

การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน

Soil Analysis Using FTIR Method and Soil Color Determination

ศรัณย์ธรรม ภูริจารุยกุน¹ ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี² และศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง²

Saranthum Phurijaruyangkun¹, Supachai Supaluknari² and Sirirat Choosakoonkriang²

¹หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Forensic Science program, Faculty of Science, Silpakorn University

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University

*Corresponding author; E-mail: witmedtech@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวัดสี โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 30 ตัวอย่าง จากสถานที่ต่างๆ ที่มีสภาวะแวดล้อมต่างกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ให้ IR สเปกตรัมโดยแสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดินในอัตราส่วนที่ต่างกัน ผลจากการวัดสีดินด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามระบบสี CIE L*a*b* พบว่าค่า L*a*b* ที่วัดได้มีความแตกต่างกัน แม้ว่าเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าตัวอย่างดินจะมีสีคล้ายคลึงกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ในการยืนยันแหล่งที่มาของดิน อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ง่าย และสะดวกในการเตรียมตัวอย่าง

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ดิน การวัดสีดิน เอฟทีไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

Abstract

The objective of this study was to determine the difference of soil sample by using Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and color determination methods. Thirty soil specimens were collected from locations of different environments. The IR spectra of the samples revealed the presence 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 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 simple and convenient to prepare soil sample.

Keyword : Soils analysis, Color determination, FTIR, Spectrophotometer

บทนำ

ดินเป็นหลักฐานทางกายภาพที่สำคัญในการสืบสวนคดีอาชญากรรมที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างการพิสูจน์ผู้ต้องสงสัยและสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ [1] Forensic soil analysis คือการใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ธรณีและสาขาวิชาอื่นๆ เพื่อช่วยสืบสวนคดีอาชญากรรม ดินเป็นเหมือนรอยนิ้วมือเนื่องจากดินแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องหมายประจำตัว ซึ่งหมายความว่าสามารถระบุแหล่งที่มาของตัวอย่างดินได้ [2] ดินมีองค์ประกอบของแร่ธาตุออกไซด์อินทรีย์ จุลินทรีย์ รวมทั้งสารประกอบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากการสลายตัว ผุพังของหินชนิดต่างๆ โดยใช้เวลายาวนาน หินที่สลายตัวผุกร่อนนี้จะมีขนาดต่างๆ กัน เมื่อผสมรวมกับซากพืช ซากสัตว์ น้ำ อากาศ ก็กลายเป็นเนื้อดิน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ส่วนประกอบของดินมี 4 ส่วนหลัก ได้แก่ แร่ธาตุ อินทรีย์วัตถุ อากาศ และน้ำ [3] จากลักษณะโครงสร้างของดินรวมถึงองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวในพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ทำให้

สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ ดินอาจจะให้หลักฐานที่สำคัญสามารถช่วยเชื่อมโยงไปยังสถานที่เกิดเหตุ หรือให้ข้อมูลทางธรณีวิทยารวมถึงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ที่ก่ออาชญากรรม การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เช่น ชนิดดิน สีดิน และวิเคราะห์องค์ประกอบของดินอาศัยเทคนิคต่าง ๆ อาทิเช่น 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 เก็บจากตัวผู้ต้องสงสัย หรือคนร้ายโดยอาจจะพบได้ตามเสื้อผ้า รองเท้า หรือแม้แต่อย่างรถยนต์ อาจจะใช้เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ก่อคดีอาชญากรรมว่าได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานที่เกิดเหตุหรือไม่ [5]

Antoci และ Petraco [6] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสีของตัวอย่างดินโดยเปรียบเทียบกับชาร์ตสีของ Munsell พบว่าผลการศึกษาที่ได้สามารถช่วยในการยืนยันตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ การศึกษาตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ จำนวน 73 ตัวอย่าง โดยการเปรียบเทียบกับชาร์ตสี Munsell



หลังจากนำตัวอย่างไปตากให้แห้งเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และกำจัดเหล็กออกไซด์ พบว่าสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้ 97% [7] นอกจากนี้ Cox [8] ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของดิน โดยใช้ตัวอย่างดินกว่า 100 ชนิด ด้วยการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม เช่น การเปรียบเทียบสีเปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์ ความหนาแน่น และนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ในการวิเคราะห์แยกตัวอย่างดิน โดยพิจารณาจากปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดิน งานวิจัยดังกล่าวเลือกตัวอย่างดิน 4 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าสี Munsell เหมือนกันอย่างไรก็ตาม สามารถแยกความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งมีประโยชน์ในงานสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ Atherton และคณะ [9] ได้ศึกษาตัวอย่างดินโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่า ค่าสเปกตรัม ที่ตรวจวัดได้ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของดินระหว่างตัวอย่างดินที่มีต้นกำเนิดแตกต่างกันได้ แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR มีความละเอียดเพียงพอในการตรวจวัดความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างตัวอย่างที่นำมาจากพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่เก็บตัวอย่าง การประยุกต์ใช้ สเปกโทรสโกปี ช่วงกลางอินฟราเรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิค Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRIFT) และเทคนิค Attenuated Total Reflectance (ATR) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบของดิน และอินทรีย์วัตถุในดินโดยวิเคราะห์ ค่า deconvolution, derivative และ chemometrics เพื่อเพิ่มความถูกต้อง และรวดเร็วในการตรวจวิเคราะห์ การวิจัยพบว่าทั้ง DRIFT และ ATR เป็นเทคนิคที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจำนวนมาก โดยให้ค่า

สเปกตรัมที่มีความถูกต้อง สามารถทำนายพารามิเตอร์เชิงปริมาณ เช่น อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N), lignin, carbonyl-C, aromatic-C, O-alkyl-C และสารประกอบของ alkyl-C จากผลการทดลองพบว่า อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างดินได้ [10] นอกจากนี้—ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR ในช่วงเลขคลื่น 4,000-400 cm^{-1} เพื่อหาหลักฐานในคดีทางนิติวิทยาศาสตร์ เปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ พบว่าการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ให้ผลสเปกตรัมที่สามารถใช้เชื่อมโยงเหตุการณ์ได้ [11]

จากความสำคัญและปัญหาในการตรวจวิเคราะห์ดิน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตรวจวิเคราะห์สีของดินด้วยเทคนิค Spectroscopy ด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ มีความหมาย ดังนี้ แกน L^* บรรยายความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a^* บรรยายแกนสี จากสีเขียว ($-a^*$) จนถึงสีแดง ($+a^*$) แกน b^* บรรยายแกนสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$) [12] และวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ได้หลายประเภท อาทิเช่น ตรวจวิเคราะห์แป้งที่ใช้เป็นเครื่องสำอาง [13] ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าชนิดต่าง ๆ [14] โดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัม ที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิค



FTIR เป็นการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดิน ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นเทคนิคที่รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในการวิเคราะห์ สามารถบอกถึงองค์ประกอบของดินจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

วิธีการวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่างๆ จำนวน 30 ตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ ดัง Table 1

Table 1. Color and types of soil samples

No.	Color	Texture	No.	Color	Texture
S 01	Brown-gray	Silt	S 16	Beige	Silt
S 02	Gray	Clay	S 17	Orange-red	Skeletal soils
S 03	Black	Clay	S 18	Brown	Loam
S 04	Yellow-brown	Clay	S 19	Gray	Loam
S 05	Yellow-brown	Clay	S 20	Black	Loam
S 06	Brown	Loam	S 21	Brown	Clay
S 07	Brown	Loam	S 22	Beige	Clay
S 08	Orange-red	Silt	S 23	Black	Loam
S 09	Gray	Silt	S 24	Gray	Loam
S 10	Brown	Loam	S 25	Gray	Loam
S 11	Brown	Clay	S 26	White	Marl
S 12	Beige	Clay	S 27	Brown-red	Clay
S 13	Gray	Clay	S 28	Brown-red	Clay
S 14	Orange-red	Clay	S 29	Beige	Clay
S 15	Brown-red	Clay	S 30	Beige	Clay



เครื่องมือตรวจวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างดินโดยนำตัวอย่างดินมาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยไม่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดก่อนนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค FTIR และการวัดสีดิน

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR สภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ ทำการสแกนในช่วงเลขคลื่น $4,000-650\text{ cm}^{-1}$ Resolution 4 cm^{-1} จำนวนสแกน 32 รอบต่อครั้ง ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง/ตัวอย่าง โดยบันทึกสเปกตรัมที่วัดได้เป็นค่า Absorbance จากนั้นทำการปรับ Smooth และ Baseline ตามลำดับโดยใช้ Software ที่ติดตั้งมากับเครื่อง FTIR Spectrometer จะได้สเปกตรัมที่พร้อมสำหรับวิเคราะห์ผลต่อไป

การตรวจวัดสีตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Spectroscopy โดยนำตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Agilent Cary 60 Spectrophotometer ทำการตรวจวัดในช่วง ความยาวคลื่น $830-360\text{ nm}$ และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัด ดังนี้ Measurement mode : % R, Scanning Range ($\times 10^{-9}\text{ m}$) : $360-830$, Slit width ($\times 10^{-9}\text{ m}$) : 1.0 , Scan Speed : Medium, Standard illuminant : D65, Observation Angle : 2° , Color Scale : CIE L*a*b*

ผลการวิจัย

ตัวอย่างดินที่นำมาตรวจวิเคราะห์มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันตามพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง โดยพบว่าตัวอย่างดินทั้งหมดสามารถจำแนกชนิดของ

ตัวอย่างดินได้ 4 ชนิดคือ ดินเหนียว ดินร่วน ดินทราย และดินสีขาว ซึ่งดินเหนียวจะจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ มีสีเทา-ดำ ดินร่วนจะมีลักษณะเป็นเม็ดดินก้อนเล็กๆ สีน้ำตาล ส่วนดินทรายจะมีลักษณะเป็นเม็ดดินละเอียด สีเหลือง-ส้ม-แดง และดินสีขาว (ดินสอพอง) จะมีเม็ดดินที่คล้ายแป้งจับตัวกันเป็นก้อนขนาดเล็ก ดัง Figure 1

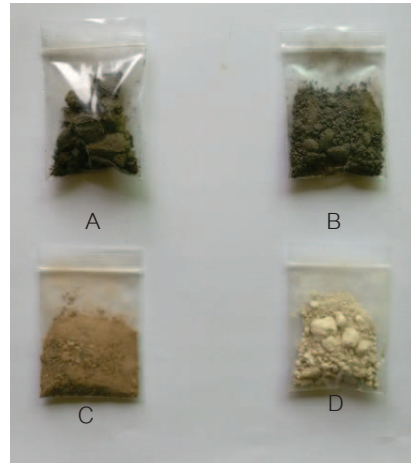


Figure 1. Color and Type of soil (A) Clay, (B) Loam, (C) Silt and (D) Marl

เมื่อนำตัวอย่างดินจำนวน 30 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR โดยช่วงเลขคลื่น $4,000-650\text{ cm}^{-1}$ พบพีคในช่วงเลขคลื่น $1,200-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งน่าจะเป็นช่วงเลขคลื่นของสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินคาดว่าน่าจะเป็นสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันคือ C-C, C-O, C-N stretching โดยจะพบได้ในทุก ๆ ตัวอย่าง และพบพีคที่เลขคลื่นประมาณ $1,000\text{ cm}^{-1}$ มีค่าการดูดกลืนแสงเป็นแบบ Strong peak ซึ่งน่าจะเป็นพีคของ Si-O stretching ของซิลิกา [15] เนื่องจากองค์ประกอบในดินมีซิลิกาในปริมาณมาก และพบพีคที่มีเลขคลื่น $3,400-3,200\text{ cm}^{-1}$ ได้น้อย มีค่าการดูดกลืนต่ำ ซึ่งน่าจะเป็นช่วงสเปกตรัมของน้ำ

(OH-stretching) เนื่องจากตัวอย่างดินที่นำมาใช้ มีการตากแดดให้แห้งเพื่อต้องการตรวจวัดอินทรีย์วัตถุ ที่เป็นองค์ประกอบแท้จริงในดินดังตัวอย่าง Figure 2a-e จาก Figure 2a แสดงสเปกตรัมของตัวอย่างดิน S 01 ที่เก็บจากแปลงนาปลูกข้าว ต.กุดพิมาน อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา จะพบพีคที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น ยังพบพีคที่ตำแหน่งประมาณ $2,100-2,300\text{ cm}^{-1}$ น่าจะเป็นพีคของสารประกอบที่มี หมู่ฟังก์ชัน $C\equiv N$ และ $C\equiv C$ และพบพีคที่ช่วงเลขคลื่น $1,650-1,600\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งน่าจะเป็นพีคของ $C=C$ stretching ของสารอินทรีย์ รูปแบบสเปกตรัมนี้ คล้ายคลึงกับสเปกตรัมที่พบได้ในตัวอย่างที่ S 03, S 09, S 11, S 18, S 19 และ S 22

จาก Figure 2b ตัวอย่างดินที่ S 06 เก็บจากไร่ ข้าวโพด ต.พุกวาง อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี พบเลขคลื่นในช่วง $3,400-3,200\text{ cm}^{-1}$, $1,650-1,600\text{ cm}^{-1}$ และ $1,200-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งคล้ายคลึงกับ Figure 2a แต่จะพบพีคในช่วงเลขคลื่น $1,500-1,300\text{ cm}^{-1}$ ที่เด่นชัด ซึ่งแสดงองค์ประกอบในดินที่มี หมู่คาร์บอนเนตเป็นองค์ประกอบและพีคที่ตำแหน่งประมาณ $2,100-2,300\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งน่าจะเป็นพีคของสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชัน $C\equiv N$ และ $C\equiv C$ ที่มีค่าการดูดกลืนน้อย รูปแบบสเปกตรัมนี้พบในตัวอย่างดินอื่น ๆ คือ S 02, S 07, S 10, S 15 และ S 26

Figure 2c เป็นตัวอย่างดินที่ S 23 เก็บจากสวนรุกขชาติ ต.มวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี พบสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น $3,400-3,200\text{ cm}^{-1}$, $1,650-1,600\text{ cm}^{-1}$, $1,500-1,300\text{ cm}^{-1}$ และ $1,200-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งคล้ายคลึงสเปกตรัมในรูป Figure 2a และพบเลขคลื่นในช่วง $3,600-3,500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งน่าจะเป็น

เลขคลื่นสเปกตรัมของ OH stretching ของ hydroxyl groups (OH bending) ซึ่งสเปกตรัมนี้พบได้ในตัวอย่างที่ S 04, S 05, S 13, S 16, S 21, S 25 และ S 27

สำหรับ Figure 2d เป็นตัวอย่างดิน S 20 เก็บจากไหล่ถนน ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน จ.นครปฐม พบสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นคล้ายกับตัวอย่างใน Figure 2a เช่นกัน และพบพีคที่ตำแหน่งช่วงเลขคลื่น $1,500-1,300\text{ cm}^{-1}$ ที่ซึ่งแสดงองค์ประกอบในดินที่มีหมู่คาร์บอนเนตเป็นองค์ประกอบ ดังเช่นตัวอย่างใน Figure 2b แต่การดูดกลืนน้อยกว่าซึ่งพบในสเปกตรัมตัวอย่างที่ S 09 และ S 24 ด้วย

จากผลการทดลองในรูป Figure 2e ซึ่งเป็นสเปกตรัมของตัวอย่างดินที่มีสีขาว เช่นดินสอพองดังตัวอย่างที่ S 26 จะพบสเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไปจากตัวอย่างดินอื่น ๆ โดยพบที่มีค่าการดูดกลืนโดยพบที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงในช่วงเลขคลื่น $1,200-650\text{ cm}^{-1}$ และช่วงสเปกตรัม $1,500-1,300\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่คาร์บอนเนตซึ่งอาจจะมาจากองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอนเนต หรือโคลน หรือหินโคลนที่อุดมไปด้วยเนื้อปูนที่มีองค์ประกอบที่แปรผันของแร่แคลไซต์ และอาราโกไนต์ เป็นต้น [16]

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้ง 30 ตัวอย่าง และนำสเปกตรัม IR มาเปรียบเทียบจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละหมู่ฟังก์ชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบในดิน ซึ่งมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่าง และสามารถใช้ในการแยกชนิดของดินจากตัวอย่างดินตามหมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างดินนั้น ๆ



เมื่อจำแนกตัวอย่างตามสีของดินที่สังเกตได้
ด้วยตาเปล่า แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ สีดำ-เทา
สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเข้ม และสีเหลือง-ส้ม-แดงและ
นำมาตรวจวัดสีดินด้วยเครื่อง Agilent Cary 60
Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 830-360 nm

โดยตรวจวัดสีในระบบ CIE L*a*b* ได้ผลดัง Table 2 ซึ่ง
แสดงให้เห็นถึงการสะท้อนแสงของตัวอย่างดิน
โดยค่า CIE L*a*b* ของแต่ละตัวอย่างจะให้ค่า
ที่ต่างกันแม้ว่าสีของตัวอย่างจะมีโทนสีเดียวกัน

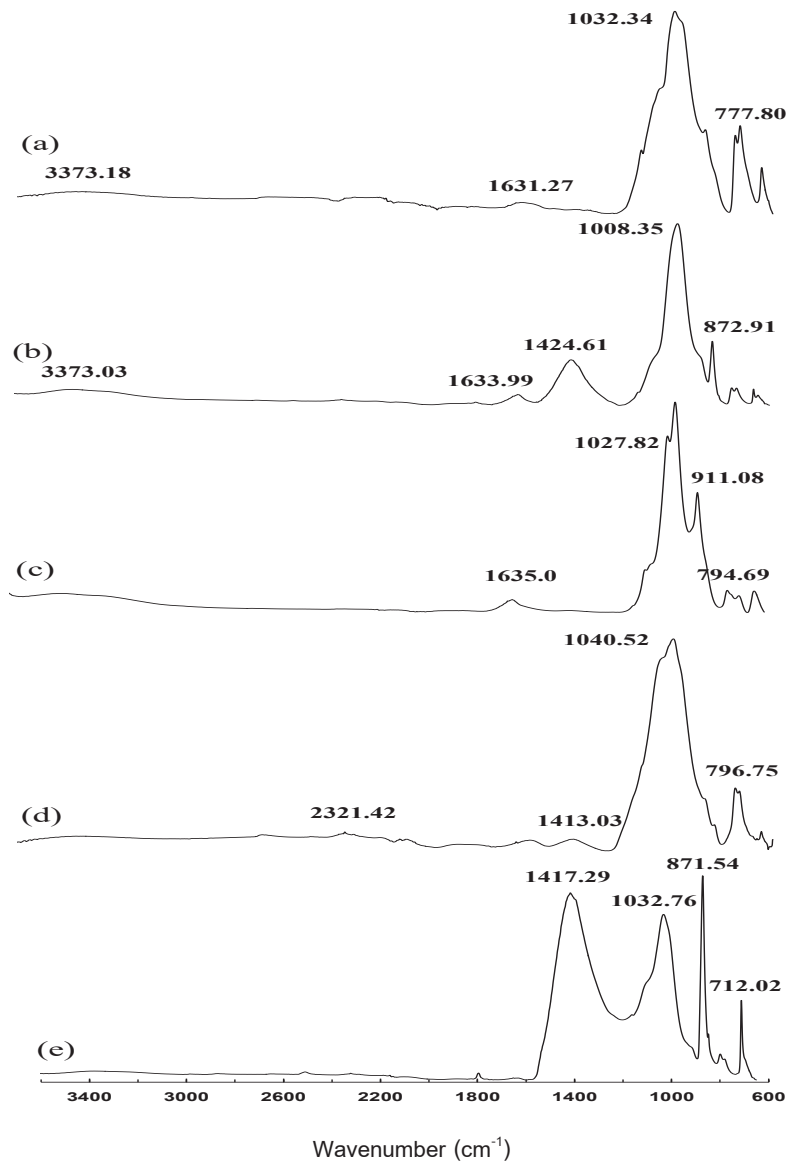


Figure 2. The infrared spectrum of the soil sample: (a) No.S 01,
(b) No.S 06, (c) No.S 023, (d) No.S 20 and (e) No.S 26



Table 2. CIE L*a*b* values of soil samples

No.	Color	L*	a*	b*	No.	Color	L*	a*	b*
S 01	Brown-gray	68.5815	3.2415	12.5638	S 16	Beige	76.1955	3.5074	14.868
S 02	Gray	68.3115	1.9056	10.7127	S 17	Orange-red	84.1141	13.2153	26.0288
S 03	Black	60.948	2.5633	9.2384	S 18	Brown	66.7428	1.6173	7.1661
S 04	Yellow-brown	72.3159	3.7688	18.1085	S 19	Gray	73.1031	-0.5669	11.5068
S 05	Yellow-brown	76.2952	3.6117	18.8857	S 20	Black	51.015	-0.112	1.463
S 06	Brown	59.7129	3.966	11.9744	S 21	Brown	68.3936	0.7436	11.2398
S 07	Brown	60.6251	3.8251	12.4335	S 22	Beige	65.0964	1.7203	10.7135
S 08	Orange-red	72.9811	8.2021	21.1512	S 23	Black	64.4072	3.8853	3.3497
S 09	Gray	71.3249	3.4034	13.3216	S 24	Gray	58.7435	2.1033	6.6686
S 10	Brown	56.5181	3.942	12.1288	S 25	Gray	65.7275	1.5851	8.9667
S 11	Brown	62.5422	1.9876	11.4079	S 26	White	96.0481	1.8966	14.4542
S 12	Beige	78.8617	3.3155	14.9004	S 27	Brown-red	79.3393	7.8279	29.9698
S 13	Gray	73.551	0.581	8.4839	S 28	Brown-red	61.8705	8.1242	18.2786
S 14	Orange-red	68.2331	7.1278	19.4081	S 29	Beige	69.9138	3.2603	19.2215
S 15	Brown-red	69.4891	3.9543	6.538	S 30	Beige	70.9955	2.7058	18.5235

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าสีระบบ CIE L*a*b* ซึ่งเปรียบเทียบค่า a* และ b* ของกลุ่มตัวอย่างดินที่สังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าค่า a*

และ b* ของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกัน แม้ว่าสีของตัวอย่างที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าจะเป็นโทนสีเดียวกันดังตัวอย่างแสดงใน Figure 3 และ Figure 4

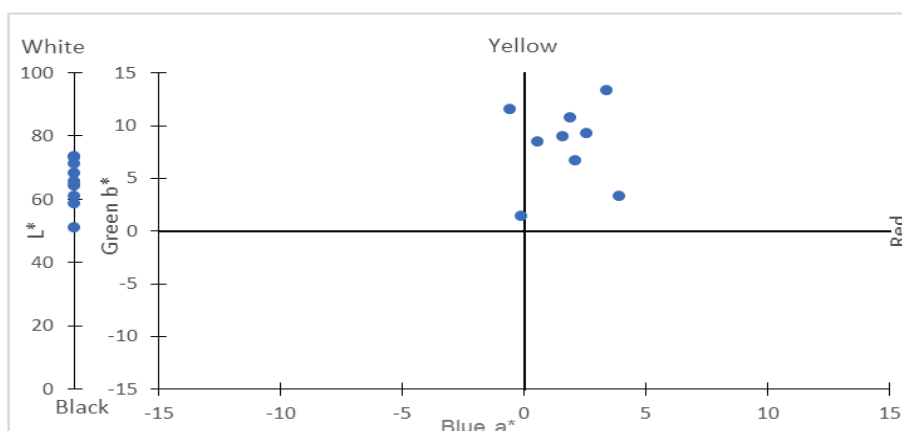


Figure 3. Plot of CIE L*a*b* values of gray-black soil samples



Figure 3 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของดินที่มีสีเทา-ดำ จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความสว่างของสี คือมีค่าไปทางสีดำนากกว่า และความสัมพันธ์ระหว่าง

ค่า a^* (แกน X) และ b^* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเข้มซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน

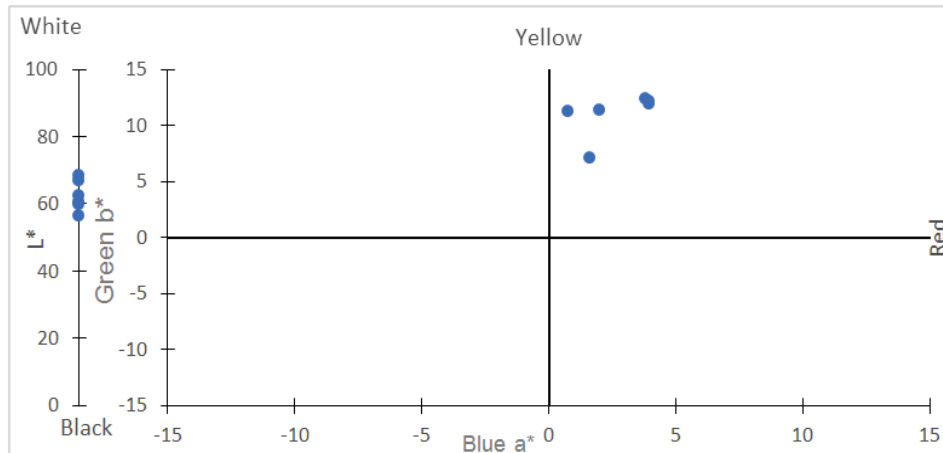


Figure 4. Plot of CIE $L^*a^*b^*$ values of brown soil samples

Figure 4 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของดินที่มีสีเหลือง-ส้ม-แดง จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความสว่างของสี คือ มีค่าไปทางสีขาวมากกว่า และความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* (แกน X) และ b^* (แกน Y) จะให้ค่าไปในโทนสีเหลือง-แดง

อภิปรายผล

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากแปลงนา ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด ไร่ถั่วเขียว ไร่ถั่วเหลือง ไร่ถั่วลิสง ไร่ถั่วเขียว ไร่ถั่วเหลือง ไร่ถั่วลิสง และดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผา ดินสอพอง จากจังหวัดต่าง ๆ จำนวน 30 ตัวอย่าง มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และตรวจวัดสีดินด้วย เครื่อง Agilent Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ เมื่อนำมา

วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แล้วนำผลสเปกตรัมได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบ ศึกษาเทคนิคที่ใช้จำแนกตัวอย่างดินจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อบอกถึงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่าเลขคลื่นสเปกตรัมของตัวอย่างดินที่เก็บจากนา ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด ไร่ถั่วเขียว ไร่ถั่วเหลือง ไร่ถั่วลิสง และดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผา มีตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ในบางตัวอย่าง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของดินแต่ละพื้นที่ต่างกัน อาจเนื่องจากการปรับปรุงดินที่ต่างกัน เช่น มีวิธีการปรับปรุงบำรุงดินให้ดีขึ้นโดยใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจมีผลทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR มีค่าสเปกตรัมแตกต่างกัน จึงทำให้งานวิจัยนี้ช่วยจำแนกตัวอย่างดินจากสถานที่ต่าง ๆ เพื่อบอกถึงองค์ประกอบของดินได้ งานวิจัยนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Atherton และคณะ [9] ที่ศึกษาตัวอย่างดินที่ผ่านการกรองจากชั้นดินด้านบน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลจากการทดลองพบว่าค่าสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของดินแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างดินที่มีชนิดของดินและต้นกำเนิดแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค ATR-FTIR มีความละเอียดเพียงพอในการตรวจวัดความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างตัวอย่างที่นำมาจากพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่เก็บตัวอย่าง และงานวิจัยของ Robertson และคณะ [11] ได้ศึกษาการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิค FTIR โดยศึกษาในช่วงเลขคลื่น $4,000-400\text{ cm}^{-1}$ เพื่อหาหลักฐานในคดีทางนิติวิทยาศาสตร์โดยทำการวิเคราะห์ FTIR เปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่เกิดเหตุ พบว่าการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ให้ผลสเปกตรัมที่สามารถใช้เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ได้

เมื่อนำตัวอย่างดินมาสังเกตด้วยตาเปล่าซึ่งได้โทนสีของดินที่นำมาตรวจวัดออกเป็น 4 กลุ่มคือ ดินชุดสีเทา-ดำ ดินชุดสีน้ำตาล ชุดดินสีเหลือง-ส้ม-แดง และชุดดินสีขาว นำมาเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดสีดิน พบว่าความอ่อนแก่ของสีในตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่าง ๆ จะให้ค่าสีออกมาแตกต่างกันแม้ว่าตัวอย่างดินจะมีโทนสีเดียวกันก็ตาม สีที่มีความเข้มมากกว่าจะให้ค่า L^* มากกว่าสีที่มีความเข้มน้อย ส่วนค่า a^* และ b^* ที่แสดงออกมาจะให้ค่าที่สอดคล้องกับเฉดสีของดินเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยค่า CIE $L^* a^* b^*$ ที่ต่างกันสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้แม้ว่า

ตัวอย่างจะมีสีคล้ายคลึงกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antoci และ Petraco [6] ที่ได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบสีของตัวอย่างดิน ในกรณีทางนิติวิทยาศาสตร์โดยศึกษาสีของตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับชาร์ตสีของ Munsell สามารถช่วยในการยืนยันดินได้ และ Sugita และ Marumo [7] ได้ทำการศึกษาตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ จำนวน 73 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากพื้นที่ที่มีดินเถ้าภูเขาไฟ ดินลุ่มน้ำ นำมาตรวจวัดสีดินโดยวัดจากการเปรียบเทียบกับชาร์ตสี Munsell หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปตากให้แห้ง ย่อยสลายสารอินทรีย์และกำจัดเหล็กออกไซด์ พบว่า สีของดินหลังจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และกำจัดเหล็กออกไซด์ สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างดินได้ 97 % การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค FTIR สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินที่มีความแตกต่างกัน หากในตัวอย่างไม่มีความต่างกันของสารอินทรีย์การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR จะไม่สามารถแยกได้ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการตรวจวัดสีดินเป็นตัวช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพราะการวัดสีจะให้ค่าการวัดที่ต่างกันถึงแม้ว่าตัวอย่างมีสีคล้ายคลึงกันก็ตาม อีกทั้งสองวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน แต่ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณในสารตัวอย่างได้ เหมาะสำหรับการใช้วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ติดมากับร่องเท้า เสื้อผ้า ยางรถยนต์ จากสถานที่ต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงกับคดีทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

กิตติกรรมประกาศ



ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร คณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์อีกทั้งยังให้คำปรึกษา และแนะนำตลอด การทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Forensic examination of soil evidence. 2001. 13th INTERPOL. France: Forensic Science Symposium Lyon.
2. Forensic Soil Analysis [online] available: <http://www.crimemuseum.org/crime-library/forensic-soil-analysis>. 2559.
3. มลพิษทางดิน [online] available: http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter4/chapter4_soil1.htm. 2559.
4. Dawson, L, A. and Hillier, S. 2010. Measurement of soil characteristics for forensic applications. *Surface and Interface Analysis*. 42: 363-377.
5. ไทพีศรีนวิติ ภัคดีกุล. 2004. การตรวจหา พยานหลักฐานจากสถานที่เกิดเหตุ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
6. Antoci, P. and Petraco, N. 1993. A Technique for Comparing Soil Colors in the Forensic Laboratory. *Journal of Forensic Sciences*. 38: 437-441.
7. Sugita, R. and Marumo, Y.1996. Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science International*. 83: 201-210.
8. Cox, R. J. 2000. The forensic analysis of soil organic by FTIR. *Forensic Science International*. 108: 107-116.
9. Atherton, T., Baron, M., Croxton, R., Rodriguez, J, G., Gonzalez, R. and Jimenez, R. 2010. The forensic analysis of soil by FTIR with multivariate analysis. In: VII Colloquium Chemiometricum Mediterraneum 21-24 June 2010, Granada.
10. Tinti, A., Tugnoli, V., Bonora, S. and Francioso, O. 2015. Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review. *Journal of Central European Agriculture*. 16: 1-22.
11. Jean Robertson, A. H., Main, A. M., Robinson, L. J. and Dawson, L. A. 2015. In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications. *Spectroscopy*. 30: 22-30.
12. เจริญชัย เหลืองอ่อน. 2553. การวัดสีด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectrophotometer. *วารสาร MTEC*. 8-13
13. วิจิตรา นาไชยเวศน์ และคณะ. 2556. การวิเคราะห์แบ่งที่ใช้เป็นเครื่องสำอางด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Flame Ionized Detector (GC-FID) และเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy



- (FTIR). วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบุรี. 10: 48-60.
14. จิราพร เกิดแก้ว และคณะ. 2559. การตรวจผ้า
ชนิดต่างๆทางนิติวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิค
ATR-FTIR, TGA และ DSC. วารสาร
วิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
13: 13-22.
15. รายงานทางวิชาการชุดแร่ดิน. 2558.
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์. เล่มที่ 4/2558.
16. ดินสอพอง [online] available:
<http://www.siamchemi.com/ดินสอพอง>. 2559

