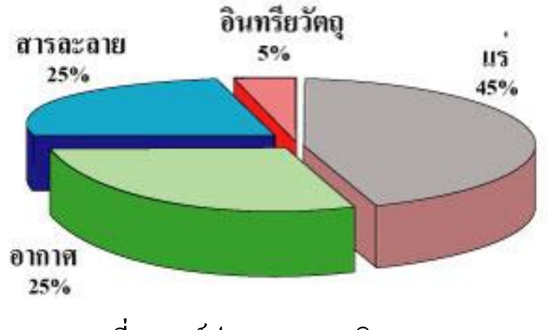
1.3.1.3 กลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว (เส้นผ่าศูนย์กลาง < 0.002 ม.ม.)

อนินทรียวัตถุ หรือ แร่ธาตุในดินนี้ เป็นส่วนที่สำคัญในการควบคุมลักษณะของเนื้อดิน เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้อนุภาคที่อยู่ในกลุ่มขนาดดินเหนียวยังเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการเกิดกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ในดินด้วย

1.3.2 อินทรียวัตถุ คือส่วนของซากพืชซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่มีชีวิตอยู่และในส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงรากพืช หรือเศษซากพืช หรือสัตว์ที่ยังไม่มีการย่อยสลาย อินทรียวัตถุในดินนี้ เป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน อีกทั้งยังเป็นส่วนที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น โครงสร้างดิน ความร่วนซุย การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ การดูดซับน้ำและธาตุอาหารของดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความสามารถในการให้ผลผลิตของดินอีกด้วย

1.3.3 น้ำในดิน คือ ส่วนของน้ำที่พบอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน หรือเม็ดดิน มีความสำคัญมากต่อการปลูก และการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นตัวช่วยในการละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน และเป็นส่วนสำคัญในการเคลื่อนย้ายอาหารพืชจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช

1.3.4 อากาศในดิน หมายถึง ส่วนของก๊าซต่าง ๆ ที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำอยู่ ก๊าซที่พบโดยทั่วไปในดิน คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งรากพืชและจุลินทรีย์ดินใช้ในการหายใจ และสร้างพลังงานในการดำรงชีวิต



ภาพที่ 4 องค์ประกอบของดิน

ที่มา : *ทรัพยากรดิน* [cited 2016 12/15]; Available from: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/subsoil/soil.htm.

1.4 ลักษณะและคุณสมบัติของดิน

1.4.1 ลักษณะทางสัณฐานของดิน (โครงร่าง) เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องโครงร่างหรือรูปทรงของดิน ที่สามารถสังเกตและศึกษาได้จาก "หน้าตัดดิน (Soil profile)" อาจเป็นหลุมดินใหม่ที่ขุดเพื่อศึกษา หน้าตัดถนน หรือบ่อขุด ซึ่งเราจะเห็น ชั้นดินต่าง ๆ หลายชั้น มากน้อยแตกต่างกันไป บางดินเห็นได้ชัดเจน บางดินก็เลือนราง สมบัติทางสัณฐานที่สำคัญ ได้แก่ ความลึก ความหนาของชั้นดิน สีพื้น สีจุดประของดินโครงสร้างของดิน เป็นต้น

1.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับสถานะ และการเคลื่อนย้ายของสสาร การไหลของน้ำ สารละลาย และของเหลว หรือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในดินสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของดิน ได้แก่

1.4.2.1 เนื้อดิน เป็นสมบัติที่บอกถึงความหยาบหรือละเอียดของดิน มีผลต่อการดูดซับน้ำ การดูดยึดธาตุอาหาร และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดิน

1.4.2.2 โครงสร้าง เป็นสมบัติทางกายภาพของดิน ที่เกิดขึ้นจากการเกาะจับกันของอนุภาคที่เป็นของแข็งในดิน (ส่วนที่เป็นแร่ธาตุ หรืออนินทรียวัตถุและอินทรียวัตถุ) เกิดเป็นเม็ดดินหรือเป็นก้อนดินที่มีขนาด รูปร่าง และความคงทนแข็งแรงในการยึดตัวต่าง ๆ กัน เช่น เป็นก้อนกลม ก้อนเหลี่ยม เป็นแท่ง หรือเป็นแผ่นบาง โครงสร้างของดินมีความสำคัญต่อ การซึมผ่านของน้ำ การอุ้มน้ำ การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศในดิน รวมถึงการแพร่กระจายของรากพืชด้วย ดินที่มีโครงสร้างดี มักจะมีลักษณะร่วนซุย อนุภาคเกาะกันหลวมๆ มีปริมาณช่องว่างและความต่อเนื่องของช่องว่างในดินดี ทำให้มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชสามารถชอนไชไปหาอาหารได้ง่าย โครงสร้างดินที่แข็งแรงถูกทำลายได้ยาก ก็จะทำให้ดินถูกชะล้างพังทลายได้ยากเช่นกัน

1.5 ประเภทของดิน

1.5.1 แบบก้อนกลม (Granular) มีรูปร่างคล้ายทรงกลม เม็ดดินมีขนาดเล็กประมาณ 1-10 มิลลิเมตร มักพบในดินชั้นบนที่คลุกเคล้าด้วยอินทรียวัตถุ โครงสร้างประเภทนี้จะเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ ขึ้นระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินมีความพรุนมาก สามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี

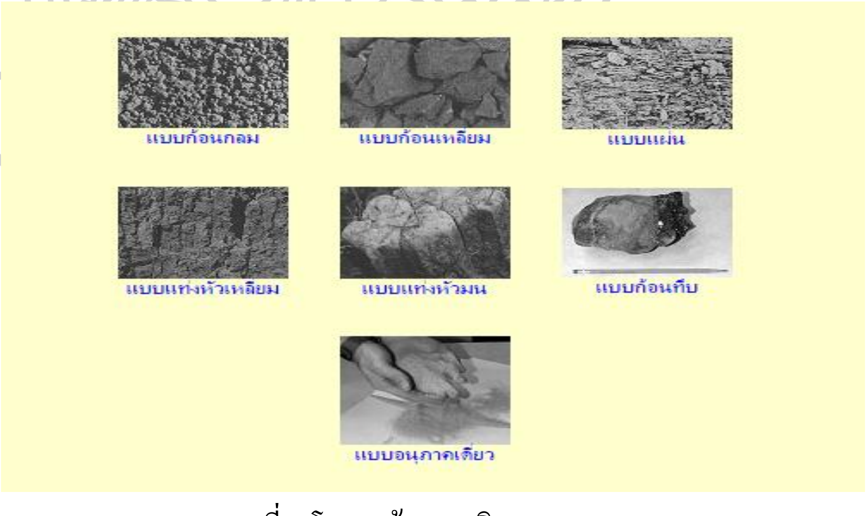
1.5.2 แบบก้อนเหลี่ยม (Blocky) มีรูปร่างคล้ายกล่อง เม็ดดินมีขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร มักพบในดินชั้นล่าง โครงสร้างประเภทนี้ จะมีสภาพที่น้ำและอากาศซึมได้ในเกณฑ์ปานกลาง

1.5.3 แบบแผ่น (Platy) ก้อนดินมีรูปร่างแบน วางตัวในแนวราบ และซ้อนเหลื่อมกันเป็นชั้น มักพบในดินชั้นบนที่ถูกบีบอัด จากการบดไถของเครื่องจักรกล โครงสร้างดินลักษณะนี้จะขัดขวางการไหลซึมของน้ำ การระบายอากาศและการชอนไชของรากพืช

1.5.4 แบบแท่งหัวเหลี่ยม (Prismatic) ก้อนดินมีรูปร่างเป็นแท่ง มักพบในชั้นดินล่างของดินบางชนิด โดยเฉพาะดินเค็มที่มีการสะสมโซเดียมสูงๆ หน่วยโครงสร้างแบบนี้มักมีขนาดใหญ่ คือมีความยาว 10-100 มิลลิเมตร เรียงตัวกันในแนวตั้ง ถ้าส่วนบนของปลายแท่งมีรูปร่างแบนราบ

1.5.5 แบบแท่งหัวมน (Columnar) ส่วนบนของปลายแท่งมีลักษณะโค้งมน ปกคลุมด้วยเกลือ เม็ดดินมีขนาด 1-10 เซนติเมตร พบในดินชั้นล่างของดินที่เกิดในเขตแห้งแล้ง และมีการสะสมของโซเดียมสูง ดินที่มีโครงสร้างลักษณะนี้มักจะมีสภาพให้น้ำซึมได้น้อยถึงปานกลาง

โครงสร้างดิน เป็นสมบัติที่เปลี่ยนแปลงสภาพได้ง่าย ในดินที่มีการใช้ปลูกพืชมานาน โครงสร้างดินย่อมเสื่อมลง เนื่องมาจากปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ลดลง หรือเกิดความแน่นทึบ เนื่องจากการไถพรวนบ่อย ๆ ด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ รวมทั้งการเสียดสีกับเครื่องมือเกษตรกรรม และการปะทะของเม็ดฝนที่ตกลงมาด้วย



ภาพที่ 5 โครงสร้างของดิน

ที่มา : *โครงสร้างของดิน.* [cited 2016 12/11]; Available from: http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_struc2.htm.

.

1.6 คุณสมบัติทางเคมี เป็นสมบัติภายในของดินที่เราไม่สามารถจะมองเห็น หรือสัมผัสได้โดยตรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดยึดและแลกเปลี่ยนแร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างดินกับสภาพแวดล้อม เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ ทางเคมีของดินได้แก่

1.6.1 ปฏิกิริยาดินหรือค่าพีเอช ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือที่เรียกว่า "พีเอช (pH)" เป็นค่าปฏิกิริยาดิน วัดจากความเข้มข้นของปริมาณไฮโดรเจน ไอออน (H^+) ในดิน ค่าพีเอชของดิน บอกค่าเป็น ตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 14 ถ้าดินมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 แสดงว่าดินนั้นเป็นดินกรด ยิ่งมีค่าน้อยกว่า 7 มาก ก็จะเป็นกรดมาก แต่ถ้าดินมีพีเอชมากกว่า 7 จะเป็นดินด่าง สำหรับดินที่มีพีเอชเท่ากับ 7 พอดีแสดงว่าดินเป็นกลาง แต่โดยปกติแล้วพีเอชของดินทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 8 พืชแต่ละชนิดชอบที่จะเจริญเติบโตในดินที่มีช่วงพีเอช ต่าง ๆ กัน

1.6.2 พีเอชของดิน มีความสำคัญต่อการปลูกพืชมาก เพราะเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดิน ออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีพีเอชไม่เหมาะสม ธาตุอาหารในดินอาจจะละลายออกมาได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้าม ธาตุอาหารบางชนิดอาจจะละลายออกมามากเกินไป จนเป็นพิษต่อพืชได้ สำหรับพืชทั่ว ๆ ไปมักจะเจริญเติบโตในช่วงพีเอช 6-7 นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินยังควบคุมการเจริญเติบโต และการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ดินด้วย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เป็นสมบัติของดินที่มีความสำคัญต่อการสำรองปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ไว้ในดินและปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ประโยชน์

1.6.3 สมบัติทางแร่เกี่ยวข้องกับชนิด ปริมาณและองค์ประกอบของแร่ธาตุในดิน ทั้งแร่ดั้งเดิมและแร่ที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติอื่น ๆ และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดิน เช่น แร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา แร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

1.6.4 คุณสมบัติทางจุลสัณฐาน (โครงร่างขนาดเล็ก) เป็นสมบัติทางโครงร่างและองค์ประกอบของดินที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยได้แก่ แว่นขยาย กล้องจุลทรรศน์ จะช่วยให้เข้าใจถึง ลักษณะ สมบัติ และกระบวนการที่เกิดขึ้นในดินดีขึ้น

1.6.5 คุณสมบัติทางชีวภาพ เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตในดินและบนดิน ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เกี่ยวข้องกับปริมาณและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นในดิน ทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษ

1.7 สีดิน

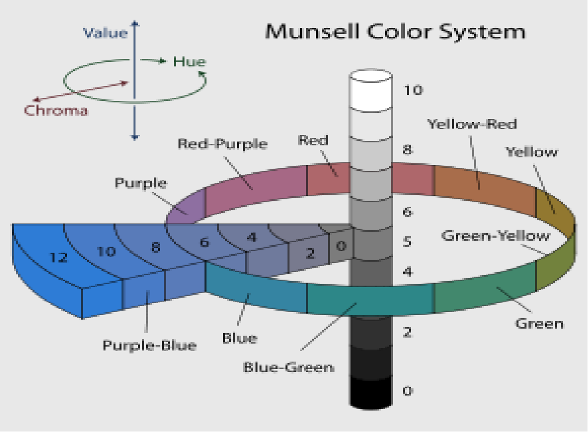
สีของดินมีบทบาทสำคัญในการจำแนกดิน แบ่งชั้นหน้าตัดดินและประเมินสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน สีดิน เป็นสมบัติทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ตามปกติอนุภาคแร่ในดินมักไม่มีสีหรือมักมีสีจาง (ยกเว้นแร่สีเข้มบางชนิด) สีดินจึงมักจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ปริมาณของอินทรียวัตถุ และออกไซด์ของเหล็ก เช่น หากดินมีฮิวมัส(Humus) มาก ดินจะมีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม ถ้าดินมีออกไซด์ของเหล็กเคลือบผิวอนุภาคมาก ดินจะมีสีแดงหรือเหลือง ถ้าในขบวนการกำเนิดดินทำให้มีการสะสมของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตมาก ดินจะมีสีขาว เป็นต้น สีของดินขึ้นอยู่กับสภาวะบางประการของดิน เช่น สภาวะน้ำขัง จะทำให้ดินมีสีเทาหรือสีน้ำเงิน สภาวะระบายน้ำได้ดี ดินจะมีสีแดง หรือสีเหลือง แต่เมื่อเป็นสภาวะน้ำขังและสภาวะน้ำระบายได้ดีเกิดขึ้นสลับกันเสมอ ดินจะมีจุดประ (Mottle) คือ มีจุดสีเหลืองหรือสีแดงบนพื้นสีเทา ดินที่มีสีเทาหรือสีเขียวมะกอกอมเทา (Gray, grayish olive) ปกติจะบ่งบอกถึงสภาพรีดิวซ์ (Reducing condition) สภาพที่ค่อนข้างชื้นเปียก ซึ่งเป็นผลจากปัจจุบันหรืออดีตเช่น ในอดีตสภาพพื้นที่นั้นอาจอยู่ในสภาพเปียกที่มีกระบวนการรีดักชันเกิดขึ้น และสารประกอบแร่เหล็กยังคงอยู่ในสภาพรีดิวซ์อยู่ ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปสภาพออกซิไดซ์ โดยปกติชั้นดินบนสุดจะมีสีตั้งแต่สีน้ำตาล น้ำตาลเข้มดำ แล้วแต่ปริมาณของอินทรีวัตถุที่เพิ่มขึ้นหรือกระบวนการฮิวมิฟิเคชั่น (Humification) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดินและปริมาณประจุบวกก็มีอิทธิพลต่อสีดินเช่นเดียวกัน ในดินกรดที่มีแคลเซียมและอินทรียวัตถุต่ำจะมีผลทำให้ดินมีสีซีด แต่ถ้าดินมีปริมาณแคลเซียม และ โซเดียมสูงแม้ว่าอินทรียวัตถุต่ำสีดินจะเป็นสีคล้ำก็ได้ บางครั้งสีคล้ำของดินอาจเกิดจากสารประกอบแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) ที่มีอยู่ในดินขณะนั้นหรืออาจเกิดจากสารคาร์บอนที่ได้จากการเผาไหม้ ดินที่มีสีจางหรือค่อนข้างขาวเกิดจากการเคลื่อนย้ายของสารประกอบเหล็กออกไปจากดินทำให้หลงเหลือสารประกอบพวกควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และเคโอลิไนต์ ทำให้ดินมีลักษณะเป็นสีจางได้ ปกติการเทียบสีดินนั้นยึดตามหลักการของ Munsell ซึ่งรหัส Munsell เป็นรหัสสากลที่ใช้ในการบรรยายสีของดิน สีดินแต่ละสีในสมุดเทียบจะประกอบด้วยตัวอักษรแทนชนิดของสีและตัวเลขกำกับ 3 ตัว โดยไล่ตามลำดับ คือHue, Value Chroma[9]

สีสัน (Hue) คือ สีดั้งเดิม (Primary color) หมายถึงสีของแสงที่สะท้อนจากวัตถุนั้นประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ตัวเลขมีตั้งแต่ 0 ถึง 10 ถ้าตัวเลขมากแสดงว่าสีนั้นมีความชัดเจนมากขึ้นในส่วนของอักษรนั้นเป็นตัวย่อของสี เช่น Y หมายถึงสีเหลือง R

หมายถึงสีแดง G หมายถึงสีเขียว B หมายถึงสีน้ำเงิน P หมายถึงสีม่วง YR , GY, BG,PB และ RP หมายถึงสีแดงปนเหลือง(สีส้ม) เขียวเหลือง,น้ำเงินเขียว,ม่วงน้ำเงิน และม่วงแดง ตามลำดับ ส่วนสีเทา ขาว และดำ ให้ใช้อักษร N แทน สีของดินจะอยู่ระหว่าง 10 R ถึง 5Y สำหรับดินสีดั้งเดิม จะมีความผันแปรของค่า hue ตั้งแต่ 10R ซึ่งหมายถึงสีแดง 100% จนถึง 5Y ซึ่งหมายถึงสีผสม ระหว่างเหลืองและแดง โดยมีสัดส่วนของสีเหลือง 75% และสีแดง25% สีของดินที่พบมากจะ มี hue ประมาณ 10YR ซึ่งหมายถึงสัดส่วนผสม ของสีเหลือง 50% และสีแดง 50%

ค่าสี (Value) หมายถึง ความจาง (Lightness) ของสี สีดั้งเดิมเดียวกันอาจปรากฏ แก่สายตาเป็นสีต่างกันได้ขึ้นกับความเข้ม จางของสีค่าของ Value ผันแปรจากความจางต่ำสุดเท่ากับ ศูนย์ หมายถึง เป็นสีดำ จนถึงระดับความจางสูงสุดเท่ากับ 10 จะกลายเป็นสีขาว

ค่ารงค์ (Chroma) หมายถึง ความบริสุทธิ์หรือความเข้มข้นหรือความแรงของสี ดั้งเดิมค่าของ Chroma อาจผันแปรตั้งแต่ 0-20 แต่โดยทั่วไปค่า Chroma ของดินมักไม่เกิน 8 Chroma ต่ำสุดเท่ากับศูนย์ จะทำให้สีดั้งเดิมปรากฏเป็นหลายสี นับตั้งแต่สีขาว สีเทาจนถึงสีดำ ถ้าค่า Chromaเพิ่มขึ้น ความบริสุทธิ์หรือความชัดเจนของสีดั้งเดิม (Hue) จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สีปรากฏ จะออกมาเป็นเช่นใดยังขึ้นกับค่าของ Value ในขณะนั้นด้วย ตัวอย่างของรหัสสีดิน เช่น 10YR 5/3 ตัวเลข 10YR คือค่าสีสัน (Hue) หรือสีดั้งเดิม เลข 5 หมายถึง ค่าสี (Value) หรือความจางของ Hue และเลข 3หมายถึงค่ารงค์ (Chroma) หรือความบริสุทธิ์ของ Hue ซึ่งถ้าตรวจสอบจากสมุดสีดินของ มันเซลล์ (Munsell soil color book) แล้ว จะพบว่าเป็นสีน้ำตาล [10]



ภาพที่ 6 ระบบสีมันเซลล์ (Munsell color)

ที่มา : *ระบบสีมันเซลล์.* [cited 2016 12/11]; Available from: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0248/munsel-color-system

1.8 สีดินในแต่ละพื้นที่จะมีแตกต่างกัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1.8.1 ดินสีขาวหรือสีจาง มักเป็นดินที่มีความสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินแร่สีจาง ซึ่งมีธาตุอาหารน้อย อาจมีเนื้อดินเป็นทรายหรือดินเหนียว ดินบางชนิดสีจางเพราะมีการสะสมของเกลือในดิน การสะสมของปูน หรือ ยิปซั่ม

1.8.2 ดินสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ เกิดจากองค์ประกอบ 2 ประการ คือ ปริมาณอินทรียวัตถุ และสีของแร่ต้นกำเนิดมีสีเข้ม เช่น หินภูเขาไฟ ดินที่มีสีคล้ำจากอิทธิพลของอินทรียวัตถุ มักเป็นดินที่อายุมากที่พัฒนามาช้านาน จนมีการสะสมของอินทรียสารเป็นจำนวนมาก

1.8.3 ดินสีเหลืองหรือสีแดง เป็นสีของเหล็กออกไซด์ ดินสีสดเหล่านี้มักเกิดในเขตร้อน ซึ่งมีการสลายตัวอย่างรุนแรงของวัตถุต้นกำเนิด ปริมาณของออกซิเจนในดินมีผลต่อการเกิดสีเนื่องจากจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบเหล็กให้กลายเป็นเฟอริกออกไซด์ ทำให้ดินมีสีแดง

1.8.4 ดินสีเทาปนน้ำเงิน เป็นสีของสารประกอบเหล็กขาดออกซิเจน ดังนั้นดินที่มีอยู่ในสภาวะน้ำขังมักจะมีสีเทาปนน้ำเงิน

1.8.5 ดินสีประ คือดินที่มีหลายสีผสมกันโดยทั่วไปมักปรากฏเป็นจุดประสีเหลือง หรือสีแดงบนวัสดุพื้นสีเทา สีของจุดประเป็นออกไซด์ของเหล็กภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

2. แร่ธาตุ

แร่ธาตุ คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองโดยตามธรรมชาติ ที่มีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมี มีโครงสร้างเป็นผลึกเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เกิดจากกระบวนการทางอินทรีย์

2.1 การเกิดแร่

2.1.1 แร่ปฐมภูมิ (Primary minerals) หมายถึง แร่ที่เย็นตัวหรือตกผลึกจากหินหนืด (Magma) โดยตรง เช่น แร่ควอตซ์ ไมกา เฟลด์สปาร์ เป็นต้น สามารถพบแร่เหล่านี้ในดินได้ โดยในดินมักพบแร่ปฐมภูมิในอนุภาคขนาดทราย (Sand) และทรายแป้ง (Silt)

2.1.2 แร่ทุติยภูมิ (Secondary minerals) เกิดจากการผุพังของแร่ปฐมภูมิที่มีความคงทนต่ำ แล้วตกตะกอนหรือตกผลึกใหม่ เช่น แร่ดินเหนียวซิลิเกตและเหล็กออกไซด์ในดินจะพบแร่ ทุติยภูมิมากในอนุภาคขนาดดินเหนียว (Clay) แต่ในบางกรณีก็อาจพบในขนาดทรายแป้ง

ด้วย แร่ที่พบมากในดิน คือ แร่ประกอบหิน (Rock forming mineral) ปกติในดินแร่เหล่านี้อาจจะมีลักษณะผันแปรไปจากเดิมบ้างหรืออาจจะเป็นแร่ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ หลังจากสลายตัวไปแล้วก็ได้

2.2 แร่ในดินที่สำคัญและพบบ่อย

2.2.1 ควอตซ์ (Quartz, SiO_2) แร่ควอตซ์บริสุทธิ์จะไม่มีสี และใสเหมือนแก้ว แต่ถ้ามีสิ่งเจือปนผสมอยู่ จะมีสีแตกต่างกันออกไปมากมาย มีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 7 ประกายแบบแก้วแตก และไม่มีรอยแตกธรรมชาติเมื่อเป็นผลึกจะมีลักษณะเป็นแท่งหกเหลี่ยมแบบแท่งดินสอดำแร่ควอตซ์มีชื่อเรียกมากมาย เช่น เขี้ยวหนุมาน โป่งข่าม เป็นต้น แร่นี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหินตะกอนประเภทหินทราย หรือหินแปรประเภทหินควอตซ์ไซด์ และหินไนส์ ในหินอัคนีจะพบมากในหินประเภทแกรนิตและไรโอไลต์ ในดินแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคดินขนาดทรายและขนาดทรายแป้ง เป็นแร่ที่มีความทนทานต่อการสลายตัวมากรูปร่างของอนุภาคควอตซ์เป็นเหลี่ยมคมหรือกลมมน จะเป็นเครื่องบ่งชี้ที่ดีถึงสภาพและประเภทการเกิดของดินได้ ถ้าเกิดจากการพัดพาและทับถมโดยน้ำไกลจากต้นกำเนิดจะมีรูปร่างกลมมนมาก ถ้าไม่ได้ถูกพัดพาไกลจากแหล่งต้นกำเนิด ควอตซ์จะยังคงมีเหลี่ยมคมอยู่มาก ถ้าอนุภาคเล็กจนถึงขนาดทรายแป้ง ลักษณะอาจแสดงได้ไม่ชัดเจน

2.2.2 เฟลด์สปาร์ (Feldspar group,$XAISi_3O_8$) หรือ แร่ฟันม้า เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม (X ในสูตรรวมของเฟลด์สปาร์ คือ ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้) แร่นี้มักเกิดร่วมกับควอตซ์ในหินอัคนี แร่เฟลด์สปาร์มีสีขาวทึบหรือขาวขุ่นแบบชามกระเบื้อง มีรอยแตกธรรมชาติอยู่ 2 ทางและมีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 6 แร่นี้มีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแร่ที่สลายตัวทางด้านเคมีได้ง่ายที่สุดแร่หนึ่ง โดยทำปฏิกิริยากับน้ำหรือกรดคาร์บอนิกได้ดี เมื่อสลายตัวแล้วจะเป็นดินเหนียว แร่เฟลด์สปาร์แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โพแทสเซียมสปาร์ และโซดาไลม์เฟลด์สปาร์

2.2.3 ไมกา (Mica group) แร่ไมกาเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างซับซ้อนของอะลูมิโนซิลิเกตโดยมีธาตุโพสแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแร่กลุ่มนี้ ไมกาพบอยู่ทั่วไปในดินและหินหลายๆ ชนิด ในดินจะพบเป็นแผ่นเล็กบาง ๆ อยู่ทั่วไป หรือในอนุภาคขนาดทรายแป้ง ในหินอัคนีไมกาเป็นแร่ประกอบที่สำคัญซึ่งพบอยู่ทั่วไปเห็นได้ชัดเจนในหินจำพวกแกรนิต ไดโอไรด์ ในหินตะกอนจะพบไมกามากในหินประเภทที่มี

อนุภาคขนาดละเอียด เช่น หินดินดาน (Shale) เมื่อถูกเปลี่ยนแปลงเป็นหินแปรจะมีไมกามากยิ่งขึ้น เพราะแร่ดินเหนียวถูกเปลี่ยนไปเป็นไมกา เช่น ในพวกหินฟิลไลต์ (Phylite) หรือไมกาชีสต์ (Mica schist) แร่ไมกามีลักษณะพิเศษที่สำคัญคือเป็นแผ่นบางใสๆ รวมตัวเป็นปึก ซึ่งสามารถลอกออกเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ไมกามีความแข็งมาตรฐานอยู่ระหว่าง 2.0 – 2.5 ถ้าพบเป็นผลึกชัดเจนจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางรูปหกเหลี่ยม

2.2.4 แคลไซต์ (Calcite,$CaCO_3$) และ โดโลไมต์ (Dolomite,$CaMg(CO_3)_2$) แร่ชนิดนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ พวกคาร์บอเนตและเป็นองค์ประกอบหลักของหินตะกอนประเภทหินปูนและหินแปร ประเภทหินอ่อน (Marble) ในหินประเภทอื่นจะมีอยู่ในลักษณะเป็นแร่ประกอบ (Accessory mineral) โดยเกิดเป็นสายแร่ (Vein) หรืออาจจะเคลือบแร่ประเภทอื่นก็ได้ แคลไซต์เป็นแร่ที่มีอยู่มากที่สุด และสำคัญที่สุดในกลุ่มแร่ที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอเนต เมื่อเป็นองค์ประกอบของหินปูนมักจะมีวัตถุอื่น ๆ เจือปนอยู่มาก ทำให้มีสีต่าง ๆ เช่น เขียว น้ำตาล หรือปกติมักเกิดเป็นผลึกซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ ออกไป มีสีขาวหรือขาวใส ซึ่งอาจจะเหมือนแร่ควอตซ์ แต่แคลไซต์มีรอยแตกธรรมชาติที่ชัดเจนมาก 3 ทาง ทำมุม 75° ซึ่งกันและกัน และมีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 3 ซึ่งอ่อนกว่าแร่ควอตซ์มาก นอกจากนี้ยังสามารถตรวจอนุมูลคาร์บอเนตได้ง่าย โดยหยดกรดเกลือเจือจางลงไปบนแร่ชนิดนี้จะเกิดฟองฟู่ของคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเกิดในสภาพของหินมาร์ล (Marl) ประกอบด้วยแร่ทุติยภูมิ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับอนุภาคดินเหนียว โดยทั่วไปแคลไซต์จะสลายตัวได้ง่ายมาก โดยจะสลายตัวเมื่อเกิดปฏิกิริยากับน้ำที่มีคาร์บอเนตละลายอยู่ เกิดเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะละลายไปกับน้ำหรืออาจจะไปตกผลึกใหม่ในบริเวณอื่น ๆ แคลไซต์เมื่อสลายตัวจะให้แคลเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารของพืชที่สำคัญ โดโลไมต์ แคลเซียมในแคลไซต์อาจถูกแทนที่โดยแมกนีเซียมทำให้เกิดโดโลไมต์หรือทำให้หินปูนขาวธรรมดาเปลี่ยนเป็นหินปูนโดโลไมต์ (Molomitic limestone) โดโลไมต์ละลายยากกว่าแคลไซต์ และจะไม่เกิดฟองฟู่กับกรดเกลือเจือจาง นอกจากจะอุ่นให้ร้อนหรือบดให้ละเอียดนอกจากนั้นโดโลไมต์ยังแข็งกว่าแคลไซต์เล็กน้อย (ความแข็ง 3.5-5)

2.2.5. ไพไรต์ (Pyrite,FeS_2) แร่ไพไรต์เป็นแร่ที่มีอยู่จำนวนน้อย โดยปกติเกิดเป็นแร่ประกอบในหินหลายๆ ชนิด รวมทั้งในดินด้วย แร่นี้มักเกิดเป็นผลึกก้อนสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ สีเหลืองทอง ดินตะกอนน้ำเค็มที่ทับถมใหม่ๆ มักมีไพไรต์อยู่มาก ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์จะให้กรดซัลฟิวริกและเมื่อมีมากจะทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นได้อย่างสูง ลักษณะเช่นนี้เป็นลักษณะ

สำคัญของดินประเภทดินเปรี้ยว เช่น ชุดดินองครักษ์ ชุดดินรังสิต เป็นต้น

2.2.6 อะพาไทต์ (Apatite,$Ca_5(PO_4)_3$ (F, Cl, OH) แร่อะพาไทต์เกิดอยู่ในหินหลายชนิด แต่ในลักษณะเป็นแร่ประกอบเท่านั้น และมีปริมาณน้อยมาก มีความสำคัญโดยที่เป็นแหล่งที่มาของธาตุฟอสฟอรัส ปกติแล้วดินมักจะขาดแร่ประเภทนี้ ในประเทศไทยถึงแม้จะพบแหล่งแร่ดังกล่าวอยู่ไม่มากนัก แต่ก็พบแหล่งหินฟอสเฟตที่เกิดจากมูลค้างคาวอยู่บ้างตามถ้ำหินปูน แร่อะพาไทต์ธรรมดามีสีเขียวแก่ และมีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 5 เมื่อเกิดเป็นแหล่งแร่จะเป็นพวกหินฟอสเฟต (Phosphate rock) ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ทำปุ๋ย

2.2.7 ยิปซัม (Gypsum, $CaSO_4.2H_2O$) ยิปซัมเป็นแร่ที่เกิดจากการตกตะกอน เช่นจากน้ำทะเลเป็นแร่ที่ละลายน้ำได้ และเมื่อสลายตัวแล้วก็จะเกิดขึ้นมาใหม่ได้อีก ดังนั้นในดินจึงอาจมีแร่พวกนี้อยู่ได้ ถ้าวัตถุกำเนิดดินเกี่ยวข้องกับทะเลหรือในบริเวณที่มีการชะละลายต่ำ เช่น บริเวณที่มีฝนตกน้อย คือ เขตทะเลทราย ซึ่งมีอากาศแห้งแล้ง ยิปซัมมีสีขาว หรือไม่มีสี และเป็นแร่ที่อ่อนสามารถขูดได้ด้วยเล็บมือ เพราะมีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 2 มีรอยแตกธรรมชาติที่ชัดเจน 1 ทาง และไม่ชัดเจนอีก 1 ทาง รูปร่างที่เกิดแตกต่างกันออกไป ส่วนมากเป็นผลึกชัดเจน ความแตกต่างจากแคลไซต์ ที่สำคัญนอกจากความแข็งแรงก็คือ จะไม่มีปฏิกิริยาเกิดฟองฟู่กับกรดเกลือเจือจาง

2.2.8 เฮไลต์ (Halite, NaCl) เฮไลต์หรือเกลือ พบในธรรมชาติ ถ้าบริสุทธิ์ไม่มีสีแต่อาจจะพบว่ามีสีเหลือง แดง เทา หรือน้ำตาลได้ เมื่อมีสิ่งเจือปน แสงผ่านได้ เปราะมีรอยแตกตามธรรมชาติ 3 ทาง ความแข็ง 2-2.5 ความถ่วงจำเพาะ 2-3 มีรสเค็ม ถ้าทิ้งไว้ในสภาพธรรมชาติจะดูดความชื้นและละลาย เฮไลต์ที่พบในดินอาจเกิดจากตะกอนน้ำเค็ม ถ้าพบในบริเวณที่เป็นตอนในทวีป อาจได้จากชั้นหินที่มีการสะสมเกลืออยู่แล้ว และได้รับอิทธิพลของน้ำใต้ดินทำให้มีการขึ้นมาสู่ผิวและสะสมในดิน เช่น การพบดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นต้น

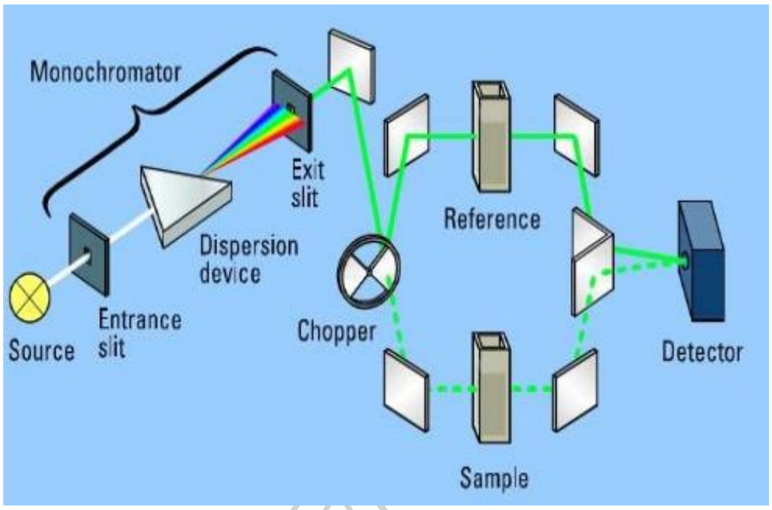
2.2.9 แร่ดินเหนียว (Clay mineral) แร่ประเภทนี้มีองค์ประกอบเป็นพวกอะลูมิโนซิลิเกตที่ซับซ้อนมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ส่วนใหญ่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร (ขนาดดินเหนียว) มีโครงสร้างเป็นแผ่นหรือชั้นซ้อน ๆ กัน บางครั้งจึงเรียกว่า layer silicate clays เนื่องจากแร่ชนิดนี้มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการตรวจสอบจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) หรือเครื่องมือวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงความร้อน (Differentail thermal analysis, DTA) แร่ดินเหนียวสามารถแบ่งออกได้

2 พวก ใหญ่ๆ คือ แร่ดินเหนียวซิลิเกต (Silicate clay) และแร่ดินเหนียวเซสควิออกไซต์ (Sesquioxide clay) แร่ดินเหนียวซิลิเกต เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตที่สลับซับซ้อนแบ่งย่อยได้หลายชนิดที่สำคัญ คือ เคโอลิไนต์ มอนต์มอริโอไนต์ เวอร์มิคูไลต์ และอิลไลต์ สำหรับแร่ดินเหนียวเซควิสออกไซต์ มีเหล็กและอะลูมินัมออกไซต์เป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไป แร่ดินเหนียวพวกนี้จะมีสีแดงหรือเหลือง เนื่องจากอิทธิพลของเหล็ก และมีความเหนียวน้อยกว่าแร่ดินเหนียวซิลิเกต

2.2.10 ฮีมาไทต์ (Hematite, Fe_2O_3) ฮีมาไทต์เกิดขึ้นได้ง่ายจากการสูญเสียน้ำของแร่ไลมอไนต์หรือแร่อื่น ๆ เป็นตัวสำคัญในการให้สีแดงหรือน้ำตาลแดงแก่ดินและแก่หินที่สลายตัว ส่วนมากจะเกิดร่วมกับแร่ไลมอไนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นอนุภาคดินเหนียว แต่ฮีมาไทต์อาจจะพบในดินโดยมีขนาดอนุภาคใหญ่ๆ เช่น ขนาดกรวด ทราย หรือแต่เพียงสารเคลือบหรือสารเชื่อมวัสดุอื่น ๆ ก็ได้ แร่ฮีมาไทต์มีความแข็งไม่แน่นอน (ตั้งแต่ 1-6) และจะหนัก (ความถ่วงจำเพาะประมาณ 5) ปกติจะเกิดรวมอยู่กับไลมอไนต์ โดยเป็นตัวสำคัญในการให้สีแดงและเหลืองในดิน รวมทั้งตามผิวหน้าของหินและแร่ที่เริ่มสลายตัว ในดินทั่ว ๆ ไป ถ้าพบแร่ฮีมาไทต์จะแสดงถึงสภาพที่ค่อนข้างแห้ง และมีออกซิเดชันสูง และส่วนมากจะแสดงถึงความมีอายุของดินด้วยการมีสีแดงตลอดหน้าตัดของดิน [10]

3. UV-Vis สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

UV-Vis สเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวี (UV) และในช่วงแสงขาว (Visible) ที่ทะลุผ่าน (Transmittion)หรือถูกดูดกลืน (Absorption) ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 นาโนเมตร โดยช่วงความยาวคลื่น 200 – 330 นาเมตร เป็น UV และช่วง 330 – 700 นาโนเมตรเป็น Visible



ภาพที่ 7 องค์ประกอบและทางเดินแสงของเครื่อง UV Spectroscopy

ที่มา : *UV-visible spectroscopy*. [cited 2016 12/11]; Available from: https://www.slideshare.net/mizgeenmohammad/uvvisible-spectroscopy-44447073

3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง

3.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) แหล่งกำเนิดแสง มีให้เลือกหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้คือหลอดทังสเตน (Tungsten lamp) ให้รังสีในช่วง Visible และหลอดดิวเทอเรียม (Deuterium lamp) ให้รังสีในช่วง UV

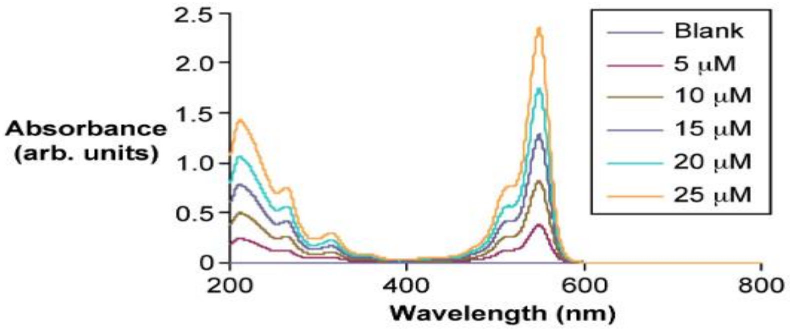
3.1.2 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) รังสีที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ที่เรียกว่าโมโนโครเมเตอร์ ซึ่งจะทำให้ลำรังสีที่ผ่านออกมาเป็นรังสีความยาวคลื่นเดียว

3.1.3 เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง (Cuvettes) สารที่นำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง UV สเปกโทรมิเตอร์ ที่มีสถานะเป็นแก๊สจะมีภาชนระใส่เฉพาะ ส่วนสารละลายใช้บรรจุในเซลล์หนา 1 เซนติเมตร ถ้าใช้วัดในช่วง UV ใกล้ เซลล์ต้องทำจากควอตซ์ แต่ถ้าใช้วัดในช่วง Visible สามารถใช้เซลล์ที่ทำจากแก้วได้ เพราะแก้วดูดกลืนรังสีช่วง UV แต่ไม่ดูดกลืนรังสีในช่วง Visible ส่วนเซลล์ที่ทำจากซิลิกาใช้กับช่วง UV ไกล

3.1.4 อุปกรณ์รับสัญญาณ (Detector) ลำรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียวจะแยกออกเป็นสองทาง ทางแรกผ่านสารตัวอย่างส่วนทางที่สองจะผ่านตัวทำละลาย หลังจากนั้นเครื่องรังสีทั้งสองจึงไปตกกระทบเครื่องตรวจหารังสี (Radiation detector) ซึ่งมีหลายแบบ เช่น เซลล์โฟโตโวลทาอิก (Photovoltaic cell) หลอดโฟโต (Phototube) และหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

(Photomultiplier) เครื่องตรวจหารังสีมีอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เครื่องตรวจวัดจะทำการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ผ่านตัวทำละลายกับความเข้มของแสงที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วจึงส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องบันทึกผล

3.1.5 เครื่องบันทึกผล (Recorder) สัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดจะถูกบันทึกออกมาเป็นตัวเลขหรือเป็นกราฟแล้วแต่ชนิดของเครื่อง UV สเปกโทรมิเตอร์ ถ้าเป็นกราฟเรียกว่า UV สเปกตรัมโดยมีแกนตั้งเป็นค่า Absorbance (A) ค่าเปอร์เซ็นต์ความส่งผ่าน (%T) ส่วนแกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่น [11]



ภาพที่ 8 ตัวอย่าง UV สเปกตรัมที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่อง UV สเปกโทรมิเตอร์

ที่มา : *Basics of UV- Visible Spectroscopy*. [cited 2016 12/ 11] ; Available from: https://orgspectroscopyint.blogspot.com/p/basics-of-uv-visible-spectroscopy.html.

.

3.2 หลักการดูดกลืนรังสี

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า Intensity ในช่วงรังสียูวี และช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุล

ที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ซึ่งมีความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบในแง่ของการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ร้อยละของการทะลุผ่านของแสง (% Transmittance) ร้อยละของการสะท้อนของแสง (% Reflectance) ร้อยละของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (Diffuse %T) ร้อยละของการสะท้อนแสงรวม (Total %R) เมื่อแสงตกกระทบวัตถุ หรือแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่ง ไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง จะพบว่ามีปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้น ได้แก่ การดูดกลืน(Absorption) การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission)

การที่เรามองเห็นวัตถุมีสีได้เนื่องจาก วัตถุมีสีเกิดการดูดกลืนพลังงานของแสงบางความยาวคลื่นไว้ และสะท้อนพลังงานของแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีของวัตถุนั้นออกมา แสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การสะท้อนแสงเสมือนจริง (Specular reflection) เป็นการสะท้อนแสงกลับจากผิววัตถุโดยมีปริมาณแสงสะท้อน ใกล้เคียงกับปริมาณแสงที่ตกกระทบ และมุมของแสงสะท้อนจะเท่ากับมุมของแสงตกกระทบ

การสะท้อนแสงกระจาย (Diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงจากผิววัตถุไปในทุกทิศทางไม่แน่นอน โดยปริมาณแสงสะท้อนลักษณะนี้จะน้อยกว่าปริมาณแสงตกกระทบมาโดยทั่วไป แสงที่สะท้อนออกจากวัตถุจะประกอบไปด้วยการสะท้อนทั้งสองแบบ ผสมผสานกันจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุด้วย เราสามารถแบ่งชนิดของวัสดุตามการตอบสนองต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของแสงได้ดังนี้

วัสดุโปร่งใส (Transparent) คือ วัสดุที่ยอมให้แสงผ่านได้ในปริมาณมาก มีการดูดกลืนและการสะท้อนออกในปริมาณน้อย

วัสดุโปร่งแสง (Translucent) คือ วัสดุที่ให้แสงผ่านได้ แต่เกิดการกระจายตัวของแสงในเนื้อวัสดุ จึงไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่อยู่ด้านหลังได้อย่างชัดเจน

วัสดุทึบแสง (Opaque) คือ วัสดุที่ไม่ยอมให้แสงผ่าน มีการดูดกลืน และการสะท้อนแสงได้ดี

3.3 การประยุกต์ใช้งาน

3.3.1 การวัดการดูดกลืนและการทะลุผ่านของคลื่นแสง เช่น ชิ้นตัวอย่างกระจก แก้ว แว่นตากันแดด กระจกเคลือบด้วยฟิล์มบาง หมึกพิมพ์ เครื่องสำอาง ตัวอย่างทางด้านชีวภาพ เป็นต้นv

4. ระบบสี CIE Lab

การพัฒนาอุปกรณ์ใช้วัดสีเพื่อลดความไม่เป็นกลางเนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดและผู้สังเกตการณ์ โดยองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) โดยระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ L*-a*-b* เป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ มีความหมาย ดังนี้

แกน L* บรรยายความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)

แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

การหาความแตกต่างของสี พิจารณาจากระยะห่างของพิกัดสีนั้น ๆ เช่น จุดที่ 1 วัดค่าสีได้ L1* a1* b1* จุดที่ 2 วัดค่าสีได้ L2* a2* b2*จะได้ความแตกต่างของสี (ΔE) ระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ตามสมการที่ 1

$$\Delta E = \sqrt{(\square * 1 - \square * 2)2 + (\square * 1 - \square * 2)2 + (\square * 1 - \square * 2)2} \quad (1)$$

ส่วนแหล่งกำเนิดแสง CIE ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้ ดังนี้

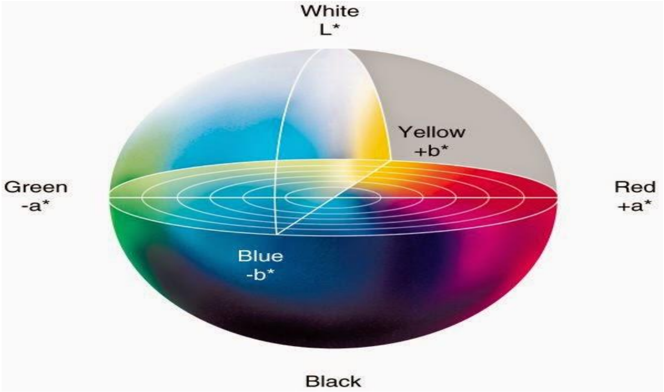
Illuminant A มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไส้ทังสเตน (Incandescent lamp) ที่มีอุณหภูมิสี1 (Color temperature) 2,848 เคลวิน

Illuminant B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอดไฟแบบ Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 4,900 เคลวิน

Illuminant C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอดแบบ Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสง แล้วให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 6,700 เคลวิน

Illuminant D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน แต่อุณหภูมิสีต่างกัน เช่น D65 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน D75 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิ 7,500 เคลวิน

มหาวิทยาลัยศิลปากร



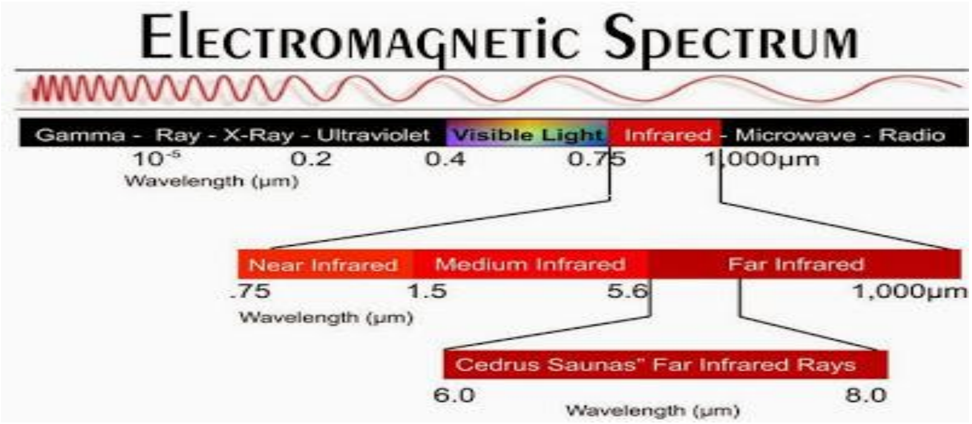
ภาพที่ 9 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab

ที่มา : *ทฤษฎีของระบบสี Lab*. [cited 2016 12/11]; Available from: https://xn--12cf0dj0aaufkr9l0ai2m6ab4p.blogspot.com/2014/06/lab.html.

5. อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy)

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation, IR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่างช่วงของรังสีไมโครเวฟและแสงที่ตามองเห็นได้ การอ้างอิงถึงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนี้จะใช้ค่าที่เรียกว่าเวฟนัมเบอร์ (Wave number) ซึ่งมีหน่วยเป็น cm^{-1} (Reciprocal centimeter) ซึ่งหมายถึงจำนวนคลื่นต่อหน่วยเซนติเมตร ตัวอย่างเช่น รังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ 3000 cm^{-1} หมายถึงในระยะทาง 1 เซนติเมตรที่คลื่นนี้เดินทางไปจะมีจำนวนลูกคลื่นทั้งหมด 3000 ลูกคลื่น ดังนั้นตัวเลขยิ่งมากย่อมหมายถึงพลังงานของรังสีก็ยิ่งมากด้วย ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่เป็นประโยชน์ต่อนักเคมีจะอยู่ในช่วง 4000-400 cm^{-1} พลังงานของรังสีอินฟราเรดจะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ที่ตรงกับความถี่ของรังสีอินฟราเรดก็จะเกิดการดูดกลืนขึ้น

รังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในระหว่างช่วงที่มองเห็น (Visible light) และ microwave โดยมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 – 1000 um ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 รังสีอินฟราเรด

ที่มา : *รังสีอินฟราเรด*. [cited 2016 12/11]; Available from: http://thermoscanthailand.blogspot.com/2013/12/blog-post_9156.html

5.1 ช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

5.1.1 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (NIR) ช่วงคลื่นสั้นของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 0.7 - 1.5 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นมักจะประยุกต์ใช้ในงานถ่ายภาพความร้อน

5.1.2 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นกลาง (MIR) ช่วงคลื่นกลางของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 - 5.6 ไมโครเมตร อินฟราเรดระยะกลางมักประยุกต์ใช้กับระบบนาวิถีของจรวด Missile

5.1.3 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (FIR) ช่วงคลื่นยาวของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.6 ไมโครเมตรขึ้นไป รังสีประเภทนี้เป็นช่วงคลื่นยาวจึงมีพลังงานความร้อนไม่มากนักจึงจานิยมใช้ในการบาบัดผู้ป่วย เช่น อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง

ตารางที่ 1 ช่วงคลื่นของรังสีอินฟราเรด

Region	Wavelength range (nm)	Wavenumber range (cm-1)
คลื่นสั้น (Near)	0.78 – 2.5	12800 - 4000
คลื่นกลาง (Middle)	2.5 - 50	4000 - 200
คลื่นยาว (Far)	50 - 1000	200 - 10

5.2 การดูดกลืนแสงอินฟราเรด

โมเลกุลของสารเคมีเมื่อดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (IR) โมเลกุลจะถูกกระตุ้น (excite) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะพื้นโดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ราว 2-10 Kcal/mole ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น หรือเกิดการหมุนเท่านั้น การดูดกลืนแสง IR ของโมเลกุลไม่ใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสง IR ได้ทั้งหมด แต่จะต้องมีลักษณะเฉพาะ คือ

5.2.1 รังสีหรือแสงนั้นจะต้องมีพลังงานพอเหมาะที่จะทำให้เกิดการแทรนซิชัน

5.2.2 จะต้องเกิดการควบคู่พอดีงสนามไฟฟ้ากับการแผ่รังสีกับสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเม้นต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อใช้ IR ผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสารใดก็ตาม แล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างข้างบนนี้ เรียกสารนั้นว่า IR active ถ้าไม่มีการเปลี่ยนโมเม้นท์ขั้วคู่แสดงว่าสารนั้นเป็น IR inactive ถือว่าไม่มีการดูดกลืนแสง IR ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโมเม้นท์ขั้วคู่มากจะได้ IR Absorption peak สูง ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ weak absorption peak [12]

5.3การสั่นของพันธะ

การสั่นของพันธะในสารอินทรีย์ที่มีหมู่ XY_2 เช่น CH2 และ NH2 เกิดการสั่นแบบพื้นฐาน 2 แบบ ดังภาพที่ 2.11

5.3.1 การยืด (Stretching) ประกอบด้วยการยืดตามแนวแกนของพันธะ ทำให้ความยาวพันธะยาวขึ้นหรือสั้นลง แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ

5.3.1.1 การยืดแบบสมมาตร (Symmetric) พันธะทั้ง 2 ยืดเข้าหรือยืดออกเท่า ๆ กัน

5.3.1.2 การยืดแบบไม่สมมาตร (Asymmetric) พันธะทั้ง 2 ยืดเข้าหรือยืดออกไม่เท่ากัน

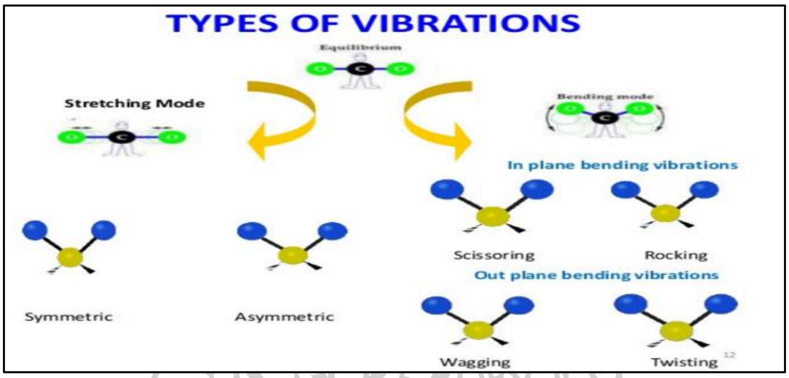
5.3.2 การงอ (Bending) เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งอะตอมจากแนวแกนเดิม โดยให้ที่ความยาวพันธะคงที่ แบ่งออกเป็น 4 แบบ

5.3.2.1 การโคลง (Rocking) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 ไปด้านใดด้านหนึ่งจึงเป็นแบบไม่สมมาตรและอยู่ในระนาบ (In plane bending)

5.3.2.2 กรรไกร (Scissoring) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 เข้ามาหากันและออกจากกันเป็นแบบสมมาตรและอยู่ในระนาบ

5.3.2.3 กระดิก (Wagging) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 ไปข้างหน้าหรือข้างหลังพร้อม ๆ กันเกิดนอกระนาบ (Out of plane bending) และเป็นแบบสมมาตร

5.3.2.4 การบิด (Twisting) เกิดจากอะตอมหนึ่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ส่วนอีกอะตอมหนึ่งเคลื่อนที่ไปข้างหลังเป็นแบบไม่สมมาตรและอยู่นอกระนาบ [11]

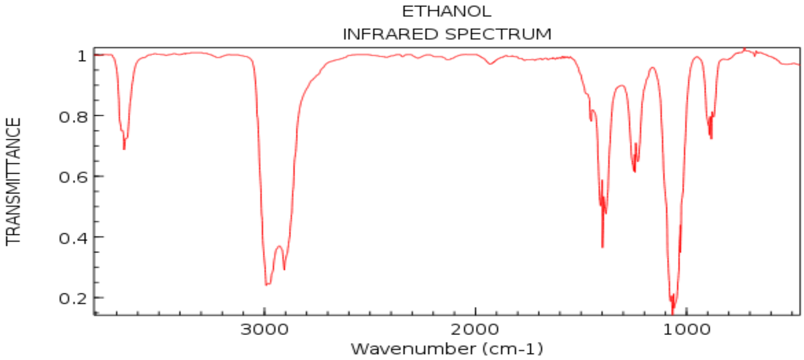


ภาพที่ 11 ชนิดของการสั่นของพันธะในสารอินทรีย์ที่มีหมู่ XY_2

ที่มา : *dispersive-ftir*. [cited 2016 12/11]; Available from: https://www.slideshare.net/bhavanavedantam/dispersive-ftir.

5.4 อินฟราเรดสเปกตรัม

อินฟราเรดสเปกตรัมเป็นกราฟที่เกิดจากการพล็อตระหว่างแสงที่ผ่านตัวอย่างออกมา (Transmittance light) โดยคำนวณเป็น % Transmittance (%T) อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแสงที่ผ่านสารตัวอย่างต่อความเข้มของแสงที่ตกกระทบสารตัวอย่างคูณ 100 (แกน Y) กับจำนวนคลื่น (แกนX)



ภาพที่ 12 อินฟราเรดสเปกตรัมของเอทานอล

ที่มา : *Infrared spectroscopy*. [cited 2016 12/11]; Available from: http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Spec=C64175&Index=2&Type=IR.

5.4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

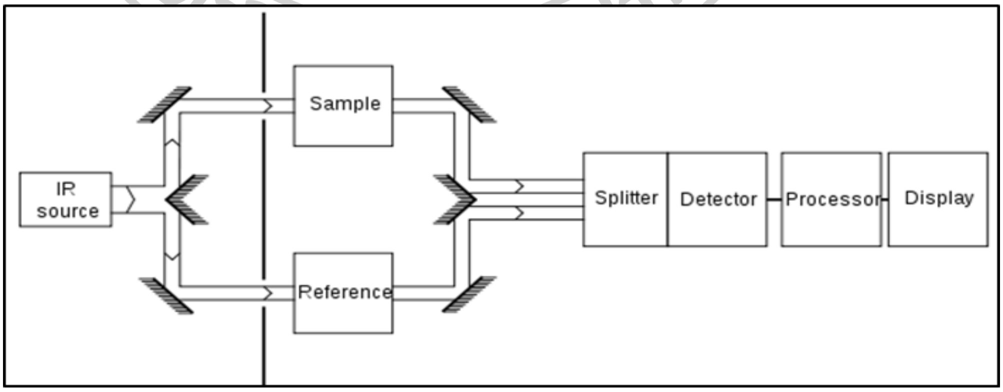
5.4.1.1 ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR source) เป็นส่วนที่ผลิตหรือแปลงแสงให้เป็นแสงในช่วงจำนวนคลื่นที่ต้องการ หลอดที่นำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดแสงจะต้องมีไส้หลอดที่สามารถให้รังสีอินฟราเรดได้ ชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ Nernst glower, Globar และ Nichrome coil เป็นต้น

5.4.1.2 เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sampling area) ในระหว่างทางเดินของแสงจะมีบริเวณที่วางตัวอย่าง ลักษณะเป็นหน้าต่างและมีส่วนที่เสียบ sample cell สารที่ใช้เป็นตัวกลางจับยึด sample ต้องทำด้วยวัสดุที่ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่าน เช่น NaCl, KBr, AgCl, AgBr, CaF2, BaF2 เป็นต้น การเลือกใช้ต้องคำนึงถึงช่วงความถี่ของแสงที่สารเหล่านี้ยอมให้ผ่าน ลักษณะตัวอย่าง ช่วงความถี่ของแสงที่ sample ดูดกลืน

5.4.1.3 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) ตัวแยกความถี่แสง เป็นตัวแยกรังสีหรือจัดลำดับรังสีของแสง อาจทำด้วย Prism หรือ Grating

5.4.1.4 เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (Detector) เป็นส่วนที่รับพลังงานแสงขั้นสุดท้ายแล้วแปลออกมาเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกสัญญาณ

5.4.1.5 เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Recorder) ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Detector แล้วแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นเส้นกราฟที่เรียกว่าสเปกตรัม



ภาพที่ 13 องค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : *Infrared spectroscopy*. [cited 2016 12/11]; Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy.

5.4.2 ชนิดของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

5.4.2.1 มาตรสเปกโทรแบบกระจาย (Didpersive) ใช้เกตติงแบบสะท้อนแสงแยกความยาวคลื่น ใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพ -

5.4.2.2 เครื่องมือแบบมัลติเพล็กซ์ (Mltiplex) ใช้เทคนิคฟลูเรียร์แทรนซ์ฟอร์ม ใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ

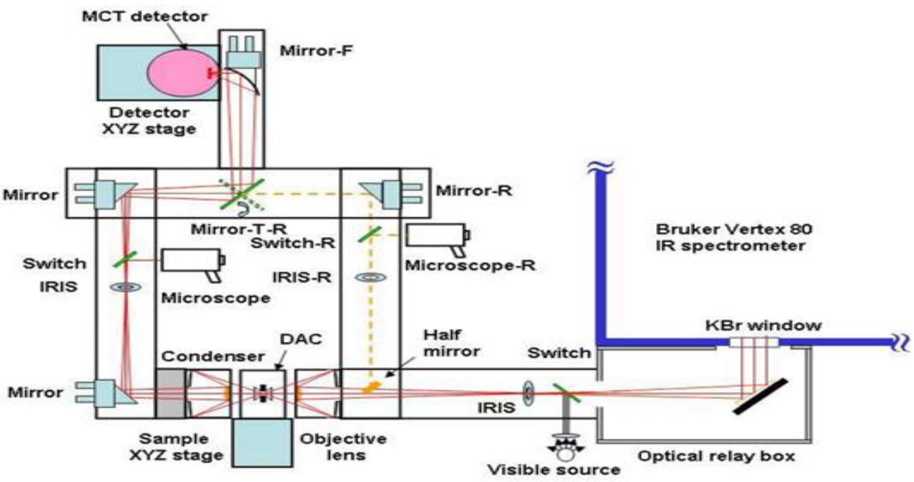
5.4.2.3 มาตรแสงแบบไม่กระจาย (Nondispersive) ใช้วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในบรรยากาศ โดยวิธีสเปกโทรชนิดดูดกลืน เปล่ง สะท้อน [13]

6. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่มีทราบชนิดโดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IRสามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ และเป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังใช้เวลาในการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ

6.1 หลักการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy

เครื่อง FT-IR Spectroscopy มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เมื่อรังสีอินฟราเรดที่มีหลายความถี่จากแหล่งคลื่นรังสีอินฟราเรด ผ่านเข้าไปยังอินเทอร์โฟโรมิเตอร์ ลำแสงจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่เป็น Beamsplitter ลำแสงครึ่งหนึ่งจะผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ และกระจกที่เคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วคงที่ เมื่อลำแสงสะท้อนกลับมาที่ Beamsplitter จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือการแทรกสอดแบบหักล้างของแต่ละความยาวคลื่น เมื่อแสงผ่านสารตัวอย่างไปยังตัววัดสัญญาณที่อ่านได้ทุกความถี่พร้อมกันกับช่วงสแกนของกระจกโดยที่อัตราการสุ่มวัดสัญญาณและความเร็วของกระจกที่เคลื่อนที่ได้จะถูกควบคุมให้มีความถูกต้องและคงที่ เรียกสัญญาณอ้างอิงจากตัววัดสัญญาณที่เกิดจากหลอด He – Ne Laser ว่า Internal Reference Laser สัญญาณที่ตัววัดสัญญาณอ่านได้จะอยู่ในรูปอินเทอร์โฟโรแกรมถูกเก็บไว้ [14]



ภาพที่ 14 หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR Spectroscopy

ที่มา : *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. [cited 2016 12/11]; Available from: http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/chemistry/23-2013-09-04-02-40-21.

6.2 การแปลผลสเปกตรัมของ FTIR

ตารางที่ 2 ผลสเปกตรัมของ FTIR

Functional Group	Characteristic Absorption (s) (cm-1)
Alkyl C-H Stretch	2950 – 2850 (m or s)
Alkenyl C-H Stretch Alkenyl C=C Stretch	3100 – 3010 (m) 1680 – 1620 (v)
Alkynyl C-H Stretch Alkynyl C□C Stretch	-3300 (s) 2260 – 2100 (v)
Aromatic C-H Stretch Aromatic C-H Bending Aromatic C=C Bending	-3030 (v) 860 – 680 (s) 1700 – 1500 (m,m)
Alcohol/Phenol O-H Stretch	3550 – 3200 (broad,v)
CarboxylicAcid O-H Stretch	3000 – 2500 (broad,v)
Amine N-H Stretch	3500 – 3300 (m)
Nitrile C≡N Stretch	2260 – 2220 (m)

Functional Group	Characteristic Absorption (s) (cm-1)
Aldehyde C=O Stretch	1740 – 1690 (s)
Ketone C=O Stretch	1750 – 1680 (s)
Ester C=O Stretch	1750 – 1735 (s)
Carboxylic Acid C=O Stretch	1780 – 1710 (s)
Amide C=O Stretch	1690 - 1630 (s)
Amide N-H Stretch	3700 – 3500 (m)

v = vaiable, m = medium s = strong

ที่มา : *IR, UV/Vis and Other*. [cited 2016 12/11]; Available from: http://www.queensu.ca/asu/instrumentation/other

6.3 ข้อดีของ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

เครื่อง FT-IR Spectroscopy ใช้ศึกษาช่วงกลางอินฟราเรด ให้อัตราส่วนสัญญาณต่อการรบกวนสูงกว่าเครื่องมืออินฟราเรดแบบกระจายที่มีคุณภาพดีหลายเท่า การเพิ่มสัญญาณต่อการรบกวนอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้สเปกตรัมที่ดีภายใน 2 – 3 วินาที เครื่องมือที่ใช้หลักการแทรกสอดสเปกตรัมที่ได้มีการแยกสูง (น้อยกว่า 0.1 cm-1) ความถี่ที่วัดได้มีความแม่นยำสูง และ reproduce ข้อดีอีกข้อได้แก่สเปกตรัมที่ได้เป็นสเปกตรัมที่ลบ background แล้ว [14]

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1993 Antoci, P. และ Petraco, N. ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสีของตัวอย่างดินในกรณีทางนิติวิทยาศาสตร์โดยศึกษาสีของตัวอย่างดิน เปรียบเทียบกับชาร์ตสีของ Munsell สามารถช่วยในการยืนยันดินได้ [15]

ปี ค.ศ.1996 Ritsuko Sugita. et.al. ได้ทำการศึกษาตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ จำนวน 73 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากพื้นที่ที่มีดินเถ้าภูเขาไฟ ดินลุ่มน้ำ นำมาตรวจวัดสีดินโดยวัดจากการเปรียบเทียบกับชาร์ตสี Munsell หลังจากนำตัวอย่างไปตากให้แห้ง ย่อยสลายสารอินทรีย์ และกำจัดเหล็กออกไซด์ พบว่าสีของดินหลังจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ และกำจัดเหล็กออกไซด์ สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้ 97 % [16]

R.J.Cox et.al. (2000) ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของดินโดยใช้ตัวอย่างดินกว่า 100 ชนิด โดยใช้การวิเคราะห์แบบดั้งเดิม เช่น การเปรียบเทียบสี เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ ความหนาแน่น และนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ในการวิเคราะห์แยกตัวอย่างดิน โดยพิจารณาจากปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดิน โดยงานวิจัยนี้เลือกตัวอย่างดิน 4 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าสี Munsel เหมือนกัน แต่สามารถแยกด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งมีประโยชน์ในงานสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ [17]

ปี ค.ศ.2010 Thomas Atherton et.al. ศึกษาตัวอย่างดินที่ผ่านการกรองจากชั้นดินด้านบน (ประมาณ 10 ซม.) แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลจากการทดลอง พบว่าค่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของดินแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างดินที่มีชนิดของดินและต้นกำเนิดแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR มีความละเอียดเพียงพอในการตรวจวัดความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างตัวอย่างที่นำมาจากพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่เก็บตัวอย่าง [18]

Anna Tinti. et.al. (2015) ศึกษาการประยุกต์ใช้สเปกโทรสโกปีช่วงกลางอินฟราเรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิค Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRIFT) และเทคนิค Attenuated Total Reflectance (ATR) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบของดินและอินทรียวัตถุในดิน โดยวิเคราะห์ค่า Deconvolution, Derivative และChemometrics เพื่อเพิ่มถูกต้องและรวดเร็วในการตรวจวิเคราะห์ การวิจัยพบว่าทั้ง DRIFT และ ATR เป็นเทคนิคที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจำนวนมาก โดยให้ค่าสเปกตรัมที่มีความถูกต้อง สามารถทำนายพารามิเตอร์เชิงปริมาณ เช่น อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C / N), lignin, carbonyl-C, aromatic-C, O-alkyl-C และสารประกอบของ alkyl-C จากผลการทดลองพบว่าอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างดินได้ [19]

A.H. Jean Robertson. et.al. (2015) ได้ศึกษาการการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR โดยศึกษาในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1} เพื่อหาหลักฐานในคดีทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ FTIR เปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ พบว่าการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ให้ผลสเปกตรัมที่สามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ [20]

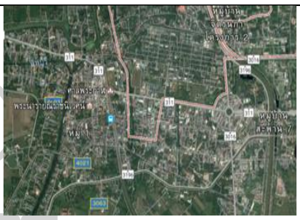
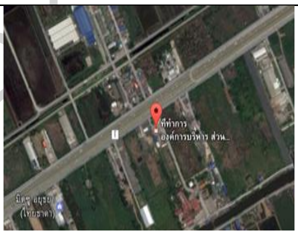
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 ตัวอย่างดิน จากการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวอย่างดินที่เก็บมาจากสถานที่แตกต่างกัน ดังนี้

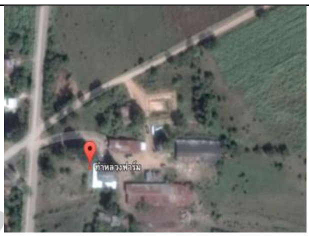
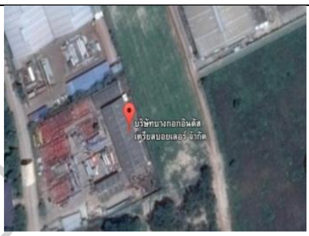
1.1.1 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่นาปลูกข้าว

ตารางที่ 3 ตัวอย่างดินที่เก็บจากนาปลูกข้าว ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 01	กุดพิมาน	ด่านขุนทด	นครราชสีมา	
S 02	ทะเลชุบศร	เมือง	ลพบุรี	
S 03	ลำไทร	วังน้อย	อยุธยา	
S 04	ท่าทอง	เมือง	พิษณุโลก	

1.1.2 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ปลูกไร่อ้อย

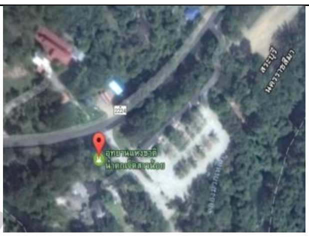
ตารางที่ 4 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไร่อ้อย ไร่ข้าวโพด และไร่มันสำปะหลัง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 06	พุกร่าง	พระพุทธบาท	สระบุรี	
S 07	ท่าหลวง	ท่าหลวง	ลพบุรี	
S 08	โคกไทย	ศรีมโหสถ	ปราจีนบุรี	
S 09	กุดพิมาน	ด่านขุนทด	นครราชสีมา	
S 10	พัฒนานิคม	พัฒนานิคม	ลพบุรี	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

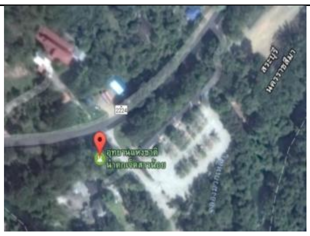
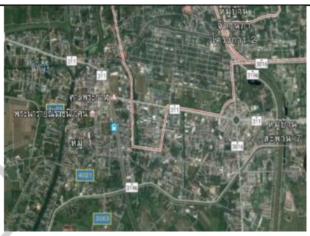
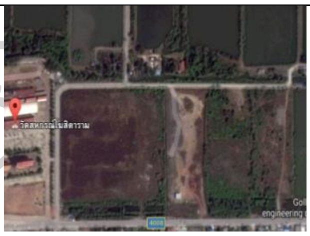
1.1.3 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง บึง

ตารางที่ 5 ตัวอย่างดินที่เก็บจากริมตลิ่งแม่น้ำ คลอง บึง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 11	คลองกุ่ม	บึงกุ่ม	กรุงเทพมหานคร	
S 12	มวกเหล็ก	มวกเหล็ก	สระบุรี	
S 13	บึงยี่โถ	ธัญบุรี	ปทุมธานี	
S 14	ท่าทอง	เมือง	พิษณุโลก	
S 15	ศาลารีไทย	เสาไห้	สระบุรี	

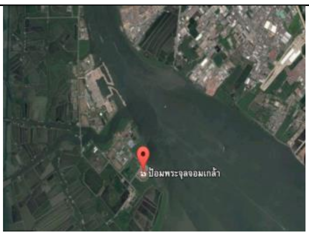
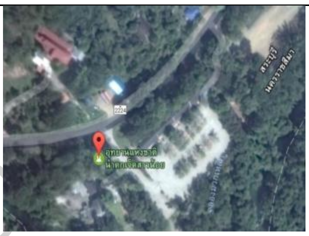
1.1.4 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ริมถนน

ตารางที่ 6 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไหล่ถนน ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 16	มวกเหล็ก	มวกเหล็ก	สระบุรี	
S 17	หนองละลอก	บ้านค่าย	ระยอง	
S 18	ทะเลชุบศร	เมือง	ลพบุรี	
S 19	โคกขาม	เมือง	สมุทรสาคร	
S 20	หอมเกร็ด	สามพราน	นครปฐม	

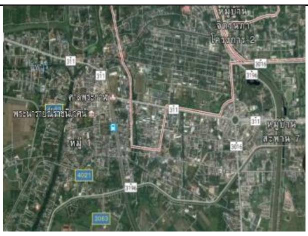
1.1.5 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่สวนสาธารณะ

ตารางที่ 7 ตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนสาธารณะ ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 21	แหลมฟ้าผ่า	พระสมุทรเจดีย์	สมุทรปราการ	
S 22	คลองกุ่ม	บึงกุ่ม	กรุงเทพมหานคร	
S 23	มวกเหล็ก	มวกเหล็ก	สระบุรี	
S 24	พุแค	เฉลิมพระเกียรติ	สระบุรี	
S 25	เขาหินซ้อน	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา	

1.1.6 ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ผลิตเครื่องปั้นดินเผาและดินสอพอง

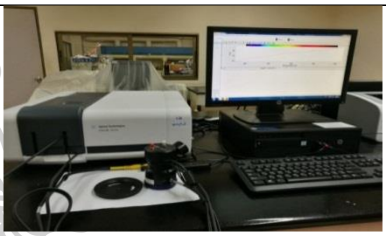
ตารางที่ 8 ตัวอย่างดินที่เก็บจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาและดินสอพอง ในเขตพื้นที่ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ภาพถ่ายพื้นที่
S 26	ทะเลชุบศร	เมือง	ลพบุรี	
S 27	ด่านเกวียน	โชคชัย	นครราชสีมา	
S 28	ด่านเกวียน	โชคชัย	นครราชสีมา	
S 29	เกาะเกร็ด	ปากเกร็ด	นนทบุรี	
S 30	สามโคก	สามโคก	ปทุมธานี	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

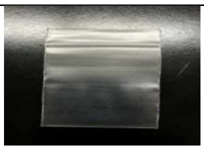
1.2 เครื่องตรวจวิเคราะห์

ตารางที่ 9 เครื่องตรวจวิเคราะห์

อุปกรณ์	แหล่งผลิต	ภาพเครื่องวิเคราะห์
เครื่อง FT-IR Spectrometer รุ่น Spectrum 100	บริษัท Perkin Elmer	
เครื่องวัดสีดิน Agilent Cary 60 Spectrophotometer รุ่น Cary 60 UV-Vis	บริษัท Agilent Technologies	

1.3 อุปกรณ์อื่น ๆ

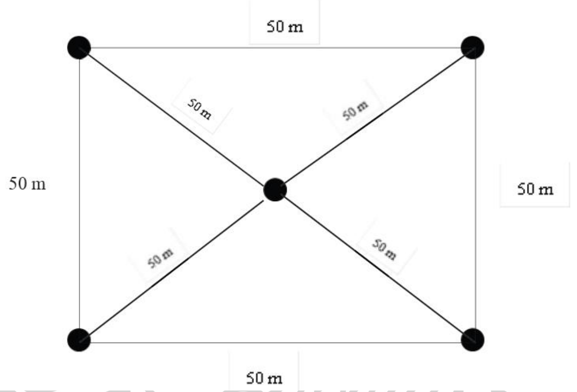
ตารางที่ 10 วัสดุ – อุปกรณ์

วัสดุ - อุปกรณ์	ภาพ
โกร่งบดดิน	
ถุงซิปใสบรรจุตัวอย่าง	
ช้อนสแตนเลส	

2 วิธีดำเนินการวิจัย

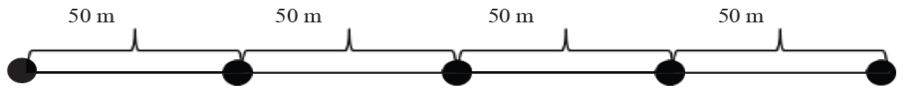
2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่นาปลูกข้าว ไร่มันสำปะหลัง ไร่อ้อย สวนยาง สวนสาธารณะ แม่น้ำ หนอง คลอง บึง ดินจากไหล่ถนน และดินจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาจากจังหวัดต่าง ๆ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่นั้น ๆ แบบสุ่ม โดยตีขอบเขตพื้นที่ในการเก็บ พื้นที่ละ 5 จุด ระยะห่างจุดละ 50 m (ดังภาพที่ 3.1) เก็บโดยใช้ช้อนสแตนเลสเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกจากหน้าดินประมาณ 0-2 cm จุดละประมาณ 100 g และนำตัวอย่างดินที่เก็บแต่ละจุดมารวมกันแล้วใส่ถุงซิปใสปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 15 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่นา ไร่มันสำปะหลัง และไร่อ้อย

การเก็บตัวอย่างดินจากแม่น้ำ หนอง คลอง บึง ทำการเก็บตัวอย่างดินตามแนวริมตลิ่ง โดยเก็บตัวอย่างดินตามแนวยาวของตลิ่ง เก็บพื้นที่ละ 5 จุด ที่ระยะห่างจุดละ 50 m (ดังภาพที่ 3.2) เก็บโดยใช้ช้อนสแตนเลสเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกจากหน้าดินประมาณ 0-2 cm จุดละประมาณ 100 g และนำตัวอย่างดินที่เก็บแต่ละจุดมารวมกันแล้วใส่ถุงซิปใสปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 16 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินจากแม่น้ำ หนอง คลอง บึง

2.2 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อศึกษาโดยเทคนิค FT-IR

นำตัวอย่างดินที่เก็บได้ทั้งหมดมาตากแดดให้แห้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง โดยเตรียมตัวอย่างดินเพื่อศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR ดังนี้ นำตัวอย่างดินที่บดละเอียดใส่ในแท่นวางตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์

สภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง FT-IR Spectrometer บริษัท PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 โดยทำการสแกนที่ช่วงเลขคลื่น 4000-650 cm^{-1} resolution 4 cm^{-1} จำนวนสแกน 32 รอบต่อครั้ง ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง/ตัวอย่าง โดยบันทึกสเปกตรัมที่วัดได้เป็นค่า Absorbance จากนั้นทำการปรับ Smooth และ Baseline ตามลำดับโดยใช้ Software ที่ติดตั้งมากับเครื่อง FT-IR Spectrometer จะได้สเปกตรัมที่พร้อมสำหรับวิเคราะห์ผลต่อไป

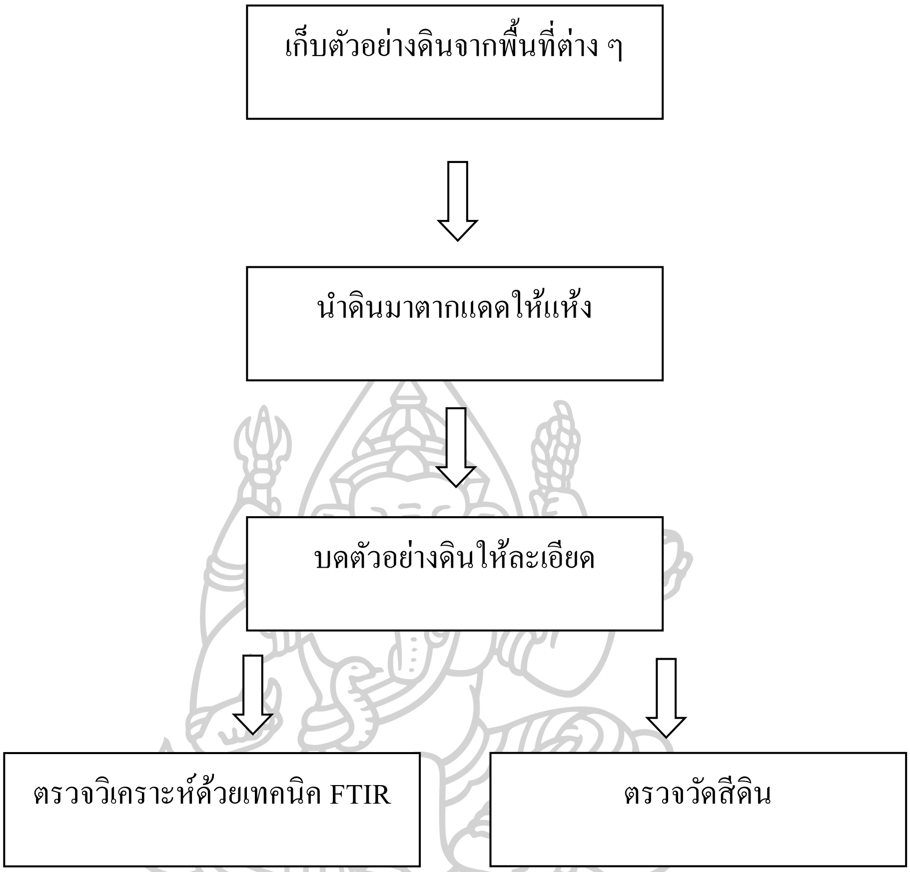
2.3 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อศึกษาสีของดินด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บได้ทั้งหมดมาตากแดดให้แห้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง โดยเตรียมตัวอย่างดินเพื่อศึกษาสีของดินด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน ดังนี้ นำตัวอย่างดินที่บดละเอียดใส่ในแท่นวางตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์

สภาวะของที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่อง Agilent Cary 60Spectrophotometer บริษัท Agilent Technologies รุ่น Cary 60 UV-Vis โดยทำการตรวจวัดที่ช่วงความยาวคลื่น 830 – 360 nm และกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะวัด ดังนี้ Measurement mode : %R, Scanning Range ($x10^{-9}$ m) : 360-830, Slit width ($x10^{-9}$ m) : 1.0, Scan Speed : Medium, Standard illuminant : D65, Observation Angle : 2^{o}, Color Scale : CIE

มหาวิทยาลัยศิลปากร

แผนผังการทดลอง



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR
และวัดสีของดินด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน

บทที่ 4 ผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงนาปลูกข้าว ไร่ข้าวโพด ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง ดินจากริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง ดินจากไหล่ถนน ดินจากสวนสาธารณะ ดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผา และแหล่งผลิตดินสอพอง จากจังหวัดต่าง ๆ รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และนำตัวอย่างดินมาสังเกตสีด้วยตาเปล่า และตรวจด้วยเครื่องวัดสีดิน เพื่อใช้จำแนกตัวอย่างดินจากแหล่งต่าง ๆ โดยตัวอย่างดินเก็บแยกตามพื้นที่ต่าง ๆ มีลักษณะและสีดินดังแสดงตามตารางที่ 11 - 16 ซึ่งจะพบว่าตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงนา ดังตารางที่ 11 ตัวอย่างดินที่เก็บจากริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำตก ดังตารางที่ 13 ตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนสาธารณะและแหล่งเครื่องปั้นดินเผา ในเขตจังหวัดต่าง ๆ ดังตารางที่ 15 และ 16 ตามลำดับ จะมีลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว สีของดินจะเป็นสีดำ-เทา น้ำตาล ในขณะที่ตัวอย่างดินที่เก็บจากไร่ข้าวโพด ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง และ ตัวอย่างดินที่เก็บจากไหล่ถนน ในเขตจังหวัดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 12 และตารางที่ 14 ตามลำดับ มีลักษณะเป็นดินร่วน หรือดินทราย ซึ่งจะมีสีของดินอ่อนกว่าดินเหนียวโดยพบว่าจะมีสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดง หรือส้ม- แดง

ตารางที่ 11 ตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงนาปลูกข้าวในเขตจังหวัดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 01	ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาล-เทา
S 02	ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี	ดินเหนียว	ก้อนขนาดกลาง	เทา
S 03	ต.ลำไทร อ.วังน้อย จ.อยุธยา	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	ดำ
S 04	ต.ท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	เหลือง-น้ำตาล
S 05	ต.ตะกุด อ.เมือง จ.สระบุรี	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	เหลือง-น้ำตาล

ตารางที่ 12 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไร่ข้าวโพด ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง ในเขตจังหวัดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 06	ต.พุกร่าง อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาลเข้ม
S 07	ต.ท่าหลวง อ.ท่าหลวง จ.ลพบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาลเข้ม
S 08	ต.โคกไทย อ.ศรีมโหสถ จ.ปราจีนบุรี	ดินทราย	เม็ดดินก้อนเล็ก	ส้ม-แดง
S 09	ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา	ดินทราย	เม็ดดินก้อนเล็ก	เทา
S 10	ต.พัฒนานิคม อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 13 ตัวอย่างดินที่เก็บจากริมตลิ่งแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำตก ในเขตจังหวัดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 11	เขตคลองกุ่ม แขวงบึงกุ่ม กรุงเทพ	ดินเหนียว	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาลเข้ม
S 12	ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี	ดินร่วนทราย	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาลอ่อน
S 13	ต.บึงยี่โถ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	เทา
S 14	ต.ท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก	ดินร่วนทราย	เม็ดดินก้อนเล็ก	ส้ม-แดง
S 15	ต.ศาลารีไทย อ.เสาไห้ จ.สระบุรี	ดินร่วนทราย	เม็ดดินก้อนเล็ก	น้ำตาล – แดง

ตารางที่ 14 ตัวอย่างดินที่เก็บจากไหล่ถนน ในเขตจังหวัดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 16	ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี	ดินทราย	เม็ดดินละเอียด	น้ำตาลอ่อน
S 17	ต.หนองละลอก อ.บ้านค่าย จ.ระยอง	ดินแดง	ก้อนขนาดกลาง	ส้ม-แดง
S 18	ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินละเอียด	น้ำตาลเข้ม
S 19	ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร	ดินร่วน	เม็ดดินละเอียด	เทา
S 20	ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน จ.นครปฐม	ดินร่วน	เม็ดดินละเอียด	ดำ

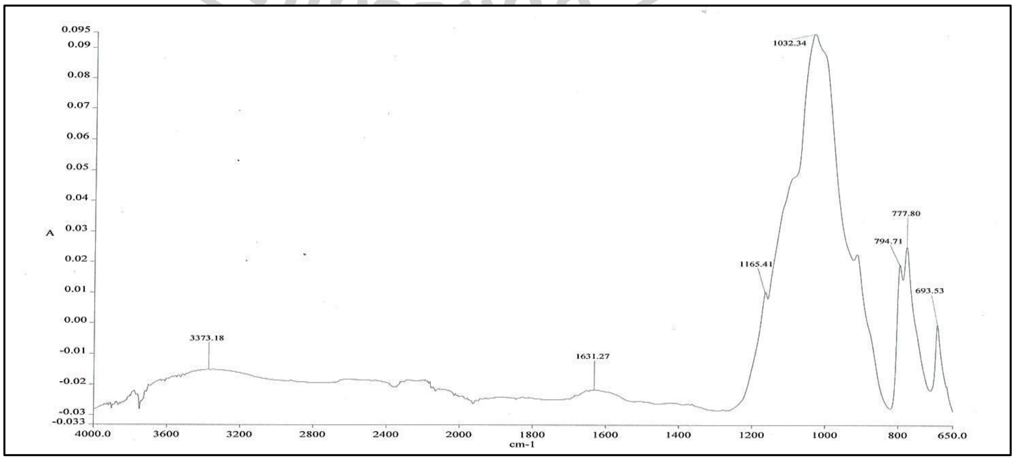
ตารางที่ 15 ตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนสาธารณะ ในเขตจังหวัดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 21	ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาลเข้ม
S 22	แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพ	ดินเหนียว	เม็ดดินละเอียด	น้ำตาลอ่อน
S 23	ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	ดำ
S 24	ต.พุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	เทา
S 25	ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	ดินร่วน	เม็ดดินก้อนเล็ก	เทา

ตารางที่ 16 ตัวอย่างดินที่เก็บจากดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผาและแหล่งผลิตดินสอพอง

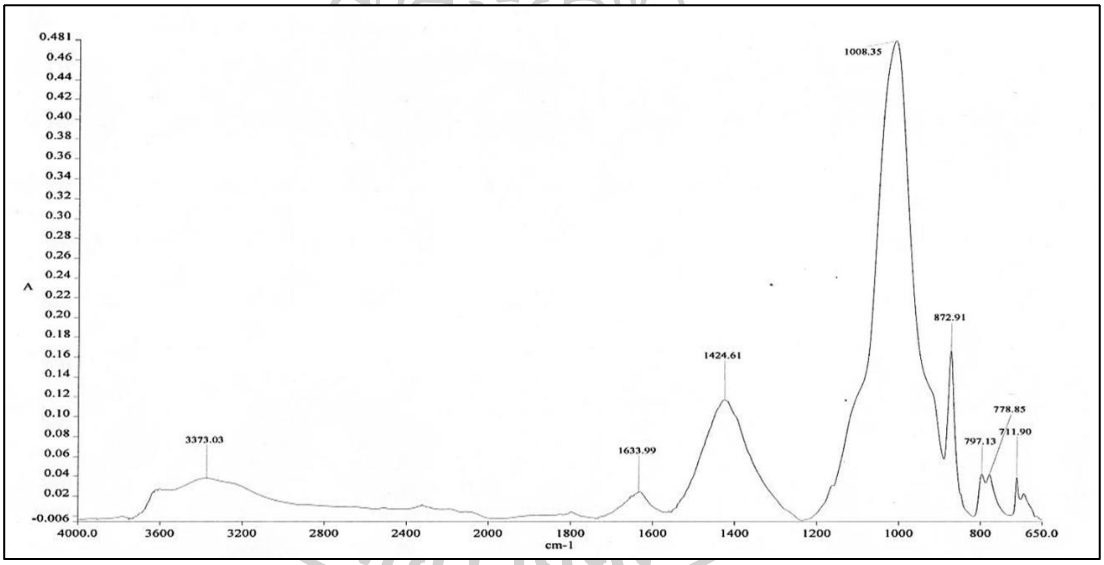
ตัวอย่าง	แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของดิน	ลักษณะของดิน	สีดิน
S 26	ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี	ดินขาว	เม็ดดินก้อนเล็ก	ขาว
S 27	ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาลแดง
S 28	ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาลแดง
S 29	ต.เกาะเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาลอ่อน
S 30	ต.สามโคก อ.สามโคก จ.ปทุมธานี	ดินเหนียว	ก้อนขนาดใหญ่	น้ำตาลอ่อน

จากการนำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยได้นำเสนอเป็นตัวอย่างสเปกตรัมดังแสดงในภาพที่ 18 - 23



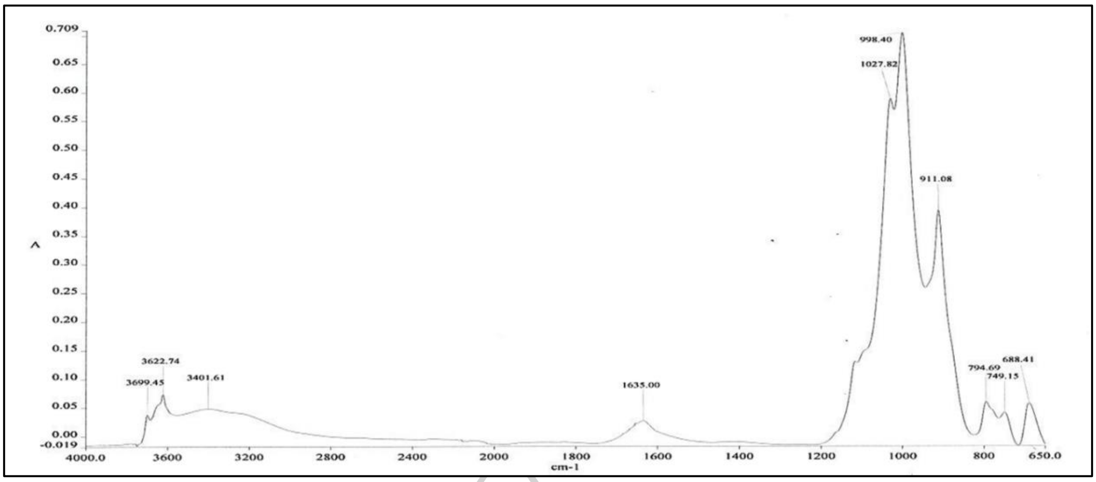
ภาพที่ 18 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 01 เก็บจากแปลงนา
ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา

ภาพที่ 18 แสดงสเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 01 ที่เก็บจากแปลงนาปลูกข้าว ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา จะพบสเปกตรัม IR ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบสารอนินทรีย์ (C-C, C-O, C-N stretching) และจะพบว่าช่วงเลขคลื่นประมาณ 1000 cm^{-1} จะมีค่าการดูดกลืนแสงเป็นแบบ Strong peak ซึ่งน่าจะเป็นพีคของ Si-O stretching [21] เนื่องจากองค์ประกอบในดินที่เป็นซิลิกามีปริมาณมาก และพบสัญญาณช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} ได้น้อย มีค่าการดูดกลืนต่ำซึ่งเป็นช่วงสเปกตรัมของน้ำ (OH-stretching) เนื่องจากนำตัวอย่างดินมาตากแดดให้แห้งเพื่อต้องการตรวจวัดอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบแท้จริงในดิน อย่างไรก็ตามจะพบสัญญาณช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของ C=C stretching ของสารอินทรีย์ รูปแบบสเปกตรัมนี้คล้ายกับที่พบได้ในตัวอย่างที่ S 03, S 09, S 11,S 18, S 19, S 22



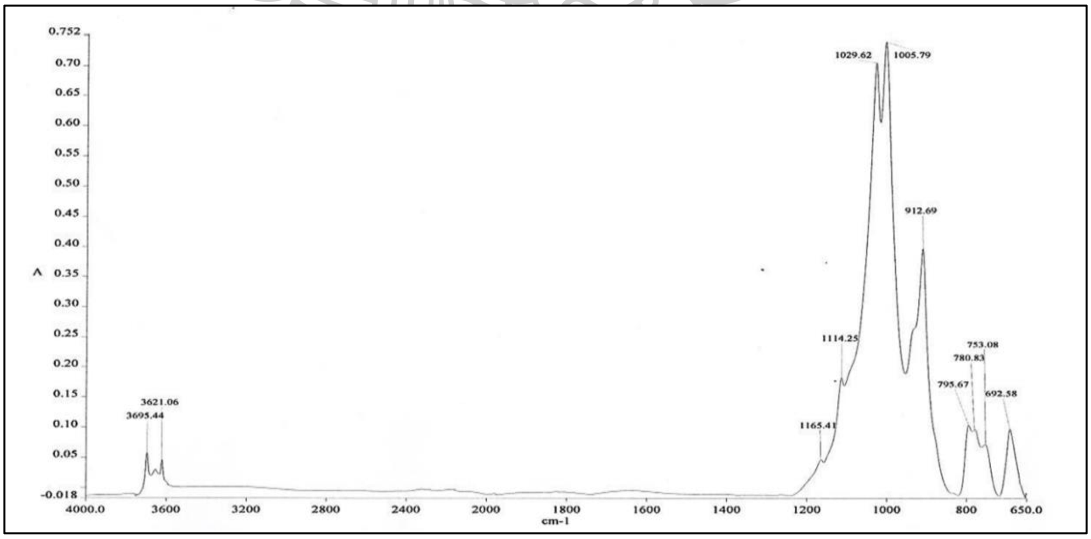
ภาพที่ 19 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 06 เก็บจากไร่ข้าวโพด ต.พุกร่าง อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี

ภาพที่ 19 ตัวอย่างดินที่ S 06 เก็บจากไร่ข้าวโพดต.พุกร่าง อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรีพบสเปกตรัม IR ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 1500 - 1300 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอเนตที่อาจเป็นองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต คล้ายกับที่พบในตัวอย่างที่ S 02, S 07, S 10, S 15, S 26



ภาพที่ 20 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 23 เก็บจาก ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี

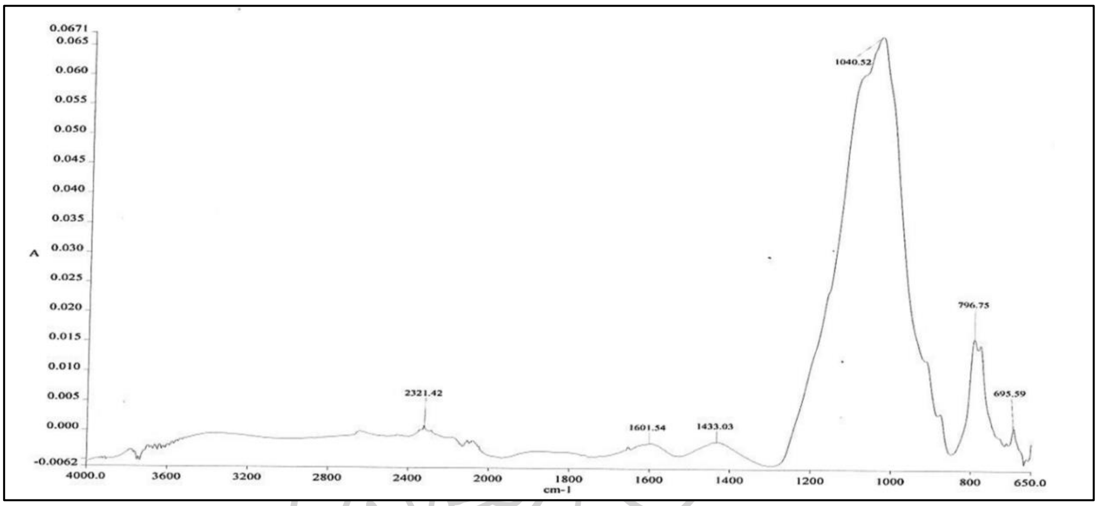
ภาพที่ 20 ตัวอย่างดินที่ S 23 เก็บจากสวนรุกขชาติ ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี พบสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 3600 - 3500 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching of structural hydroxyl groups (OH bending) คล้ายกับที่พบได้ในตัวอย่างที่ S 04, S 05, S 13, S 16, S 21, S 25, S 27



ภาพที่ 21 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 17 เก็บจากไหล่ถนน

ต.หนองละลอก อ.บ้านค่าย จ.ระยอง

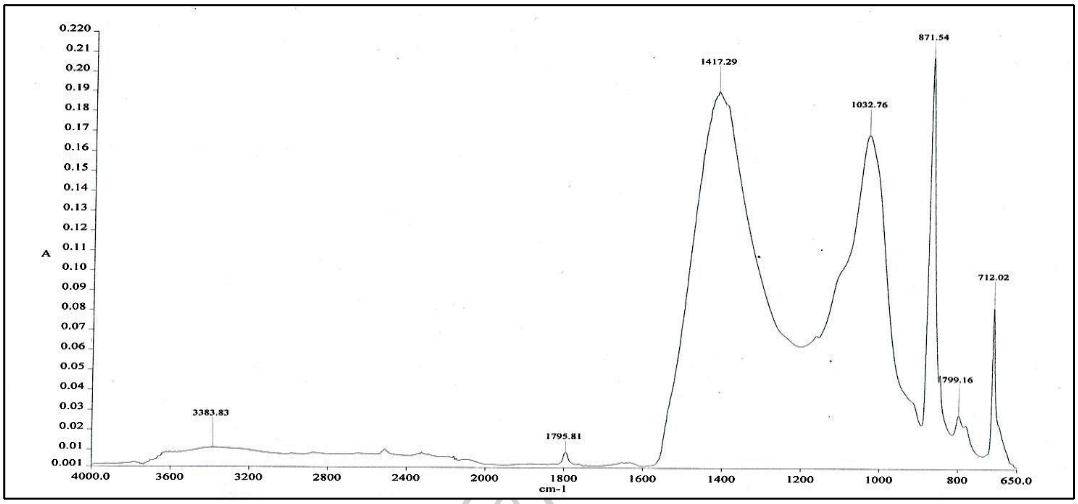
ภาพที่ 21 ตัวอย่างดินที่ S 17 เก็บจากไหล่ถนน ต.หนองละลอก อ.บ้านค่าย จ.ระยอง พบสเปกตรัม IR ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 3600 - 3500 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching of structural hydroxyl groups (OH bending) คล้ายกับที่พบในตัวอย่างที่ S 08, S 12



ภาพที่ 22 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 20 เก็บจากไหล่ถนน ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน จ.นครปฐม

ภาพที่ 22 ตัวอย่างดินที่ S 20 เก็บจากไหล่ถนน ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน จ.นครปฐม พบสเปกตรัม IR ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1500 - 1300 cm^{-1} (แสดงถึงหมู่คาร์บอเนต) ซึ่งเป็นช่วงเลขสเปกตรัมของสารประกอบสารอินทรีย์ และสัญญาณช่วงเลขคลื่น 2400 - 2300 cm^{-1} คล้ายกับที่พบในตัวอย่างที่ S 09, S 24

และจากผลการทดลองยังพบว่าดินที่มีสีขาว อย่างเช่นดินสอพองดังตัวอย่างที่ S 26 จะพบสเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไปจากตัวอย่างดินอื่น ๆ โดยพบช่วงเลขคลื่น 1500 - 1300 cm^{-1} แสดงถึงหมู่คาร์บอเนต ซึ่งอาจจะมาจากองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เนื้อปูนที่มีองค์ประกอบที่แปรผันของแร่เคลย์ และอาราโกไนต์ เป็นต้น [22] ดังแสดงในภาพที่ 23



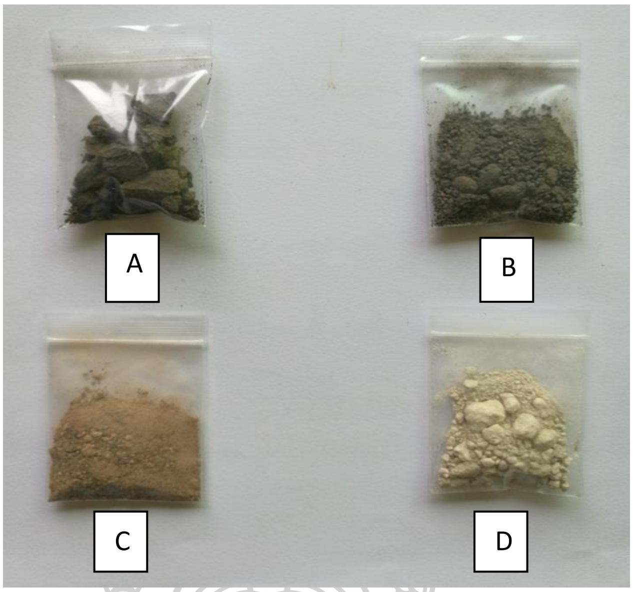
ภาพที่ 23 สเปกตรัมของตัวอย่างดินที่ S 26 เก็บจากแหล่งผลิตดินสอพอง อ.เมือง จ.ลพบุรี

จากการนำสเปกตรัม IR มาเปรียบเทียบจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละหมู่ฟังก์ชั่นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบในดินซึ่งมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่าง และแบ่งกลุ่มตัวอย่างได้ 5 กลุ่ม ตามหมู่ฟังก์ชั่นของสารที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 กลุ่มตัวอย่างดินที่แบ่งตามเลขคลื่นสเปกตรัม

กลุ่มที่	เลขคลื่น (cm^{-1})						ตัวอย่างที่พบ
	650 - 1200	1500 - 1300	1700 - 1600	2400 - 2300	3400 - 3200	3600 -3500	
1	*		*		*		01,03,09,11,18,19,22
2	*	*	*		*		02,06,07,10,15,26
3	*				*	*	04,05,13,16,21,23,25,27
4	*					*	08,17,12
5	*	*	*	*			09,20,24

เมื่อนำตัวอย่างดินมาวัดสีที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างได้ 4 กลุ่ม คือ ดินชุดสีเทา-ดำ ดินชุดสีน้ำตาล ชุดดินสีเหลือง – ส้ม – แดง และชุดดินสีขาว ดังภที่ 24 และนำไปตรวจวัดสีด้วยเครื่องเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Cary 60 UV-Vis ระบบ CIE L* a* b*



ภาพที่ 24 สีของตัวอย่างดินเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า (A) กลุ่มดินสี ดำ-เทา (B) กลุ่มดินสีน้ำตาล (C) กลุ่มดินสีเหลือง-ส้ม-แดง (D) กลุ่มดินสีขาว

ตารางที่ 18 กลุ่มสีของตัวอย่างดินเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

กลุ่มที่	สีดินที่สังเกตด้วยตาเปล่า	ตัวอย่างดิน
1	สี ดำ-เทา	S 01, S 02, S 03, S 09, S 13, S19, S20, S23, S 24, S 25
2	สีน้ำตาล	S 06, S 07, S 10, S 11, S 12, S 15, S 16, S 18, S 21, S 22, S 27, S 28, S 29, S 30
3	สีเหลือง-ส้ม-แดง	S 04, S 05, S 08, S 14, S 137
4	ดินสีขาว	S 26

เมื่อนำตัวอย่างดินมาทำการตรวจวัดสีดินด้วยเทคนิค Spectroscopy เครื่องวิเคราะห์รุ่น Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งตรวจวัดค่า L* ค่า a* และค่า b * ตัวอย่างดินในแต่ละพื้นที่นั้นมีสีและเนื้อดินที่แตกต่างกันซึ่งสีของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงรงค์วัตถุที่เป็นองค์ประกอบภายในดิน เมื่อนำมาตรวจด้วยเครื่องวัดสีดิน พบว่าความเข้มของสีในตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่าง ๆ จะให้ค่าสีออกมาแตกต่างกัน สีที่มีความสว่างมากกว่าจะให้ค่า L* มีค่ามากกว่าสีที่มี

ความสว่างน้อย ส่วนค่า a* และ b* ที่แสดงออกมา ก็จะให้ค่าสีของดินสอดคล้องกัน โดยผลการตรวจวัดสีแสดงในตารางที่ 19 อาทิเช่น ตัวอย่างดิน S 01 ที่เก็บจากแปลงนา ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีน้ำตาล-เทา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างดิน S 26 ที่เก็บจาก ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี สังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาว จะให้ค่าการตรวจวัดสีดินที่ต่างกันโดยตัวอย่างดิน S 01 มีค่า L* เท่ากับ 68.5815 และตัวอย่างดิน S 26 จะมีค่า L* เท่ากับ 96.0481 ซึ่งสัมพันธ์กับสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าโดยตัวอย่างดิน S 01 มีสีที่เข้มกว่า ตัวอย่างดิน S 26 จึงทำให้ค่า L* มีค่าน้อยกว่า เป็นต้น

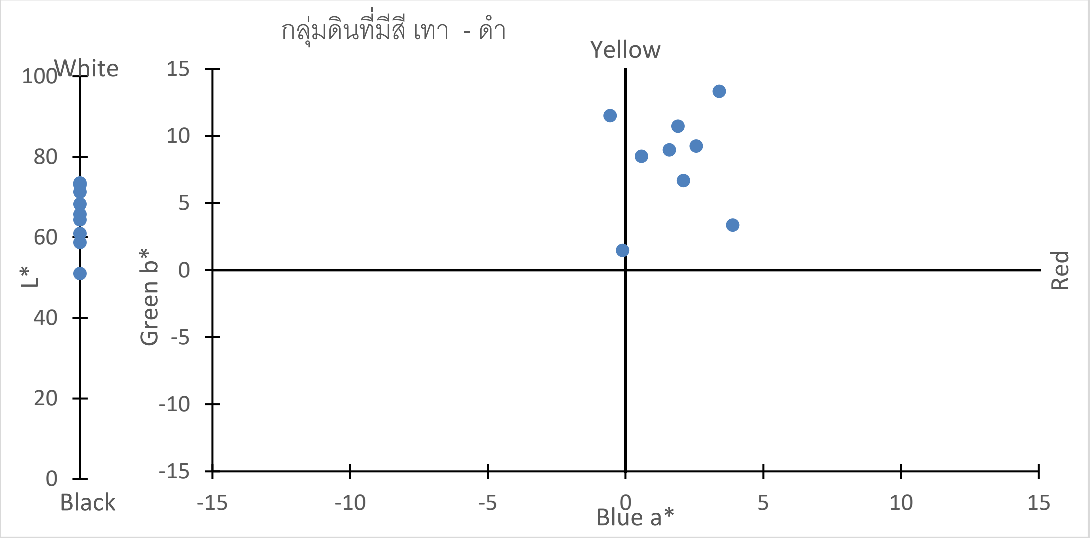
ตารางที่ 19 ผลการตรวจวัดสีดินด้วยเครื่องวิเคราะห์รุ่น Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer

ตัวอย่าง	สีดิน(สังเกตด้วยตา)	L*	a*	b*
S 01	เทา	68.5815	3.2415	12.5638
S 02	เทา	68.3115	1.9056	10.7127
S 03	ดำ	60.948	2.5633	9.2384
S 04	เหลือง-น้ำตาล	72.3159	3.7688	18.1085
S 05	เหลือง-น้ำตาล	76.2952	3.6117	18.8857
S 06	น้ำตาลเข้ม	59.7129	3.9662	11.9744
S 07	น้ำตาลเข้ม	60.6251	3.8251	12.4335
S 08	ส้ม-แดง	72.9811	8.2021	21.1512
S 09	เทา	71.3249	3.4034	13.3216
S 10	น้ำตาลเข้ม	56.5181	3.942	12.1288
S 11	น้ำตาลเข้ม	62.5422	1.9876	11.4079
S 12	น้ำตาลอ่อน	78.8617	3.3155	14.9004
S 13	เทา	73.551	0.581	8.4839
S 14	ส้ม-แดง	68.2331	7.1278	19.4081
S 15	น้ำตาล – แดง	69.4891	3.9543	6.538
S 16	น้ำตาลอ่อน	76.1955	3.5074	14.868
S 17	ส้ม-แดง	84.1141	13.2153	26.0288
S 18	น้ำตาลเข้ม	66.7428	1.6173	7.1661
S 19	เทา	73.1031	-0.5669	11.5068
S 20	ดำ	51.015	-0.112	1.463

ตัวอย่าง	สีดิน(สังเกตด้วยตา)	L*	a*	b*
S 21	น้ำตาลเข้ม	68.3936	0.7436	11.2398
S 22	น้ำตาลอ่อน	65.0964	1.7203	10.7135
S 23	ดำ	64.4072	3.8853	3.3497
S 24	เทา	58.7435	2.1033	6.6686
S 25	เทา	65.7275	1.5851	8.9667
S 26	ขาว	96.0481	1.8966	14.4542
S 27	น้ำตาลแดง	79.3393	7.8279	29.9698
S 28	น้ำตาลแดง	61.8705	8.1242	18.2786
S 29	น้ำตาลอ่อน	69.9138	3.2603	19.2215
S 30	น้ำตาลอ่อน	70.9955	2.7058	18.5235

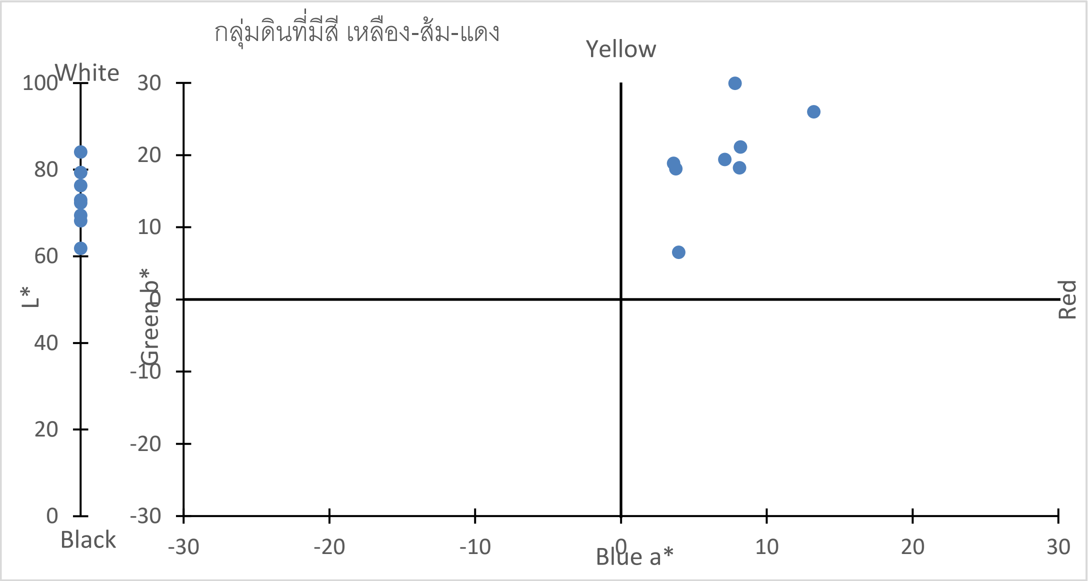
อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่างจากค่า a* และ b* จะพบว่าแม้ตัวอย่างดินที่สังเกตด้วยตาเปล่าจะระบุว่ามีโทนสีเดียวกัน เช่นดินสีเทา-ดำ และดินสีเหลือง-ส้ม-แดง เมื่อนำมาตรวจด้วยเครื่องวัดสีดินแล้วจะให้ค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L * , a* (แกน Y) และ b* (แกน X) ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 25 และ 26 ตามลำดับ

ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน X) และ b* (แกน Y) ของดินที่มีสีเทา – ดำ



ภาพที่ 25 แสดงให้เห็นว่าค่า L* ของดินที่มีสีเทา – ดำ จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความสว่างของสีคือมีค่าไปทางสีดำมากกว่า และความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน X) และ b* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเข้มซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน

ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน Y) และ b* (แกน X) ของดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง



ภาพที่ 26 แสดงให้เห็นว่าค่า L* ของดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความสว่างของสีคือมีค่าไปทางสีขาวมากกว่า และความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* (แกน X) และ b* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเหลือง-แดง

ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างดินมาสังเกตสีด้วยตาเปล่า พบว่า ดินจากนา สวนสาธารณะ และดินจากหนอง คลอง บึง ส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาล น้ำตาลเข้มถึงดำ แสดงว่าดินนั้นมีอินทรียวัตถุอยู่ในดินมาก ลักษณะเนื้อดินมีอนุภาคเกาะกันหนาแน่นเป็นก้อน อุ้มน้ำได้ดี แต่ดินจากไหล่ถนนส่วนใหญ่มีสีเทา แสดงว่าดินอาจมาจากวัตถุต้นกำเนิดจำพวก หิน แร่ที่มีสีจาง [23] จึงอาจเป็นผลทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยวิธีตรวจวัดสีดินมีค่าแตกต่างกันและการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบสัญญาณเลขคลื่นสเปกตรัมที่ต่างกันในบางตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างดินมีสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ ที่เป็นองค์ประกอบของดินไม่เท่ากัน โดยเปรียบเทียบจากความสูงของสเปกตรัมที่ไม่เท่ากัน อาจจะเกิดจากลักษณะทางกายภาพของดินแต่ละสถานที่ที่แตกต่างกันหรืออาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น การปรับปรุงดิน การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

1. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากแปลงนา ไร่มันสำปะหลัง ไร่อ้อย ไหล่ถนน ริมตลิ่งแม่น้ำ หนอง คลอง บึง และดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผา ดินสอพอง จากจังหวัดต่าง ๆ รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์องประกอบของตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และตรวจวัดสีดินด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แล้วนำผลสเปกตรัมได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบ ศึกษาเทคนิคที่ใช้จำแนกตัวอย่างดินจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อบอกถึงองค์ประกอบของดินตามหมู่ฟังก์ชั่นที่ตรวจวิเคราะห์ได้ ตัวอย่างดินจากแหล่งต่าง ๆ ที่ศึกษาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่าเลขคลื่นสเปกตรัมของตัวอย่างดินจากนา ไร่มันสำปะหลัง ไร่อ้อย ไหล่ถนน หนอง คลอง บึง และจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผา พบว่ามีตำแหน่งเลขคลื่นแตกต่างกันไปในบางตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบในดิน และจากผลการทดลองสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างดินได้เป็น 5 กลุ่ม ตามหมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างดิน คือ

กลุ่มที่ 1 พบสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขสเปกตรัมของสารประกอบสารอนินทรีย์ (C-C, C-O, C-N stretching) และจะพบว่าช่วงเลขคลื่น 1000 cm^{-1} และพบสัญญาณช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} ได้น้อย มีค่าการดูดกลืนต่ำซึ่งเป็นช่วงสเปกตรัมของน้ำ (OH-stretching) เนื่องจากนำตัวอย่างดินมาตากแดดให้แห้งเพื่อต้องการตรวจวัดอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบแท้จริงในดิน อย่างไรก็ตามจะพบสัญญาณช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของ C=C stretching ของสารอินทรีย์ พบในตัวอย่างที่ S 01, S 03, S 09, S 11, S 18, S 19, S 22

กลุ่มที่ 2 พบเลขสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 1500 – 1300 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอเนต (CO_3) ที่อาจเป็นองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต พบในตัวอย่างที่ S 02, S 06, S 07, S 10, S 15, S 26

กลุ่มที่ 3 พบเลขสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 3400 - 3200 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 3600 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching of structural hydroxyl groups (OH bending) พบได้ในตัวอย่างที่ S 04, S 05, S 13, S 16, S 21, S 23, S 25, S 2

กลุ่มที่ 4 พบเลขสเปกตรัม IR ในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น 3600 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching of structural hydroxyl groups (OH bending) พบในตัวอย่างที่ S 08, S 17, S 12

กลุ่มที่ 5 พบเลขสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1700 - 1600 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่น 1500 – 1300 cm^{-1} และสัญญาณช่วงเลขคลื่น 2300 cm^{-1} พบในตัวอย่างที่ S 09, S 20, S 24

จะพบว่าสเปกตรัม IR ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จะมีช่วงเลขคลื่น 650 – 1200 cm^{-1} ซึ่งพบได้ในทุกตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของดินจะมีสารอนินทรีย์ (C-C, C-O, C-N stretching) เป็นสำคัญ และจะพบว่าช่วงเลขคลื่นประมาณ 1000 cm^{-1} จะมีค่าการดูดกลืนแสงเป็นแบบ Strong peak สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดินจะพบสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น 1500 – 1300 cm (แสดงถึงหมู่คาร์บอเนต (CO_3)) พบในกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 5 และสเปกตรัม IR ช่วงเลขคลื่น 1700 – 1600 cm (C=C stretching) พบในกลุ่มดินที่ 1 กลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 5 ซึ่งจะไม่พบในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ความแตกต่างของสเปกตรัม IR ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน่าจะเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของดินแต่ละพื้นที่ต่างกันอาจเนื่องจากการปรับปรุงดินที่ต่างกัน เช่น มีวิธีการปรับปรุงบำรุงดินให้ดีขึ้นโดยใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจมีผลทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR มีค่าสเปกตรัมแตกต่างกัน จึงทำให้งานวิจัยนี้ช่วยจำแนกตัวอย่างดินจากสถานที่ต่าง ๆ เพื่อบอกถึงองค์ประกอบของดินได้ งานวิจัยนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thomas Atherton et.al. (2010) โดยศึกษาตัวอย่างดินที่ผ่านการกรองจากชั้นดินด้านบน (ประมาณ 10 ซม.) แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลจากการทดลองพบว่าค่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของดินแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างดินที่มีชนิดของดินและต้นกำเนิดแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR มีความละเอียดเพียงพอในการตรวจวัดความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างตัวอย่างที่นำมาจากพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่เก็บตัวอย่าง และงานวิจัยของ A.H. Jean Robertson. et.al. (2015) ได้ศึกษาการการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR โดยศึกษาในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1} เพื่อหาหลักฐานในคดีทางนิติวิทยาศาสตร์โดยทำการวิเคราะห์ FTIR เปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ พบว่าการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ให้ผลสเปกตรัมที่สามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ เมื่อนำตัวอย่างดินมาสังเกตด้วยตาเปล่าซึ่งได้โทนสีของดินที่นำมาตรวจวัดออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ดินชุดสีเทา-ดำ ดินชุดสีน้ำตาล ชุดดินสีเหลือง – ส้ม – แดง และชุดดินสีขาว นำมาเปรียบเทียบกับ

ค่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน พบว่า ความอ่อน-แก่ของสีในตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่าง ๆ จะให้ค่าสีออกมาแตกต่างกันแม้ว่าตัวอย่าง

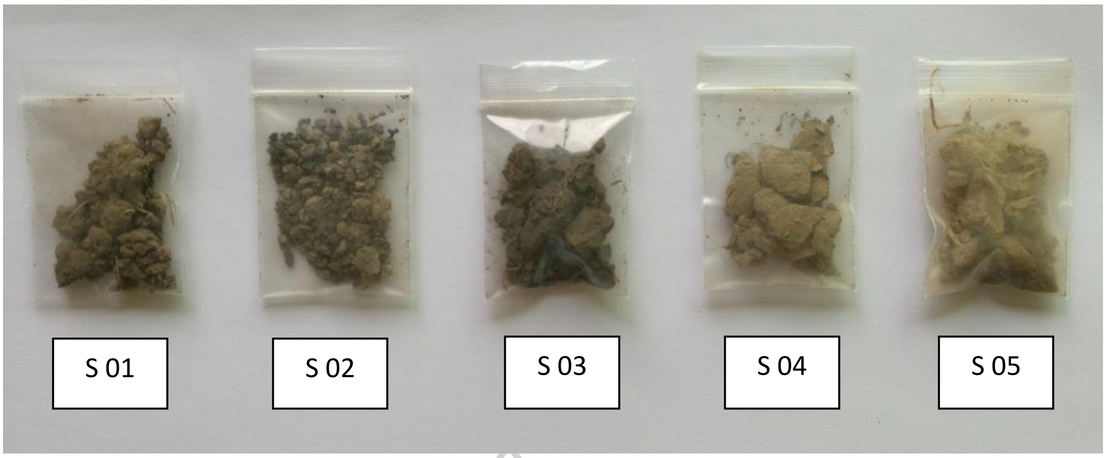
ดินจะมีโทนสีเดียวกันก็ตาม สีที่มีความเข้มมากกว่าจะให้ค่า L* มากกว่าสีที่มีความเข้มน้อย ส่วนค่า a* และ b* ที่แสดงออกมา ก็จะให้ค่าที่สอดคล้องกับเฉดสีของดินเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยค่า CIE L* a* b* ที่ต่างกัน สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้แม้ว่าตัวอย่างจะมีสีคล้ายคลึงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antoci, P. และ Petraco, N. (1993) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสีของตัวอย่างดินในกรณีทางนิติวิทยาศาสตร์โดยศึกษาสีของตัวอย่างดิน เปรียบเทียบกับชาร์ตสีของ Munsell สามารถช่วยในการยืนยันดินได้ และปี ค.ศ.1996 Ritsuko Sugita , et al., ได้ทำการศึกษาตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์จำนวน 73 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากพื้นที่ที่มีดินเถ้าภูเขาไฟ ดินลุ่มน้ำ นำมาตรวจวัดสีดิน โดยวัดจากการเปรียบเทียบกับชาร์ตสี Munsell หลังจากนำตัวอย่างไปตากให้แห้งเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และกำจัดเหล็กออกไซด์ พบว่าสีของดินหลังจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และกำจัดเหล็กออกไซด์ สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้ 97 %

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของอินทรียวัตถุในตัวอย่างดินที่มีความแตกต่างกัน หากในตัวอย่างไม่มีความต่างกันของสารอินทรีย์ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR จะไม่สามารถแยกได้ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการตรวจวัดสีดินเป็นตัวช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพราะการวัดสีจะให้ค่าการวัดที่ต่างกันถึงแม้ว่าตัวอย่างมีสีคล้ายคลึงกันก็ตาม อีกทั้งสองวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน แต่ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณในสารตัวอย่างได้ เหมาะสำหรับการใช้วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ติดมากับรองเท้า เสื้อผ้า ยางรถยนต์ จากสถานที่ต่าง ๆเพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงกับคดีทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

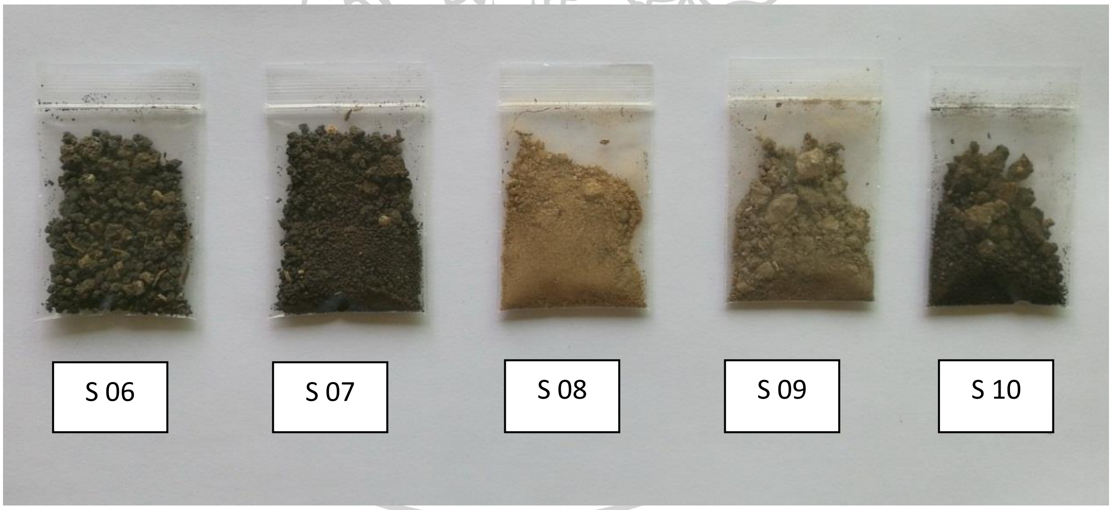
2. ข้อเสนอแนะ

ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่แตกต่างกันหรือเก็บจากภูมิภาคอื่น ๆ หรืออาจเก็บตัวอย่างดินให้มากขึ้นโดยอาจแยกตรวจวิเคราะห์ตามชนิดของดิน ลักษณะของดิน เพื่อจะได้เกิดความแตกต่างของการจำแนกดินได้

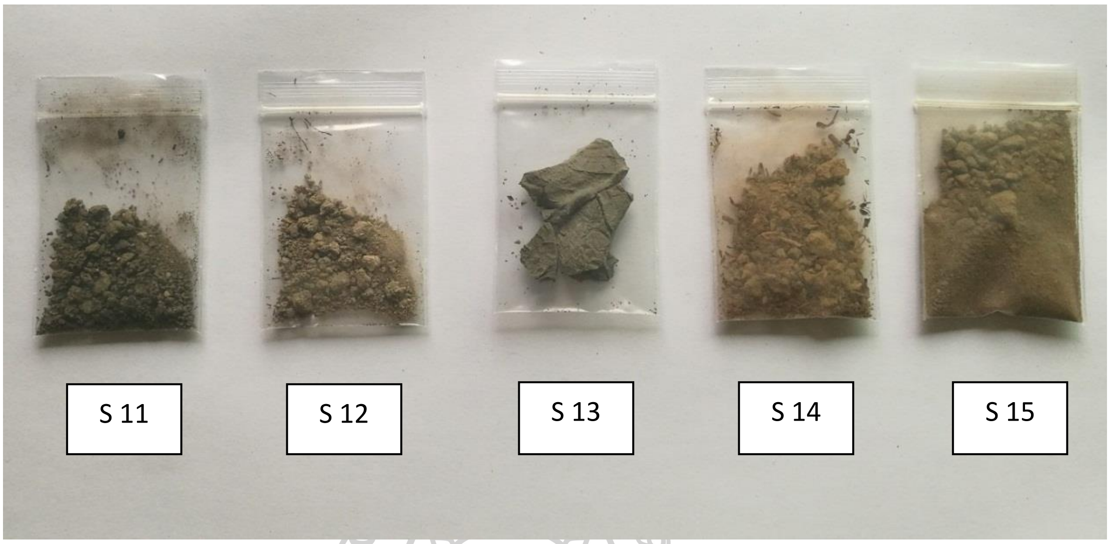
ภาคผนวก



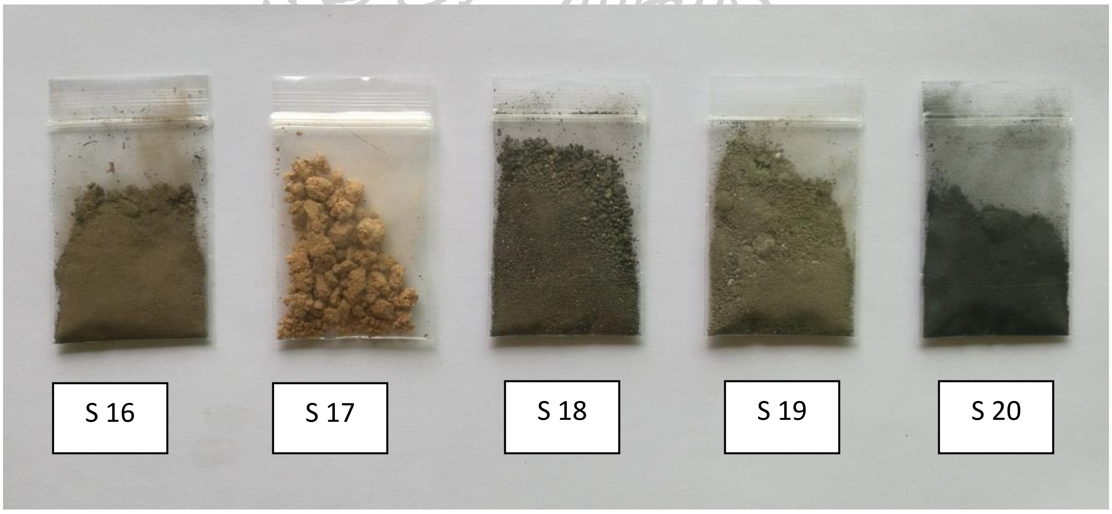
ภาพที่ 1 ตัวอย่างดิน S 01 – S 05



ภาพที่ 2 ตัวอย่างดิน S 06 – S 10



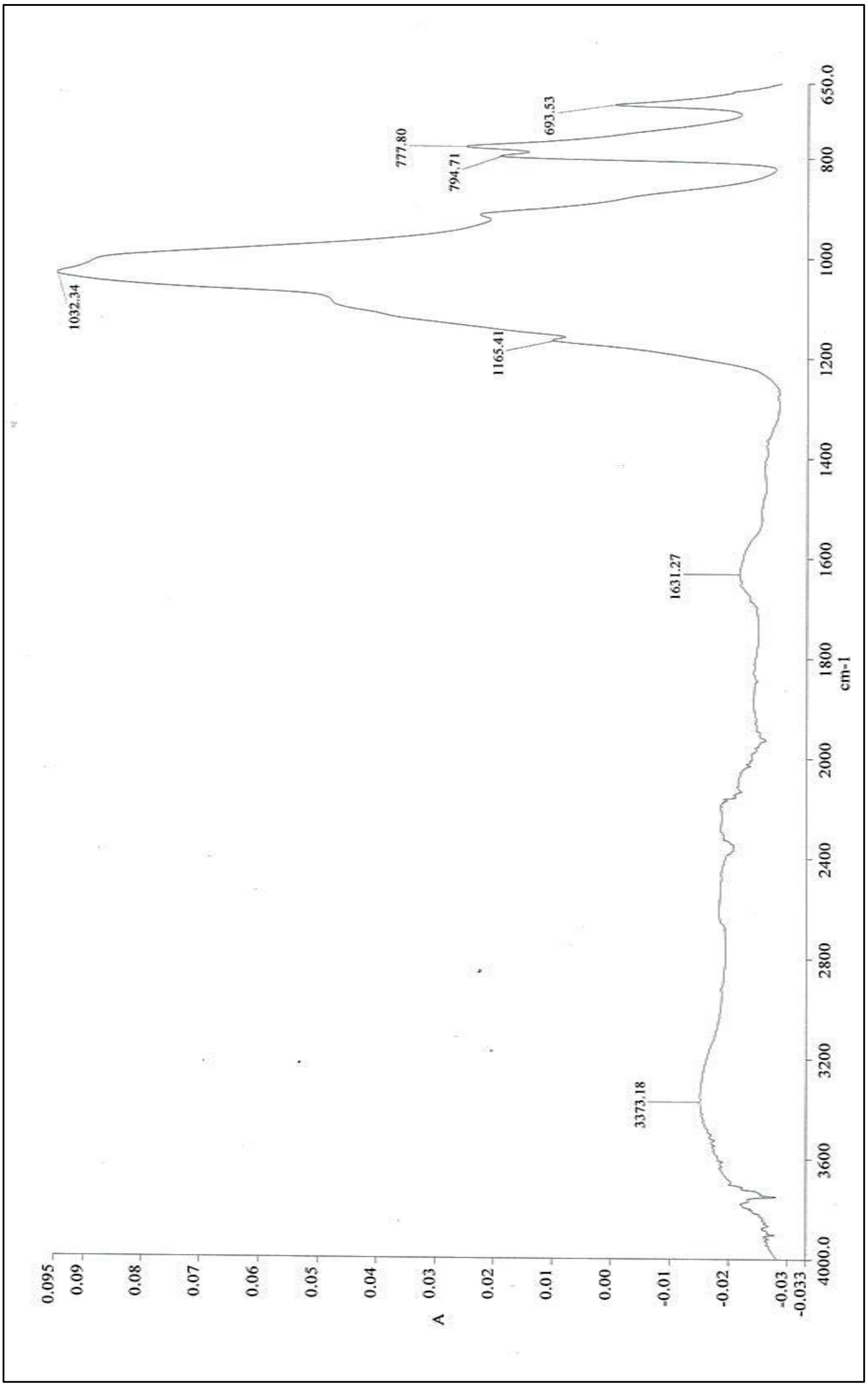
ภาพที่ ก. 3 ตัวอย่างดิน S 11 – S 15



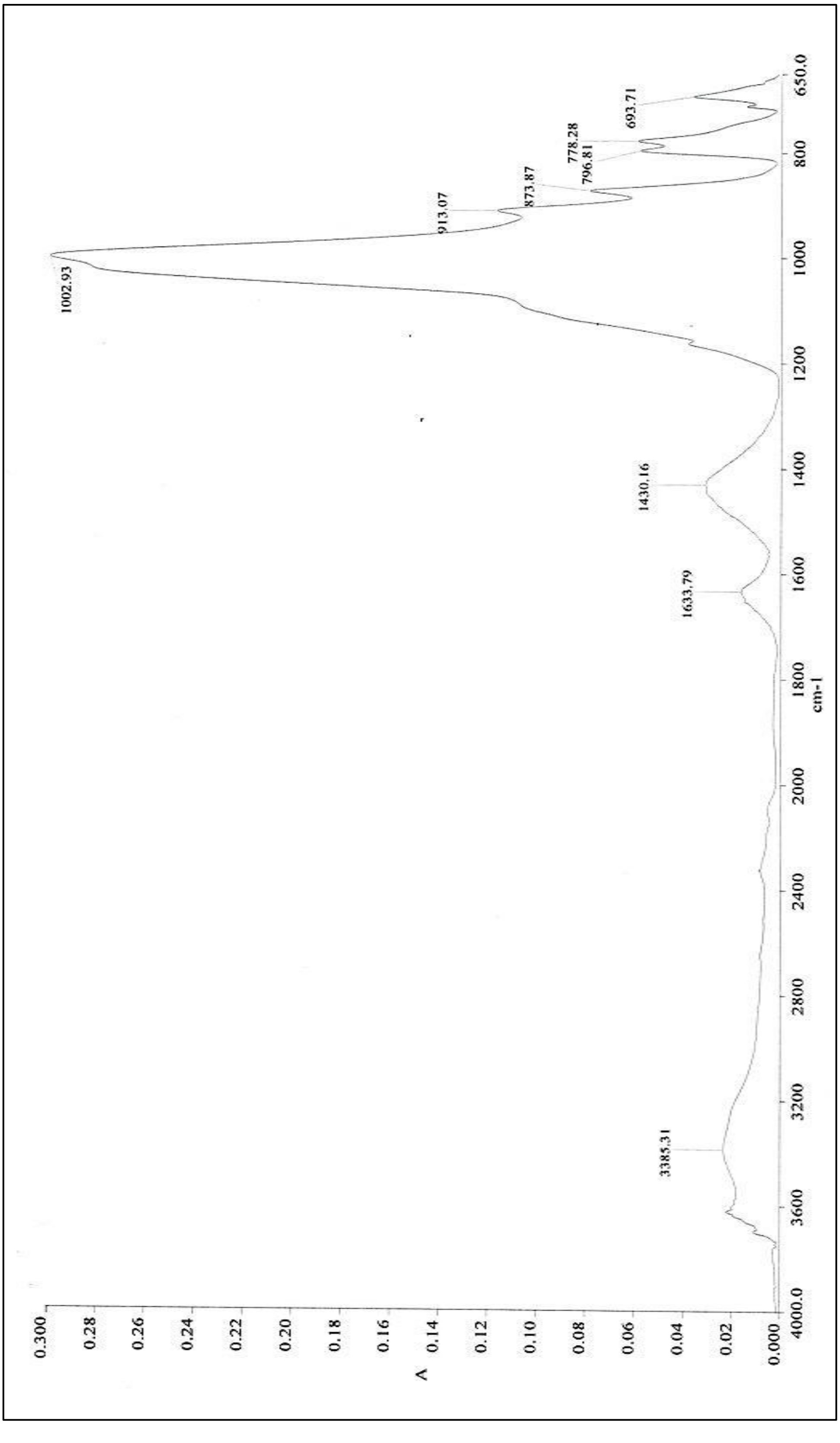
ภาพที่ ก. 4 ตัวอย่างดิน S 16 – S 20

ภาพที่ ก. 5 ตัวอย่างดิน S 21 – S 25

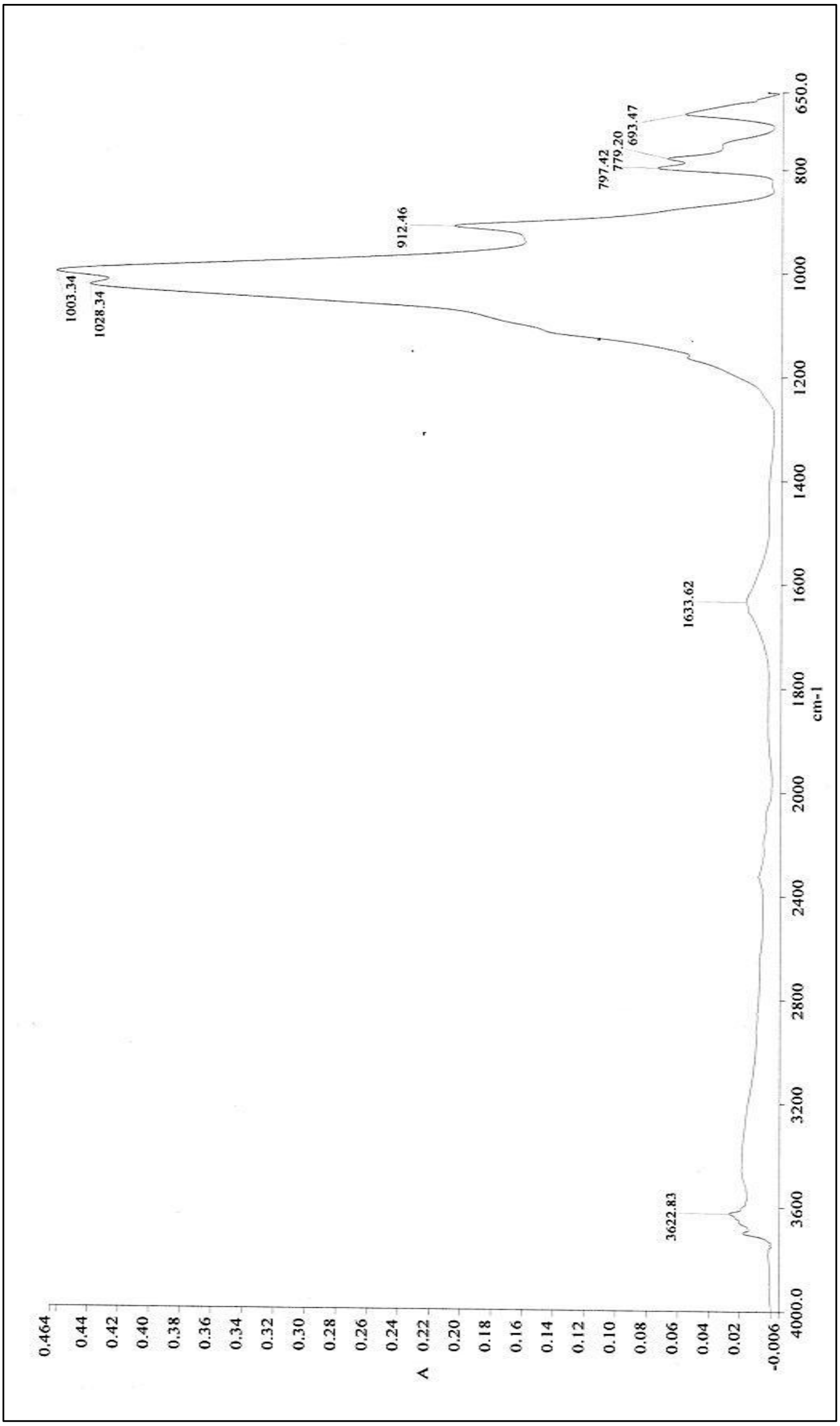
ภาพที่ ก. 6 ตัวอย่างดิน S 26 – S 30



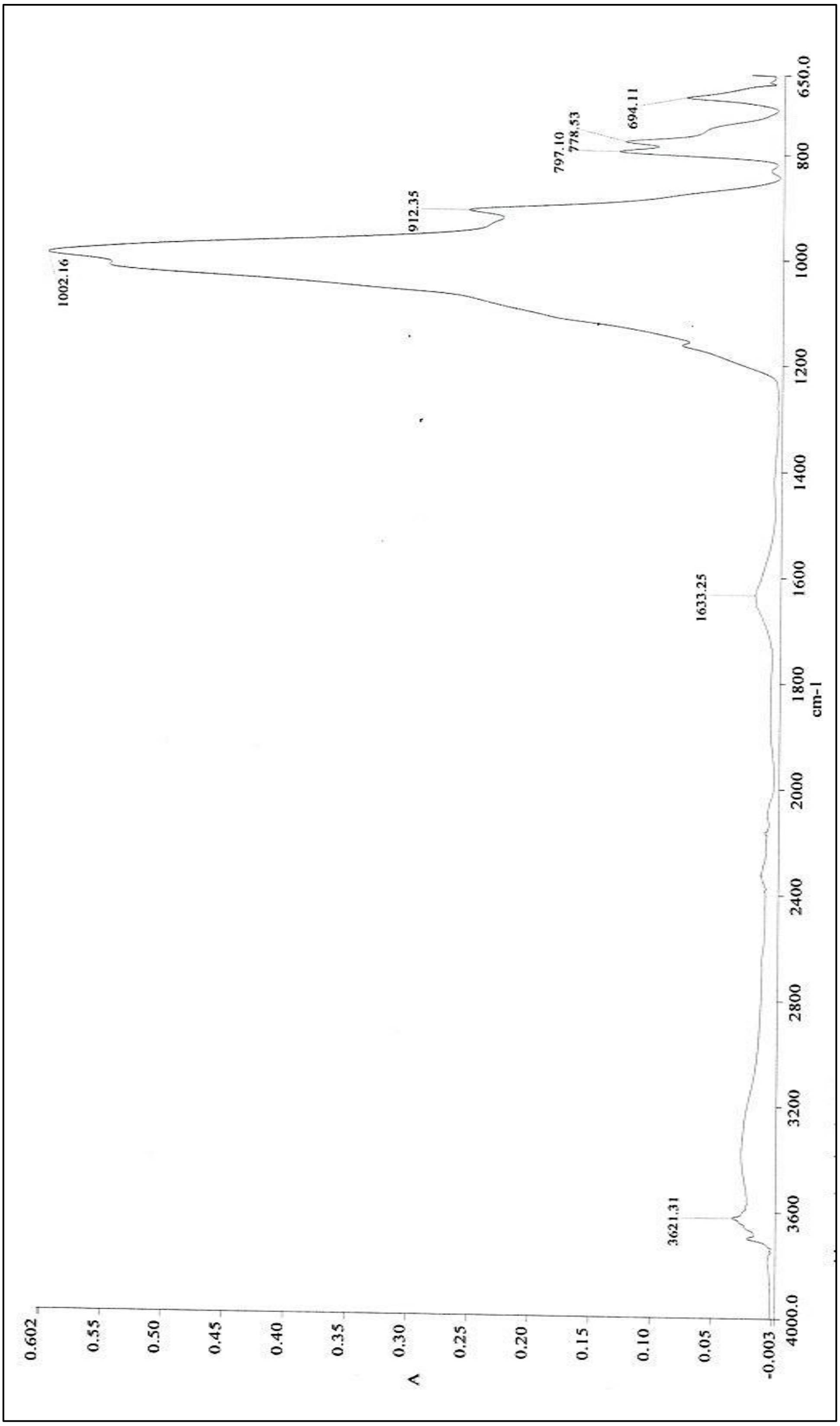
ภาพที่ ก. 7 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 01



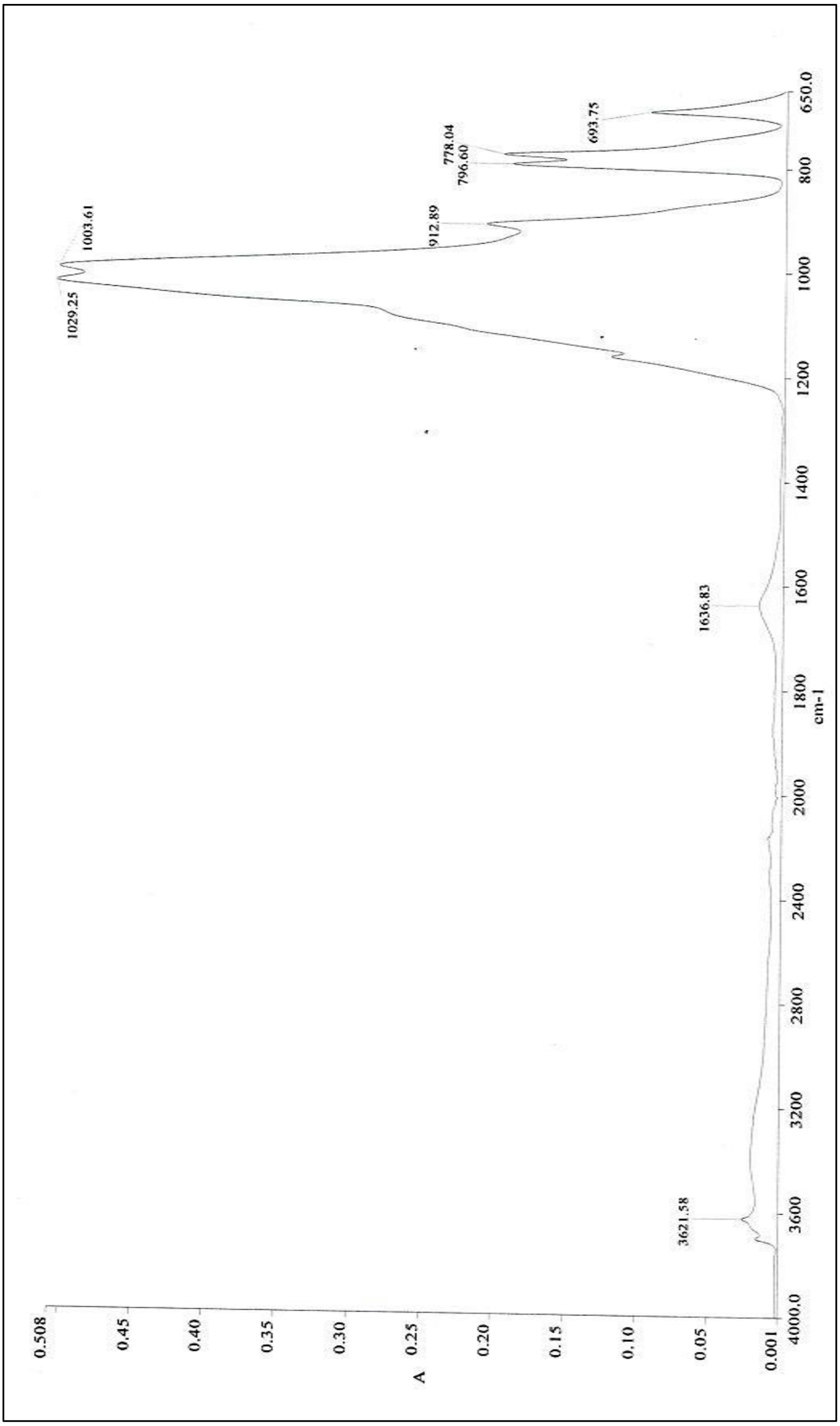
ภาพที่ ก. 8 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 02



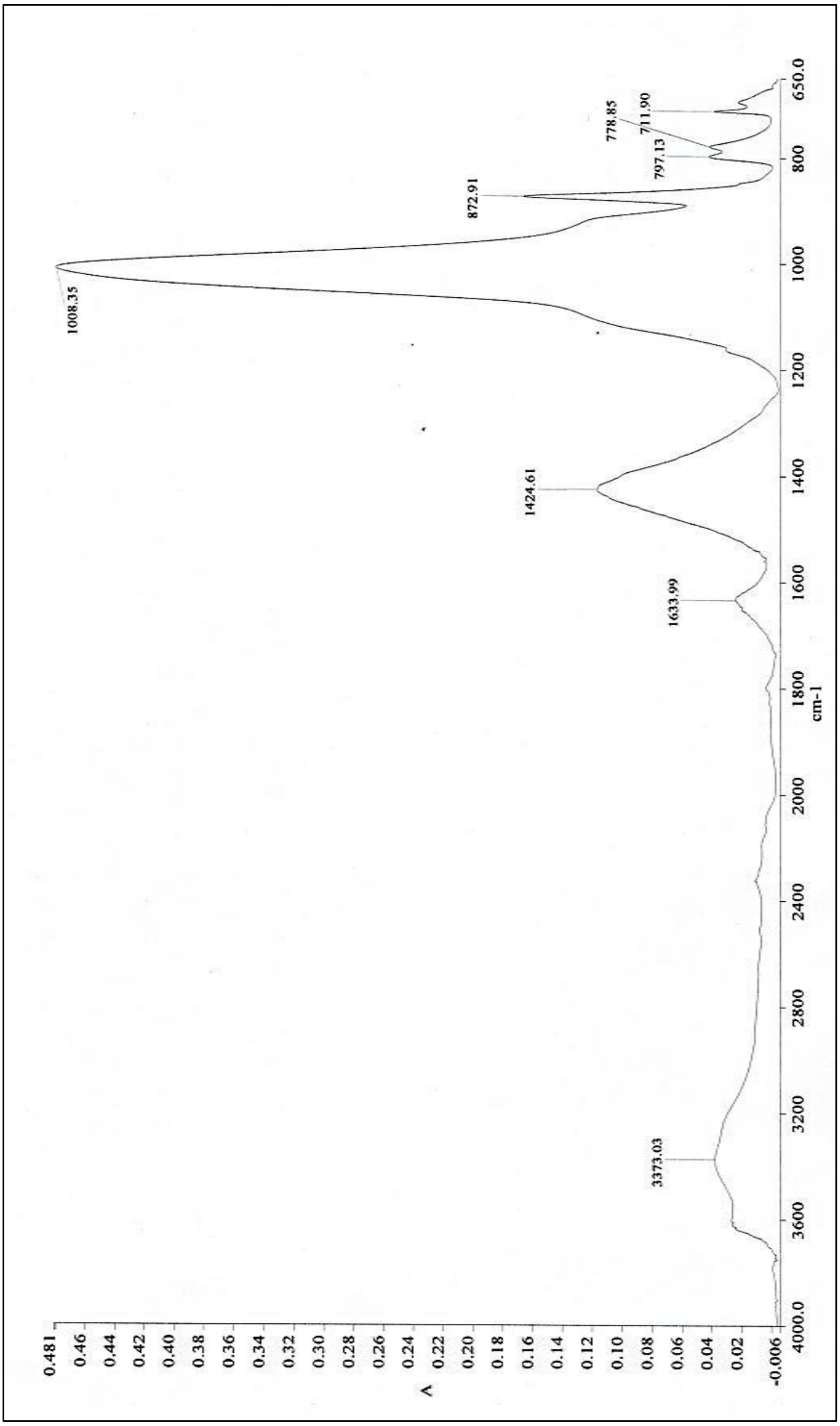
ภาพที่ ก. 9 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 03



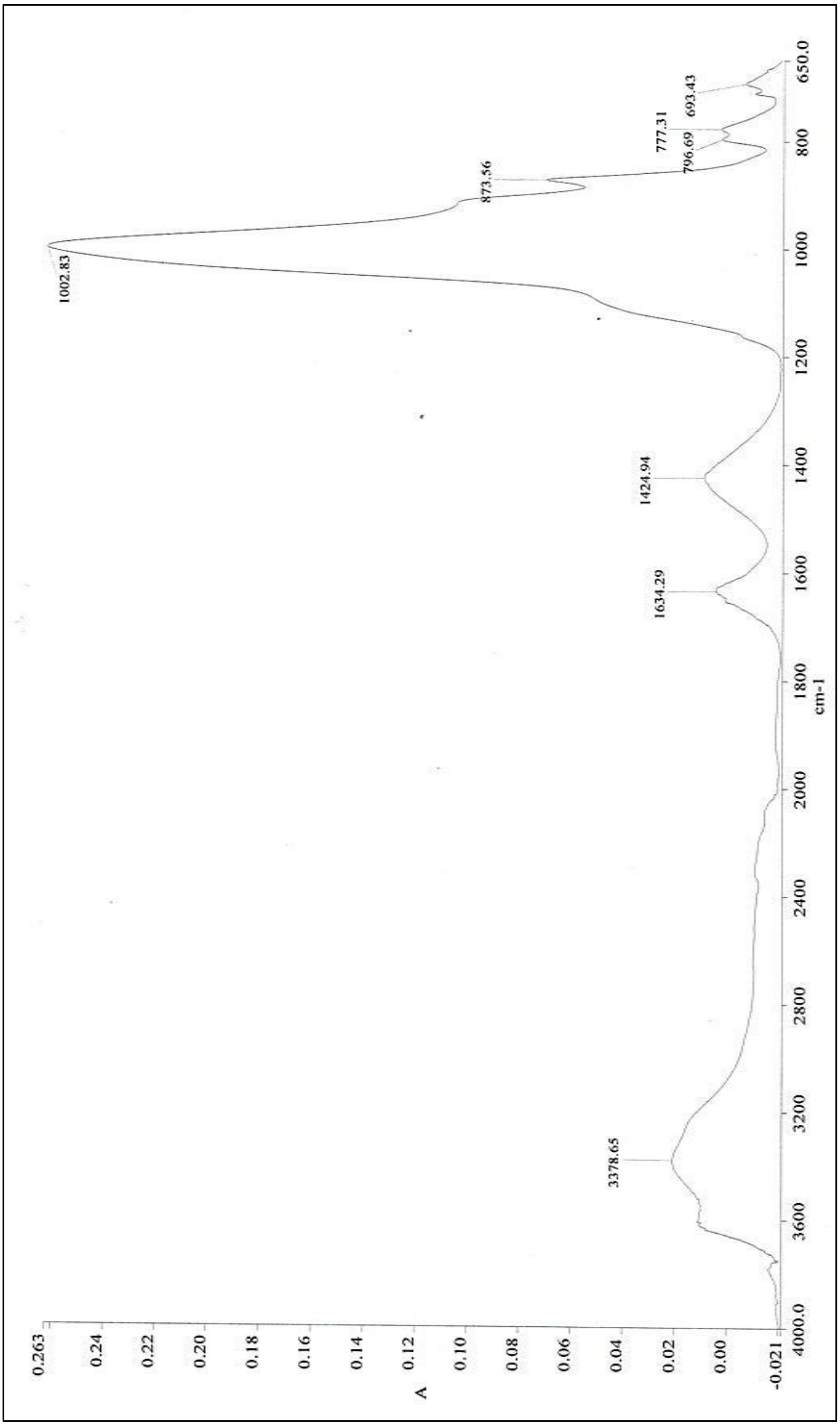
ภาพที่ ก. 10 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 04



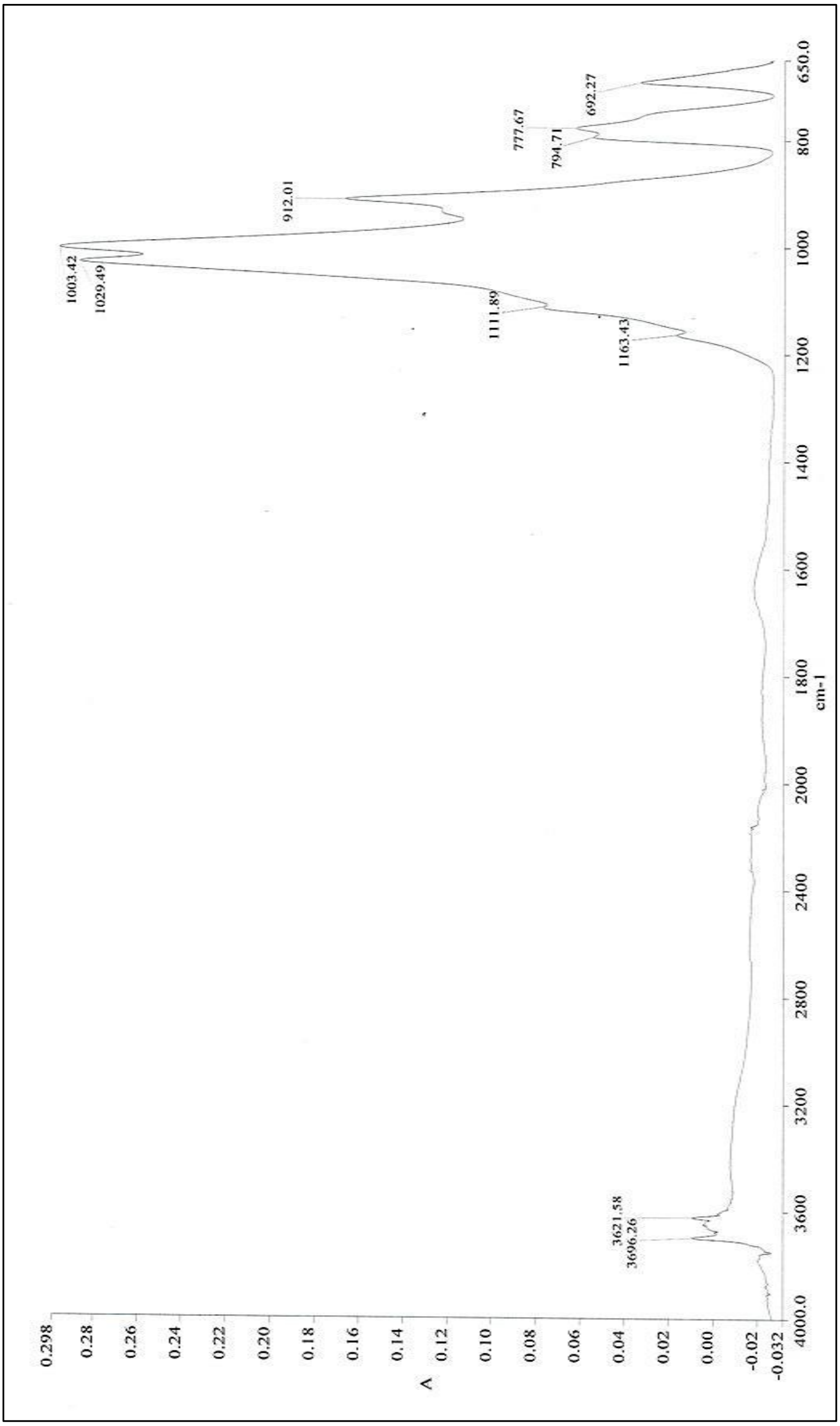
ภาพที่ ก. 11 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 05



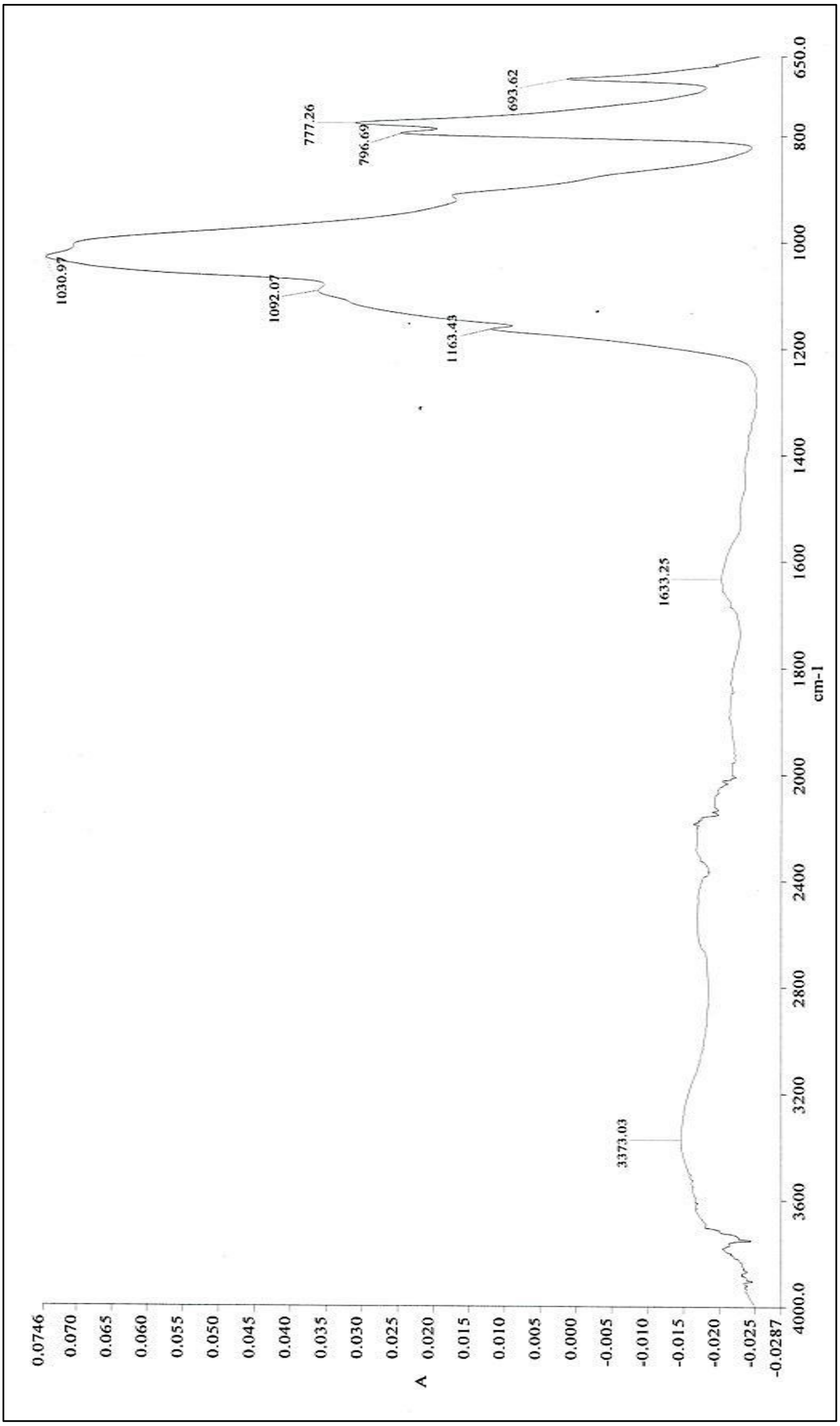
ภาพที่ ก. 12 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 06



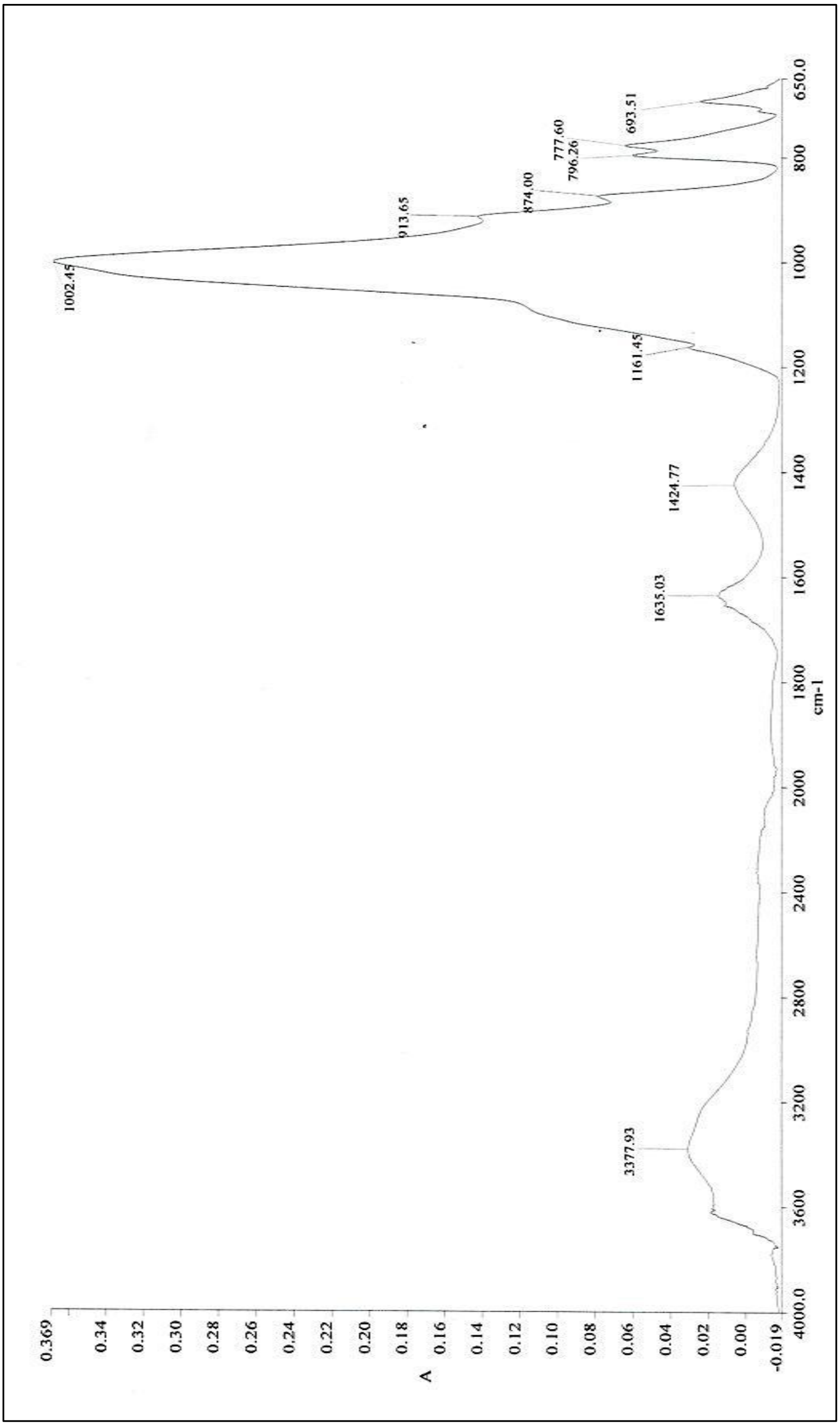
ภาพที่ ก. 13 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 07



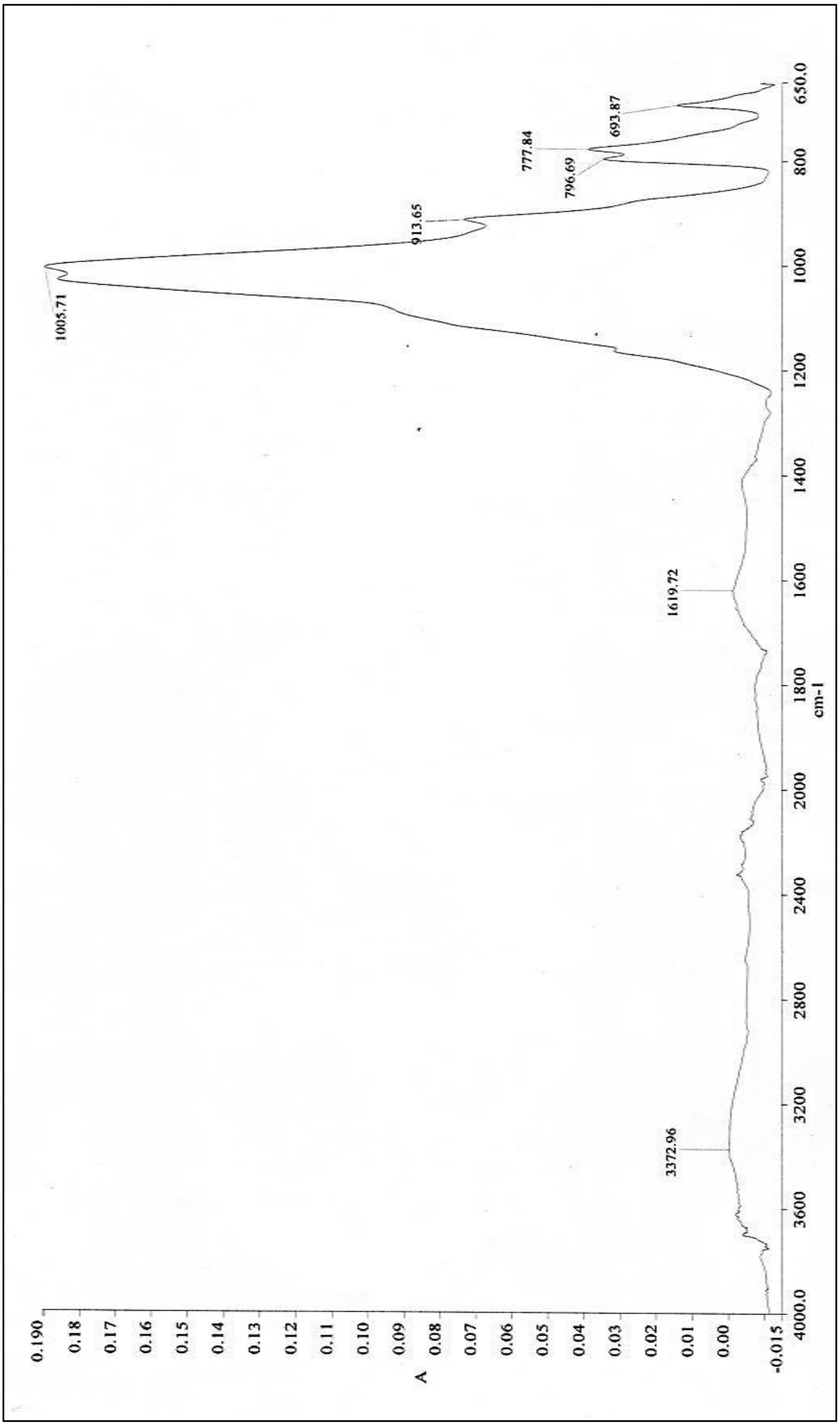
ภาพที่ ก. 14 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 08



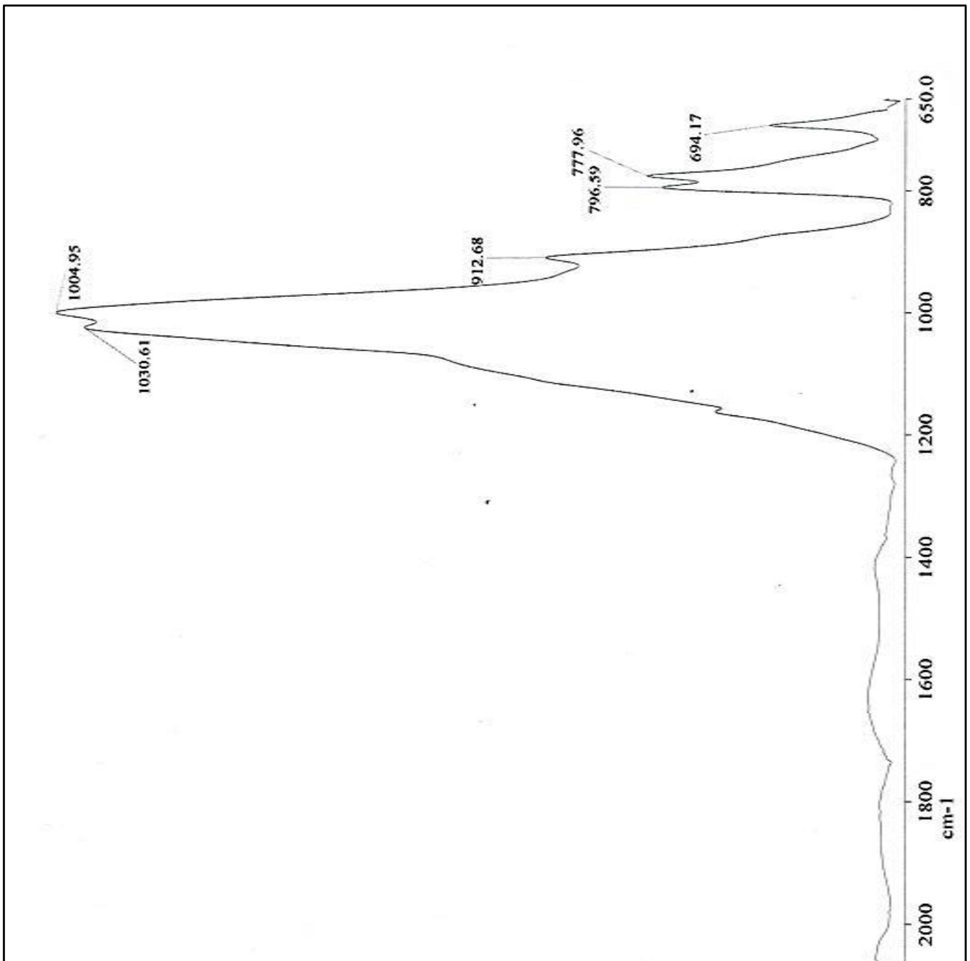
ภาพที่ ก. 15 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 09



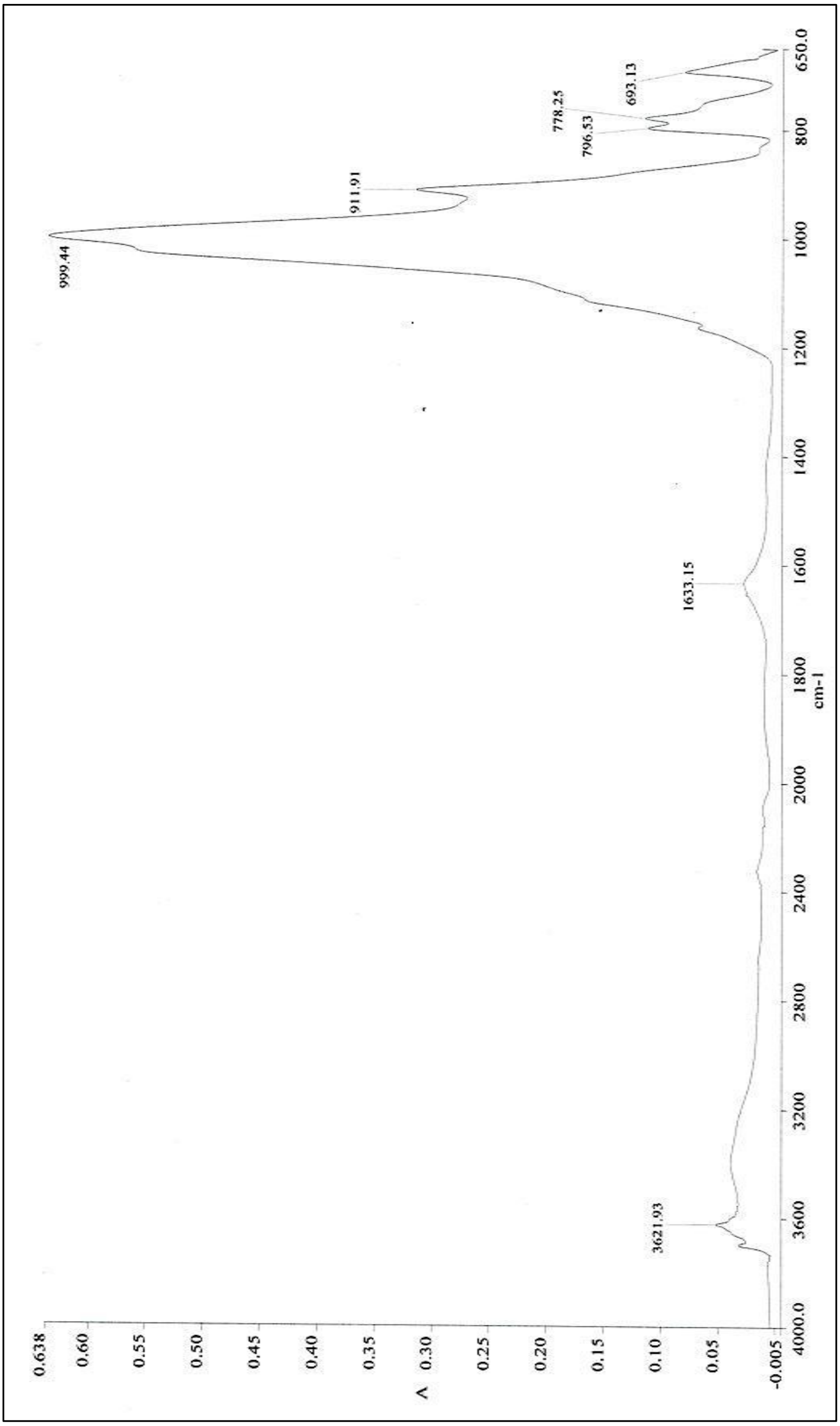
ภาพที่ ก. 16 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 10



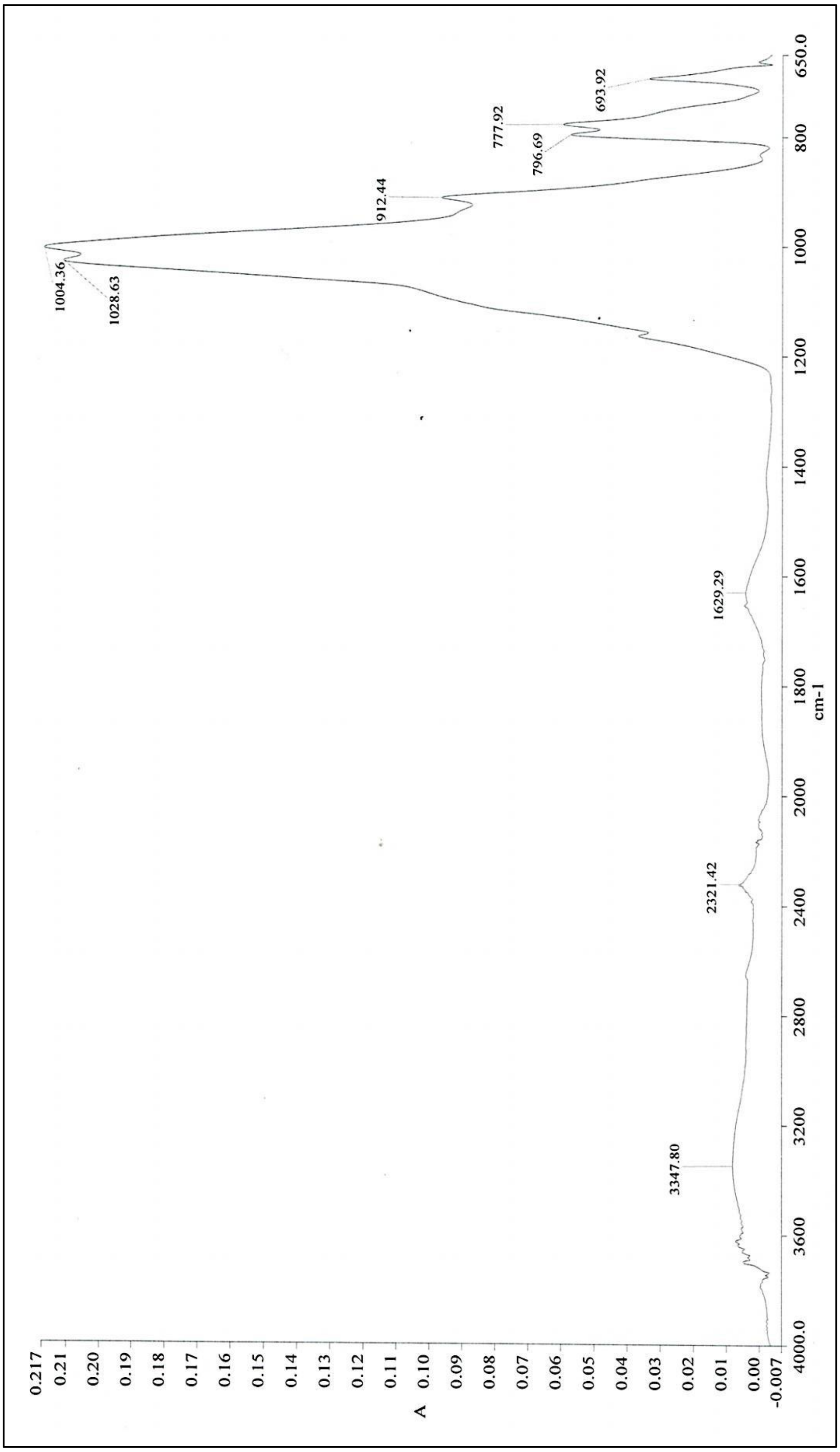
ภาพที่ ก. 17 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 11



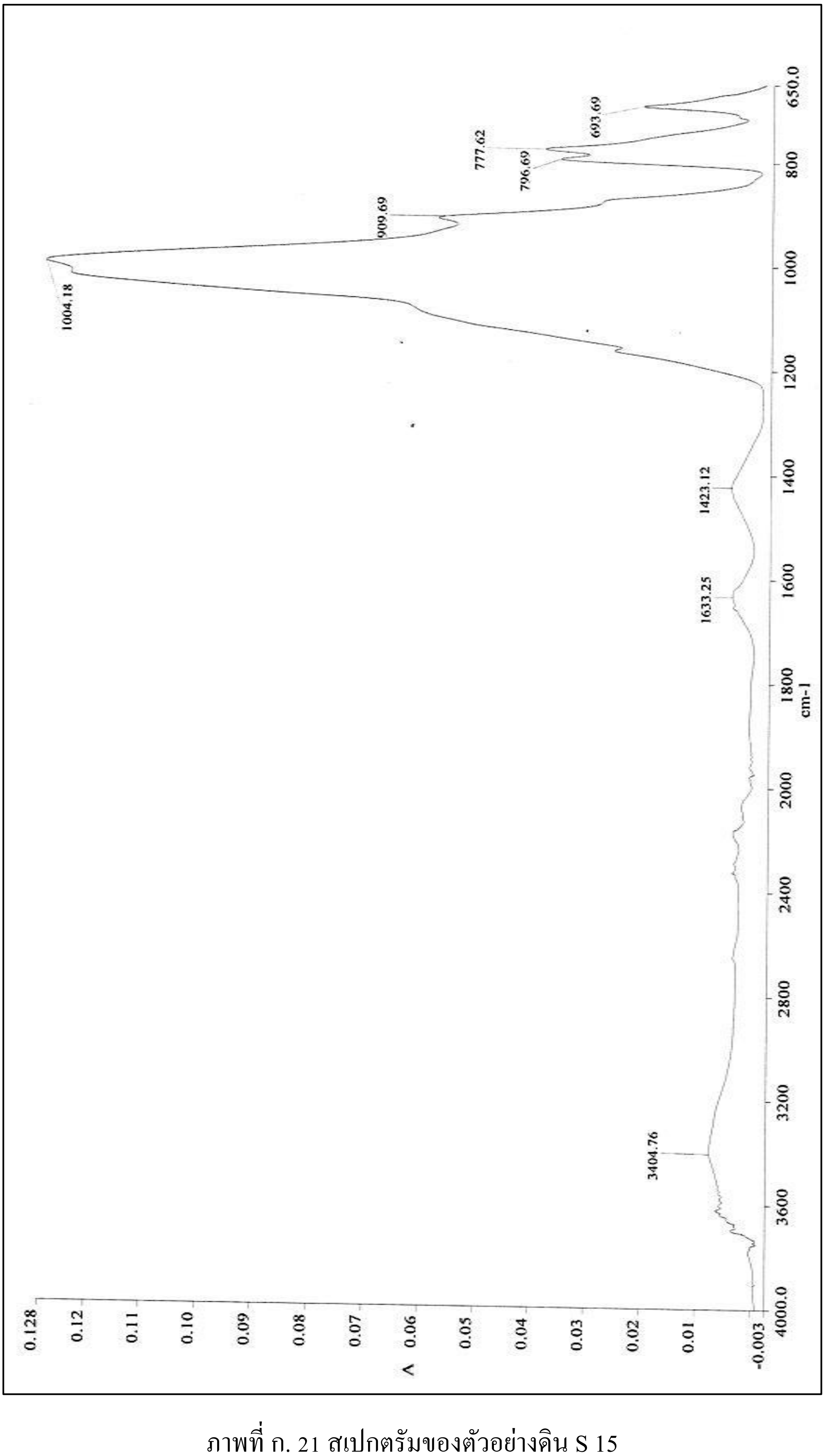
ภาพที่ ก. 18 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 12



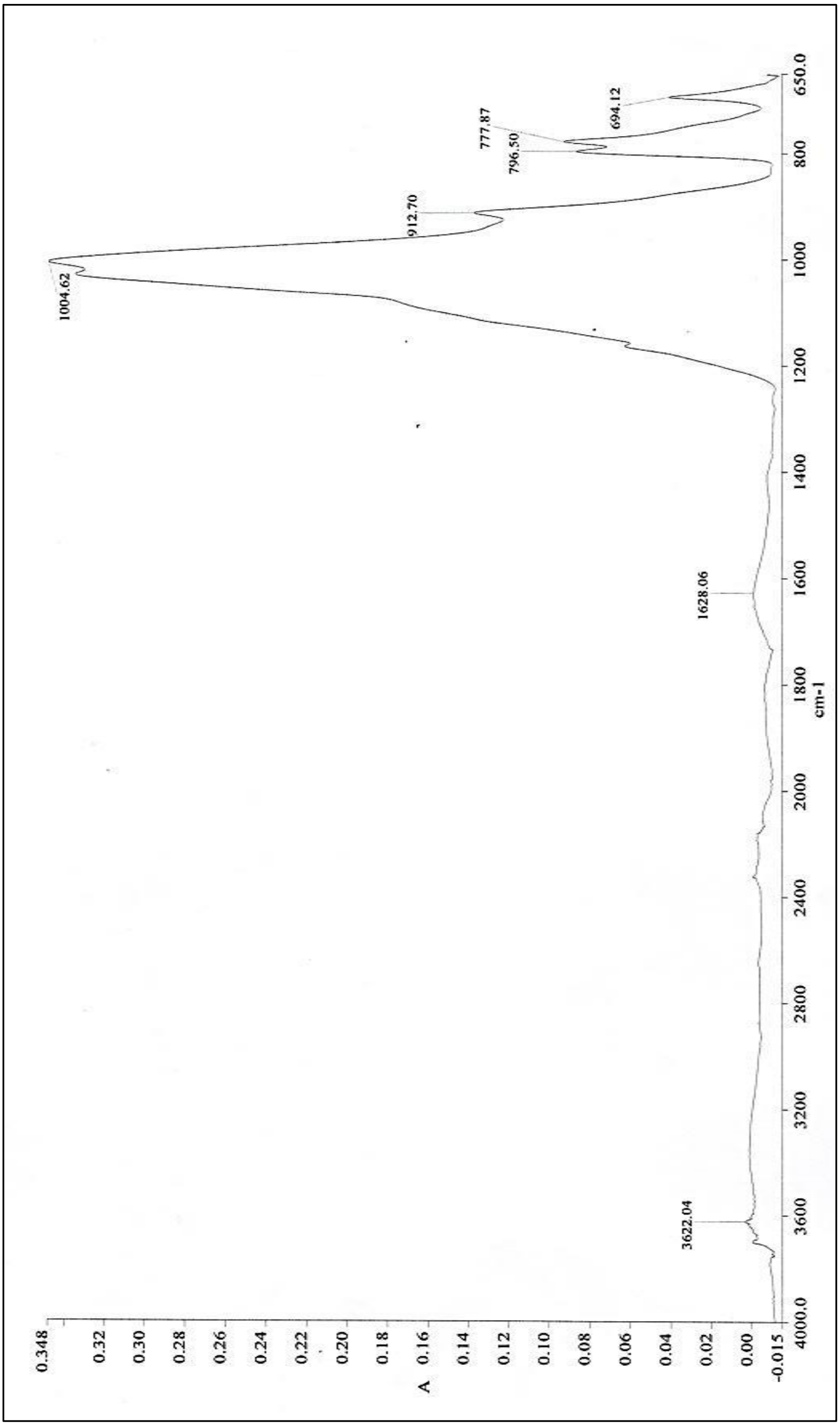
ภาพที่ ก. 19 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 13



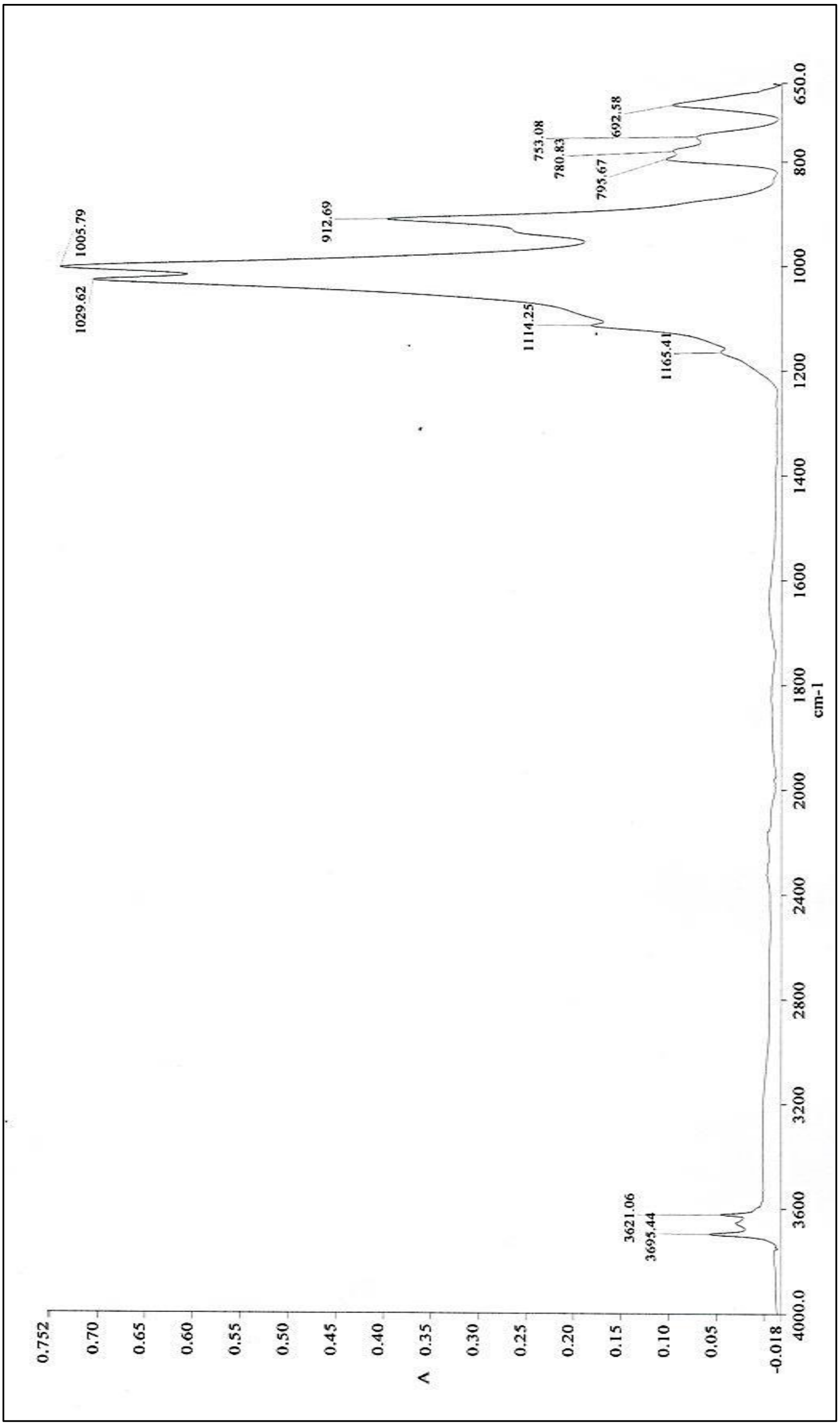
ภาพที่ ก. 20 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 14



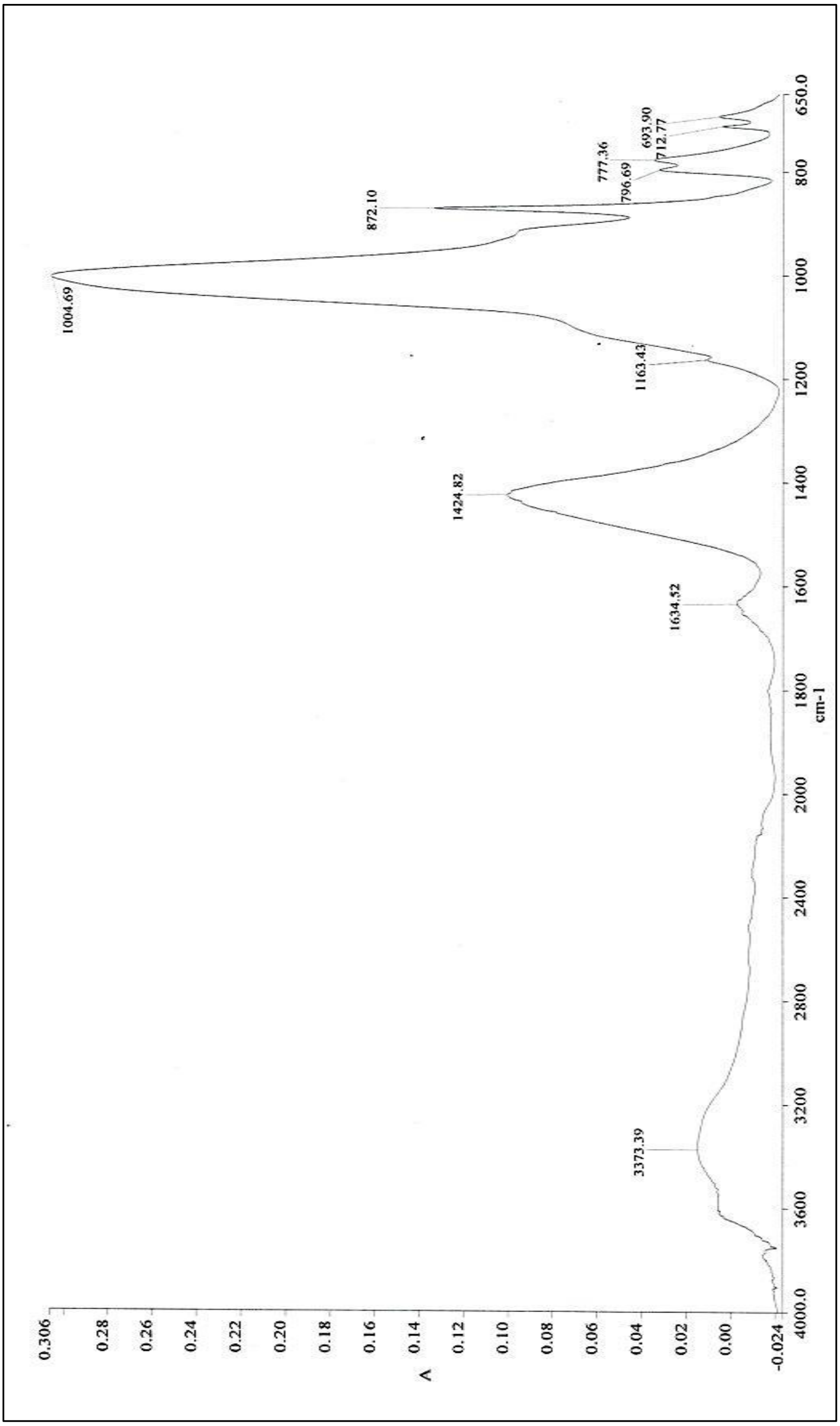
ภาพที่ ก. 21 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 15



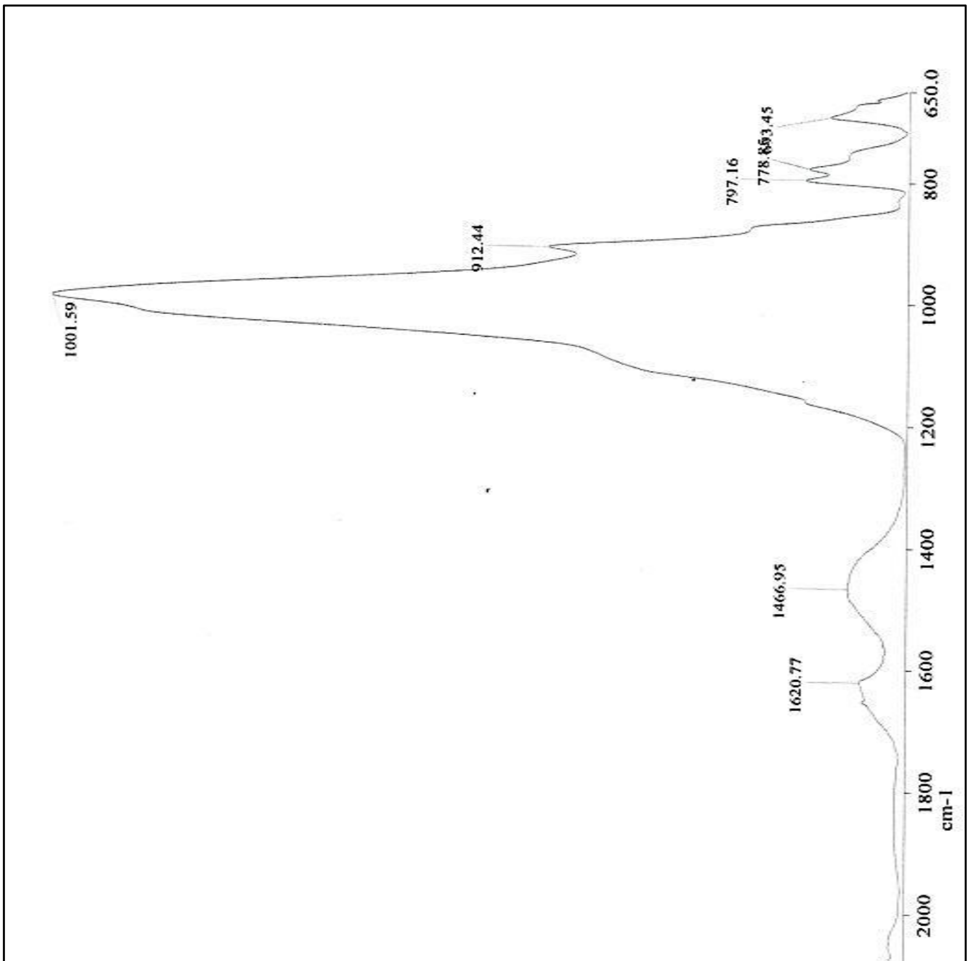
ภาพที่ ก. 22 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 16



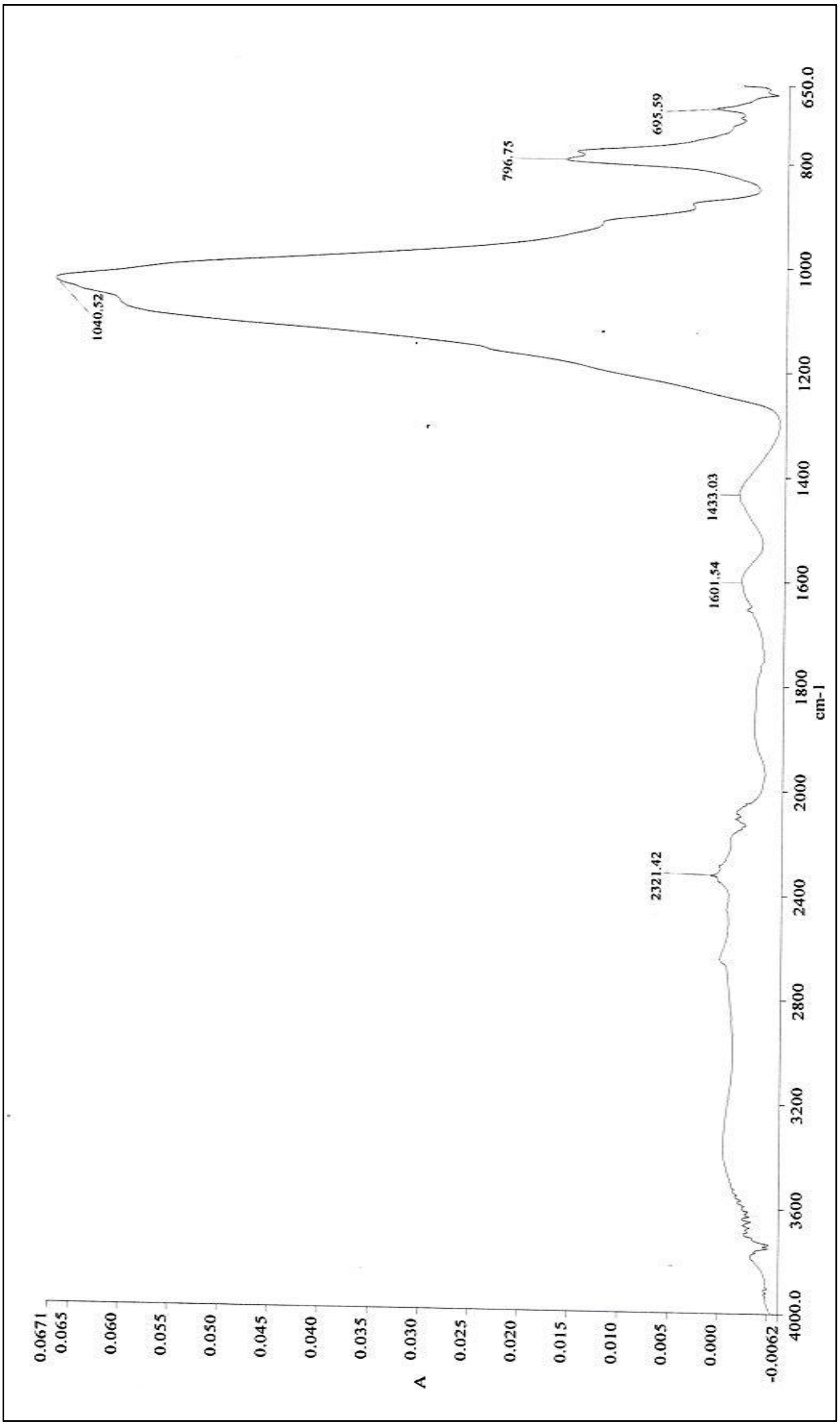
ภาพที่ ก. 23 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 17



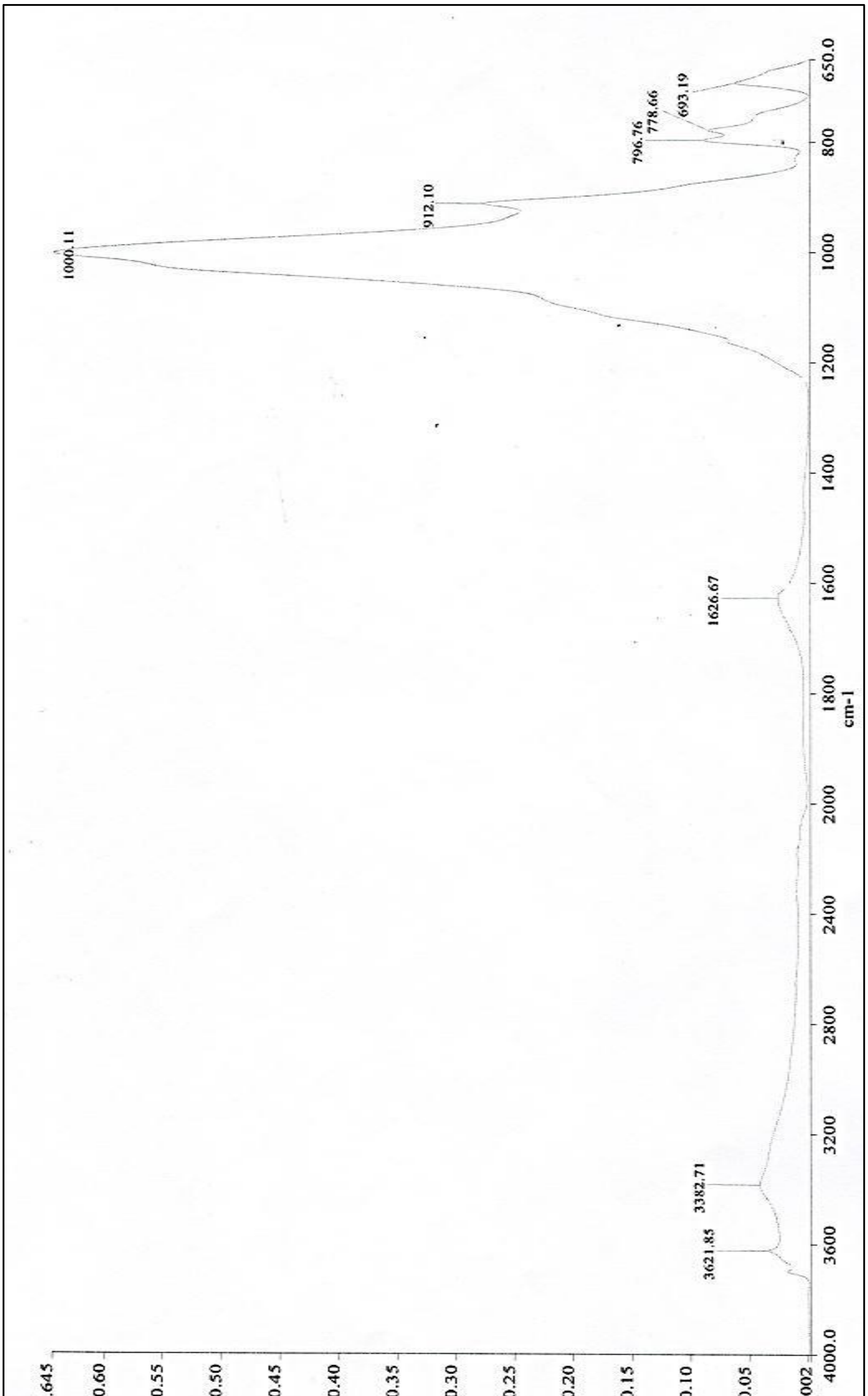
ภาพที่ ก. 24 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 18



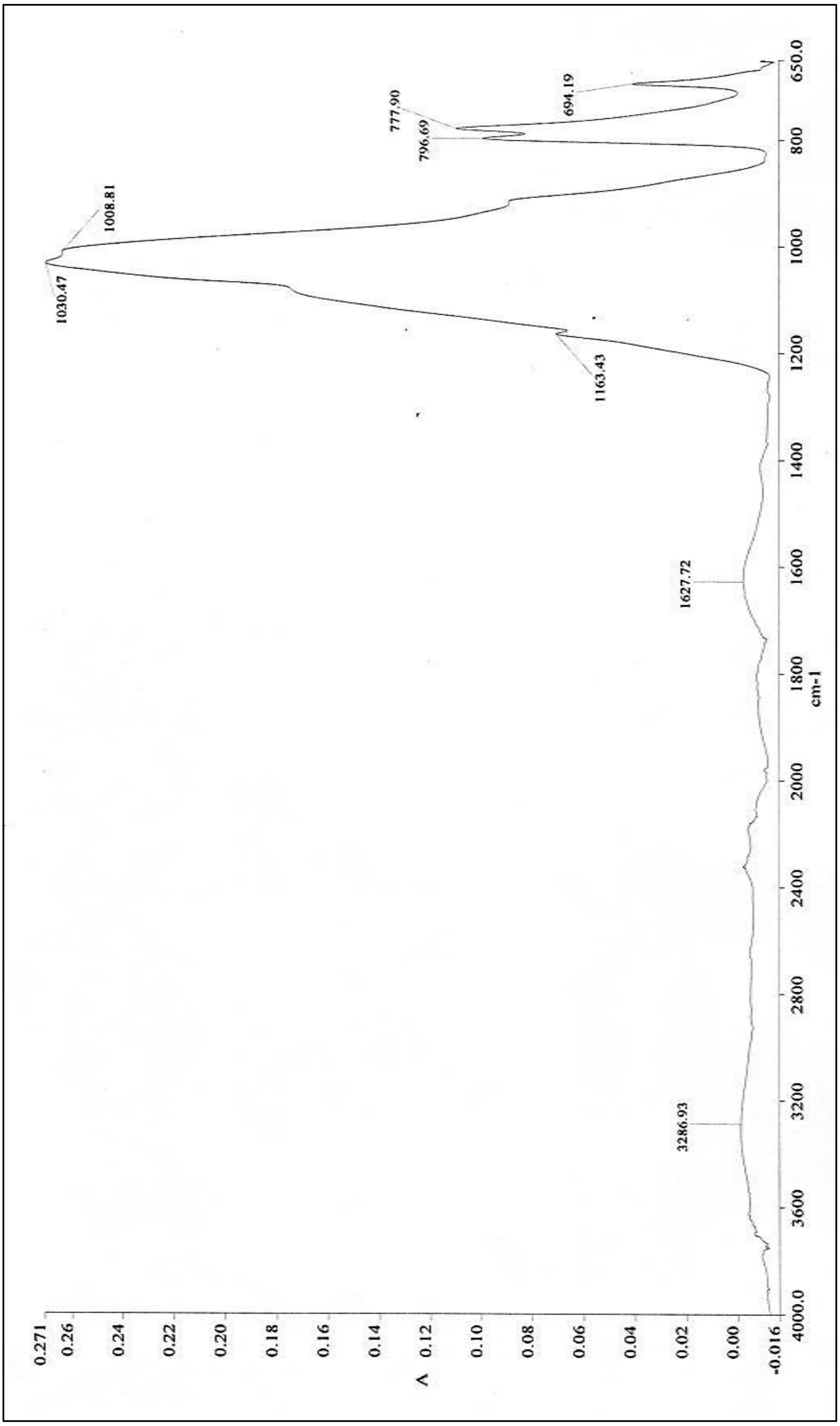
ภาพที่ ก. 25 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 19



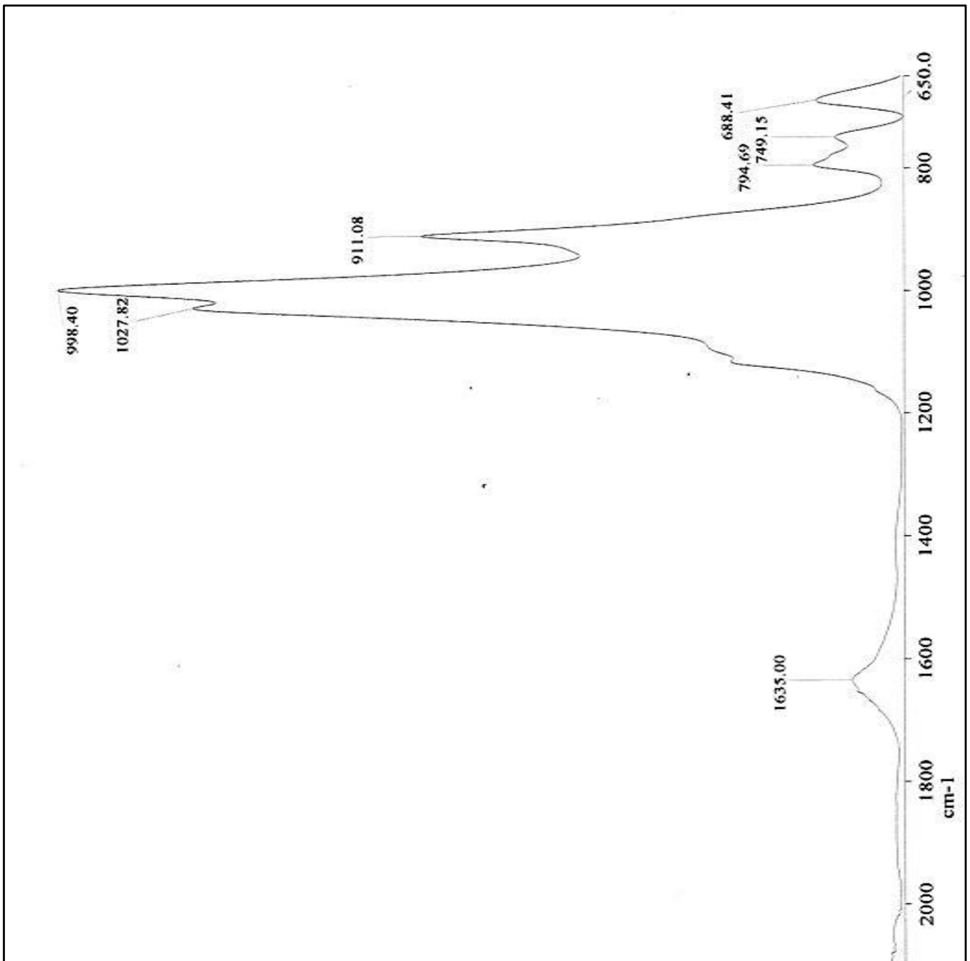
ภาพที่ ก. 26 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 20



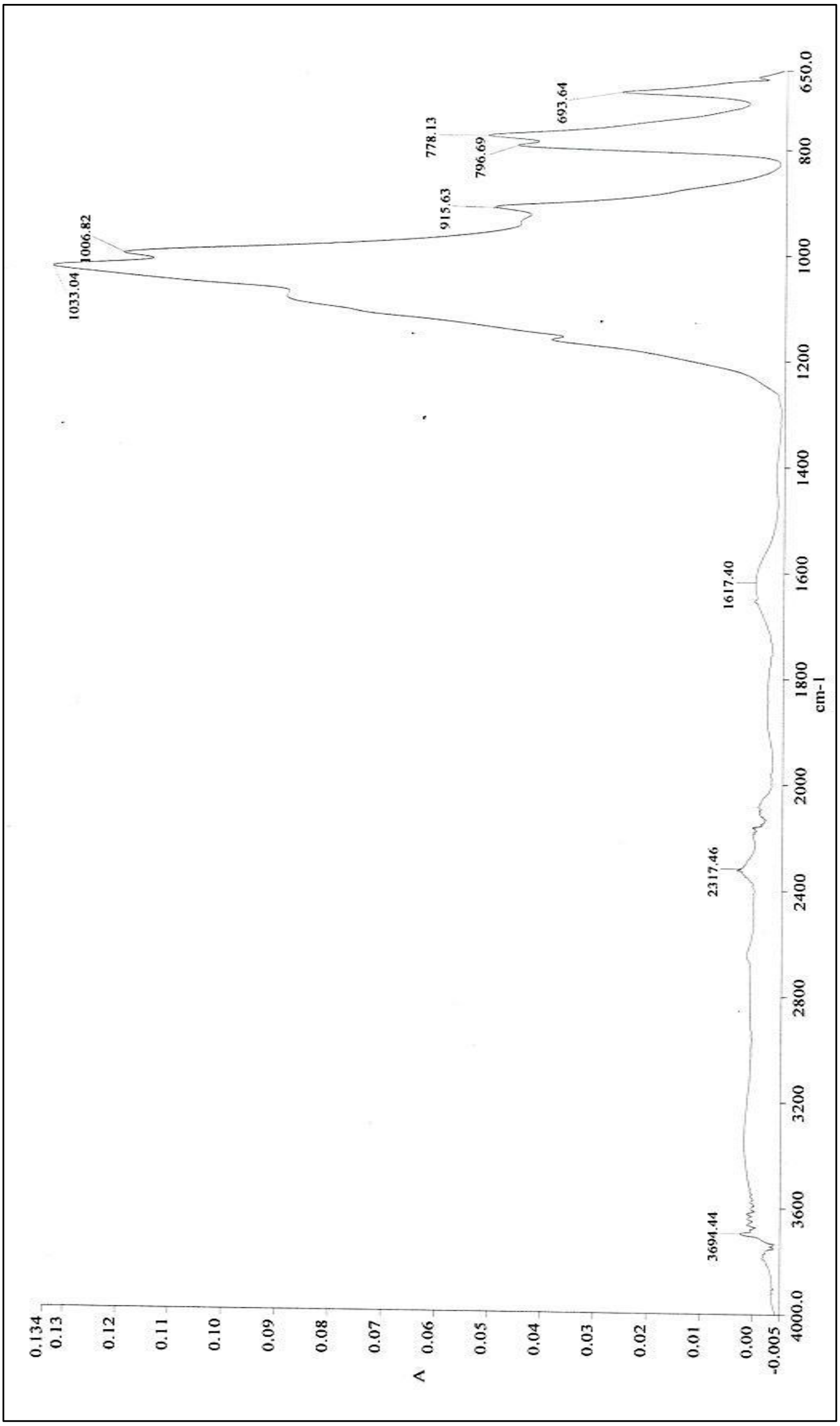
ภาพที่ ก. 27 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 21



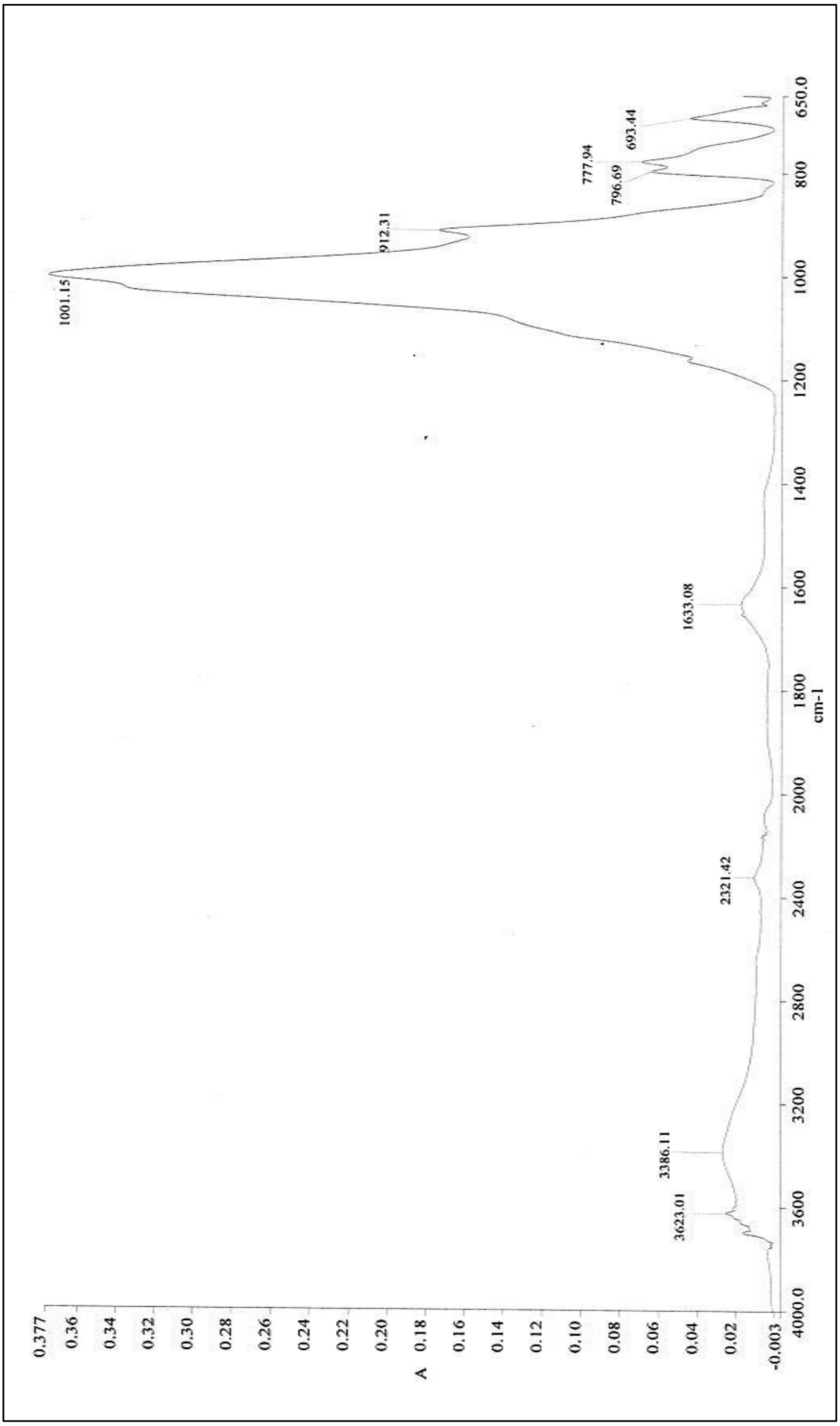
ภาพที่ ก. 28 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 22



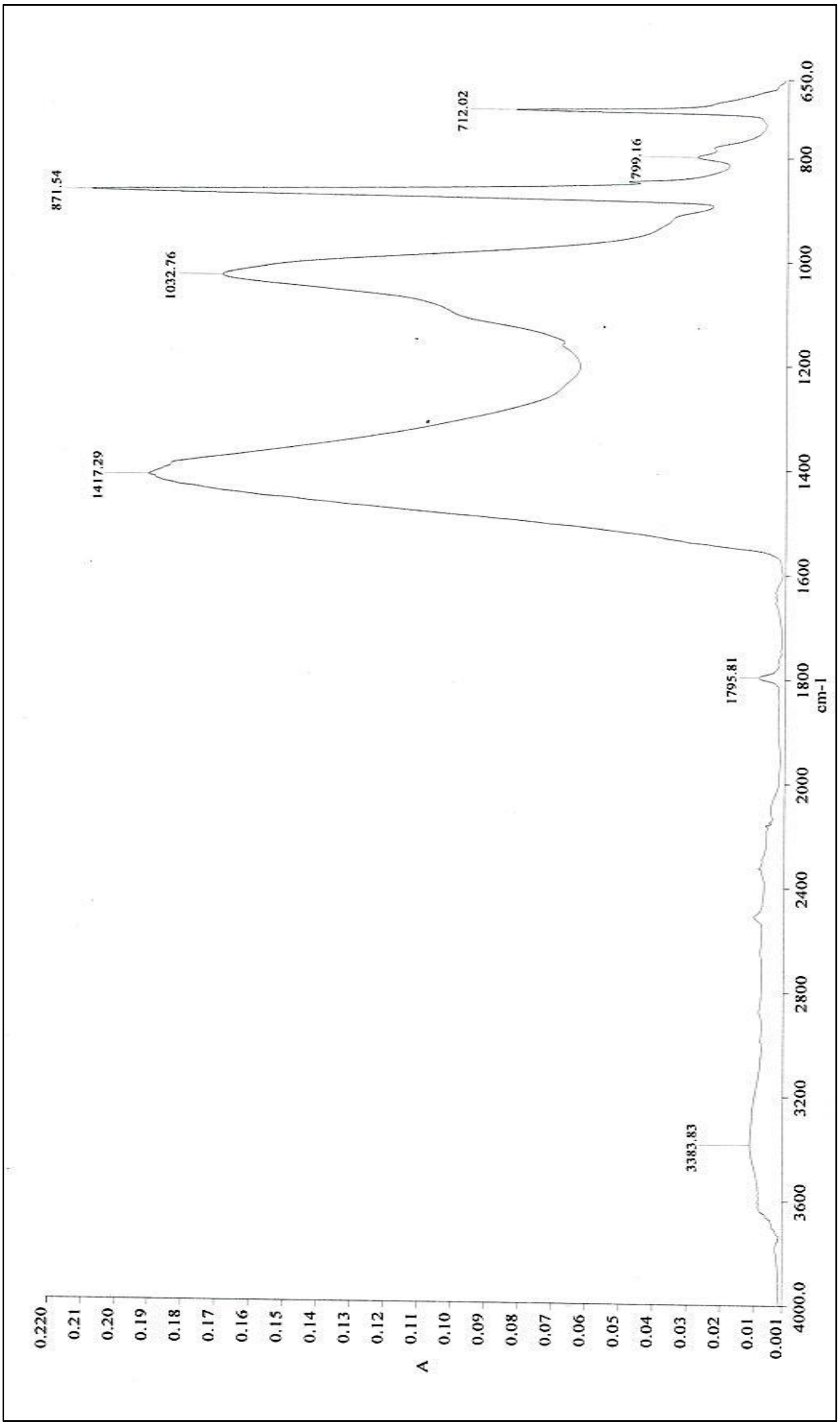
ภาพที่ ก. 29 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 23



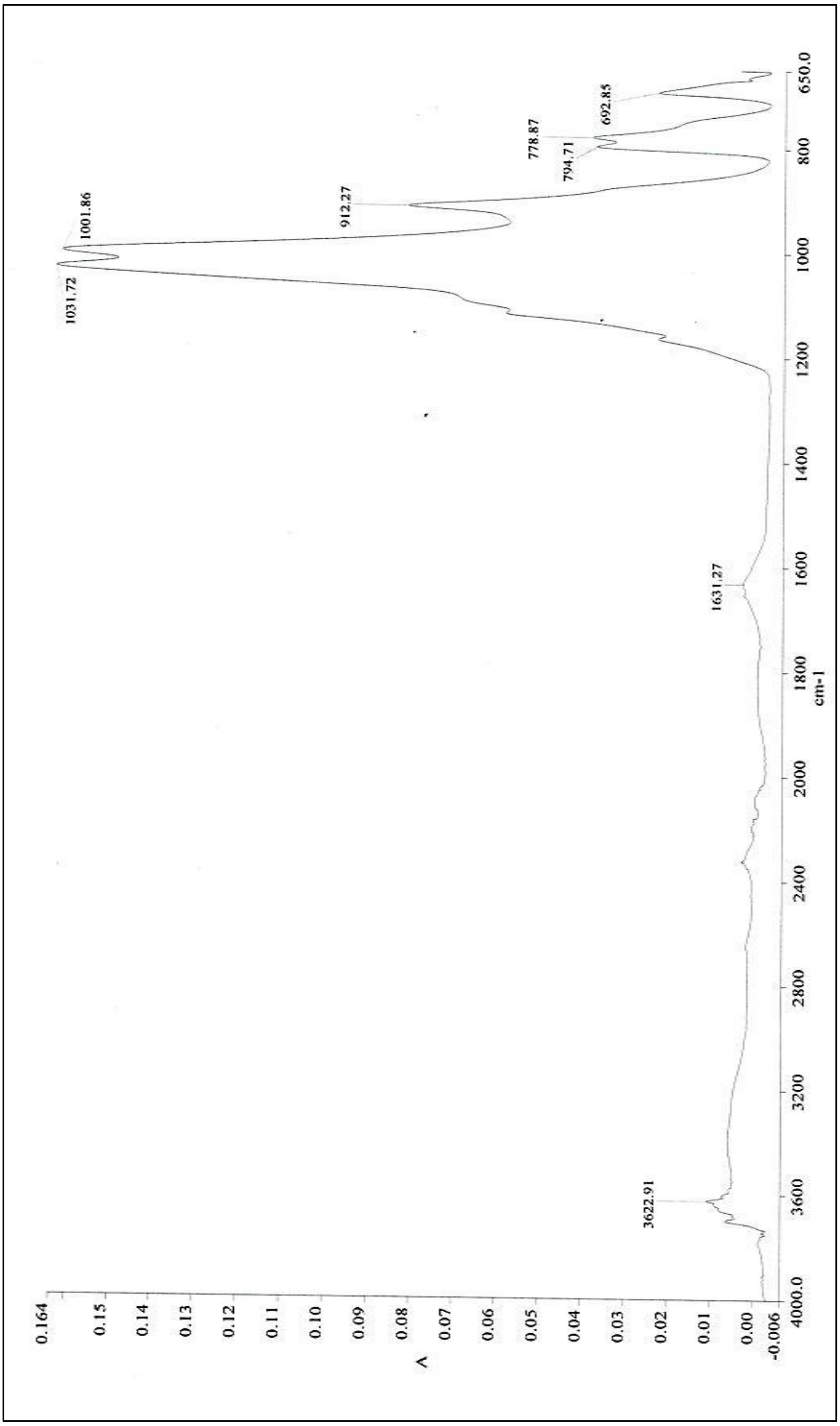
ภาพที่ ก. 30สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 24



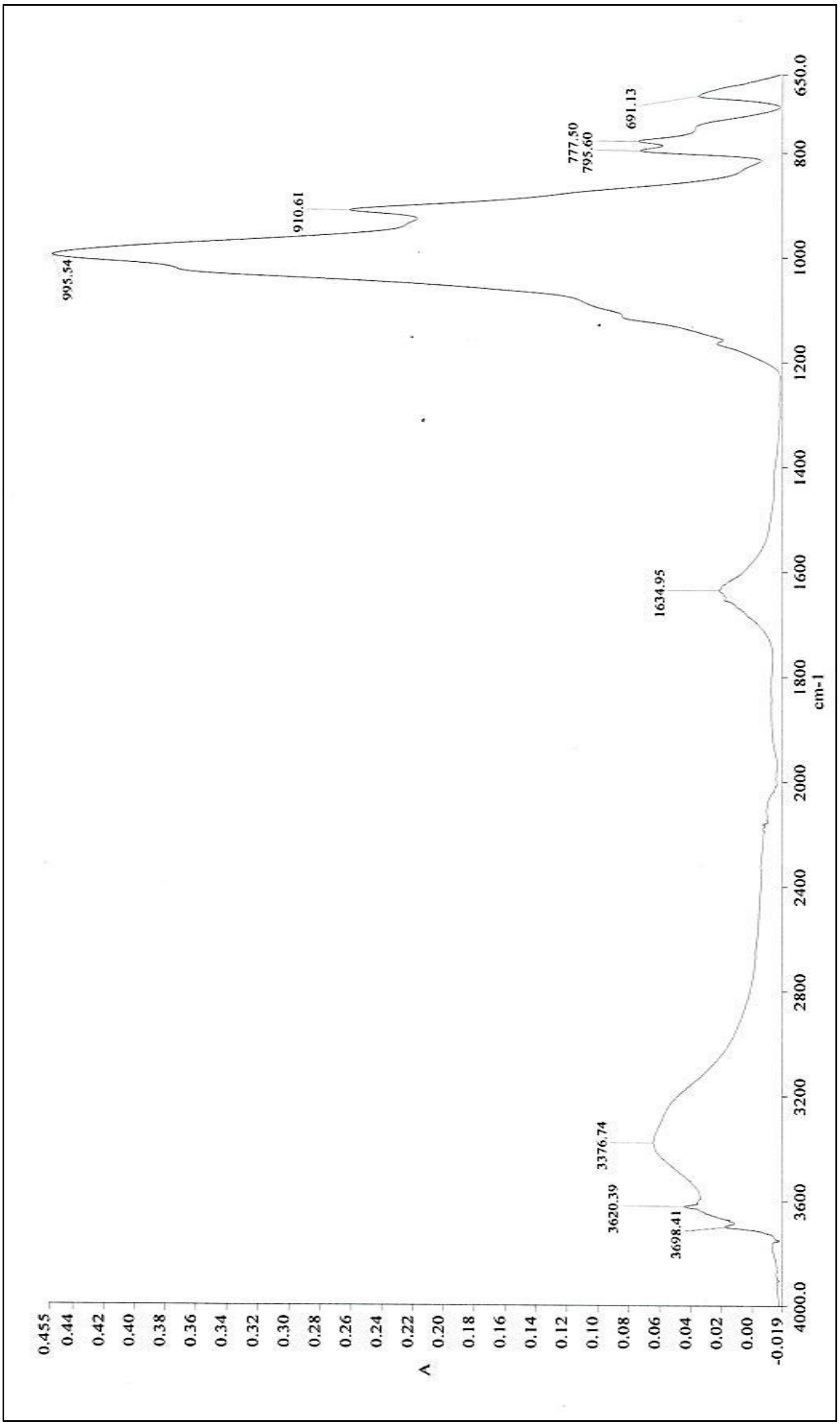
ภาพที่ ก. 31 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 25



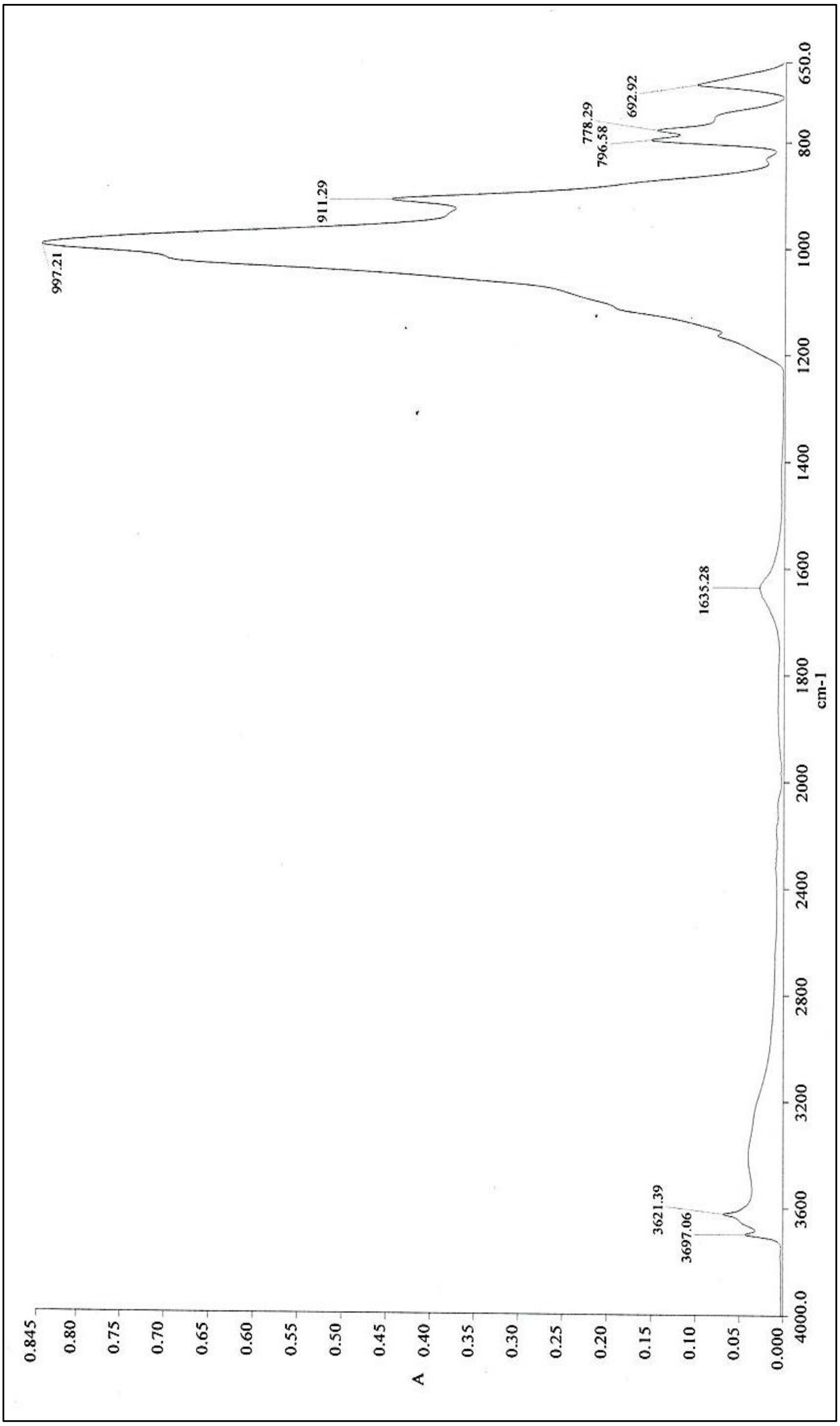
ภาพที่ ก. 32 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 26



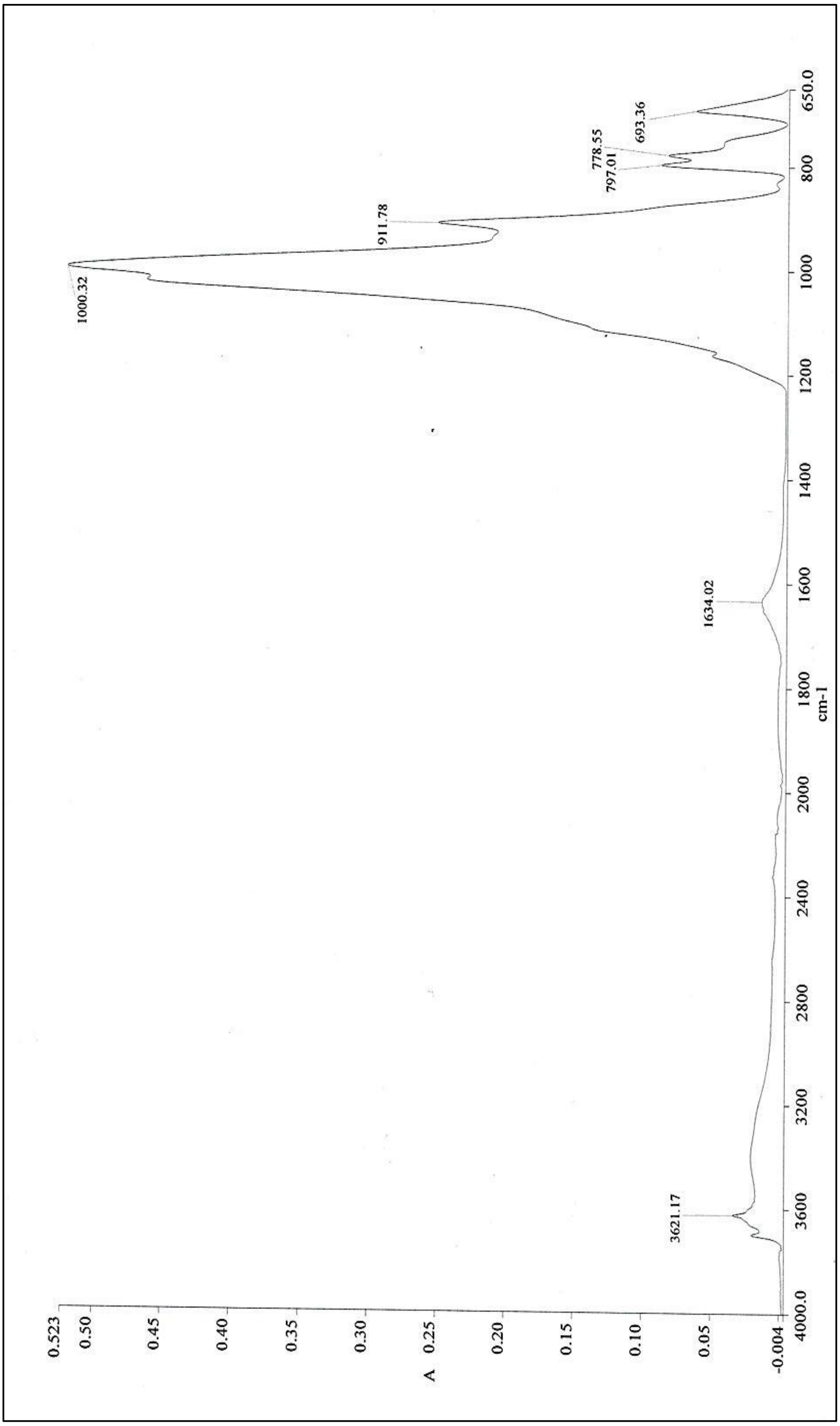
ภาพที่ ก. 33 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 27



ภาพที่ ก. 34 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 28



ภาพที่ ก. 35 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 29



ภาพที่ ก. 36 สเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 30

รายการอ้างอิง

1. *Forensic examination of soil evidence.* , in *13th INTERPOL Forensic Science Symposium.* 2001: Lyon. France.
2. *Forensic Soil Analysis* 2017 [cited 2559 15 ธันวาคม]; Available from: http://www.crimemuseum.org/crime-library/forensic-soil-analysis
3. มลพิษทางดิน [cited 2016 12/15]; Available from: http://www.il.mahidol.ac.th/emedia/ecology/chapter4/chapter4_soil1.htm
4. Dawson, L.A. and S. Hillier, *Measurement of soil characteristics for forensic applications.* Surface and Interface analysis, 2010. **45**(5): p. 363-377.
5. ไทพีศรีนิวัติ ภักดีกุล, การตรวจหาพยานหลักฐานจากสถานที่เกิดเหตุ. 2 ed. 2004, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
6. เจริญชัย เหลืองอ่อน, การวัดสีด้วยเทคนิค *UV-VIS-NIR Spectrophotometer.* วารสาร MTEC, 2553.
7. ดินและการเกิดดิน [cited 2016 12/15]; Available from: http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/AboutSoils57.htm
8. ทรัพยากรดิน [cited 2016 12/15]; Available from: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/subsoil/soil.htm.
9. การตรวจวัดสีดิน [cited 2016 12/20]; Available from: http://globethailand.ipst.ac.th/?page_id=3865.
10. ยงยุทธ โอสถสภา ศุภมาศ พณิชศักดิ์พัฒนา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจู, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. 8 ed. 2541, กรุงเทพ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 240.
11. เย็นหทัย แน่นหนา, สเปกโทรสโกปี สำหรับเคมีอินทรีย์. 2549, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 530.
12. แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. 2 ed. 2535, กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์. 885.
13. ณรงค์ ไชยสุต, วิธีการวิเคราะห์โดยอุปกรณ์ 9ed. 2548, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 870.

14. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* 2013 [cited 2559 22 ธันวาคม]; Available from: http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/chemistry/23-2013-09-04-02-40-21.

15. Antoci, P. and N. Petraco, *A Technique for Comparing Soil Colors in the Forensic Laboratory.* Journal of Forensic Sciences, 1993. **38**(2): p. 437-441.

16. Sugita, R. and Y. Marumo, *Validity of color examination for forensic soil identification.* Forensic Science International, 1996. **83**(3): p. 201-210.

17. Cox, R.J., et al., *The forensic analysis of soil organic by FTIR.* Forensic Science International, 2000. **108**(2): p. 107-116.

18. Atherton , T., et al., *The forensic analysis of soil by FTIR with multivariate analysis.*, in *In: VII Colloquium Chemiometricum Mediterraneum* 2010: Granada.

19. TINTI, A. and V. TUGNOLI, *Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR).* Journal of Central European Agriculture., 2015. **16**(1): p. 1-22.

20. Robertson, A. H. J. , et al. , *In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications.* Spectroscopy, 2015. **30**(8): p. 22-30.

21. รายงานทางวิชาการชุดแร่ดิน. 2558: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

22. ดินสอพอง. [cited 2016 12/25]; Available from: http://www.siamchemi.com/ดินสอพอง.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายศรัณย์ธรรม์ ภูริจารุยางกูร
วัน เดือน ปี เกิด	15 พฤษภาคม 2521
สถานที่เกิด	สระบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	69/2 ถนนสุดบรรทัด ซอย 15 ตำบลปากเพรียว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 18000

มหาวิทยาลัยศิลปากร