



การวิเคราะห์ดินที่ติดบริเวณพื้นรองเท้าด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

โดย

นางสาวรัตนกร อ่ำขวัญเมือง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ดินที่ติดบริเวณพื้นรองเท้าด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ANALYSIS OF SOIL RECOVERED FROM SHOES SOLES BY X-RAY DIFFRACTION  
TECHNIQUE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2022  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การวิเคราะห์ดินที่ติดบริเวณพื้นรองเท้าด้วยเทคนิคการเลียวเบน  
ของรังสีเอกซ์  
โดย นางสาวรัตนกร อ่ำขวัญเมือง  
สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัติศัย)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์พิชญ ภัคดีมรงค์)

620720083 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : รอยร่องเท้า, ดิน, เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

นางสาว รัตนากร อ่ำขวัญเมือง: การวิเคราะห์ดินที่ติดบริเวณพื้นร่องเท้าด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม

เศษดินที่อยู่ในสถานที่เกิดเหตุดินมักติดอยู่กับบุคคลและวัตถุที่อยู่ในที่เกิดเหตุนั้น เศษดินสามารถถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ดินมีประโยชน์ในฐานะหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในการเชื่อมโยงสถานที่เกิดเหตุกับผู้ต้องสงสัยในคดี วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ในการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์ของดินที่ติดอยู่บริเวณพื้นร่องเท้า โดยตัวอย่างดินจากพื้นร่องเท้า และรอยร่องเท้าทั้งหมด 20 ตัวอย่าง เก็บจากสถานที่ต่างๆ ในจังหวัดนนทบุรี นครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี ประเทศไทย ดิฟแฟรกโตแกรมของแต่ละตัวอย่างดินจะแสดงรูปแบบพีคที่ไม่ซ้ำกัน อย่างไรก็ตามพบซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ในทุกตัวอย่างดิน สังเกตจากค่า  $2\theta$  ในดิฟแฟรกโตแกรม ซึ่งการใช้เทคนิค XRD สามารถวิเคราะห์แยกแยะ จำแนกแหล่งที่มาของดินได้ เนื่องจากดินแต่ละแหล่งมีมุม  $2\theta$  ในพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่จำเพาะ ทำให้สามารถเปรียบเทียบแยกแหล่งที่มาของดินแต่ละแหล่งออกจากกันได้ ข้อดีของวิธี XRD คือไม่ทำลายตัวอย่างและใช้ตัวอย่างในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย ผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าอาจใช้เทคนิค XRD ในการเปรียบเทียบตัวอย่างดินเพื่อการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์



620720083 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : shoe prints, soils, X-Ray Diffraction

MISS RATANAKORN AMKHUNMUNG : ANALYSIS OF SOIL RECOVERED FROM SHOES SOLES BY X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE THESIS ADVISOR : ORATHAI KHEAWPUM, Ph.D.

Soil traces often adhere to individuals and objects associated with crimes. They can be transferred from one location to another. Soils are useful as forensic evidences to correlate a specific crime scene with criminal suspects. The objective of this study is to use the technique of X-ray diffraction (XRD) in the forensic comparison of small amounts of soil adhering to the shoe with control soil specimens. Twenty samples of soil recovered from shoes soles and shoe prints were collected from various locations in Nonthaburi, Nakorn Pathom, Samut Sakorn and Rathchaburi provinces, Thailand. The diffractograms of each sample displayed a unique peak pattern. However, the silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) was identified in the diffractograms of all samples as suggested by their  $2\theta$  values. XRD technique can be analyzed, distinguished, and classified soil sources. Because each soil has a specific peak diffractogram angle. This makes it possible to compare and contrast each soil source separately. This XRD methods is non-destructive and requires relatively small amounts of samples. The results from this study suggested that the XRD technique may be used in matching soil sample for forensic investigation.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อรทัย เขียวพุ่ม ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ที่ได้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง สนับสนุนงานวิจัย ดูแลและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยด้วยความเอาใจใส่อย่างต่อเนื่องตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร.พงษ์พิชญ์ ภัคศิณรงค์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์นี้ และได้ให้คำปรึกษาข้อแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณบุคลากรทุกท่านในภาควิชา ครอบครั้ว และเพื่อนๆ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านของอุปกรณ์การดำเนินการวิจัย ด้านของงานเอกสาร ตลอดจนให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจ จนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

นางสาว รัตนกร อ่ำขวัญเมือง



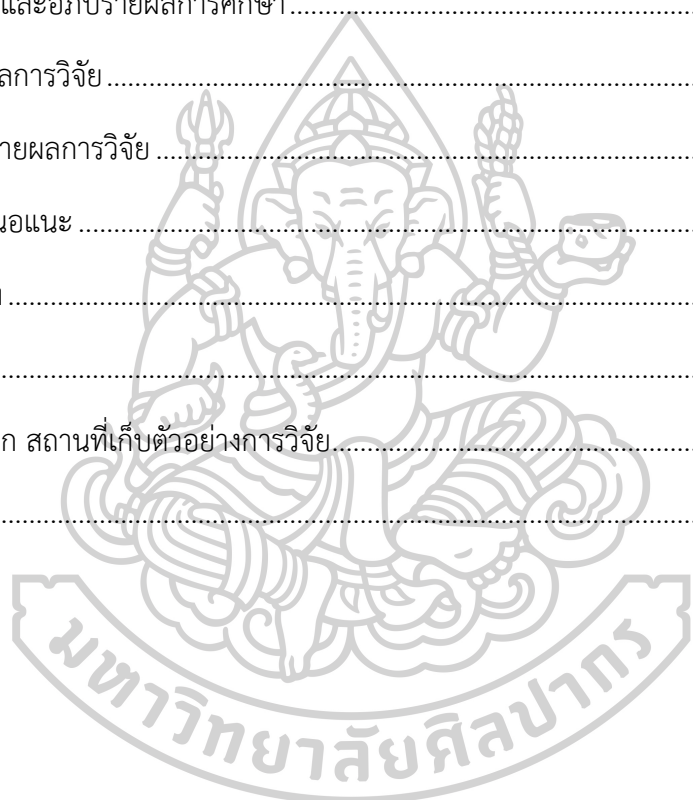
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.7 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิติวิทยาศาสตร์.....	7
2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์.....	8
2.2.1 การพิสูจน์หลักฐาน.....	8
2.2.2 ทฤษฎีการพิสูจน์หลักฐาน.....	8
2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพยานหลักฐาน.....	9
2.3.1 พยานหลักฐาน.....	9



2.3.2 กฎแห่งพยานหลักฐาน .....	10
2.3.3 พยานวัตถุ.....	11
2.4 กฎแห่งพยานหลักฐาน .....	11
2.4.1 คดีแพ่ง .....	11
2.4.2 คดีอาญา.....	12
2.5 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับดิน .....	15
2.5.1 ส่วนประกอบของดิน.....	16
2.5.2 ลักษณะทางสัณฐานดิน (โครงร่างหรือรูปทรงของดิน).....	17
2.5.3 สีของดิน .....	17
2.5.4 ความสามารถในการดูดซับ และปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน .....	18
2.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction) .....	18
2.6.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer: XRD).....	18
2.6.2 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	19
2.6.3 รังสีเอกซ์.....	20
2.6.4 แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ .....	21
2.7 ทฤษฎีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	21
2.7.1 สมการของ Bragg (Bragg's equation).....	22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	27
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
3.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2 วิธีการทดลอง.....	34
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	37

4.1 ผลดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่างดิน .....	37
4.2 ผลเปรียบเทียบดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่างดินบนร่องเท้า และรอยเท้า ที่มาจากสถานที่เดียวกัน .....	37
4.3 ผลการเปรียบเทียบดินที่มาจากสถานที่เดียวกันกับสถานที่ทั้งหมด .....	59
4.4 ผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบธาตุ และสารประกอบตัวอย่างดินร่องเท้า และรอยเท้าที่มาจากสถานที่เดียวกัน.....	63
บทที่ 5 สรุป และอภิปรายผลการศึกษา.....	65
5.1. สรุปผลการวิจัย .....	65
5.2. อภิปรายผลการวิจัย .....	66
5.3. ข้อเสนอแนะ .....	66
รายการอ้างอิง .....	67
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก สถานที่เก็บตัวอย่างการวิจัย.....	70
ประวัติผู้เขียน .....	80



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางแสดงสถานที่เก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 10 สถานที่ และพิกัดแผนที่ .....	28
ตารางที่ 2 รูป ลักษณะ ตัวอย่างดินบนรองเท้า และรอยเท้า .....	29
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า พื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ .....	39
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า สวนหน้าบ้าน.....	41
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้าริม บ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัย ศิลปากร .....	43
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า พื้นที่ลานกว้าง.....	45
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า ถนนลูกรัง.....	47
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า สวนมะพร้าว.....	49
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า เกลือ .....	51
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า โรงโมหินศิลา เขาสูง .....	53
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า ท้องนา .....	55
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า ริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร .....	57

ตารางที่ 13 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพีคหลักของตัวอย่างดินจากสถานที่เดียวกันกับสถานที่ทั้งหมด (ตารางแสดงค่าใดค่าหนึ่งของตัวอย่างบนรอยเท้า หรือตัวอย่างบนรอยรองเท้าของแต่ละสถานที่นั้นๆ)..... 59

ตารางที่ 14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบที่เป็นไปได้ของตัวอย่างดินบนรอยเท้า และดินบนรอยเท้าที่มาจากแหล่งที่มาสถานที่เดียวกัน..... 63



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	6
ภาพที่ 2 องค์ประกอบของดิน .....	17
ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ .....	19
ภาพที่ 4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ .....	22
ภาพที่ 5 ร่องเท้าที่ใช้ในงานวิจัย .....	27
ภาพที่ 6 เครื่อง X-ray Diffraction มหาวิทยาลัยศิลปากร ถ่ายโดยศูนย์เครื่องมือเทคนิคทาง วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร .....	27
ภาพที่ 7 พื้นที่การจำลองสถานที่เก็บตัวอย่าง บริเวณพื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ .....	34
ภาพที่ 8 ภาพแสดงตัวอย่างดิน 20 ตัวอย่างบนพื้นรองเท้า (A) และบนรอยเท้าข้าง (B) .....	35
ภาพที่ 9 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (1A) และรอยรองเท้า (1B) พื้นที่ ก่อสร้างข้างทางรถไฟ .....	38
ภาพที่ 10 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (2A) และรอยรองเท้า (2B) สวน หน้าบ้าน .....	40
ภาพที่ 11 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (3A) และรอยรองเท้า (3B) ริมบ่อ น้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร .....	42
ภาพที่ 12 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (4A) และรอยรองเท้า (4B) พื้นที่ ลานกว้าง .....	44
ภาพที่ 13 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (5A) และรอยรองเท้า (5B) ถนน ลูกรัง .....	46
ภาพที่ 14 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (6A) และรอยรองเท้า (6B) สวน มะพร้าว .....	48
ภาพที่ 15 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (7A) และรอยรองเท้า (7B) นา เกลือ .....	50

ภาพที่ 16 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (8A) และรอยรองเท้า (8B) โรงโม่ หินศิลา เขาสูง .....	52
ภาพที่ 17 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (9A) และรอยรองเท้า (9B) ท้อง นา .....	54
ภาพที่ 18 ดิฟแฟรกโตแกรม พิคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (10A) และรอยรองเท้า (10B) ริม บ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	56



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการนำพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในกระบวนการยุติธรรมมากขึ้น เนื่องจากเป็นเรื่องของหลักเหตุผลที่สามารถพิสูจน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม (อรรถพล แชนส์สุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552b) พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากคดีความต่างๆ มักพบว่าเป็น พยานวัตถุ ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงออกถึงข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกับประเด็นแห่งคดีอยู่ในตัวของวัตถุเอง โดยไม่ต้องมีการซักถามหรือมีข้อความที่ต้องทำความเข้าใจดังเช่นพยานบุคคล หรือพยานเอกสาร (อภิวารัตน์ นิยมไทย, 2563) พยานวัตถุถือเป็นสิ่งที่พิสูจน์การเกิดขึ้นจริงของคดี หรือเป็นการพิสูจน์ว่ามีการกระทำผิดเกิดขึ้น โดยพยานวัตถุสามารถเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยให้เข้ามาเกี่ยวข้องกับผู้เสียหาย หรือเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับสถานที่เกิดเหตุ สามารถชี้ตัวผู้กระทำความผิด หรือเป็นการปกป้องผู้บริสุทธิ์ที่ถูกกล่าวหาได้ พยานวัตถุสามารถเป็นสิ่งที่ยืนยันค่าให้การของผู้เสียหาย กล่าวคือสามารถระบุทำให้คำให้การของผู้เสียหายว่าเป็นความจริงหรือไม่ นอกจากนี้พยานวัตถุที่ผ่านการตรวจวิเคราะห์โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย จะเพิ่มความเชื่อถือได้มากขึ้นในชั้นศาล (อรรถพล แชนส์สุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552b) เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบพยานวัตถุ เพื่อระบุหาแหล่งที่มา หาองค์ประกอบภายในพยานวัตถุ เพื่อเชื่อมโยงพยานวัตถุเข้ากับคดี

เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ส่วนมากที่พบได้ในการตรวจพิสูจน์พยานวัตถุ เช่น Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS), Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR spectroscopy), Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) และ X-Ray Diffraction (XRD) เป็นต้น (Sangwan P. et al, 2016) เช่นในงานวิจัยของ Concheri G. และคณะ (2011) ได้ใช้เทคนิค ICP-MS และ ICP-OES ทำการวิเคราะห์ดินจากสถานที่เกิดเหตุบริเวณไร่ข้าวโพด และบนพรมรถยนต์ของรถผู้ต้องสงสัยในพื้นที่ห่างไกล ผลการวิจัยพบว่าความจำเพาะของธาตุในดิน เป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือ ในการแยกแยะที่ดินในสถานที่ต่างกัน ออกจากกันได้ นอกจากนี้ยังมีการวิจัยของ สุภิญญา มากุล (2557) ได้ใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์ดิน เพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าผลค่าดิฟแฟร็กโตแกรมที่วิเคราะห์ได้แสดงรูปแบบที่แตกต่างกันไปของตัวอย่างดิน กล่าวคือสามารถระบุความจำเพาะของดินจากสถานที่ที่แตกต่างออกจากรันได้ และงานวิจัยของ Aparna R. และคณะ (2022) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หน้าตาจากของเหลวในร่างกายที่พบได้ทั่วไป ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ผลการศึกษาพบว่าวิธีเคมีบำบัดสามารถแยกแยะสเปกตรัมหน้าตาอินฟราเรดจากของเหลวอื่นๆ ได้

อย่างแม่นยำ 100% ในขณะที่สเปกตรัมน้ำตามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป และแบบจำลองการถดถอยแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สำหรับการประมาณเวลาในที่เกิดเหตุได้ ซึ่งพยานวัตถุชิ้นนี้เป็นสิ่งใดก็ได้ที่พบในสถานที่เกิดเหตุ หรือจากผู้ต้องสงสัย อาทิเช่น เส้นผม คราบเลือด ปลายนิ้วมือ เขม่าดินปืน รวมไปถึงอาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุ นอกจากนี้ดินก็ยังถือเป็นพยานวัตถุอย่างหนึ่งที่สามารถพบได้ในสถานที่เกิดเหตุ และจากผู้ต้องสงสัย เป็นตัวอย่างที่มีความน่าสนใจ สามารถเชื่อมโยงคดีเข้าด้วยกันได้ ซึ่งในการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์ของวัตถุที่น่าสงสัยต่างๆ มักจะพบร่องรอยของดินที่ผู้กระทำความผิด ทำให้ดินในที่นี้มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งแหล่งที่มาของพยานวัตถุและผู้ต้องสงสัย เนื่องจากสาขาภูมิศาสตร์ ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมต่างๆ การอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต และการใช้งานของมนุษย์ ที่แตกต่างกัน ทำให้ดินเป็นพยานวัตถุที่มีความจำเพาะเฉพาะตัว (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552a) ต้นกำเนิดของนิติวิทยาศาสตร์ทางดินและธรณีวิทยาทางนิติวิทยาศาสตร์ที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ เกิดขึ้นคือในเดือนเมษายน พ.ศ. 1856 โดยศาสตราจารย์คริสเตียน กอดด์ฟรีด เอเรนเบิร์ก นักวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่มหาวิทยาลัยเบอร์ลิน โดยได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทรายจากสถานีตามเส้นทางรถไฟ และใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทราย กับสถานีรถไฟที่คาดว่าทรายนี้น่าจะมาจากที่นั่น นี่เป็นกรณีแรกที่ได้รับการบันทึกไว้ซึ่งใช้การเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์ของดิน เพื่อช่วยตำรวจแก้ปัญหาอาชญากรรม (Fitzpatrick & Donnelly, 2021) เนื่องจากดินสามารถยึดติด และคงอยู่ได้บนพื้นผิวรองเท้า ยางรถยนต์ เสื้อผ้า เครื่องมือ ฯลฯ และดินมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ทำให้ตัวอย่างดินได้ถูกนำมาเปรียบเทียบระบุแหล่งที่มา วิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบเพื่อเชื่อมโยงเข้ากับคดี ผู้ต้องสงสัย หรือพยานวัตถุอื่นๆ ที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ มีงานวิจัยที่ได้ทำการเปรียบเทียบตัวอย่างดินจากพรมบนรถของผู้ต้องสงสัย กับสถานที่เกิดเหตุ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ และการใช้สถิติหลายตัวแปร ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถแยกตัวอย่างดินที่ต้องสงสัยออกมาได้อย่างถูกต้อง (Reidy et al., 2013) ในบางประเทศมีการใช้เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์ดินในเรื่องต่างๆ ตั้งแต่การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุไปจนถึงการประมาณเวลาหลังการตาย (Demanèche et al., 2017) ในปี 2004 ได้มีงานวิจัยของ Alastair Ruffell และคณะ ที่ได้ทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของแร่ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) แบบเดิม กับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เชิงปริมาณ (QXRD) การใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันช่วยให้สามารถจับคู่ปริมาณแร่ธาตุที่เฉพาะเจาะจงระหว่างที่เกิดเหตุ (SOC) และผู้ต้องสงสัย โดยในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่างจากตำแหน่งที่เป็นไปได้ของสถานที่เกิดเหตุที่ได้มาจากดอกยางรถยนต์ จากสถานที่เกิดเหตุ 2 สถานที่ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และเทคนิค QXRD พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD สามารถบ่งบอกถึงชนิดและความแตกต่างของแร่ธาตุจากตัวอย่างดินของทั้ง 2 สถานที่ได้ ต่างจากเทคนิค QXRD ที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณ



หรือสัดส่วนของแร่ชนิดต่างๆได้ แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างสัดส่วนของแร่ธาตุในทั้งสองสถานที่ได้ และในปี 2008 งานวิจัยของ Nicholas Petraco และคณะ ได้ทำการหาหรือเกี่ยวกับการตรวจสอบและเปรียบเทียบตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยมีวิธีที่ใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวอย่างดินจากร่องเท้าของผู้ต้องสงสัยในคดีฆาตกรรม เปรียบเทียบกับทรายจากชายหาดท้องถิ่นที่ผู้ต้องสงสัยอาจทำการฆาตกรรมผู้ตายที่นั่นก่อนนำมาอำพรางศพในอีกสถานที่หนึ่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าทรายที่ผู้ต้องสงสัยบนร่องเท้า อาจมีต้นกำเนิดมาจากทรายจากชายหาดท้องถิ่น กล่าวคือผู้ต้องสงสัยอาจพาภรรยาไปริมชายหาด ก่อนยิงทิ้งด้วยปืนพก แล้วนำศพมาอำพรางทิ้งไว้ที่ริมแม่น้ำ เป็นการนำผลการวิเคราะห์มาเชื่อมโยงคดีและส่งผลให้มีการรื้อคดีฆาตกรรมในครั้งนี้อันขึ้นมากำหนดใหม่อีกครั้ง และนอกจากนี้ในปี 2022 Guo Hongling และคณะ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 80 ตัวอย่าง ในประเทศจีน ทั้งหมด 8 เมือง (10 ตัวอย่างต่อเมือง) นำมาวิเคราะห์แร่ธาตุต่างๆ ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD), เทคนิค X-ray fluorescence (XRF) และยังทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบลำดับชั้น (HCA) ผลการวิจัยพบว่าผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่วิทยาและธาตุ พบว่า ดิน 80 แห่งที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้สามารถระบุจำแนกไปยังเมืองต้นกำเนิดได้อย่างถูกต้อง

อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ หรือการใช้ข้อมูล เกี่ยวกับดินทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อการสืบสวนคดีอาชญากรรมในปัจจุบันยังมีการนำเทคนิคทางวิทยาศาสตร์มาวิเคราะห์ตัวอย่างดินอย่างผิวเผิน ไม่เจาะจงในเชิงองค์ประกอบ และเพื่อประเมินความเกี่ยวข้องของแนวทางนี้ งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสถานที่เกิดเหตุเพื่อสุ่มทดสอบตัวอย่างดินจากบนร่องเท้า และบนรอยร่องเท้า ที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุที่จำลองขึ้น ในแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction ในการวิเคราะห์เพื่อใช้ข้อมูลในการเปรียบเทียบเชื่อมโยงระบุแหล่งที่มา และองค์ประกอบของธาตุภายในตัวอย่างดินจากแหล่งต่างๆ โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์วัตถุพยานอื่นๆเพื่อประโยชน์ในการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สืบต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนพื้นร่องเท้า กับรอยร่องเท้า จากบริเวณสถานที่ ที่สุ่มตัวอย่าง
- เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของดินบนพื้นร่องเท้า และรอยร่องเท้า จากบริเวณสถานที่สุ่มตัวอย่าง
- เพื่อใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์ดิน เพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

### 1.3 สมมติฐานการวิจัย

สามารถวิเคราะห์ จำแนก ความเหมือน ความแตกต่างของตัวอย่างดินแต่ละชนิดในสถานที่เดียวกัน และในสถานที่ต่างกัน เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องของพยานวัตถุ กับสถานที่เกิดเหตุ และสามารถเชื่อมโยงพฤติกรรมคดีเข้าด้วยกันได้

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

#### ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค X-Ray Diffraction ในการวิเคราะห์จำแนกชนิด และวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของธาตุในตัวอย่างดินบนรองเท้า และรอยเท้า ในแต่ละสถานที่ที่แตกต่างกัน

#### ขอบเขตด้านพื้นที่

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นรองเท้าและรอยรองเท้าทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จากสถานที่ต่างๆ ในจังหวัดนนทบุรี นครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี ทั้งหมด 10 สถานที่ ได้แก่

- พื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ จังหวัดนครปฐม
- พื้นที่ในสวนหน้าบ้าน จังหวัดนครปฐม
- ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
- พื้นที่ลานกว้าง จังหวัดนครปฐม
- ถนนลูกรัง จังหวัดนครปฐม
- สวนมะพร้าว จังหวัดราชบุรี
- นาเกลือ สมุทรสงคราม
- โรงโมหินศิลา เขา จังหวัดราชบุรี
- ท้องนา จังหวัดนนทบุรี
- ริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

#### ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดระยะเวลาในการทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งหมดประมาณ 3 เดือน

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

### 1.5.1 พยานวัตถุ

พยานวัตถุ หรือ วัตถุพยาน สิ่งใดก็ตามที่สามารถนำเอารูปร่างลักษณะมาใช้เป็นพยานหลักฐาน เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงในทางคดีได้ พยานวัตถุสามารถเป็นอะไรก็ได้เช่น ศพ รอยนต์ รถจักรยานยนต์ เศษผ้า กลิ่นน้ำหอม อาคารสถานที่ ภาพถ่าย ภาพวิดีโอ ภาพจากกล้องวงจรปิด หรือแม้กระทั่ง ร่างกายของคน พยานหลักฐานเชิงวัตถุที่มีส่วนเกี่ยวกับคดี สามารถพบได้ในสถานที่เกิดเหตุและพยาน วัตถุยังถือเป็นเครื่องช่วยชี้ชัดว่ามีการก่ออาชญากรรมขึ้นอย่างแน่นอน

### 1.5.2 ดิน

ดิน คือวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการผสมคลุกเคล้าของอนินทรีย์สารที่ได้จากการแปรสภาวะผุพังของหินและแร่ต่างๆ กับอนินทรีย์สารที่ได้จากการย่อยสลายของเศษซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในสภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ และระยะเวลาในการเกิดที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดดินที่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันหลายชนิด

### 1.5.3 ดิฟแฟรกชัน

ดิฟแฟรกชัน หรือการเลี้ยวเบน เมื่อคลื่นเดินทางผ่านสิ่งกีดขวาง (เช่น ขอบของวัตถุ) คลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) กระจายตัวออกจากทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวเดิม

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

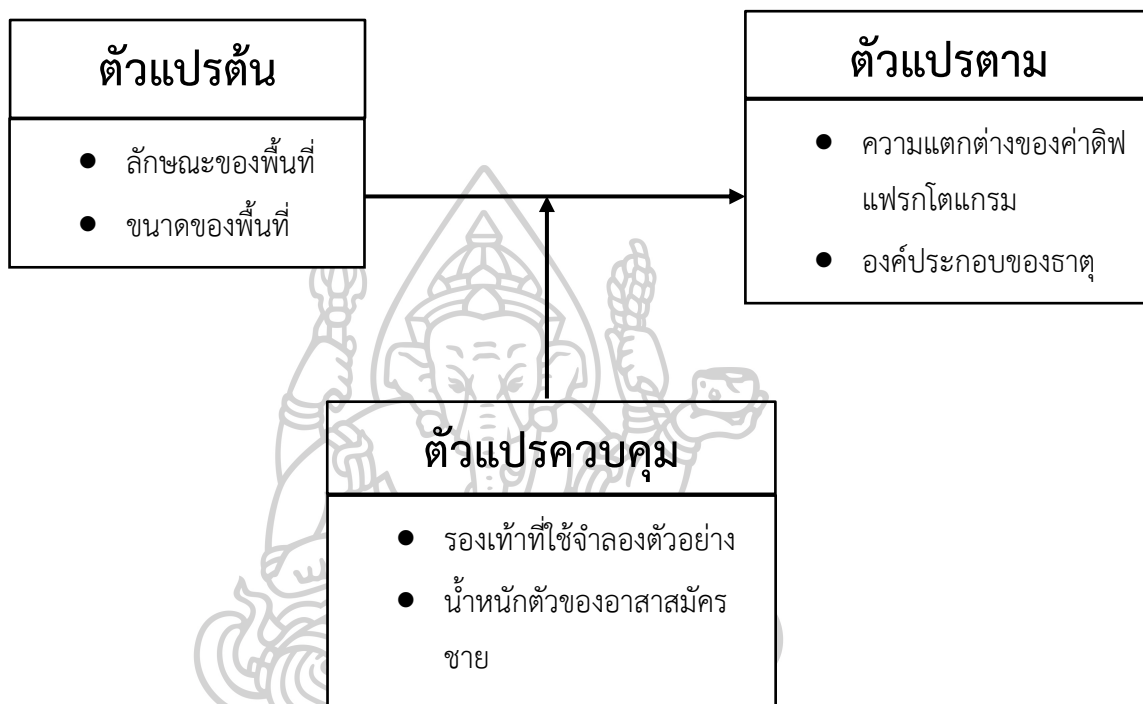
1. สามารถจำแนกตัวอย่างดินในแต่ละสถานที่ออกจากกันได้ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction
2. สามารถเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้า บนรอยเท้าที่มาจากสถานที่เดียวกันได้ด้วยค่าดิฟแฟรกโตแกรม
3. สามารถตรวจสอบชนิดของธาตุในดินแต่ละสถานที่ได้ โดยการใช้ผลดิฟแฟรกโตแกรม เทียบ diffraction pattern ตรวจสอบความใช้ได้ของผลการวิเคราะห์ โดยดูจาก diffraction pattern ที่วัดได้ในแต่ละช่วง ว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ ศึกษามาก่อนหน้าหรือไม่ หรือเทียบพีคมาตรฐานจาก JCPDs
4. สามารถเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุของตัวอย่างดินบนร่องเท้า และรอยเท้า ว่ามาจากสถานที่เดียวกัน

### 1.7 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรต้น : ลักษณะของพื้นที่ และขนาดของพื้นที่

ตัวแปรตาม : ความแตกต่างของค่าดีฟแฟรกโตแกรม และองค์ประกอบของธาตุ

ตัวแปรควบคุม : รองเท้าที่ใช้จำลองตัวอย่าง และน้ำหนักตัวของอาสาสมัครชาย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาวิจัย ซึ่งผลการค้นคว้าข้อมูลดังรายละเอียดตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิติวิทยาศาสตร์
- 2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์
- 2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพยานหลักฐาน
- 2.4 กฎหมายเกี่ยวกับพยานหลักฐาน
- 2.5 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับดิน
- 2.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction)
- 2.7 ทฤษฎีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิติวิทยาศาสตร์

นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) มาจากคำว่านิติ รวมกับคำว่า วิทยาศาสตร์ คือ การนำวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์แห่งกฎหมาย ได้แก่ ประโยชน์ทางนิติบัญญัติในเรื่องการออกกฎหมาย และ ประโยชน์ของการคลี่คลายปัญหาและการพิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดีความเพื่อผลในการบังคับใช้กฎหมายและการลงโทษ ในประเทศสหรัฐอเมริกาเรียกการพิสูจน์หลักฐานว่า Police science (วิทยาศาสตร์ตำรวจ) และต่อมาก็มียุคนำคำว่า Forensic science (นิติวิทยาศาสตร์) มาใช้แทน Police science เพราะคำว่า Forensic มีความหมายว่าเกี่ยวกับศาลหรือกระบวนการยุติธรรม ซึ่งมีความหมายกว้างกว่าคำเดิม คำว่านิติวิทยาศาสตร์จึงเป็นที่นิยมใช้ และแพร่หลายเมื่อ 60 - 70 ปีที่ผ่านมา การพิสูจน์หลักฐานจึงจัดได้ว่าเป็นนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic science) แขนงหนึ่ง และเป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์อย่างหนึ่งที่น่าเอาวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์มาทำให้เกิดประโยชน์แก่อรรถคดี (คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2559) โดยนิติวิทยาศาสตร์สามารถจำแนกกว้าง ๆ ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นธรรมชาติ และอีกประเภทคือ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์

## 2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์

### 2.2.1 การพิสูจน์หลักฐาน

การพิสูจน์หลักฐาน (Criminalistics) มีคำจำกัดความคือ เป็นกฎเกณฑ์ทางวิชาชีพและทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมุ่งในการให้การยอมรับ การชี้เฉพาะ การจำแนก และการตีความหมายของวัตถุพยาน โดยนำวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์มาประยุกต์ใช้ ในกรณีที่เกี่ยวข้องระหว่างกฎหมายกับวิทยาศาสตร์ ซึ่งถอดความมาจากภาษาอังกฤษที่ว่า “Criminalistics is that profession and scientific discipline directed to the recognition, identification and evaluation of physical evidence by application of the natural sciences to law-science matters” ขยายความให้ชัดเจนจะกล่าวได้ว่า เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งอาศัยกฎเกณฑ์ทฤษฎีต่างๆ ของวิทยาศาสตร์หลายสาขามารวมกันแล้วนำมาประยุกต์ใช้ เป็นวิธีการตรวจพิสูจน์วัตถุพยาน เพื่อให้บรรลุถึงจุดประสงค์ในการตรวจพิสูจน์การกระทำผิด หรือความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหาภายใต้กฎเกณฑ์แห่งกฎหมาย

### 2.2.2 ทฤษฎีการพิสูจน์หลักฐาน

จากคำจำกัดความข้างต้น การพิสูจน์หลักฐานจัดเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งอาศัยกฎเกณฑ์ทฤษฎีต่างๆ ของวิทยาศาสตร์หลายสาขามารวมกัน ซึ่งมีสายใยซึ่งเชื่อมโยงหลักเกณฑ์ทฤษฎีต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นกลุ่มก้อน หลักเกณฑ์ทฤษฎีที่ว่านี้มีหลักการสำคัญคือ

**2.2.2.1 การจำแนก (Individualization)** เป็นการแสดงให้เห็นความแตกต่าง การจัดวัตถุ จัดประเภท เช่น กรณีการทำโทรศัพท์หาย เมื่อตำรวจพบโทรศัพท์ ผู้เสียหายจะต้องสอบถามก่อนว่าโทรศัพท์ยี่ห้ออะไร รุ่นอะไร สีอะไร นั่นคือการจำแนกก่อนจะมาถึงขั้นตอนการชี้เฉพาะ

**2.2.2.2 การชี้เฉพาะ (Identification)** ทางด้านวิชาปรัชญาได้ให้คำอธิบายของ Identity ไว้ว่าคือ ความหายาก หรือว่าสิ่งของที่มีเพียงหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถนำสิ่งอื่นมาทดแทนได้ ฉะนั้น ของสองสิ่งย่อมจะไม่เป็น Identical กันได้นอกจากตัวสิ่งของนั่นเองและ Criminalistics ได้เข้ามามีบทบาทที่เพราะความหมายนี้ Identification เป็นกรรมวิธีที่จะจัดให้สิ่งของที่มีตัวตนสิ่งหนึ่งไปรวมอยู่ในประเภทหรือจำพวกที่ได้กำหนดขอบเขต หรือคุณลักษณะตายตัวเอาไว้ ซึ่งต้องอาศัยคุณลักษณะ 2 ประการ คือ คุณลักษณะโดยทั่วไป (Class Characteristics) และ คุณลักษณะเฉพาะ (Individual Characteristics) นักพิสูจน์หลักฐาน นั้นจะมีภาระหน้าที่ที่จะศึกษาพยานหลักฐาน เพื่อที่จะหา Class และ Individual Characteristics ออกมา เพื่อเป็นเครื่องพิสูจน์หา Identify ระหว่างพยานวัตถุที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ กับวัตถุตัวอย่างที่ทราบแหล่งที่มาแล้ว Class Characteristics เป็นรากฐานการ Identification ส่วน Individual Characteristics เป็นสิ่งที่ใช้บอก Identify

การพิสูจน์หลักฐานมีจุดมุ่งหมายในการนำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ทั้งที่เป็นวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์มาใช้ร่วมกับความชำนาญการของบุคคลเพื่อประโยชน์ในการแสวงหาความยุติธรรม โดยขอบเขตการพิสูจน์หลักฐานมีดังนี้

- การตรวจลายนิ้วมือ ฝ่ามือ และฝ่าเท้า
- การตรวจเอกสาร เช่น การตรวจหมึกพิมพ์ ตรวจลายเซ็น ลายมือเขียน ตรวจร่องรอย การขูดลบ ลบล้าง แก้ไข และเปลี่ยนแปลงข้อความเดิม เป็นต้น
- การตรวจอาวุธปืน และกระสุนปืนของกลาง
- การตรวจทางเคมี เช่น ตรวจวิเคราะห์สารต่างๆ
- การตรวจทางฟิสิกส์ เช่น ตรวจร่องรอยการเฉี่ยวชน
- การตรวจทางชีววิทยา เช่น ตรวจเส้นผม เลือด อสุจิ
- การตรวจทางนิติเวช เช่น งานพิสูจน์บุคคล งานนิติพิษวิทยา งานภาพการแพทย์

กล่าวโดยสรุปคือไม่ว่าจะเป็นสาขาใดก็ตามในนิติวิทยาศาสตร์นั้นก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือการนำความรู้ทางวิชาการผนวกกับประสบการณ์ ความชำนาญ เพื่อประโยชน์ของกระบวนการยุติธรรมในกรณีที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายและวิทยาศาสตร์ พยานหลักฐานทั้งหมดจะเป็นประโยชน์ในการอ้างอิงต่อศาลเพื่อยืนยันตัวผู้กระทำผิด

## 2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพยานหลักฐาน

**2.3.1 พยานหลักฐาน** หมายถึง สิ่งใดที่สามารถจับต้องได้ตามกฎหมายและเป็นสิ่งที่สามารถเสนอในชั้นศาลเพื่อพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดีได้ ซึ่งตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 226 พยานหลักฐาน หมายถึง พยานวัตถุ พยานเอกสาร หรือพยานบุคคล ตลอดจนพยานอื่น ๆ ซึ่งอาจใช้เป็นเครื่องพิสูจน์การกระทำผิดได้ โอกาสที่คนจะกระทำความผิดโดยไม่ทิ้งร่องรอยพยานหลักฐานไว้นั้น เป็นไปได้ยากมาก พยานหลักฐานแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

**2.3.1.1 พยานหลักฐานโดยตรง (Direct Evidence)** หรือ พยานบุคคล คือ หลักฐานคำให้การที่ได้จากปากคำของผู้ที่รู้เห็นเหตุการณ์(ประจักษ์พยาน) ซึ่งได้สัมผัสกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยตนเอง ซึ่งคำให้การนั้นต้องไม่ได้มาจากการเสริมแต่ง สมมุติฐานเอาเอง หรือได้ยินได้ฟังมาจากการบอกเล่าของผู้อื่น

**2.3.1.2 พยานแวดล้อมกรณี (Circumstantial Evidence)** หรือ พยานหลักฐานทางอ้อม (Indirect Evidence) พยานหลักฐานประเภทนี้มักจะไม่สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงที่ต้องการทราบในคดีได้โดยตรง แต่สามารถนำมาปะติดปะต่อให้เกิดความคิดลำดับการเชื่อมโยงเหตุการณ์ เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริง ซึ่งนำมาใช้คลี่คลายปัญหาในทางคดี หรือตอบคำถามบางประการได้

**2.3.1.3 พยานหลักฐานที่แท้จริง (Real Evidence)** คือ พยานวัตถุทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งสามารถพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดี มีความชัดเจนในตัวเองโดยไม่ต้องการคำอธิบายใดๆ เพียงแต่ให้รู้ว่าเป็นอะไรเท่านั้นก็เพียงพอแล้ว และเพื่อที่จะให้ได้พยานหลักฐานที่ได้มาระหว่างการสืบสวนสอบสวนไปใช้ให้เป็นประโยชน์มากที่สุด ได้มีกฎหมายพยานหลักฐาน (Law of evidence) ประกอบด้วยกฎที่เกี่ยวข้องกับการสืบสวนสอบสวนที่มีหัวใจสำคัญอยู่สองประเด็นด้วยกัน คือ ความเป็นสาระสำคัญ (Materiality) และการยอมรับฟังได้ (Admissibility)

**2.3.2 กฎแห่งพยานหลักฐาน** การที่พยานหลักฐานจะเป็นที่ยอมรับในชั้นศาลได้จะต้องปฏิบัติตามกฎเกณฑ์พื้นฐาน 4 ประการ การหลีกเลี่ยงหรือปฏิบัติเบี่ยงเบนไปจากกฎเกณฑ์พื้นฐาน 4 ประการนี้จะพ้องกับจุดอ่อนให้ทนายสามารถโต้แย้งในชั้นศาล ทำให้คุณค่าของพยานหลักฐานนั้นสูญเสียไป กฎเกณฑ์พื้นฐาน 4 ประการมีดังนี้

**กฎข้อที่ 1 ป้องกันรักษาสถานที่เกิดเหตุ** การป้องกันสถานที่เกิดเหตุ เริ่มต้นขึ้นตั้งแต่เมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจคนแรก (เจ้าหน้าที่ดับเพลิง หรือเจ้าหน้าที่ตำรวจในท้องที่) ไปถึงสถานการณ์ที่เกิดเหตุจนกระทั่งเจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญ (แพทย์เจ้าหน้าที่กองพิสูจน์หลักฐาน) ทำการตรวจสถานที่เสร็จสิ้น

**กฎข้อที่ 2 เก็บพยานหลักฐานอย่างถูกต้องตามกฎหมาย** หมายถึง บุคคลที่กำลังทำการเก็บพยานหลักฐานนั้น จะต้องเป็นบุคคลที่กฎหมายให้อำนาจไว้ในการเข้าและเก็บพยานวัตถุต่างๆ ในสถานที่เกิดเหตุได้ เช่น เป็นพนักงานสอบสวน เจ้าหน้าที่กองพิสูจน์หลักฐาน หรือเจ้าหน้าที่วิทยาการตำรวจ เป็นต้น

**กฎข้อที่ 3 การทำการค้นหาพยานหลักฐานอย่างเหมาะสม** ผู้ตรวจสถานที่เกิดเหตุจะต้องไม่มองข้ามหรือละเลยพยานวัตถุทุกชิ้น ถ้าสงสัยว่าสิ่งนั้นจะเป็นพยานวัตถุหรือไม่ ให้

ทำการเก็บไว้ก่อนพร้อมทั้งระบุรายละเอียดของพยานวัตถุ ตำแหน่งที่พบและบรรจุหีบห่อรักษาไว้อย่างเหมาะสม

**กฎข้อที่ 4 มีลูกโซ่การครอบครองพยานหลักฐานโดยตลอด** หมายถึง พยานหลักฐานนั้นจะต้องอยู่ภายใต้การคุ้มครองดูแลของบุคคลหรือหน่วยงาน ตั้งแต่เริ่มเก็บจนกระทั่งแสดงในชั้นศาลโดยไม่ขาดช่วงของการครอบครองเลย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการครอบครอง จะต้องหลักฐานแสดงการเปลี่ยนแปลงการครอบครองตลอด



**2.3.3 พยานวัตถุ** เมื่อกล่าวถึงพยานวัตถุเราไม่สามารถให้คำจำกัดความง่าย ๆ สั้น ๆ แต่ได้ใจความที่ถูกต้องที่สุดได้เพราะเกือบทุกสิ่งทุกอย่างหากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมก็สามารถกลายเป็นพยานวัตถุได้ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ สิ่งใดที่สามารถใช้พิสูจน์ได้ว่ามีการกระทำผิดเกิดขึ้น ไซ้บอกได้ว่าใครเป็นผู้กระทำผิด และสามารถเชื่อมโยงผู้กระทำผิดเข้ากับอาชญากรรมได้ก็ถือว่าเป็นพยานวัตถุ ชนิดของพยานวัตถุสามารถแบ่งตามการเก็บได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

**2.3.3.1 พยานวัตถุที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (Fixed of Immovable Evidence)** เป็นพยานวัตถุที่มีขนาดใหญ่ นำหนักมาก หรือการเคลื่อนย้ายอาจทำให้คุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป เช่น ผนังเตาผิง รอยยางรถยนต์ รอยเท้า เป็นต้น พยานวัตถุชนิดนี้จะใช้วิธีการเก็บรักษาโดยการถ่ายภาพ วาดรูปเสมือนตามมาตราส่วนจริง หรือหล่อปูนปลาสเตอร์ เป็นต้น

**2.3.3.2 พยานวัตถุที่เคลื่อนย้ายได้ (Movable Evidence)** เป็นพยานวัตถุที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายโดยไม่ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป เช่น ของเหลว ชิ้นส่วนพรม เป็นต้น

การวิเคราะห์พยานวัตถุ กระทำได้โดยการศึกษา คุณลักษณะ 2 ประการ คือ คุณลักษณะทั่วไป (Class Characteristics) และคุณลักษณะเฉพาะ (Individual Characteristics) คุณลักษณะทั่วไปนั้นใช้สำหรับบอกชนิดหรือประเภทของสิ่งของนั้นๆ ส่วนคุณลักษณะเฉพาะใช้สำหรับบอกความเป็นเอกลักษณ์ ของวัตถุสิ่งนั้นว่าไม่ใช่ของอื่น แต่เป็นอันนั้นอันเดียว พยานวัตถุใดๆถ้ามีคุณลักษณะเฉพาะตัวมาก ย่อมยากที่จะมีโอกาสถูกพบในสถานที่ที่ต่างกัน ยกเว้นจะเป็นเอกลักษณ์ในตัวมันเอง อย่างไรก็ตามการใช้พยานวัตถุในการสืบสวนสอบสวนจะต้องระลึกลักษณะเฉพาะตัวพยานวัตถุไม่สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ในตัวของมันเองได้อย่างเด็ดขาดแน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะให้ความมั่นใจภายในขอบเขตของความเป็นไปได้พอสมควรเท่านั้น (อรรถพล แซ่มสุวรรณ์วงศ์ และคณะ, 2552b)

## 2.4 กฎแห่งพยานหลักฐาน

การรับฟังพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถแยกออกเป็นการรับฟังพยานหลักฐานในคดีแพ่งและการรับฟังพยานหลักฐานในคดีอาญาดังนี้

**2.4.1 คดีแพ่ง** การรับฟังพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์คดีแพ่งนั้น ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่ง

**มาตรา ๑๒๘/๑** บัญญัติว่า “ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงใดที่เป็นประเด็นสำคัญแห่งคดี เมื่อศาลเห็นสมควรหรือเมื่อคู่ความฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งร้องขอ ศาลมีอำนาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์บุคคล วัตถุหรือเอกสารใด ๆ โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้”

ในกรณีที่พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์จะสามารถพิสูจน์ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงที่ทำให้ศาลวินิจฉัยชี้ขาดคดีได้โดยไม่ต้องสืบพยานหลักฐานอื่นอีก เมื่อศาลเห็นสมควรหรือเมื่อคู่ความฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งร้องขอ ศาลอาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่งโดยไม่ต้องรอให้ถึงวันสืบพยานตามปกติก็ได้

ในกรณี que การตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่งหรือวรรคสองจำเป็นต้องเก็บตัวอย่าง เลือด เนื้อเยื่อ ผิวหนัง เส้นผมหรือขน ปัสสาวะ อุจจาระ น้ำลายหรือสารคัดหลั่งอื่น สารพันธุกรรม หรือส่วนประกอบอื่นของร่างกาย หรือสิ่งที่อยู่ในร่างกายจากคู่ความหรือบุคคลใด ศาลอาจให้คู่ความหรือบุคคลใดรับการตรวจพิสูจน์จากแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญอื่นได้ แต่ต้องกระทำเพียงเท่าที่จำเป็นและสมควร ทั้งนี้ ถือเป็นสิทธิของคู่ความหรือบุคคลนั้นที่จะยินยอมหรือไม่ก็ได้

ในกรณีที่คู่ความฝ่ายใดไม่ยินยอมหรือไม่ให้ความร่วมมือต่อการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่งหรือวรรคสอง หรือไม่ให้ความยินยอมหรือกระทำการขัดขวางมิให้บุคคลที่เกี่ยวข้อง ให้ความยินยอมต่อการตรวจเก็บตัวอย่างส่วนประกอบของร่างกายตามวรรคสาม ก็ให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าข้อเท็จจริงเป็นไปตามที่คู่ความฝ่ายตรงข้ามกล่าวอ้าง

ค่าใช้จ่ายในการตรวจพิสูจน์ตามมาตรา นี้ ให้คู่ความฝ่ายที่ร้องขอให้ตรวจพิสูจน์เป็นผู้รับผิดชอบโดยให้ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของค่าฤชาธรรมเนียม แต่ถ้าผู้ร้องขอไม่สามารถเสียค่าใช้จ่ายได้ หรือเป็นกรณีที่ศาลเป็นผู้สั่งให้ตรวจพิสูจน์ ให้ศาลสั่งจ่ายตามระเบียบที่คณะกรรมการบริหารศาลยุติธรรมกำหนด ส่วนความรับผิดชอบในค่าใช้จ่ายดังกล่าวให้เป็นไปตามมาตรา ๑๕๘ หรือมาตรา ๑๖๑”

**2.4.2 คดีอาญา** การรับฟังพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีอาญา สามารถแบ่งออกได้เป็นการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานในชั้นพนักงานสอบสวน และการตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานในชั้นพิจารณาคดี

**2.4.2.1 การตรวจพิสูจน์หลักฐานในชั้นพนักงานสอบสวน** ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ภาค ๒ สอบสวน ลักษณะที่ ๒ หมวดที่ ๑ การสอบสวนสามัญ

**มาตรา ๑๓๑** บัญญัติว่า “ให้พนักงานสอบสวนรวบรวมหลักฐานทุกชนิด เท่าที่สามารถจะทำได้ เพื่อประสงค์จะทราบข้อเท็จจริงและพฤติการณ์ต่าง ๆ อันเกี่ยวกับความผิดที่ถูกกล่าวหา เพื่อจะรู้ตัวผู้กระทำผิดและพิสูจน์ให้เห็นความผิดหรือความบริสุทธิ์ของผู้ต้องหา

**มาตรา ๑๓๑/๑** ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามมาตรา ๑๓๑ ให้พนักงานสอบสวนมีอำนาจให้ทำการตรวจพิสูจน์บุคคล วัตถุ หรือเอกสารใด ๆ โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้

ในกรณีความผิดอาญาที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงเกินสามปี หากการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่ง จำเป็นต้องตรวจเก็บตัวอย่างเลือด เนื้อเยื่อ ผิวหนัง เส้นผมหรือขน น้ำลาย ปัสสาวะ อุจจาระ สารคัดหลั่ง สารพันธุกรรมหรือส่วนประกอบของร่างกายจากผู้ต้องหา ผู้เสียหายหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง ให้พนักงานสอบสวนผู้รับผิดชอบมีอำนาจให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตรวจดังกล่าวได้ แต่ต้องกระทำเพียงเท่าที่จำเป็นและสมควรโดยใช้วิธีการที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ ทั้งจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายหรืออนามัยของบุคคลนั้น และผู้ต้องหา ผู้เสียหาย หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต้องให้ความยินยอม หากผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายไม่ยินยอมโดยไม่มีเหตุอันสมควรหรือผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายกระทำการป้องกันขัดขวางมิให้บุคคลที่เกี่ยวข้องให้ความยินยอมโดยไม่มีเหตุอันสมควร ให้สันนิษฐานไว้เบื้องต้นว่าข้อเท็จจริงเป็นไปตามผลการตรวจพิสูจน์ที่หากได้ตรวจพิสูจน์แล้วจะเป็นผลเสียต่อผู้ต้องหาหรือผู้เสียหายนั้น แล้วแต่กรณี

ค่าใช้จ่ายในการตรวจพิสูจน์ตามมาตรา นี้ ให้สงัจ่ายจากงบประมาณตามระเบียบที่สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงมหาดไทย กระทรวงยุติธรรม หรือสำนักงานอัยการสูงสุด แล้วแต่กรณี กำหนดโดยได้รับความเห็นชอบจากกระทรวงการคลัง” (อภิวารัตน์ นิยมไทย, 2563)

**มาตรา ๑๓๒** บัญญัติว่า “เพื่อประโยชน์แห่งการรวบรวมหลักฐาน ให้พนักงานสอบสวนมีอำนาจ ดังต่อไปนี้

(๑) ตรวจตัวผู้เสียหายเมื่อผู้นั้นยินยอม หรือตรวจตัวผู้ต้องหา หรือตรวจสิ่งของหรือที่ทางอันสามารถอาจใช้เป็นพยานหลักฐานได้ ให้รวมทั้งทำภาพถ่าย แผนที่ หรือภาพวาด จำลอง หรือพิมพ์ลายนิ้วมือ ลายมือหรือลายเท้า กับให้บันทึกรายละเอียดทั้งหลายซึ่งน่าจะกระทำให้คดีแจ่มกระจ่างขึ้น

ในการตรวจตัวผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาตามวรรคหนึ่ง หากผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาเป็นหญิง ให้จัดให้เจ้าพนักงานซึ่งเป็นหญิงหรือหญิงอื่นเป็นผู้ตรวจ ทั้งนี้ ในกรณีที่มีเหตุอันสมควร ผู้เสียหายหรือผู้ต้องหาจะขออนุญาตบุคคลใดมาอยู่ร่วมในการตรวจนั้นด้วยก็ได้

(๒) ค้นเพื่อพบสิ่งของ ซึ่งมีไว้เป็นความผิด หรือได้มาโดยการกระทำผิด หรือได้ใช้หรือสงสัยว่าได้ใช้ในการกระทำผิด หรือซึ่งอาจใช้เป็นพยานหลักฐานได้ ...”

การกำหนดอำนาจการสอบสวนให้กับพนักงานสอบสวนนั้นเพื่อประโยชน์แห่งการรวบรวมหลักฐาน โดยใน (๑) หมายถึง การตรวจร่างกายผู้เสียหายจะต้องได้รับความยินยอมจากผู้เสียหายก่อน โดยผู้ต้องหาไม่มีสิทธิไม่ยินยอมให้ทำการตรวจก็ได้ แต่ผู้ต้องหาอาจมีความผิดได้หากขัดคำสั่งพนักงานในการรวบรวมหลักฐาน จาก (๒) พนักงานสอบสวนมีสิทธิ

ในการค้นคว้าพยานที่ เกิดจากการกระทำความผิด หรือสงสัยว่าจะเป็นพยานที่กระทำความผิดได้

**2.4.2.2 การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานในชั้นพิจารณาคดี** ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ภาค ๕ พยานหลักฐาน หมวดที่ ๑-๕

**มาตรา ๒๒๖** บัญญัติว่า “พยานวัตถุ พยานเอกสาร หรือพยานบุคคลซึ่งน่าจะพิสูจน์ได้ว่าจำเลยมีผิดหรือบริสุทธิ์ ให้อ้างเป็นพยานหลักฐานได้ แต่ต้องเป็นพยานชนิดที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากการจงใจ มีคำมั่นสัญญา ชูเชิญ หลอกลวงหรือโดยมิชอบประการอื่น และให้สืบตามบทบัญญัติแห่งประมวลกฎหมายนี้หรือกฎหมายอื่นอันว่าด้วยการสืบพยาน”

พยานวัตถุ พยานเอกสาร หรือพยานบุคคลจะพิสูจน์ได้ว่าจำเลยมีความผิดหรือไม่นั้นมีหลักพิจารณา คือต้องเป็นพยานชนิดที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากการจงใจ มีคำมั่นสัญญา ชูเชิญ หลอกลวง หรือโดยมิชอบ ดังนั้นหากพยานหลักฐานเกิดขึ้นจากการกระทำดังกล่าวแล้ว พยานหลักฐานนั้นเชื่อถือไม่ได้

**มาตรา ๒๒๗** บัญญัติว่า “ให้ศาลใช้ดุลพินิจวินิจฉัยซึ่งน้ำหนักพยานหลักฐานทั้งปวงอย่าพิพากษาลงโทษจนกว่าจะแน่ใจว่ามีการกระทำความผิดจริงและจำเลยเป็นผู้กระทำความผิดนั้น

เมื่อมีความสงสัยตามสมควรว่าจำเลยได้กระทำความผิดหรือไม่ ให้ยกประโยชน์แห่งความสงสัยนั้นให้จำเลย”

มาตรานี้เป็นการชั่งน้ำหนักพยาน การวินิจฉัยในการชั่งน้ำหนักพยานนั้น ในคดีอาญา ภาระหน้าที่นำสืบตกแก่โจทก์เป็นฝ่ายนำสืบให้ศาลเห็นว่ามีการกระทำความผิดจริง โดย จำเลยเป็นผู้กระทำความผิดนั้น หากพยานหลักฐานมีน้ำหนักไม่เพียงพอ ศาลก็สามารถยกฟ้องโจทก์ได้

**มาตรา ๒๔๑** บัญญัติว่า “สิ่งใดใช้เป็นพยานวัตถุต้องนำมาศาลในกรณีที่น่ามาไม่ได้ให้ศาลไปตรวจจดยางยังที่ที่พยานวัตถุตั้งอยู่ตามเวลาและวิธีซึ่งศาลเห็นสมควรตามลักษณะแห่งพยานวัตถุ”

**มาตรา ๒๔๒** บัญญัติว่า “ในระหว่างสอบสวน ใต้วงมูลฟ้องหรือพิจารณา สิ่งของซึ่งเป็นพยานวัตถุต้องให้คู่ความหรือพยานตรวจดู ถ้ามีการแก้ข้อหรือทำลายตรา การท่อนหรือตีตราใหม่ให้ทำต่อหน้าคู่ความหรือพยานที่เกี่ยวข้องนั้น”

ในมาตรา ๒๔๑ และ ๒๔๒ เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ของวัตถุพยาน โดยตาม มาตรา ๒๔๑ นั้น สถานที่เกิดเหตุ จัดเป็นวัตถุพยานด้วย โดยในชั้นสอบสวนใต้วงมูลฟ้องหรือพิจารณานั้นพยานวัตถุต้องให้คู่ความหรือพยานที่เกี่ยวข้องตรวจดูก่อน โดยจะต้องแก้ข้อหรือท่อนต่อหน้า คู่ความหรือพยานที่

เกี่ยวข้อง แต่ไม่จำเป็นต้องกระทำต่อหน้าจำเลย ตามมาตรา ๒๔๒. (คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2559)

**มาตรา ๒๔๔/๑** บัญญัติว่า “ในกรณีความผิดอาญาที่มีอัตราโทษจำคุก หากมีความจำเป็นต้องใช้พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงใดที่เป็นประเด็นสำคัญแห่งคดี ให้ศาลมีอำนาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์บุคคล วัตถุ หรือเอกสารใด โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้”

วิธีการที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ทั้งจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายในกรณีที่มีการตรวจพิสูจน์ตามวรรคหนึ่ง จำเป็นต้องตรวจเก็บตัวอย่าง เลือด เนื้อเยื่อ ผิวน้ำ เส้นผมหรือขน น้ำลาย ปัสสาวะ อุจจาระ สารคัดหลั่ง สารพันธุกรรม หรือส่วนประกอบของร่างกายจากคู่ความหรือบุคคลใด ให้ศาลมีอำนาจสั่งให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตรวจดังกล่าวได้ แต่ต้องกระทำเพียงเท่าที่จำเป็นและสมควรโดยใช้หรืออนามัยของบุคคลนั้น และคู่ความหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต้องให้ความยินยอม หากคู่ความฝ่ายใดไม่ยินยอมหรือกระทำการป้องกันขัดขวางมิให้บุคคลที่เกี่ยวข้องให้ความยินยอมโดยไม่เหตุอันสมควร ให้สันนิษฐานไว้เบื้องต้นว่าข้อเท็จจริงเป็นไปตามที่คู่ความฝ่ายตรงข้ามกล่าวอ้าง

ในกรณีที่พยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์สามารถพิสูจน์ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงที่อาจทำให้ศาลวินิจฉัยชี้ขาดคดีได้โดยไม่ต้องสืบพยานหลักฐานอื่นอีก หรือมีเหตุอันควรเชื่อว่าหากมีการเน้นย้ำซ้ำว่าจะนำพยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์อันสำคัญมาสืบในภายหน้า พยานหลักฐานนั้นจะสูญหายไปหรือยากแก่การตรวจพิสูจน์ เมื่อคู่ความฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งร้องขอ หรือเมื่อศาลเห็นสมควร ศาลอาจสั่งให้ทำการตรวจพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ตามความในวรรคหนึ่งและวรรคสองได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้ถึงกำหนดวันสืบพยานตามปกติ ทั้งนี้ ให้นำบทบัญญัติในมาตรา ๒๓๗ ทวิ มาใช้บังคับโดยอนุโลม

ค่าใช้จ่ายในการตรวจพิสูจน์ตามมาตรานี้ให้สง่ายจากงบประมาณตามระเบียบที่คณะกรรมการบริหารศาลยุติธรรมกำหนดโดยความเห็นชอบจากกระทรวงการคลัง” (สพฐ กิติคุณการ, 2565)

## 2.5 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับดิน

ดินเป็นมหัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เป็นวัสดุธรรมชาติที่เกิดจากการผสมคลุกเคล้ากันของวัสดุที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่กับซากพืชซากสัตว์ในสภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ และระยะเวลาในการเกิดที่แตกต่างกันรวมตัวกัน เป็นชั้นบางๆ และเมื่อมีน้ำและอากาศที่เหมาะสมก็จะทำให้ พืชเจริญเติบโตและยังชีพอยู่ได้ ซึ่งในทางวิศวกรรม ดินจะหมายถึง “ The unconsolidated

Material above solid rock” คือ วัสดุที่ประกอบด้วยเม็ดแร่ธาตุ คือ ดินเหนียว (Clay) ดินทราย เม็ดละเอียด ทรายแป้ง(Silt) ดินทราย(Sand) และกรวด(Gravel) ที่ไม่จับกันแน่น และอยู่เหนือชั้นหิน สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย (ปิยะ รัตนสุวรรณ, 2561)

**2.5.1 ส่วนประกอบของดิน** ดินจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในสัดส่วนปริมาณที่แตกต่างกันไป ส่วนประกอบของดินนั้นได้มาจากปัจจัยการกำเนิดดิน

**2.5.1.1 ของแข็ง** ประกอบไปด้วยอนินทรีย์วัตถุ อินทรีย์วัตถุ และสิ่งมีชีวิต

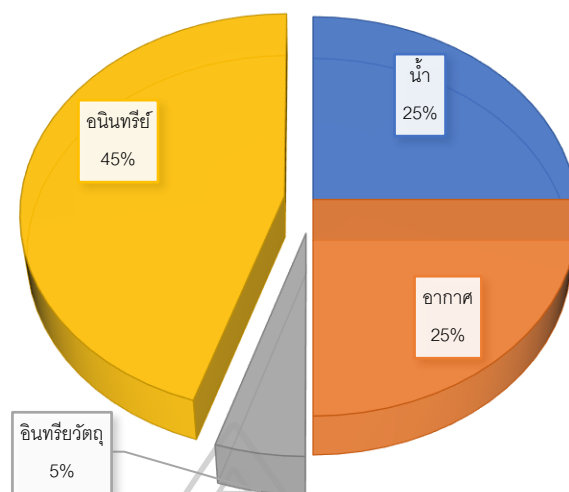
**อนินทรีย์วัตถุ** มีปริมาณมากที่สุดในดินทั่วไป (ยกเว้นดินอินทรีย์) ได้จากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ อนินทรีย์วัตถุเป็นตัวควบคุมลักษณะเนื้อดิน เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชและจุลินทรีย์ และควบคุมกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในดิน

**อินทรีย์วัตถุ** เป็นส่วนของซากพืชซากสัตว์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ มีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

**สิ่งมีชีวิต** สิ่งมีชีวิตจะรวมถึงพืชและสัตว์ทั้งขนาดเล็กขนาดใหญ่ ที่มองเห็นได้และมองเห็นไม่ได้ด้วยตาเปล่า สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะแทรกตัวอาศัยอยู่ตามช่องว่างในดิน มีบทบาทต่อการผุพังสลายตัวของหินและแร่ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ การเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของดิน ก่อถ่ายเทอากาศ และการเคลื่อนย้ายของสารต่างๆในดิน

**2.5.1.2 ของเหลว** เป็นส่วนของน้ำ สารละลาย และสารแขวนลอยในดิน ของเหลวจะอยู่ตามช่องว่างในดิน ปริมาณของของเหลวจะเป็นสัดส่วนกลับกับส่วนที่เป็นก๊าซ มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยจะช่วยละลายธาตุอาหารต่างๆในดิน และเป็นส่วนสำคัญในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืชจากดินไปสู่ราก และจากรากไปสู่ส่วนต่างๆของพืช

**2.5.1.3 ก๊าซ** เป็นส่วนของอากาศประกอบไปด้วย ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ที่พบได้โดยทั่วไปในดินได้แก่ ไนโตรเจน(N) ออกซิเจน(O) คาร์บอนไดออกไซด์(C) ไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า(H<sub>2</sub>S) และมีเทน(CH<sub>4</sub>) เป็นต้น ซึ่งเป็นทั้งประโยชน์และเป็นพิษต่อพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของดิน  
(สถานีพัฒนาที่ดิน, 2559, น.1)

### 2.5.2 ลักษณะทางสัณฐานดิน (โครงสร้างหรือรูปทรงของดิน)

ลักษณะทางสัณฐานดินเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างหรือรูปทรงของดิน ที่สามารถสังเกตและศึกษาได้จากหน้าตัดของดินอาจเป็นหลุมที่ขุดขึ้นมาใหม่ หน้าตัดดินข้างถนน หรือบ่อขุด ซึ่งเราจะเห็นชั้นดินต่างๆ หลายชั้นมากน้อยแตกต่างกันไป บางดินเห็นได้ชัดเจน บางดินแบ่งชั้นดินได้ยาก สมบัติทางสัณฐานที่สำคัญได้แก่ ความลึก ความหนาของชั้นดิน สีพื้น และจุดประสีของดิน โครงสร้างของดิน การยึดเกาะของเม็ดดิน ช่องว่างในดิน ปริมาณกวด หิน ลูกรัง และซากพืช โดยได้กำหนดชั้นดินหลักไว้ 5 ชั้น ได้แก่ ชั้น O A E B และ C บางหน้าดินอาจพบชั้น R ซึ่งเป็นชั้นหินพื้น ที่อาจเป็นหินที่สลายตัวผุพังและให้กำเนิดดินที่อยู่ตอนบนหรือไม่ก็ได้ ซึ่งเราอาจแบ่งชั้นดินง่ายๆ ออกได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นดินบน และชั้นดินล่าง

**ชั้นดินบน** ส่วนมากหนาประมาณ 15-30 เซนติเมตร มักมีสีคล้ำหรือสีดำกว่าชั้นอื่นๆ เพราะเป็นชั้นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า

**ชั้นดินล่าง** มีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินบน ดินชั้นล่างจะแน่นทึบกว่าดินชั้นบน

### 2.5.3 สีของดิน

สีของดินเป็นสมบัติของดินที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนกว่าสมบัติอื่นๆ ดินแต่ละบริเวณจะมีสีที่แตกต่างกันไป จากสีของดิน เราสามารถที่จะประเมินสมบัติบางอย่างของดินที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การระบายน้ำของดิน อินทรีย์วัตถุในดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

**ดินสีดำ สีน้ำตาลเข้มหรือสีคล้ำ** ส่วนใหญ่เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากมีการคลุกเคล้าด้วยอินทรีย์วัตถุมากโดยเฉพาะชั้นดินบน บางกรณีสีคล้ำของดินอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของปัจจัยที่ควบคุมการเกิดดินอื่นๆ นอกเหนือไปจากการมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากก็ได้ เช่นดินที่เกิดมาจากวัตถุกำเนิดดินที่ผุพังสลายตัวมาจากหินที่ประกอบด้วยแร่ที่มีสีเข้ม เช่น หินภูเขาไฟ และมีระยะเวลาการเกิดไม่นานหรือมีดินแร่แมงกานีสสูง ก็จะทำให้มีสีดำคล้ำได้เช่นกัน

**ดินสีเหลืองหรือแดง** ส่วนใหญ่จะเป็นสีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แสดงถึงชั้นดินนั้นเกิดมานานและ ผ่านกระบวนการผุพังสลายตัวและซึมน้ำมานาน ดินมีการระบายน้ำดี แต่มักมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินสีเหลืองแสดงว่าดินมีออกไซด์ของเหล็กที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ส่วนดินสีแดงจะเป็นดินที่ออกไซด์ของเหล็กหรืออะลูมิเนียมไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

**ดินสีขาวหรือสีเทาอ่อน** การที่ดินมีสีอ่อนอาจแสดงว่าเป็นดินที่เกิดมาจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกที่สลายตัวมาจากหินที่มีแร่สีจางเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น หินแกรนิต หรือหินทรายบางชนิด หรืออาจเป็นดินที่ผ่านกระบวนการชะล้างอย่างรุนแรงจนธาตุอาหารถูกซึมน้ำออกไปหมด หรือมีสีอ่อนเนื่องจากมีการสะสมของปูน ยิปซัม หรือเกลือชนิดต่างๆ ในหน้าตัดดินมากก็ได้ ส่วนใหญ่มักเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก

**ดินสีเทาหรือสีเทาปนน้ำเงิน** การที่ดินมีสีเทาหรือสีน้ำเงิน เป็นการบ่งชี้ว่าดินอยู่ในสภาวะที่มีน้ำแช่ขังเป็นเวลานาน มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศไม่ดี ทำให้เกิดสารประกอบของเหล็กสีเทาหรือสีน้ำเงิน

#### 2.5.4 ความสามารถในการดูดซับ และปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน

เป็นสมบัติของดินที่มีความสำคัญต่อการสำรองปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ไว้ในดิน และปลดปล่อยออกมาให้พืชได้ใช้ประโยชน์ อินทรีย์วัตถุและแร่ดินเหนียวในดินมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อสมบัตินี้ของดิน เนื่องจากผิวของอินทรีย์วัตถุและแร่ดินเหนียวจะมีประจุลบเหลืออยู่ จึงสามารถดูดซับประจุบวกได้ แร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการส่วนใหญ่มักมีประจุบวก เช่น ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี นอกจากนี้ยังช่วยในการควบคุมหรือต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินด้วย โดเนการดูดซับประจุบวกที่เป็นกรด ได้แก่ ไฮดรเจนและอะลูมิเนียม ไว้ (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

### 2.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction)

#### 2.6.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer: XRD)

ทฤษฎีพื้นฐานของ XRD อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีที่สะท้อนทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ ในปีค.ศ.1912 W.L.Bragg ได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาศึกษาในรูปแบบโครงสร้างผลึกของแร่

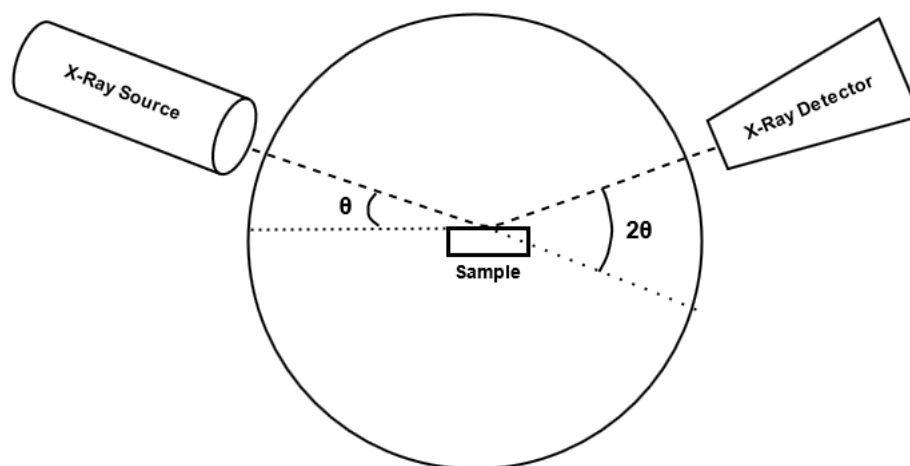


ต่างๆ ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้น เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ขึ้นในปี ค.ศ. 1948 และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงาน และวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น (ศันศณี รักไทยเจริญชีพ, 2558)

เครื่องมือวัดของ XRD จะแตกต่างกันไปตามประเภทของการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างเช่น ในวิธี Laue แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่ยึดตัวอย่าง และเครื่องตรวจจับ เช่น फिल्मถ่ายภาพ จะถูกจัดวางเป็นเส้นตรงก่อนใส่ตัวอย่าง จะมีรอยผ่าที่ช่วยในการเปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นต่างๆของ เอ็กซ์เรย์ เมื่อรังสีเอกซ์กระทบกับตัวอย่าง จุดเลี้ยวเบนจะปรากฏบนฟิล์มถ่ายภาพ จุดเหล่านี้เป็นลักษณะของการวางแนวผลึกของตัวอย่าง การจัดวางคริสตัลในเทคนิคนี้ต้องสมบูรณ์แบบ เนื่องจากการบิดเบือนใดๆ อาจนำไปสู่การก่อด่างของจุดเลี้ยวเบนที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดข้อมูลเท็จ วิธีการของ Laue มีหลายรูปแบบ เช่น วิธีการสะท้อนกลับและวิธีการส่งสัญญาณ ในวิธีสะท้อนกลับฟิล์มถ่ายภาพ อยู่ในตำแหน่งระหว่างแหล่งกำเนิดและตัวอย่าง และการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นในทิศทางย้อนกลับ ซึ่งในวิธีการส่งผ่านฟิล์มจะอยู่ด้านหลังตัวอย่างและตรวจจับลำแสงการเลี้ยวเบนที่ส่งผ่านตัวอย่าง วิธีนี้โดยทั่วไปจะใช้สำหรับการปรับทิศทางของผลึกเดี่ยว (Chaudhery Mustansar Hussain, 2020)

### 2.6.2 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จาก [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Powder\\_XRD\\_schematic\\_diagram.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Powder_XRD_schematic_diagram.png)

จากรูปแสดงถึงภายในเครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งประกอบด้วย หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ที่เป็นหลอดปิดและอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งรังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้นโดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออก จากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจากเส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดเข้า ขนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้า ขนจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุด ออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ (detector) หลอดรังสีเอ็กซ์หลายชนิด เรียกตามชื่อของโลหะที่ใช้ทำแอโนด เช่น Mo W Cr Cu Co Ag Fe ซึ่งโลหะเหล่านี้จะให้ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกัน จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำวิเคราะห์ โดยปกตินิยมใช้ Cu ซึ่งให้ค่าความยาวคลื่น 1.542 Å (พรนิภา ขาวสมบุญ, 2558)

### 2.6.3 รังสีเอ็กซ์

รังสีเอ็กซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, M, L,...) เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้น หรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรออกมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสมดุลของโครงสร้างรวมภายในอะตอม โดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ และลดระดับพลังงานภายในและปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่น ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่นเฉพาะในแต่ละธาตุ จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์กันในการวิเคราะห์ธาตุตามระดับพลังงานของตัวอย่างได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

รังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นในช่วง 0.01-100 Å แต่ที่ใช้ในงานด้านเอกซเรย์ดีฟแฟรกชัน ส่วนใหญ่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.5-2.5 Å ในขณะที่แสงที่คนมองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่นในช่วง 4000-7000 Å รังสีเอ็กซ์เรย์ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1895 โดยเรินต์เกน (W.C.Röntgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ขณะทดลองการเรืองแสงของรังสีแคโทด (cathode ray tube) ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและการเกิดอันตรกิริยาของรังสีต่อสาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์ การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอ็กซ์เรย์กับสารนั้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การเปล่งแสง (emission) การดูดกลืน (absorption) การกระเจิง (scattering) การเลี้ยวเบน (diffraction) เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมีการนำรังสีเอ็กซ์เรย์มาใช้ประโยชน์ต่างๆมากมาย

### 2.6.4 แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เกิดจากอิเล็กตรอน (electron) ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงวิ่งไปชนเป้า (target) ที่ทำจากโลหะหรือสารประกอบทำให้เกิดอันตรกิริยาระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชั้นต่างๆ (K, M, L,...) ของอะตอมมีค่าสูงขึ้นเกิดภาวะไม่เสถียร (unstable) อิเล็กตรอนจึงต้องลดระดับพลังงานเพื่อเข้าสู่สภาวะปกติ โดยมวลของอะตอมจะไม่เปลี่ยนแปลง เป็นการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปแบบแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในลักษณะพัลส์ (pulse) จากอะตอม ทุกครั้งที่ได้รับการกระตุ้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปลดปล่อยออกมานี้เรียกว่ารังสีเอกซ์

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติจากการสลายตัวของนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสี และมนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกอิเล็กตรอนิกส์ ซึ่งในการผลิตรังสีเอกซ์ขึ้นมาจะต้องมีส่วนประกอบต่อไปนี้ คือ แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน วิธีการเร่งความเร็วอิเล็กตรอน และเป้าที่หยุดอิเล็กตรอน เครื่องมือที่ใช้ผลิตรังสีเอกซ์คือหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แบบมีหน้าต่างด้านข้าง (side window) และแบบที่มีหน้าต่างด้านท้าย (end window)

### 2.7 ทฤษฎีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เมื่อลำแสงเอ็กซ์เรย์กระทบกับตัวอย่าง ตัวอย่างจะผ่านเหตุการณ์การกระเจิงและการดูดกลืนเป็นชุด การดูดกลืนรังสีเอกซ์เกิดขึ้นเนื่องจากความสามารถในการเจาะของแข็งได้ง่าย สามารถประมาณปริมาณรังสีเอกซ์ที่ดูดกลืนได้ง่ายโดยใช้กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ซึ่งเปรียบเทียบความเข้มของโฟตอนเอ็กซ์เรย์ที่ส่งผ่านกับความเข้มเริ่มต้น ยิ่งตัวอย่างมีความหนาแน่นมากเท่าใด ความเข้มของโฟตอนที่ส่งยิ่งน้อยลงเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการดูดซับที่มากขึ้น ในการกระเจิงของรังสีเอกซ์ การมีอยู่ของอะตอมในลำดับในตัวอย่างจะทำให้รังสีเอกซ์กระเจิง มีเหตุการณ์กระเจิงสองประเภท คือ การกระเจิงแบบยืดหยุ่นและแบบไม่ยืดหยุ่น

**การกระเจิงแบบยืดหยุ่น** พลังงานของโฟตอนเอ็กซ์เรย์จะถูกอนุรักษ์ไว้เมื่อกระทบกับตัวอย่าง

**การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น** พลังงานจะสูญเสียและแปลงเป็นรูปแบบอื่น

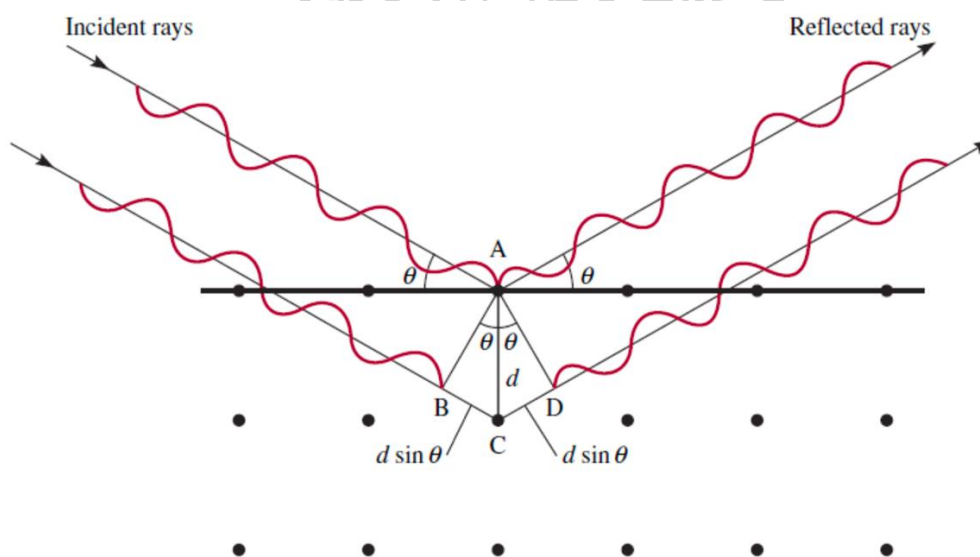
การกระเจิงแบบยืดหยุ่นยังรักษาข้อมูลของแหล่งที่มาที่รังสีเอกซ์ถูกปล่อยออกมาในขณะที่การกระเจิงที่ไม่ยืดหยุ่นไม่ได้ การกระเจิงแบบยืดหยุ่นที่รังสีเอกซ์มักได้รับเรียกว่าการกระเจิงของทอมสัน ในการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น รังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงของคอมป์ตัน ซึ่งพลังงานของรังสีเอกซ์จะลดลงเมื่อชนกับอิเล็กตรอน (Chaudhery Mustansar Hussain, 2020)

ในสมัยก่อนการศึกษาโครงสร้างผลึกทำได้แต่ดูลักษณะภายนอกของผลึกที่ปรากฏตามธรรมชาติเท่านั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 1912 นักวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Max von Laue เป็นคนแรกที่มีแนวคิดว่าการจัดตัวของอะตอมภายในผลึกน่าจะจัดเป็นระเบียบเหมือนกับรูปร่างภายนอกที่ปรากฏให้เห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นจริง ผลึกน่าจะสามารถดิฟแฟรค (diffract) แสงได้

โดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับระยะระหว่างอะตอมในผลึก เขาจึงจัดการทดลองขึ้นโดยฉายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นในช่วงแคบ ๆ (monochromatic ray) ผ่านไปยังผลึกของ copper sulfate แล้วพบว่าผลึกของ copper sulfate สามารถดิฟแฟรกรังสีเอกซ์ตามที่คาดไว้จริงๆ ต่อมานักฟิสิกส์ชาวอังกฤษพ่อลูก W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้ใช้สมการคณิตศาสตร์ง่าย ๆ มาอธิบายผลการทดลองของ Laue และนำไปคำนวณหาโครงสร้างผลึกของ NaCl ได้ผลสำเร็จเป็นครั้งแรก และเรียกสมการการคิดนี้ว่า สมการของ Bragg (Bragg's equation) (ธรรม ศรีหล่มสัก, 2554)

### 2.7.1 สมการของ Bragg (Bragg's equation)

Bragg's equation คือสมการคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายการดิฟแฟรกชันของรังสีเอกซ์เขียนขึ้นโดย W.L. Bragg เมื่อรังสีเอกซ์เกิดการตกกระทบผิวหน้าของผลึกโดยทำมุม  $\theta$  บางส่วนของรังสีจะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นของอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของรังสีจะผ่านไปยังชั้นที่สองของอะตอม ซึ่งบางส่วนจะเกิดการกระเจิง และส่วนที่เหลือจะผ่านเข้าไปยังชั้นที่สามของอะตอม ดังรูป



ภาพที่ 4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์  
(วีรินทร์ดา ทะปะละ, 2564, น.20)

ถ้าอะตอมผลึกจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีระยะห่างระหว่างอะตอมเท่า ๆ กัน ลำรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปในแต่ละชั้นของอะตอมจะเกิดการเลี้ยวเบนเป็นลำขนานกัน การเลี้ยวเบนนี้มีลักษณะคล้ายกับการเลี้ยวเบนเกรตติ้งแบบสะท้อน (reflection grating) จากรูปจะพบว่ารังสีขนานตกลงบนผลึกที่จุด A และ C ตามลำดับ โดยทำมุม  $\theta$  กับระนาบของผลึก การเลี้ยวเบนของรังสีจะเกิดขึ้นเมื่อ

ระยะทางที่รังสีเอกซ์ 1 และ 2 (เส้นสีแดง) เดินทางต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น ได้สมการว่า

$$n\lambda \sin \theta = 2d \sin \theta$$

โดยกำหนดให้  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (นาโนเมตร)

$\theta$  คือ มุมของแบรกก์ (องศา)

$d$  คือ ระยะระหว่างระนาบของผลึก (นาโนเมตร)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้ารังสีเอกซ์ที่ตกกระทบมีความยาวคลื่นคงที่แล้ว มุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นระหว่างระนาบของผลึก (ธรรม ศรีหล่มสีก, 2554)

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2003 Rob W Fitzpatrick และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการที่สามารถระบุตัวอย่างดินได้อย่างรวดเร็ว ในลักษณะกึ่งรายละเอียด และการหาปริมาณกึ่งหนึ่งของแร่ธาตุและอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างจำนวนมาก และอนุภาคดินแต่ละส่วนตามการเลือกตัวอย่างและการแยกส่วนขนาด (< 50 ไมโครเมตร) โดยได้เลือกใช้การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของผงรังสีเอกซ์ (XRD), การแปลงฟูเรียร์สะท้อนแสงแบบอินฟราเรดแบบกระจาย (DRIFT) และ วิถีความไวต่อแม่เหล็กมวลและปริมาตร และในงานวิจัยของเขายังกล่าวถึงคำพูดของจากข้อมูลของ Murray ว่าวิธีการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) “จะเป็นเครื่องมือที่มีค่าที่สุดสำหรับการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์ของวัสดุของโลก” ตัวอย่างเช่น รูปแบบ XRD สามารถเปรียบได้กับการเปรียบเทียบด้วยลายนิ้วมือระหว่างตัวอย่างดิน และสามารถนำมาใช้เพื่อกำหนดว่าตัวอย่างดินมีความเกี่ยวข้องกันมากเพียงใด

ในปี 2004 Alastair Ruffell และคณะ ทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของแร่ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) แบบเดิม กับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เชิงปริมาณ (QXRD) การใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันช่วยให้สามารถจับคู่ปริมาณแร่ธาตุที่เฉพาะเจาะจงระหว่างที่เกิดเหตุ (SOC) และผู้ต้องสงสัย โดยในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่างจากตำแหน่งที่เป็นไปได้ของสถานที่เกิดเหตุที่ได้มาจากดอกยางรถยนต์ จากสถานที่เกิดเหตุ 2 สถานที่ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และเทคนิค QXRD พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD สามารถบ่งบอกถึงชนิดและความแตกต่างของแร่ธาตุจากตัวอย่างดินของทั้ง 2 สถานที่ที่ได้ ต่างจากเทคนิค QXRD ที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณหรือสัดส่วนของแร่ชนิดต่างๆได้ แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างสัดส่วนของแร่ธาตุในทั้งสองสถานที่ได้ (Ruffell & Wiltshire, 2004)

ในปี 2008 Nicholas Petraco และคณะ มีการหารือเกี่ยวกับการตรวจสอบและเปรียบเทียบ ตัวอย่างดินทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยผู้เขียนได้กล่าวถึงคดีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หลากหลายวิธีและหนึ่งในนั้นมีวิธีที่ใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์ คือ คดีที่ 2 ในต้นฤดูใบไม้ผลิร่างของหญิงสาววัยรุ่นถูกพบลอยล่องไปตามแม่น้ำทางทิศตะวันออกเฉียงออกใกล้กับใจกลางเมืองแมนฮัตตัน นักวิจัยออกกึ่งหลายคนได้เห็นร่างกายกระดกขึ้นลงขณะที่พวกเขากำลังวิ่งไปตามทางเดินริมทะเลที่ขนานไปกับแม่น้ำอีสต์ หญิงที่เสียชีวิตได้รับการระบุภายหลังว่าเป็นบุคคลที่หายสาบสูญ จากการชันสูตรพลิกศพพบว่าเหยื่อถูกยิงด้วยปืนพก และในระหว่างการสอบสวนพบว่าหญิงที่เสียชีวิตนั้นอยู่ในขั้นตอนการหย่าร้างจากสามี สามีจึงตกเป็นผู้ต้องสงสัยหลักในการสอบสวน มีการออกหมายค้นสำหรับที่อยู่อาศัยของเขา ขณะดำเนินการตามหมายจับ เจ้าหน้าที่ตรวจสถานที่เกิดเหตุพบร่องเท้าผู้ชายข้างขวาเปื้อนน้ำ อยู่ในตู้เสื้อผ้าภายในห้องนอนของผู้ต้องสงสัย เมื่อพลิกร่องเท้าพบว่ามีทรายจำนวนเล็กน้อยเกาะติดอยู่ที่ส่วนด้านในของร่องเท้า จึงส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์และทรายที่ต้องสงสัยบนร่องเท้า (QS1) ถูกนำไปเปรียบเทียบกับทรายจากชายหาดท้องถิ่น (KSI) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผลวิเคราะห์พบว่าทรายที่ต้องสงสัยบนร่องเท้า (QS1) อาจมีต้นกำเนิดมาจากทรายจากชายหาดท้องถิ่น (KSI) กล่าวคือผู้ต้องสงสัยอาจพาภรรยาไปริมชายหาดก่อนยิงทิ้งด้วยปืนพก แล้วนำศพมาอำพรางทิ้งไว้ที่ริมแม่น้ำ (Petraco et al., 2008)

ในปี 2013 Lorlyn Reidy และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินจากพรมในรถของผู้ต้องสงสัยในสถานที่เกิดเหตุ สถานที่ใกล้เคียง และสถานที่ไกลออกไป กับลักษณะจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของดิน (soil fingerprint) ที่รวบรวมจากเขตลาฟาแยต รัฐมิสซิสซิปปี ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการวิเคราะห์หาธาตุทั้งหมดจำนวน 22 ชนิด จาก 8 ตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิค ICP-MS และการตรวจสอบโดยใช้สถิติหลายตัวแปร ผลสรุปว่าสามารถแยกตัวอย่างดินที่ต้องสงสัยออกมาได้อย่างถูกต้อง (Reidy et al., 2013)

ในปี 2015 Dawson A. Lorna และคณะ ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับดินทางนิติวิทยาศาสตร์ พบว่าช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมามีความก้าวหน้าอย่างมากในการจำแนกลักษณะของดินสำหรับการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ทั้งในเทคนิคการวัดและเครื่องมือวัด และในดินโดยเฉพาะคุณสมบัติที่กำลังตรวจสอบ ในกรณีส่วนใหญ่แนวทางต่างๆ จะถูกกำหนดโดยการวิเคราะห์เฉพาะวิธีการที่ใช้มากกว่าลักษณะเฉพาะของตัวอย่างดิน ศักยภาพค่าของการวิเคราะห์ตัวอย่างดินขนาดเล็กมากที่ได้จากร่องเท้าและคำถามอื่นๆรายการเป็นแรงผลักดันในการพัฒนาและการใช้เทคนิคใหม่ ๆ มากมาย การปรับปรุง เช่น ความสามารถในการวิเคราะห์ขนาดตัวอย่างที่เล็กลง ความไวที่ดีขึ้น และด้วยเหตุนี้จึงเพิ่มขึ้นอำนาจการเลือกปฏิบัติและการประมวลผลที่เร็วขึ้นและถูกกว่านั้นเห็นได้ชัดในเวทีนี้ความก้าวหน้าบางอย่างมีอยู่ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบอนินทรีย์ของดิน เช่น powder x-ray

diffraction (XRD) หรือกับระบบ QEMSCAN สำหรับการประเมินแร่ธาตุโดยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Dawson & Mayes, 2015)

ในปี 2018 Correa และคณะ ได้ทำการศึกษา Oxisol 16 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บที่ ระยะห่างระหว่าง 2-1000 เมตร และตัวอย่าง Inceptisol 16 ตัวอย่างถูกเก็บที่ระยะห่างระหว่าง 2-300 เมตร เศษส่วนดินถูกสกัดจากตัวอย่างดินและทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Hyperspectral color reflectance (HSI), X-ray diffraction crystallographic (XRD) และวิเคราะห์เหล็กออกไซด์, เคโอลิไนต์ และกิบบ์ไซต์ ชุดข้อมูลถูกส่งไปยังการวิเคราะห์หลายตัวแปรและผลลัพธ์มีตั้งแต่ 65% ถึง 100% ผลการวิเคราะห์พบว่าสีดินเหนียวและ XRD เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการแยกแยะ ตัวอย่างดินเหนียว และตัวอย่าง Inceptisol แยกแยะได้ง่ายกว่าตัวอย่าง Oxisol (Corrêa et al., 2018)

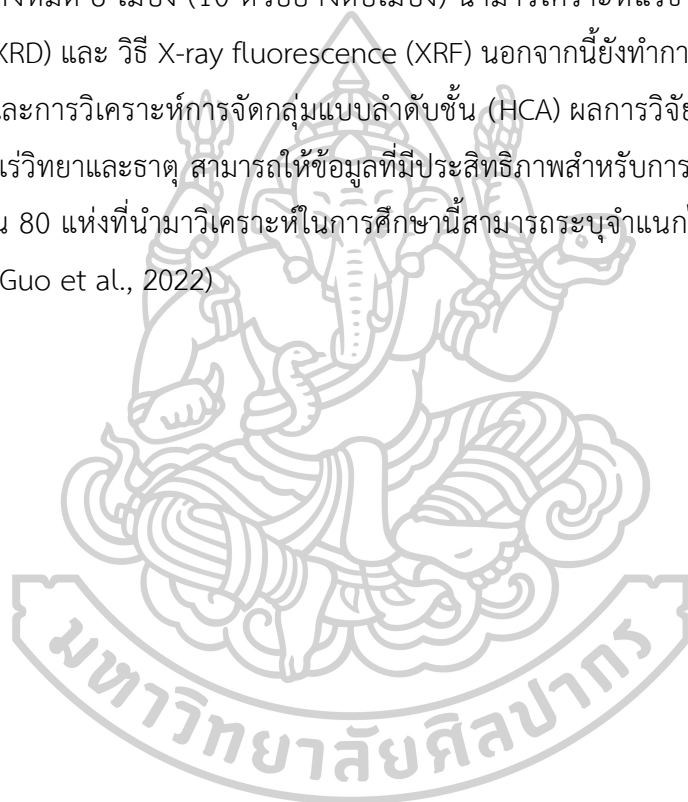
ในปี 2019 Melo Freitas Vander และคณะ ทำการวิเคราะห์ร่องรอยของดินในปริมาณ จำกัด (0.5 กรัม) จากยานพาหนะของผู้ต้องสงสัย (ที่ติดอยู่ที่กระจกมองหลังด้านนอกและบังโคลน หน้าด้านซ้าย) ที่เกี่ยวข้องกับคดีฆาตกรรม และเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างพื้นผิวที่พบในจุดทิ้งศพของเหยื่อที่ถนนกราสีโอซา รัฐปารานา ประเทศบราซิล ผลลัพธ์ทั้งหมดยืนยันว่ารถของผู้ต้องสงสัยอาจสัมผัสกับขอบถนนกราสีโอซา ซึ่งเป็นจุดที่ศพของเหยื่ออยู่โดยประมาณ จากผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบดิน ผลลัพธ์ที่ได้สนับสนุนการสัมผัสยานพาหนะของผู้ต้องสงสัยกับสถานที่เกิดเหตุ

ในปี 2020 Pitts M. Kari และคณะ ได้นำเสนอเทคนิคที่เป็นประโยชน์สำหรับการสร้างความแตกต่างของดินที่เนื้อดินถูกครอบงำด้วยทรายควอทซ์ เม็ดทรายควอทซ์ถูกใช้เป็นตัวเชื่อมในการสุมตัวอย่าง ซึ่งการเคลือบแบบละเอียด (อนุภาคขนาด <20 ไมครอน) จะได้รับการกู้คืนและวิเคราะห์โดยใช้ X-ray diffraction (XRD) ความเข้มสูงสุดของแร่ธาตุที่เกิดขึ้นทั่วไปทั้งหมด 7 ชนิด แปลงเป็นเปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ ใช้เพื่อเปรียบเทียบดินได้ผิวดิน 52 ดินจากตำแหน่งที่ทราบ และดินอีก 339 ดินจากชั้นหินต่างๆ ตามอัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบความคล้ายคลึงกัน ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าเทคนิคนี้ช่วยให้มีการเลือกปฏิบัติในระดับที่เพียงพอสำหรับการรวมไว้ในโปรโตคอลการเปรียบเทียบดินมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกรณีที่มีการวิเคราะห์แบบแยกส่วนแบบดั้งเดิมไม่เหมาะสม (Pitts & Clarke, 2020)

ในปี 2022 Newland G. Talia และคณะ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ขนาดใหญ่ใน เขตมหานครเพิร์ท (ออสเตรเลียตะวันตก) และสถานที่ที่เลือกโดยเฉพาะช่วยให้สามารถเลือกตัวอย่าง จากเนินทราย และระบบพืชที่แตกต่างกัน เพื่อทำการสำรวจเบื้องต้น และวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 2 แห่ง ในแต่ละแห่ง (ตัวอย่างเหล่านี้สุ่มเลือกจาก 5 ตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด การตรวจสอบเบื้องต้นใช้เทคนิค spectroscopic techniques microspectrophotometry, infrared spectroscopy และ x-ray diffraction การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงลำดับการวิเคราะห์หลายรูปแบบที่เหมาะสมกับลักษณะของ

ดินทราย ซึ่งยังคงเป็นหลักฐานการติดตามทางนิติวิทยาศาสตร์ในรูปแบบที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ ภายในที่ราบชายฝั่งสวอน ในเมืองเพิร์ธ รัฐเวสเทิร์นออสเตรเลีย ดินส่วนใหญ่ถูกชะล้างอย่างหนักโดย มืองค์ประกอบทางแร่เบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อย การขาดดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุทำให้วิธีการวิเคราะห์ แบบอนินทรีย์มีอิทธิพลเหนือกว่า นอกเหนือไปจากการทดลองด้วยเทคนิคดัดแปลง ตัวอย่างหนึ่งคือ การใช้ประโยชน์จากเศษละเอียดที่สกัดจากแร่ควอทซ์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับดินทรายที่แห้งและมีแร่ ควอทซ์เป็นองค์ประกอบ (Newland et al., 2022)

ในปี 2022 Guo Hongling และคณะ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 80 ตัวอย่าง ใน ประเทศจีน ทั้งหมด 8 เมือง (10 ตัวอย่างต่อเมือง) นำมาวิเคราะห์แร่ธาตุต่างๆ ด้วยวิธี X-ray diffraction (XRD) และ วิธี X-ray fluorescence (XRF) นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ หลัก (PCA) และการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบลำดับชั้น (HCA) ผลการวิจัยพบว่าผลการวิเคราะห์ องค์ประกอบแร่วิทยาและธาตุ สามารถให้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจำแนกและการติดตาม แหล่งที่มา ดิน 80 แห่งที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้สามารถระบุจำแนกไปยังเมืองต้นกำเนิดได้ อย่างถูกต้อง (Guo et al., 2022)





### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- รองเท้าคอมแบท (Combat Shoes)



ภาพที่ 5 รองเท้าที่ใช้ในงานวิจัย

- ตลับเมตร (Tape Measure)
- กรวยมาคจุด (Marker Cone)
- เสียม (Shovel)
- ถุงซิปล็อค (Ziplock Bags)
- เทปกาว (Tape Lable)
- เครื่อง X-ray Diffraction Benchtop ยี่ห้อ Malvern Panalytical รุ่น AERIS



ภาพที่ 6 เครื่อง X-ray Diffraction มหาวิทยาลัยศิลปากร ถ่ายโดยศูนย์เครื่องมือเทคนิคทาง  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

### 3.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างดินบนรองเท้า และรอยเท้า ที่แตกต่างกันจาก 10 สถานที่ (ตารางที่ 1) จำนวน 20 ตัวอย่าง กำหนด A เป็นดินจากพื้นรองเท้า และ B เป็นดินจากรอยรองเท้า (ตารางที่ 2) โดยทำการจำลองสถานที่ กำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง ระยะ 2×2 เมตร จากนั้นให้ชายสูง 177 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม เติมน้ำในพื้นที่ยกที่กำหนดเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการเก็บตัวอย่างดินที่ได้จากบนรองเท้า และรอยเท้า



ตารางที่ 1 ตารางแสดงสถานที่เก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 10 สถานที่ และพิกัดแผนที่





สถานที่เก็บตัวอย่างดิน	พิกัดแผนที่ (GPS)
1. ดินก่อสร้าง บริเวณข้างทางรถไฟ ตำบลลำพญา อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.8237858, 100.0368613)
2. ดินในสวนหน้าบ้านพักอาศัย ตำบลนาสร้าง อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.8275806, 100.0516453)
3. ดินริมบ่อน้ำสระแก้วมหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลสนามจันทร์ อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.8175254, 100.0411442)
4. ดินเลน บริเวณพื้นที่ลานกว้าง ตำบลวังตะกู อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.8558885, 100.0065762)
5. ดินถนนลูกรัง ตำบลหนองดินแดง อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.7888650, 99.9850357)
6. ดินสวนมะพร้าว ตำบลดำเนินสะดวก อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี	(13.5209965, 99.9614034)
7. ดินนาเกลือ ตำบลบางแก้ว อำเภอมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม	(13.4272366, 100.040479)
8. ดินโรงไม้หินศิลา เขาสูง ตำบลอ่างหิน อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี	(13.4611263, 99.7136028)





สถานที่เก็บตัวอย่างดิน	พิกัดแผนที่ (GPS)
9. ดินท้องนา ตำบลเสาชงหิน อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี	(13.8790696, 100.3955639)
10. ดินริมบ่อบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	(13.8186698, 100.0388318)





ตารางที่ 2 รูป ลักษณะ ตัวอย่างดินบนรองเท้า และรอยเท้า





ตัวอย่างดินจะแทนด้วยตัวเลข 1-10 จากตารางที่ 1 สำหรับตัวอย่างดินบนพื้นรองเท้าจะใช้รหัสตัวเลขและ A สำหรับตัวอย่างดินบนรอยรองเท้าเราจะใช้รหัสตัวเลขและ B



ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
1A ดินพื้นรองเท้า พื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ	ดินสีแดง มีความเหนียว หนืด	
2A ดินพื้นรองเท้า สวนหน้าบ้าน	ดินสีดำ มีความร่วนซุย	

ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
3A ดินพื้นรองเท้า ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร	ดินสีน้ำตาลอ่อนปน ทราย มีความร่วน ซุย	
4A ดินพื้นรองเท้า พื้นที่ลานกว้าง	ดินสีน้ำตาลอ่อน มี ความเหนียวเหนียว (ดินเลน)	
5A ดินพื้นรองเท้า ถนนลูกรัง	ดินสีแดง มีความ เหนียวเหนียว	
6A ดินพื้นรองเท้า สวนมะพร้าว	ดินสีดำ มีความร่วน	

ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
7A ดินพื้นรองเท้า นาเกลือ	ดินน้ำตาลเทา (อ้างอิงจากตอน เก็บ) มีความร่วนซุย	
8A ดินพื้นรองเท้า โรงโมหินศิลา เขางู	ดินสีน้ำตาลอ่อน (เหลือง) มีความ เหนียว	
9A ดินพื้นรองเท้า ท้องนา	ดินสีน้ำตาล มี ความเหนียวเหนียว	
10A ดินพื้นรองเท้า ริมบ่อบำบัด น้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร	ดินสีน้ำตาล ปน ทราย มีความร่วน ซุย	

ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
1B ดินรอยเท้า พื้นที่ก่อสร้าง ข้างทางรถไฟ	ดินสีแดง มีความเหนียวหนืด	
2B ดินรอยเท้า สวนหน้าบ้าน	ดินสีดำ มีความร่วนซุย	
3B ดินรอยเท้า ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร	ดินสีน้ำตาลอ่อนปนทราย มีความร่วนซุย	
4B ดินรอยเท้า พื้นที่ลานกว้าง	ดินสีน้ำตาลอ่อน มีความเหนียวหนืด (ดินเลน)	

ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
5B ดินรอยเท้า ถนนลูกรัง	ดินสีแดง มีความเหนียว หนัก	
6B ดินรอยเท้า สวนมะพร้าว	ดินสีดำ มีความร่วน	
7B ดินรอยเท้า นาเกลือ	ดินน้ำตาลเทา (อ้างอิงจากตอนเก็บ) มีความร่วนซุย	
8B ดินรอยเท้า โรงโมหินศิลา เขา งู	ดินสีน้ำตาลอ่อน (เหลือง) มีความเหนียว	

ตัวอย่างดิน	ลักษณะ	ภาพตัวอย่างดิน
9B ดินรอยเท้า ท้องนา	ดินสีน้ำตาล มี ความเหนียวเหนียว	
10B ดินรอยเท้า ริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร	ดินสีน้ำตาล ปน ทราย มีความร่วน ซุย	

### 3.2 วิธีการทดลอง

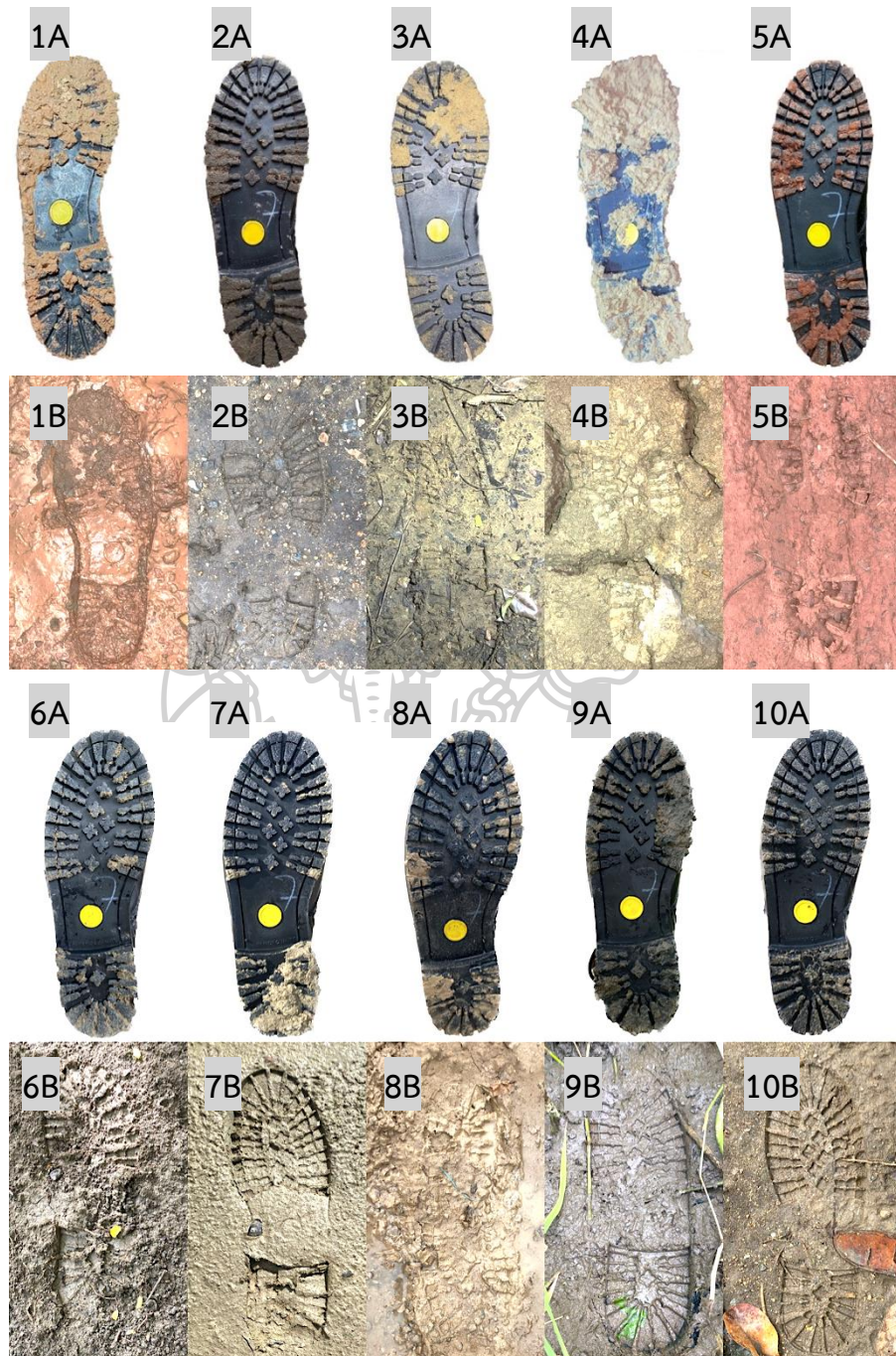
#### 3.2.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการจำลองสถานที่เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่างๆทั้งหมด 10 สถานที่ จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยกำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง ระยะ 2x2 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 7 จากนั้นให้อาสาสมัครเพศชาย สูง 177 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม สวมรองเท้าคอมแบท เดินย่ำในพื้นที่ที่กำหนดเป็นเวลา 5 นาที



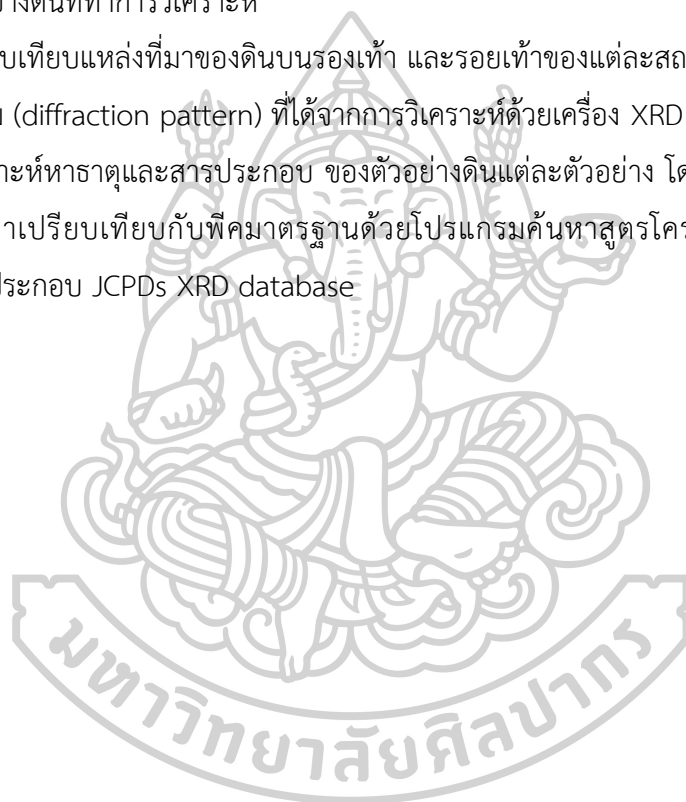
ภาพที่ 7 พื้นที่การจำลองสถานที่เก็บตัวอย่าง บริเวณพื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ





ภาพที่ 8 ภาพแสดงตัวอย่างดิน 20 ตัวอย่างบนพื้นรองเท้า (A) และบนรอยเท้าข้าง (B)

- 3.2.2 ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ได้จากบนพื้นรองเท้า จำนวน 10 ตัวอย่าง และรอยรองเท้า จำนวน 10 ตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 8
- 3.2.3 การทดสอบด้วยวิธีการ X-ray diffraction analysis (XRD)  
นำตัวอย่างที่ได้ทั้ง 20 ตัวอย่าง ทำการทดสอบที่เครื่อง X-ray diffraction Benchtop ยี่ห้อ Malvern Panalytical รุ่น Aeris ทำการสแกนที่  $2\theta$  ตั้งแต่  $5-80^{\circ}$  ดิฟแฟรกโตแกรมที่ได้เป็นการพลอตระหว่างค่า intensity (cts.) ในแกน Y และค่ามุม 2-theta (deg.) ในแกน X
- ตัวอย่างดินที่ทำการวิเคราะห์
- 3.2.4 เปรียบเทียบแหล่งที่มาของดินบนรองเท้า และรอยเท้าของแต่ละสถานที่ด้วยผลดิฟแฟรกโตแกรม (diffraction pattern) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD
- 3.2.5 วิเคราะห์หาธาตุและสารประกอบ ของตัวอย่างดินแต่ละตัวอย่าง โดยการนำดิฟแฟรกโตแกรม มาเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานด้วยโปรแกรมค้นหาสูตรโครงสร้างมาตรฐานของสารประกอบ JCPDs XRD database



## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวอย่างดินบนร่องเท้า และรอยเท้า จำนวน 20 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 10 สถานที่ในจังหวัดนนทบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม และราชบุรี ได้แก่ ดินพื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ ดินในสวนหน้าบ้าน ดินริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร ดินบริเวณลานกว้าง ดินถนนลูกรัง ดินสวนมะพร้าว ดินนาเกลือ ดินโรงโม่หินศิลา เขาขุ ดินท้องนา และดินริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) เพื่อจำแนกตัวอย่างดินจากแหล่งต่างๆ และแสดงผลการเปรียบเทียบของดินบนพื้นร่องเท้า และรอยร่องเท้าที่มาจากสถานที่เดียวกัน ได้ผลการศึกษาดังนี้

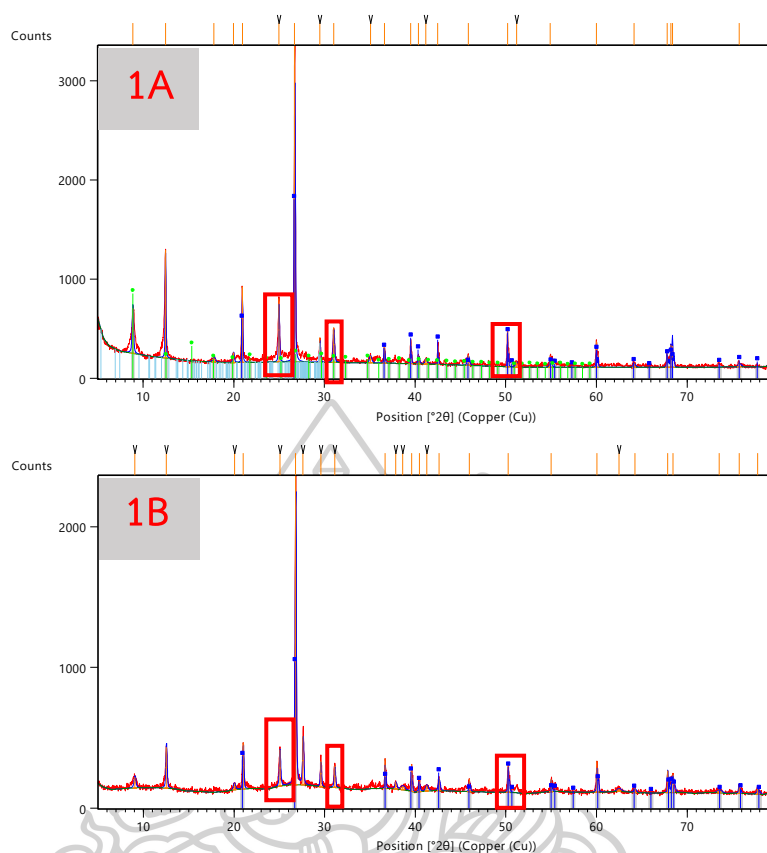
#### 4.1 ผลดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่างดิน

ดิฟแฟรกโตแกรม (diffractogram) ของตัวอย่างดินบนพื้นร่องเท้า และรอยเท้า ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง บ่งบอกข้อมูลค่า Intensity (cts) และค่ามุม  $2\theta$  (deg.) และบ่งบอกองค์ประกอบของธาตุและสารประกอบในตัวอย่างดิน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลบนเครื่อง เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้า จากบริเวณสถานที่สุ่มตัวอย่าง และเพื่อใช้เทคนิค XRD ในการวิเคราะห์ดิน เพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

#### 4.2 ผลเปรียบเทียบดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่างดินบนร่องเท้า และรอยเท้า ที่มาจากสถานที่เดียวกัน

จากการศึกษาตัวอย่างดินบนร่องเท้า และรอยเท้า จำนวน 20 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 10 สถานที่ในจังหวัดนนทบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม และราชบุรี ได้แก่ ดินพื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ ดินในสวนหน้าบ้าน ดินริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร ดินบริเวณลานกว้าง ดินทางลูกรัง ดินสวนมะพร้าว ดินนาเกลือ ดินโรงโม่หินศิลาเขาขุ ดินท้องนา และดินริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) เพื่อจำแนกตัวอย่างดินจากแหล่งต่างๆ บ่งบอกแหล่งที่มาของดิน และแสดงผลการเปรียบเทียบของดินบนพื้นร่องเท้าและรอยเท้าที่มาจากสถานที่เดียวกัน ได้ผลการศึกษาเป็นดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่างดิน โดยจะแสดงค่า Intensity (cts) ในแกน Y และค่ามุม  $2\theta$  (deg.) ในแกน X โดยค่า intensity จะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ซึ่งไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ

#### 4.2.1. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนรองเท้าและรอยรองเท้าพื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ



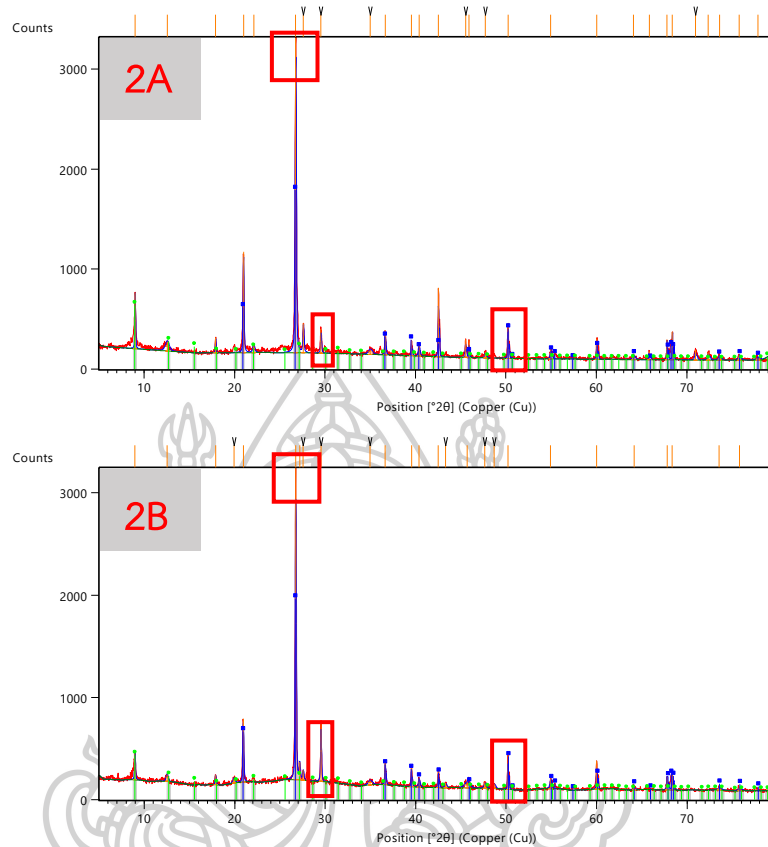
ภาพที่ 9 ดิฟแฟรกโตแกรม พิกหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (1A) และรอยรองเท้า (1B) พื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ

จากภาพที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบดินบนพื้นรองเท้า และดินบนรอยรองเท้า พื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $24^{\circ} 31^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  และในตารางที่ 3 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นรองเท้าและบนรอยรองเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $24^{\circ} 31^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินพื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นรองเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง  $2\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
พื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ

ดินรองเท้า (1A)		ดินรอยรองเท้า (1B)	
$2\theta$	Height [cts]	$2\theta$	Height [cts]
12.4716	1091.6	12.5412	312.86
20.9541	766.9	21.0291	340.24
24.975	641.93	25.0677	285.22
26.7195	3209.45	26.7974	2248.98
29.5062	250.97	29.5695	200.51
31.0202	350.6	31.108	165.65
36.6055	199.26	36.6885	221.39
39.5249	245.09	39.6052	188.09
40.3821	84.4	40.438	71.97
42.5037	183.33	42.612	93.03
45.8595	102.94	45.9509	94.91
50.1915	359.77	50.2699	211.02
54.9128	117.36	54.9805	90.86
60.0088	261.44	60.0606	228.01
64.1335	40.83	64.2024	38.75
67.7954	147.51	67.8578	163.47
68.3725	213.31	68.4142	144.56
75.7459	47.84	75.8048	51.09

#### 4.2.2. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าสวนหน้าบ้าน



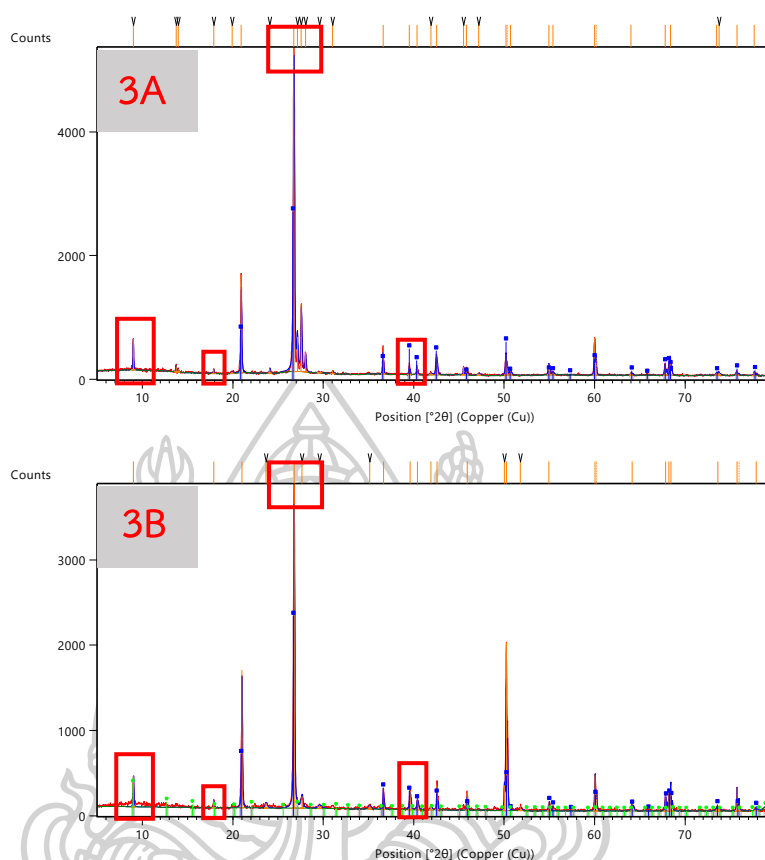
ภาพที่ 10 ดิฟแฟรกโตแกรม พิกัดหลักกราฟตัวอย่างดินบนร่องเท้า (2A) และรอยร่องเท้า (2B) สวนหน้าบ้าน

จากภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และดินบนรอยร่องเท้า สวนหน้าบ้าน จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $27^{\circ}$   $29^{\circ}$   $47^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  และในตารางที่ 4 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $27^{\circ}$   $29^{\circ}$   $47^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินสวนหน้าบ้านเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 2 $\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
สวนหน้าบ้าน

ดินรองเท้า (2A)		ดินรอยรองเท้า (2B)	
2 $\theta$	Height [cts]	2 $\theta$	Height [cts]
12.5694	91.27	12.5216	83.83
17.9062	153.31	17.8787	101.2
20.9947	1008.66	20.9472	644.94
26.7529	3150.27	26.731	3137.38
27.605	294.72	27.181	215.13
29.5563	239.62	29.5296	624.04
36.6612	243.44	36.6382	241.05
39.5695	151.37	39.544	200.62
40.4011	108.41	40.3872	82.71
42.5449	687.89	42.5017	166.64
45.552	181.56	45.6971	59
47.7267	60.41	47.6528	60.59
50.2447	351.29	50.2021	342.74
54.9651	101.16	54.9163	111.73
60.0572	210.52	60.009	287.84
64.1068	41.97	64.129	27.14
67.825	200.45	67.7927	134.95
68.4127	281.24	68.3594	184.58
73.6156	38.52	73.5465	30.63
75.7953	44.07	75.8029	35.62

#### 4.2.3. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัย ศิลปากร



ภาพที่ 11 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนร่องเท้า (3A) และรอยร่องเท้า (3B) ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร

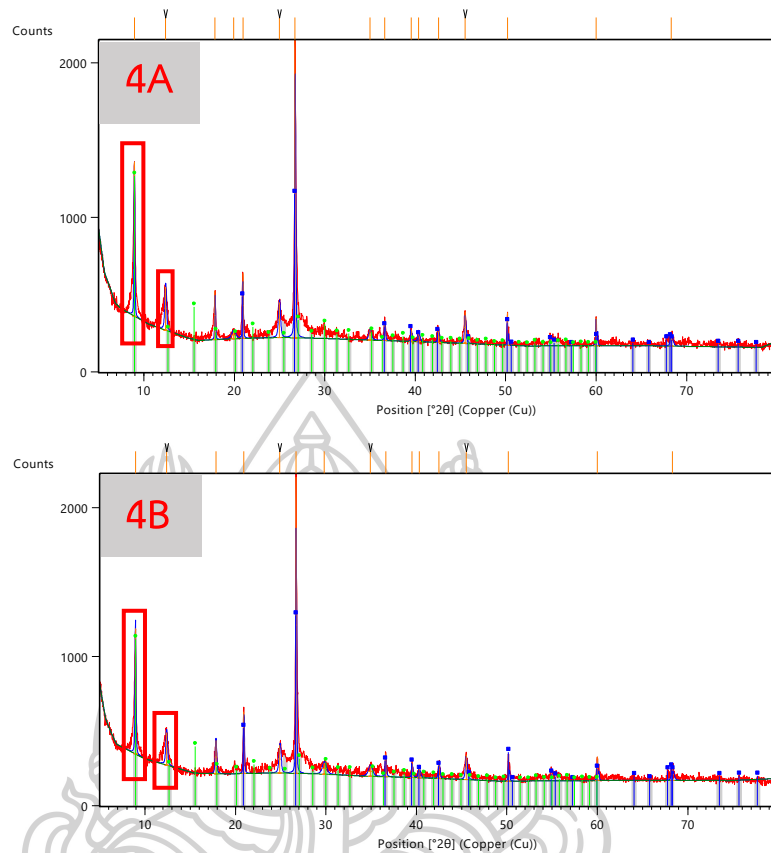
จากภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และดินบนรอยร่องเท้า ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $8^{\circ}$   $17^{\circ}$   $27^{\circ}$  และ  $41^{\circ}$  และในตารางที่ 5 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างเป็นพื้นร่องเท้า และบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $8^{\circ}$   $17^{\circ}$   $27^{\circ}$  และ  $41^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างเป็นดินริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากรเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยเท้า ทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน



ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 2 $\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้าริม  
บ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัย ศิลปากร

ดินรองเท้า (3A)		ดินรอยรองเท้า (3B)	
2 $\theta$	Height [cts]	2 $\theta$	Height [cts]
8.995	532.45	9.0213	357.32
17.8758	67.55	17.9176	80.85
20.9432	1611.54	21.0197	1619.09
24.0983	93.79	23.6853	61.2
26.7474	5298.84	26.7711	3823.66
27.5654	1137.39	27.6397	141.49
36.6036	464.28	36.6609	246.47
39.52	185.29	39.6036	224.44
40.3567	150.52	40.4332	118.23
41.9113	33.44	41.9032	51.45
42.5173	329.39	42.5682	282.8
45.8632	117.69	45.9079	224.14
54.933	185.15	54.9623	95.11
60.0012	611.34	60.059	418.25
60.1764	324.3	60.2301	242.05
64.1126	38.41	64.1501	101.34
67.7933	171.66	67.8353	179.7
68.37	299.7	68.4221	226.26
73.6243	35.74	73.6041	41.63
75.6786	66.76	75.7443	278.57
77.7452	42.04	77.8474	14.61

#### 4.2.4. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าพื้นที่ลานกว้าง



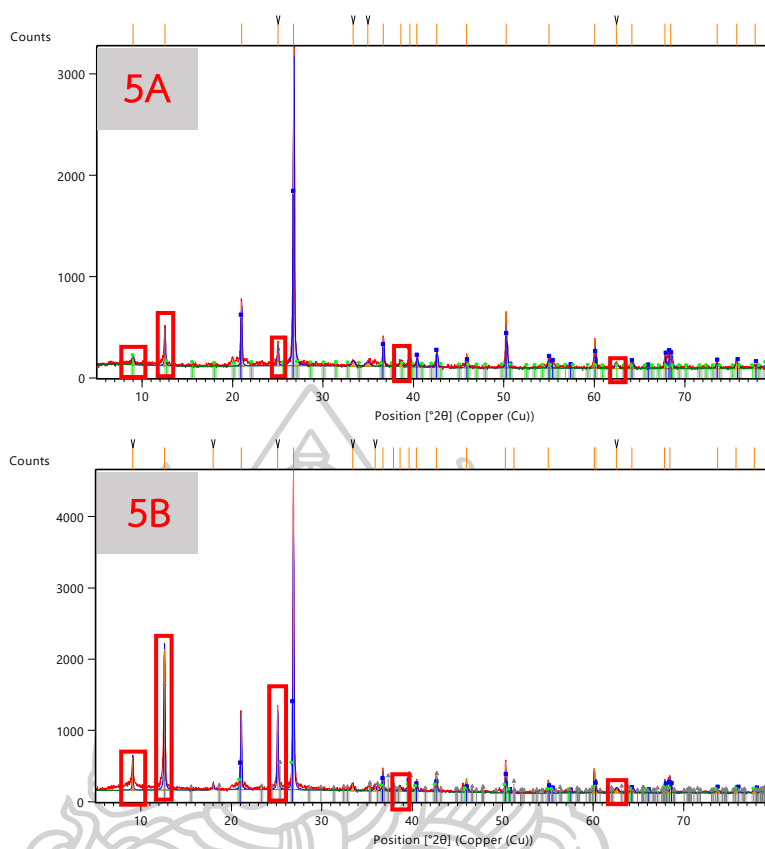
ภาพที่ 12 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนร่องเท้า (4A) และรอยร่องเท้า (4B) พื้นที่ลานกว้าง

จากภาพที่ 12 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และดินบนรอยร่องเท้า พื้นที่ลานกว้าง จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $8^{\circ}$  และ  $12^{\circ}$  และในตารางที่ 6 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $8^{\circ}$  และ  $12^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินพื้นที่ลานกว้างเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง  $2\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
พื้นที่ลานกว้าง

ดินรองเท้า (4A)		ดินรอยรองเท้า (4B)	
$2\theta$	Height [cts]	$2\theta$	Height [cts]
8.9507	999.3	8.9424	842.94
12.402	279.26	12.3873	219.5
17.8611	315.08	17.8323	224.88
20.9455	420.64	20.9312	415.45
24.9797	229.83	24.9129	188.14
26.7056	1949.73	26.6929	1987.31
34.9924	64.15	34.903	69.07
36.6253	123.72	36.6033	156.3
39.579	74.84	39.5313	106.32
40.3787	58.58	40.3042	62.07
42.568	72.58	42.4897	113.18
45.5055	208.37	45.4937	167.96
50.1896	212	50.1765	177.42
59.9994	182.09	60.0029	160.35
68.3012	79.63	68.2855	78.96

#### 4.2.5. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าถนนลูกรัง



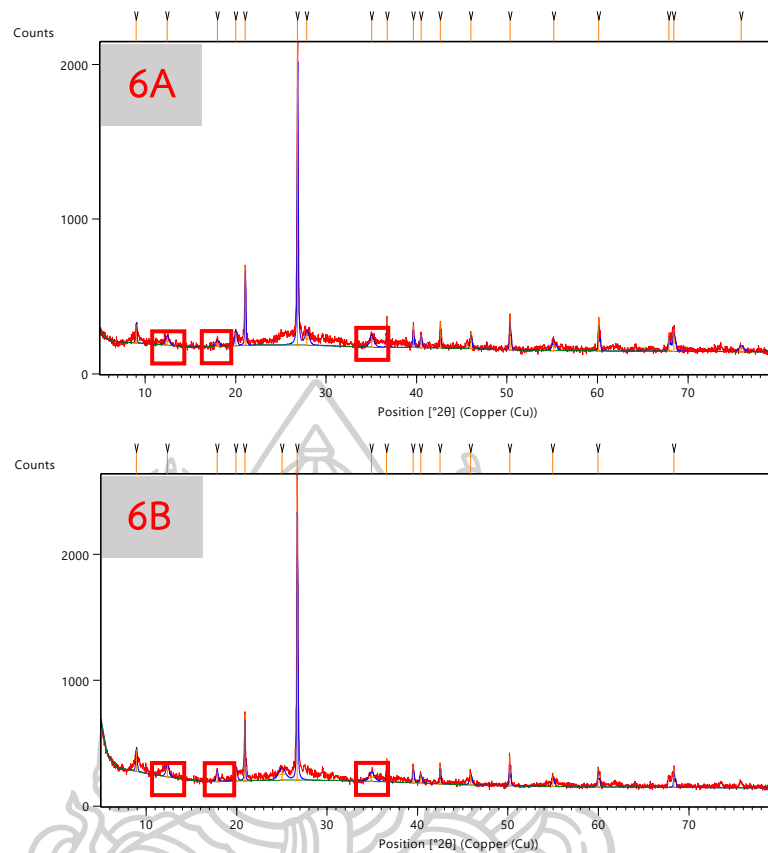
ภาพที่ 13 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนร่องเท้า (5A) และรอยร่องเท้า (5B) ถนนลูกรัง

จากภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และดินบนรอยร่องเท้า ถนนลูกรัง จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $9^{\circ}$   $12^{\circ}$   $25^{\circ}$   $38^{\circ}$  และ  $62^{\circ}$  และในตารางที่ 7 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $9^{\circ}$   $12^{\circ}$   $25^{\circ}$   $38^{\circ}$  และ  $62^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินถนนลูกรังเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง  $2\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
ถนนลูกรัง

ดินรองเท้า (5A)		ดินรอยรองเท้า (5B)	
$2\theta$	Height [cts]	$2\theta$	Height [cts]
9.0127	71.44	9.0991	464.44
12.5341	377.28	12.602	1977.36
21.0125	634.31	21.0864	1091.54
25.007	232.13	25.1198	1176.84
26.7608	3149.39	26.8623	4519.43
33.3344	48.06	33.4029	95.46
36.6859	284.47	36.754	324.75
38.59	55.57	38.6422	66.29
39.5851	162.32	39.6692	276.59
40.3898	119.13	40.4812	157.62
42.5994	159.18	42.6519	244.98
45.8858	124.82	45.9917	196.02
50.2567	560.57	50.3191	443.84
54.9706	109.61	55.0482	184.82
60.0606	291.94	60.1307	343.92
62.4397	51.13	62.5838	55.43
64.1706	69.71	64.264	61.66
67.8098	147.11	67.9097	171.94
68.4216	195.86	68.4843	238.91
73.5665	57.95	73.7405	26.9
75.7446	67.11	75.7918	96.97
77.776	32.99	77.8162	44.41

#### 4.2.6. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนรองเท้าและรอยรองเท้าสวนมะพร้าว



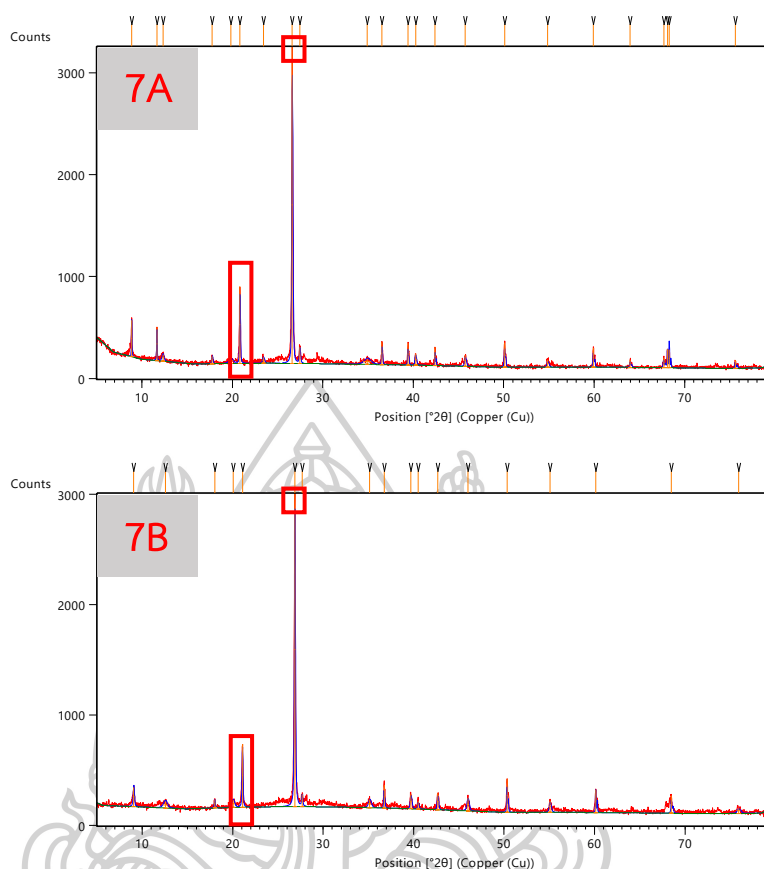
ภาพที่ 14 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (6A) และรอยรองเท้า (6B) สวนมะพร้าว

จากภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นรองเท้า และดินบนรอยรองเท้า สวนมะพร้าว จังหวัดราชบุรี แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $12^{\circ}$   $17^{\circ}$  และ  $35^{\circ}$  และในตารางที่ 8 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นรองเท้าและบนรอยรองเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $12^{\circ}$   $17^{\circ}$  และ  $35^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดิน สวนมะพร้าวเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นรองเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง  $2\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
สวนมะพร้าว

ดินรองเท้า (6A)		ดินรอยรองเท้า (6B)	
$2\theta$	Height [cts]	$2\theta$	Height [cts]
12.4479	53.79	12.3584	100.39
17.9839	34.01	17.8391	80.28
20.0309	88.22	19.9229	98.91
21.0749	517.92	20.911	537.15
26.8499	1964.55	26.6991	2431.18
35.0407	72.68	34.9039	69.26
36.7415	195.31	36.5839	187.8
39.63	141.32	39.5271	137.77
40.5003	81.95	40.3512	70
42.6144	165.73	42.4857	169.22
46	103	45.8744	88.57
50.3283	230.49	50.1896	237.36
55.1696	57.62	54.9605	76.33
60.1402	218.19	59.9722	160.04
68.4258	143.01	68.3597	162.88

#### 4.2.7. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนรองเท้าและรอยรองเท้านาเกลื้อ



ภาพที่ 15 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (7A) และรอยรองเท้านาเกลื้อ (7B)

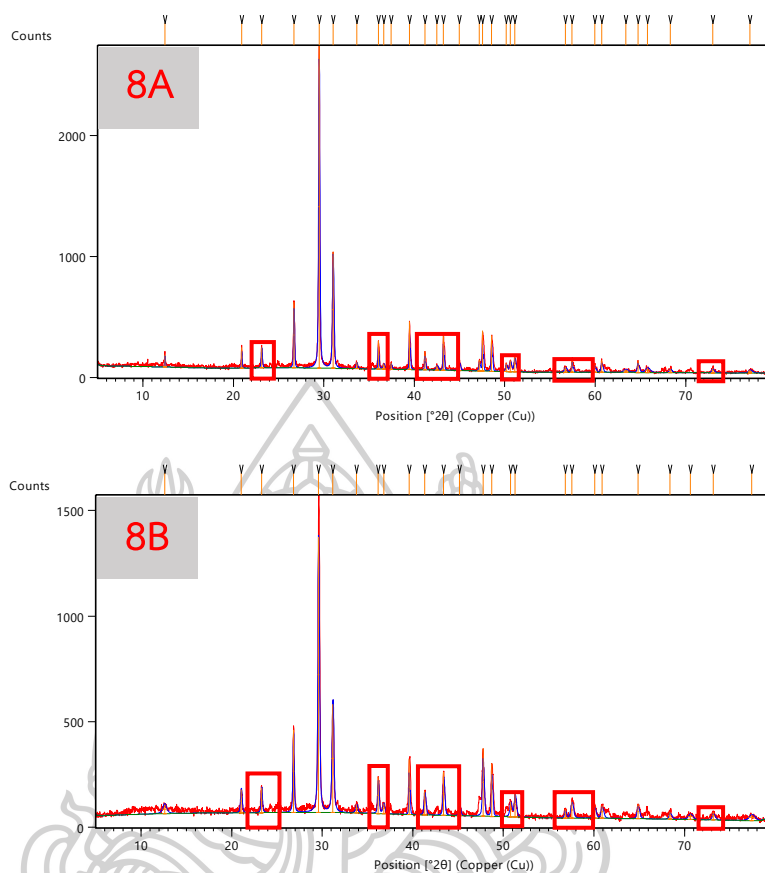
จากภาพที่ 15 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวอย่างดินบนพื้นรองเท้า และดินบนรอยรองเท้านาเกลื้อ จังหวัดสมุทรสาคร แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $19^{\circ}$  และ  $27^{\circ}$  และในตารางที่ 9 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นรองเท้าและบนรอยรองเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $19^{\circ}$  และ  $27^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินนาเกลื้อเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นรองเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน



ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 2 $\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
เกลือ

ดินรองเท้า (7A)		ดินรอยรองเท้า (7B)	
2 $\theta$	Height [cts]	2 $\theta$	Height [cts]
12.3359	65.39	12.5682	62.25
17.7827	75.51	18.0174	75.61
19.8334	51.7	20.06	67.41
20.8483	757.69	21.0821	572.55
26.6217	3181.6	26.864	2871.73
27.4587	159.1	27.669	112.25
34.928	55.31	35.1576	71.69
36.5304	225.26	36.7388	209.28
39.4253	214.8	39.706	131.52
40.2617	111.59	40.51	75.79
42.4164	182.86	42.6525	149.07
45.7528	106.32	45.9929	116.54
50.1055	240.92	50.3292	302.52
54.8526	73.52	55.0661	106.51
59.9101	189.45	60.1273	207.6
68.2969	178.31	68.4925	160.25
75.6076	78.99	75.9122	46.57

#### 4.2.8. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าโรงโม่หินศิลา เขาสูง



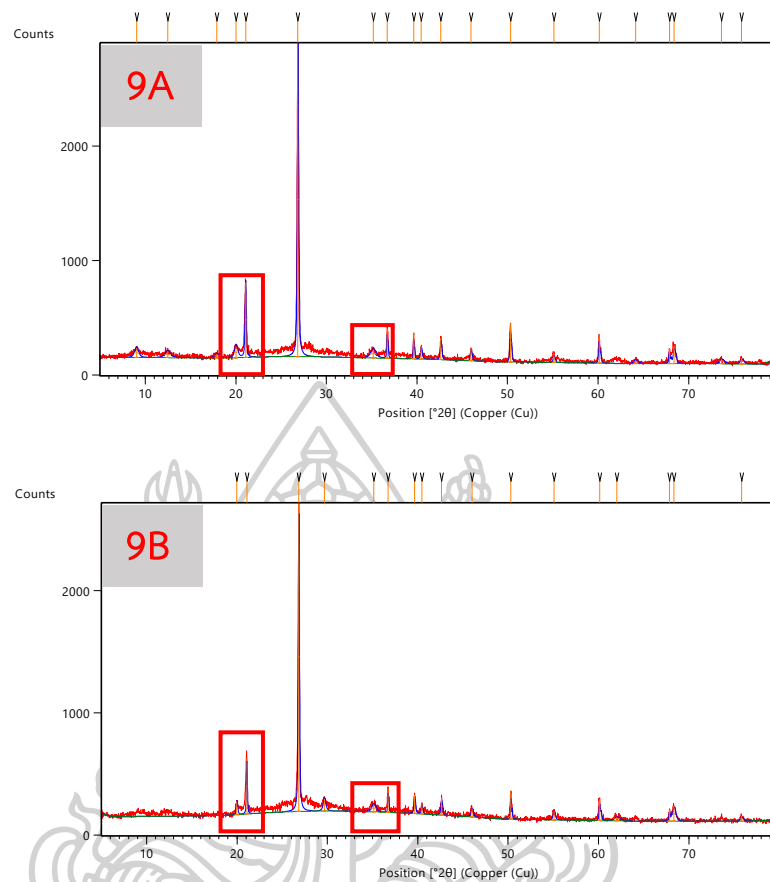
ภาพที่ 16 ดิฟแฟรกโตแกรม พิกหลักฐานตัวอย่างดินบนร่องเท้า (8A) และรอยร่องเท้า (8B) โรงโม่หินศิลา เขาสูง

จากภาพที่ 16 ผลการศึกษาวិเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และบนรอยร่องเท้า โรงโม่หินศิลา จังหวัดราชบุรีแสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $23^{\circ}$   $36^{\circ}$   $41^{\circ}$   $43^{\circ}$   $44^{\circ}$   $51^{\circ}$   $56^{\circ}$   $57^{\circ}$   $59^{\circ}$  และ  $72^{\circ}$  และในตารางที่ 10 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นร่องเท้า และบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $23^{\circ}$   $36^{\circ}$   $41^{\circ}$   $43^{\circ}$   $44^{\circ}$   $51^{\circ}$   $56^{\circ}$   $57^{\circ}$   $59^{\circ}$  และ  $72^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดิน โรงโม่หินศิลา เขาสูงเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 2 $\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
โรงไม้หินศิลา เขางู

ดินรองเท้า (8A)		ดินรอยรองเท้า (8B)	
2 $\theta$	Height [cts]	2 $\theta$	Height [cts]
12.4378	101.37	12.6027	42.54
20.9305	170.23	21.065	110.44
23.1285	171.02	23.3173	118.7
26.6916	546.41	26.8202	390.34
29.4764	2684.01	29.5947	1305.49
31.0194	965.39	31.1712	513.5
33.6297	54.74	33.7906	40.36
36.0314	233.95	36.1815	174.08
36.6396	44.97	36.7964	48.74
39.482	397.41	39.6131	261.29
41.1789	151.05	41.3323	111.83
43.2173	295.27	43.4061	205.39
44.9751	69.87	45.1588	65.07
47.1904	92.42	47.7543	321.69
48.5488	297.19	48.7202	251.1
50.1726	68.06	50.8092	71.9
51.1173	121.89	51.3029	115.69
56.7025	43.49	56.8248	42.89
57.446	105.1	57.5555	77.92
59.9575	70.47	60.0706	60.76
60.7096	97.76	60.8902	60.27
64.7224	96.98	64.8571	67.79
68.3032	32.67	68.4059	33.84
72.9816	39.85	73.1851	36.49

#### 4.2.9. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้าท้องถิ่น



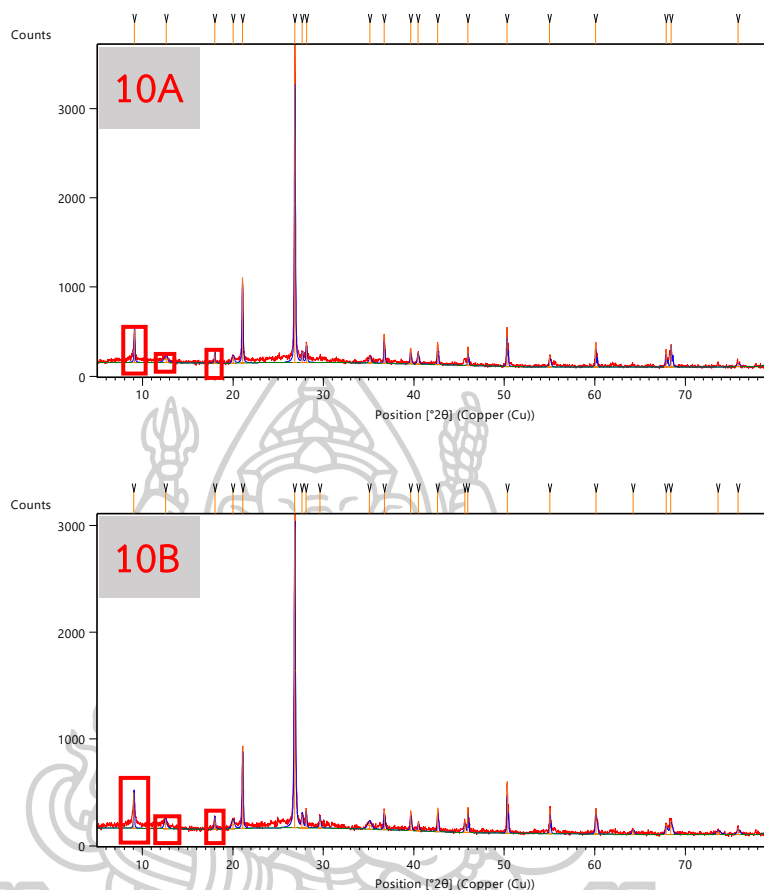
ภาพที่ 17 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนร่องเท้า (9A) และรอยร่องเท้า (9B) ท้องนา

จากภาพที่ 17 ผลการศึกษาวិเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นร่องเท้า และบนรอยร่องเท้า ท้องนา จังหวัดนนทบุรี แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $21^{\circ}$  และ  $35^{\circ}$  และในตารางที่ 11 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างเป็นดินบนร่องเท้าและบนรอยร่องเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $21^{\circ}$  และ  $35^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินท้องนาเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนร่องเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง  $2\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
 ท้องนา

ดินรองเท้า (9A)		ดินรอยรองเท้า (9B)	
$2\theta$	Height [cts]	$2\theta$	Height [cts]
20.0285	100.41	19.9898	109.72
21.0807	657.58	21.0831	455.36
26.8556	2755.59	26.8306	2528.9
35.1725	74.23	35.144	61.91
36.721	262.25	36.728	201.5
39.6366	226.85	39.6485	155.12
40.4768	113.94	40.4669	89.13
42.637	186.27	42.6263	139.79
45.9769	109.96	45.9924	70.26
50.3247	337.38	50.303	230.9
55.1118	81.29	55.0622	65.55
60.1154	254.8	60.1375	175.93
67.8748	128.61	67.8661	93.5
68.4031	157.67	68.351	123.57
75.8555	48.29	75.8323	44.51

#### 4.2.10. ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินบนรองเท้าและรอยรองเท้าริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 18 ดิฟแฟรกโตแกรม พีคหลักกราฟตัวอย่างดินบนรองเท้า (10A) และรอยรองเท้า (10B) ริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร

จากภาพที่ 18 ผลการศึกษาวเคราะห์เปรียบเทียบดินบนพื้นรองเท้า และบนรอยรองเท้า บ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม แสดงให้เห็นตำแหน่งมุมจำเพาะบนดิฟแฟรกโตแกรมที่มุม  $9^{\circ}$   $12^{\circ}$  และ  $17^{\circ}$  และในตารางที่ 12 ตารางการเปรียบเทียบความแตกต่างในตำแหน่ง  $2\theta$  จะบ่งบอกถึงมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นเหมือนกันทั้งหมดในตัวอย่างบนพื้นรองเท้าและบนรอยรองเท้า โดยค่าความสูงจะบอกปริมาณของธาตุและสารประกอบที่พบ ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ จากตารางจะเห็นมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่  $9^{\circ}$   $12^{\circ}$  และ  $17^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้การเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดแล้วว่าเป็นมุมจำเพาะที่ขึ้นในตัวอย่างดินริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากรเท่านั้น ซึ่งทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าดินบนพื้นรองเท้าและบนรอยเท้าทั้งสองนี้มาจากแหล่งเดียวกัน

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 2 $\theta$  บนพีคหลักของดินบนรองเท้า และรอยรองเท้า  
 ริมบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ดินรองเท้า (10A)		ดินรอยรองเท้า (10B)	
2 $\theta$	Height [cts]	2 $\theta$	Height [cts]
9.1044	367.65	9.0744	335.8
12.6097	72.31	12.5777	89.2
17.9888	128.81	18.019	112.76
20.022	81.06	20.022	78.58
21.0525	962.59	21.0955	769.14
26.83	3560.8	26.8371	2955.97
27.652	120.87	27.6622	127.6
28.1279	212.74	28.1081	180.9
35.1445	74.42	35.1097	71.34
36.7205	329.78	36.7531	184.48
39.6308	174.74	39.6618	184.57
40.4613	135.06	40.5199	82.76
42.6135	247.28	42.6355	223.48
45.9655	201.79	45.639	110.25
50.2909	439.27	50.3232	485.11
55.0075	125.9	55.0327	241.17
60.0991	282.26	60.124	236.58
67.8907	193.48	67.8821	98.16
68.4468	245.44	68.4084	134.62
75.8241	47.64	75.8385	61.64

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวอย่างดินจากแหล่งที่มาเดียวกัน ผลการวิเคราะห์แสดงตำแหน่งพีคจำเพาะของดิน ทำให้ทราบว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากแหล่งเดียวกัน เนื่องจากมีมุมพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่ขึ้นในตำแหน่งเดียวกัน ทำให้สามารถแยกและระบุแหล่งที่มาของตัวอย่างดินที่มาจากแหล่งเดียวกันได้ เพียงแค่เปรียบเทียบมุมพีคจากดิฟแฟรกโตแกรมของตัวอย่าง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลดิฟแฟรกโตแกรมของดินทั้งหมด แสดงให้เห็นความแตกต่างของมุมของพีคจำเพาะที่ขึ้นของดินแต่ละแหล่งได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถแยกและระบุแหล่งที่มาของดินได้ เนื่องจากค่าดิฟแฟรกโตแกรมของแต่ละตัวอย่างจะให้ผลตำแหน่งพีคดิฟแฟรกโตแกรมที่จำเพาะ และแตกต่างกันไปเปรียบเสมือนกับลายนิ้วมือของมนุษย์มีความแตกต่างกัน





#### 4.3 ผลการเปรียบเทียบดินมาจาสถานที่เดียวกับกับสถานที่ทั้งหมด

ตารางที่ 13 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของตัวอย่างดินจากสถานที่เดียวกับกับสถานที่ทั้งหมด (ตารางแสดงค่าใดค่าหนึ่งของตัวอย่างบรรอยแท้ หรือตัวอย่างบรรอยรองเข้าของแต่ละสถานที่นั้นๆ)

ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างตำแหน่ง 20 บนพิคหลักของตัวอย่างดินจากสถานที่เดียวกับกับสถานที่ทั้งหมด										
1A/1B	2A/2B	3A/3B	4A/4B	5A/5B	6A/6B	7A/7B	8A/8B	9A/9B	10A/10B	
-	-	8.995	8.9507	9.0127	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	9.0127	-	-	-	-	9.1044	-
12.4716	12.5694	-	12.402	12.5341	12.4479	12.3359	12.4378	-	12.6097	-
-	17.9062	17.8758	17.8611	-	17.9839	17.7827	20.9305	-	17.9888	-
-	-	-	-	-	-	19.8334	-	-	-	-
20.9541	20.9947	20.9432	20.9455	-	20.0309	20.8483	-	20.0285	20.022	-
-	-	-	-	21.0125	21.0749	-	-	21.0807	21.0525	-
-	-	-	-	-	-	-	23.1285	-	-	-
24.975	-	24.0983	24.9797	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	25.007	-	-	-	-	-	-
26.7195	26.7529	26.7474	26.7056	26.7608	26.8499	26.6217	26.6916	26.8556	26.83	-
-	27.605	27.5654	-	-	-	27.4587	-	-	27.652	-
29.5062	29.5563	-	-	-	-	-	29.4764	-	28.1279	-
31.0202	-	-	-	-	-	-	31.0194	-	-	-
-	-	-	-	33.3344	-	-	33.6297	-	-	-
-	-	-	34.9924	-	-	34.928	-	-	-	-

1A/1B	2A/2B	3A/3B	4A/4B	5A/5B	6A/6B	7A/7B	8A/8B	9A/9B	10A/10B
-	-	-	-	-	35.0407	-	-	35.1725	35.1445
36.6055	36.6612	36.6036	36.6253	36.6859	36.7415	36.5304	36.0314	36.721	36.7205
-	-	-	-	38.59	-	-	-	-	-
39.5249	39.5695	39.52	39.579	39.5851	39.63	39.4253	39.482	39.6366	39.6308
40.3821	40.4011	40.3567	40.3787	40.3898	40.5003	40.2617	-	40.4768	40.4613
-	-	41.9113	-	-	-	-	41.1789	-	-
42.5037	42.5449	42.5173	42.568	42.5994	42.6144	42.4164	-	42.637	42.6135
-	-	-	-	-	-	-	43.2173	-	-
-	-	-	-	-	-	-	44.9751	-	-
45.8595	45.552	45.8632	45.5055	45.8858	46	45.7528	-	45.9769	45.9655
-	47.7267	-	-	-	-	-	47.1904	-	-
50.1915	50.2447	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	48.5488	-	-
-	-	-	50.1896	50.2567	50.3283	50.1055	50.1726	50.3247	50.2909
-	-	-	-	-	-	-	51.1173	-	-
54.9128	54.9651	54.933	-	54.9706	55.1696	54.8526	-	55.1118	55.0075
-	-	-	-	-	-	-	56.7025	-	-
-	-	-	-	-	-	-	57.446	-	-
-	-	-	59.9994	-	-	-	59.9575	-	-
60.0088	60.0572	60.0012	-	60.0606	60.1402	59.9101	60.7096	60.1154	60.0991

1A/1B	2A/2B	3A/3B	4A/4B	5A/5B	6A/6B	7A/7B	8A/8B	9A/9B	10A/10B
-	-	-	-	62.4397	-	-	-	-	-
64.1335	64.1068	64.1126	-	64.1706	-	-	64.7224	-	-
67.7954	67.825	67.7933	-	67.8098	-	-	-	67.8748	67.8907
68.3725	68.4127	68.37	68.3012	68.4216	68.4258	68.2969	-	68.4031	68.4468
-	-	-	-	-	-	-	72.9816	-	-
-	73.6156	73.6243	-	73.5665	-	-	-	-	-
75.7459	75.7953	75.6786	-	75.7446	-	75.6076	-	75.8555	75.8241
-	-	77.7452	-	77.776	-	-	77.1069	-	-

จากผลการเปรียบเทียบดิฟเฟอเรนเชียลจากสถานที่เดียวกันในหัวข้อ 4.2 และตารางที่ 13 จะเห็นว่ามุมการเกิดพิคของตัวอย่างดินจากสถานที่ต่างๆ จะมีความเหมือนและความต่างกันในตัวอย่างดินแต่ละสถานที่ที่จะแสดงพิคที่มีความจำเพาะเฉพาะตัว ตัวอย่างดินจากพื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ (1A/1B) มุมพิคหลักที่บ่งบอกความจำเพาะจะอยู่ที่  $\sim 24^{\circ}$   $31^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  เช่นเดียวกับตัวอย่างดินจากสวนหน้าบ้าน (2A/2B) ที่มีพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 27^{\circ}$   $29^{\circ}$   $47^{\circ}$  และ  $50^{\circ}$  (ทั้งสองสถานที่นี้มีมุมพิคที่  $\sim 50^{\circ}$  เช่นเดียวกัน) ตัวอย่างดินจากริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร (3A/3B) และตัวอย่างดินจากพื้นที่ลานกว้าง (4A/4B) จะมีพิคหลักที่เหมือนกันที่  $\sim 8^{\circ}$  แต่ตัวอย่างดินจากริมบ่อน้ำจะมีพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 17^{\circ}$   $27^{\circ}$  และ  $41^{\circ}$  ในขณะที่ตัวอย่างดินจากพื้นที่ลานกว้างจะมีพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 12^{\circ}$  เช่นเดียวกับตัวอย่างดินจากถนนลูกรัง (5A/5B) และตัวอย่างดินริมบ่อน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร (A10/B10) ที่มีพิคหลักที่  $\sim 9^{\circ}$  และมีมุมพิคที่  $\sim 12^{\circ}$  ตัวอย่างดินจากสวนมะพร้าว (6A/6B) มีพิคหลักที่เหมือนกับตัวอย่างดินจากบ่อน้ำ คือ  $\sim 12^{\circ}$  แต่มีมุมพิคหลักจำเพาะที่  $\sim 17^{\circ}$  และ  $\sim 35^{\circ}$  เพิ่มเข้ามา ตัวอย่างดินจากถนนลูกรังมีมุมพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 25^{\circ}$   $38^{\circ}$  และ  $62^{\circ}$  ตัวอย่างดินจากนาเกลือ (7A/7B) มีมุมพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 19^{\circ}$  และ  $27^{\circ}$  ตัวอย่างดินจากโรงโม่หินศิลา เขา (8A/8B) มีมุมพิคหลักจำเพาะขึ้นที่  $\sim 23^{\circ}$   $36^{\circ}$   $41^{\circ}$   $43^{\circ}$   $51^{\circ}$   $56^{\circ}$   $57^{\circ}$  และ  $72^{\circ}$  และในตัวอย่างดินจากท้องนา (9A/9B) มีมุม

พิศลักษณ์ขึ้นที่ ~21° และ 35° ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นมุมมองพิศลักษณ์ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถแยกแหล่งที่มาของดินออกจากกันได้เหมือนกัน หรือต่างสถานที่กัน



#### 4.4. ผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบธาตุ และสารประกอบตัวอย่างดินรอน้ำ และรอยเท้าที่มา จากสถานที่เดียวกัน

ตารางที่ 14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบที่เป็นไปได้ของ ตัวอย่างดินรอน้ำ และดินบรอน้ำเท้าที่มาจากแหล่งที่มาสถานที่เดียวกัน

สถานที่	ตัวอย่าง	สารประกอบ
พื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ	1A	Quartz low, Ca <sub>3.9</sub> (ND4)4.1 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>96</sub> )
	1B	Quartz low
สวนหน้าบ้าน	2A	SiO <sub>2</sub> , Tetramethyl silicate
	2B	SiO <sub>2</sub> , Tetramethyl silicate
ริมบ่อน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร	3A	Quartz low
	3B	SiO <sub>2</sub> , Tetramethyl silicate
พื้นที่ลานกว้าง	4A	Ca <sub>3.4</sub> D5.2 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>16</sub> ), 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> )
	4B	Ca <sub>3.4</sub> D5.2 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>16</sub> ), Quartz
ถนนลูกรัง	5A	SiO <sub>2</sub> , Tetramethyl silicate
	5B	SiO <sub>2</sub> , 4324625 (K <sub>2.78</sub> Mn <sub>6</sub> O <sub>12</sub> ), Quartz low
สวนมะพร้าว	6A	Quartz low, 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> )
	6B	SiO <sub>2</sub> , Ca <sub>3.4</sub> D5.2 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>16</sub> )
นาเกลือ	7A	SiO <sub>2</sub> , 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> ), Quartz,
	7B	SiO <sub>2</sub> , Ca <sub>3.4</sub> D5.2 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>16</sub> ), 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> )
โรงโม่หินศิลา เขาสูง	8A	Quartz
	8B	Quartz, Ca <sub>3.9</sub> (ND4)4.1 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>96</sub> )
ท้องนา	9A	Quartz, Tetramethyl silicate, 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> )
	9B	Quartz, Ca <sub>3.9</sub> (ND4)4.1 (Al <sub>12</sub> Si <sub>36</sub> O <sub>96</sub> )
ริมบ่อน้ำตัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร	10A	Quartz
	10B	Quartz, 7103014 (Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> )

ตัวอย่างดินที่ทำการเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานด้วยโปรแกรมค้นหาสูตรโครงสร้าง มาตรฐานของสารประกอบ JCPDs ผลการเปรียบเทียบบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของการพบธาตุ และสารประกอบในตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินในแต่ละสถานที่พบสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>,

Quartz low, Quartz) และ Tetramethyl silicate เป็นหลัก ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถพบได้ในดินตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบ  $\text{Ca}_3.9(\text{ND}_4)4.1 (\text{Al}_{12}\text{Si}_36\text{O}_{96})$ ,  $\text{Ca}_3.4\text{D}_5.2 (\text{Al}_{12}\text{Si}_36\text{O}_{16})$ , 7103014 ( $\text{Si}_3\text{O}_6$ ) และ 4324625 ( $\text{K}_{2.78}\text{Mn}_6\text{O}_{12}$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภิญญา มากุล (2014) ที่วิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค XRD พบว่าในดินมีธาตุซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และเคโอลิไนต์ ( $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ) เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างดินทั้งหมด จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้ง 8 สถานที่ ที่มาจาก พื้นที่ก่อสร้างริมทางรถไฟ ในสวนหน้าบ้าน พื้นที่ลานกว้าง ถนนลูกรัง นาเกลือ โรงโม้หินศิลาเขางู ท้องนา และริมน้ำบ่อบำบัดน้ำ มหาวิทยาลัยศิลปากร มีผลการวิเคราะห์การพบธาตุและสารประกอบที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำผลดิฟแฟร็กโตแกรมกับผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบร่วมกันแล้ว พบว่าสามารถระบุได้ว่าดินบนร่องเท้าและรอยร่องเท้ามาจากแหล่งที่มาเดียวกัน

ในขณะที่ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างดินจาก 2 สถานที่คือ ริมน้ำ สระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร และสวนมะพร้าว ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบให้ผลที่ต่างกัน หากดูผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบกับผลดิฟแฟร็กโตแกรม บนร่องเท้าและบนรอยร่องเท้าของทั้ง 2 สถานที่นี้ร่วมกัน พบว่าสามารถระบุได้ว่าดินบนร่องเท้าและรอยเท้ามาจากแหล่งที่มาเดียวกัน แต่หากดูจากผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบของดินบนร่องเท้าและรอยเท้าของทั้ง 2 สถานที่นี้อย่างเดียว จะไม่สามารถระบุแหล่งที่มาอย่างชัดเจนของตัวอย่างดินได้ ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruffell และคณะ (2004) ที่ทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของแร่โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) กับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เชิงปริมาณ (QXRD) โดยในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่างจากตำแหน่งที่เป็นไปได้ของสถานที่เกิดเหตุที่ได้มาจากดอกยางรถยนต์ จากสถานที่เกิดเหตุ 2 สถานที่ พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD สามารถบ่งบอกถึงชนิดและความแตกต่างของแร่ธาตุจากตัวอย่างดินของทั้ง 2 สถานที่ได้ พิกัดแตกต่างกันสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของดินจากทั้งสองสถานที่ ความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อาจเนื่องจากปัจจัยต่างๆ พื้นที่ทำการวิเคราะห์อาจมีความแตกต่างของธาตุและสารประกอบมาก การสุ่มวิเคราะห์ดินบนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้าที่ห่างกันเพียง 1-2 เซนติเมตร ก็สามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบอาจมีการคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากโปรแกรมการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบบ่งบอกเพียงความน่าจะเป็นของธาตุและสารประกอบในตัวอย่างดินนั้นๆ ไม่ได้บอกถึงชนิดของธาตุและสารประกอบทั้งหมดในตัวอย่างดิน หรือจากการเลือกการเปรียบเทียบกับธาตุและสารประกอบที่สามารถพบได้ในดินทั่วไป เนื่องจากเทคนิค XRD ไม่สามารถระบุธาตุและสารประกอบได้จากผลการวิเคราะห์โดยตรง แต่สามารถนำผลดิฟแฟร็กโตแกรมไปเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานจาก JCPDs ได้

## บทที่ 5

### สรุป และอภิปรายผลการศึกษา

#### 5.1. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างด้วยเทคนิค XRD พบว่า สามารถแยกที่มาของตัวอย่างดินออกจากกันได้ โดยอาศัยข้อมูลการเปรียบเทียบดิฟแฟร็กโตแกรมร่วมกับผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นไปได้ของธาตุและสารประกอบของดินแต่ละตัว ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบให้ผลที่ต่างกัน หากดูผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบกับผลดิฟแฟร็กโตแกรม บนพื้นร่องเท้าและบนรอยร่องเท้าของทั้ง 2 สถานที่นี้ร่วมกัน พบว่าสามารถระบุได้ว่าดินบนพื้นร่องเท้าและรอยเท้ามาจากแหล่งที่มาเดียวกัน แต่หากดูจากผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบของดินบนพื้นร่องเท้าและรอยเท้าของทั้ง 2 สถานที่นี้อย่างเดียว จะไม่สามารถระบุแหล่งที่มาอย่างชัดเจนของตัวอย่างดินได้ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruffell และคณะ (2004) ที่ทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของแร่โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) กับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เชิงปริมาณ (QXRD) โดยในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่างจากตำแหน่งที่เป็นไปได้ของสถานที่เกิดเหตุที่ได้มาจากดอกยางรถยนต์ จากสถานที่เกิดเหตุ 2 สถานที่ พบว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD สามารถบ่งบอกถึงชนิดและความแตกต่างของแร่ธาตุจากตัวอย่างดินของทั้ง 2 สถานที่ได้ พิกัดแตกต่างกันสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของดินจากทั้งสองสถานที่ (Ruffell & Wiltshire, 2004)

ความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อาจเนื่องจากปัจจัยต่างๆ การสุ่มตรวจตัวอย่างดินบริเวณพื้นร่องเท้าและรอยร่องเท้าที่ห่างกันเพียง 1-2 เซนติเมตร ก็สามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของธาตุและสารประกอบเกิดความคลาดเคลื่อนกันได้ เนื่องจากภายในดินมีธาตุและสารประกอบมากมาย และโปรแกรมเปรียบเทียบพีคมาตรฐานสามารถเปรียบเทียบได้แค่ความน่าจะเป็นของธาตุและสารประกอบบางตัวในตัวอย่างดินนั้นๆ ไม่สามารถบอกถึงธาตุและสารประกอบทั้งหมดที่มีในดินได้ ทำให้ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบอาจมีการคลาดเคลื่อนได้ หรือจากการเลือกการเปรียบเทียบกับธาตุและสารประกอบที่สามารถพบได้ในดินทั่วไป เนื่องจากเทคนิค XRD ไม่สามารถระบุธาตุและสารประกอบได้จากการวิเคราะห์โดยตรง แต่สามารถนำผลดิฟแฟร็กโตแกรมไปเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานจาก JCPDs ได้

## 5.2. อภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) สามารถบ่งบอกถึงแหล่งที่มาของตัวอย่างจากสถานที่เดียวกันได้โดยใช้ดิฟแฟร็กโตแกรมมาเปรียบเทียบ และสามารถบ่งบอกถึงชนิดของธาตุและสารประกอบที่น่าจะเป็นไปได้ของตัวอย่างดิน ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างในปริมาณที่น้อย เวลาที่ในการวิเคราะห์รวดเร็ว ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน และไม่ทำให้สูญเสียตัวอย่างจากการวิเคราะห์ แต่เทคนิคนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบได้ด้วยเทคนิคเอง จำเป็นต้องอาศัยการเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานหรือกับค่าที่ทราบอยู่แล้ว ซึ่งอาจต้องอาศัยข้อมูลองค์ประกอบพื้นฐานชนิดอื่น เช่น ลักษณะดิน สีของดิน หรือสิ่งแวดล้อมใกล้เคียง เพื่อทำการคาดคะเนแร่ธาตุ และสารประกอบที่ต้องการทำการเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุม และแม่นยำยิ่งขึ้น และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นี้ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุ และสารประกอบในตัวอย่างได้ ซึ่งจะเหมาะกับงานวิเคราะห์ที่ต้องการเปรียบเทียบตัวอย่างต้องสงสัยที่มีปริมาณน้อย และต้องการความรวดเร็วในการวิเคราะห์ เพื่อระบุเปรียบเทียบว่ามาจากแหล่งเดียวกัน หรือตรงกับวัตถุพยานต้องสงสัยหรือไม่

## 5.3. ข้อเสนอแนะ

หากนำเทคนิคการวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) ไปใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง อาจเพิ่มประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์มากขึ้น หรือให้ผลการวิเคราะห์ที่หลากหลาย สามารถระบุตัวอย่างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- Chaudhery Mustansar Hussain, D. R., Gaurav Pandey, Maithri Tharmavaram. (2020). *Handbook of Analytical Techniques for Forensic Samples*. Elsevier.
- Corrêa, R., Melo, V., Abreu, G., Sousa, M., Chaker, J., & Gomes, J. (2018). Soil forensics: how far can soil clay analysis distinguish between soil vestiges? *Science & Justice*, 58(2), 138-144.
- Dawson, L. A., & Mayes, R. W. (2015). Criminal and environmental soil forensics: soil as physical evidence in forensic investigations. In *Introduction to environmental forensics* (pp. 457-486). Elsevier.
- Demanèche, S., Schausser, L., Dawson, L., Franqueville, L., & Simonet, P. (2017). Microbial soil community analyses for forensic science: application to a blind test. *Forensic Science International*, 270, 153-158.
- Fitzpatrick, R. W., & Donnelly, L. J. (2021). An introduction to forensic soil science and forensic geology: a synthesis. In (Vol. 492, pp. 1-32): Geological Society of London.
- Guo, H., Wang, P., Li, Y., Hu, C., Zheng, J., Mei, H., Zhu, J., Fan, S., & Zhong, Q. (2022). Mineralogical and elemental data for soil discriminating and geolocation tracing. *Science & Justice*, 62(1), 76-85.
- Newland, T. G., Pitts, K., & Lewis, S. W. (2022). Multimodal spectroscopy with chemometrics for the forensic analysis of Western Australian sandy soils. *Forensic Chemistry*, 28, 100412.
- Petraco, N., Kubic, T. A., & Petraco, N. D. (2008). Case studies in forensic soil examinations. *Forensic Science International*, 178(2-3), e23-e27.
- Pitts, K. M., & Clarke, R. M. (2020). The forensic discrimination of quartz sands from the Swan Coastal Plain, Western Australia. *Forensic Science International: Reports*, 2, 100130.
- Reidy, L., Bu, K., Godfrey, M., & Cizdziel, J. V. (2013). Elemental fingerprinting of soils using ICP-MS and multivariate statistics: A study for and by forensic chemistry majors. *Forensic Science International*, 233(1-3), 37-44.

Ruffell, A., & Wiltshire, P. (2004). Conjunctive use of quantitative and qualitative X-ray diffraction analysis of soils and rocks for forensic analysis. *Forensic Science International*, 145(1), 13-23.

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2558). ความหมายและความสำคัญของดิน ลักษณะ และสมบัติของดิน. คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินและเกษตรกร.

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. (2559). การพัฒนาแนวทางการรับฟัง พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์ความจริงในคดี.

ธรรม ศรีหล่มสัก. (2554). การดิฟแฟรกชันของรังสีเอกซ์และสมการของBragg. ผลิตภพวิทยาเบื้องต้นและ สมการของ Bragg. บริษัทแอกทีฟ พรินท์ จำกัดลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย).

ปิยะ รัตนสุวรรณ. (2561). ธรรณีวิทยา ลักษณะของการเกิดดิน และระดับน้ำใต้ดิน. นิยามของดินและหิน. ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พรินต์:สถาบันฝึกอบรมทางวิศวกรรมและก่อสร้าง.

พรนิภา ขาวสมบูรณ์. (2558). เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD). จดหมายข่าวศูนย์เครื่องมือวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 6-7.

ศันสนี รักไทยเจริญชีพ. (2558). ประโยชน์จากเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ในงานทดสอบวัสดุติบและ ผลิตภัณท์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 63(197), 38-40.

สพฐ กิตติศุภการ. (2565). ภาค 5 พยานหลักฐาน. หมวด 1 หลักทั่วไป. หลักและคำพิพาคษา:กฎหมาย วิธีพิจารณาความอาญา. อมรินทร์พรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

อภิวารัตน์ นิยมไทย. (2563). พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ การปฏิรูปกฎหมาย : Law Reform. วารสารจตุนิติ, 17(4), 139-144.

อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ. (2552a). การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเศษหิน ดิน ทราบ. การ ตรวจ

ทางเคมีและฟิสิกส์. บริษัท จี.บี.พี เซ็นเตอร์ จำกัด.

อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ. (2552b). ความหมายของพยานหลักฐาน. พยานวัตถุ. บริษัท จี.บี. พี เซ็นเตอร์ จำกัด.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สถานที่เก็บตัวอย่างการวิจัย



ภาพภาคผนวก ก. 1 สถานที่เก็บตัวอย่างพื้นที่ก่อสร้างข้างทางรถไฟ และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 2 สถานที่เก็บตัวอย่างสวนหน้าบ้าน และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 3 สถานที่เก็บตัวอย่างริมบ่อน้ำ สระแก้วศิลปินกร และรอยเท้าจากสถานที่เก็บ  
ตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 4 สถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณลานกว้าง และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 5 สถานที่เก็บตัวอย่างถนนลูกรัง และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง





ภาพภาคผนวก ก. 6 สถานที่เก็บตัวอย่างสวนมะพร้าว และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 7 สถานที่เก็บตัวอย่างนาเกลือ และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 8 สถานที่เก็บตัวอย่างโรงโม่หินคिला เขางู และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 9 สถานที่เก็บตัวอย่างท้องนา และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง



ภาพภาคผนวก ก. 10 สถานที่เก็บตัวอย่างบ่อบำบัดน้ำ ศิลปากร และรอยเท้าจากสถานที่เก็บตัวอย่าง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวรัตนกร อ่ำขวัญเมือง
วัน เดือน ปี เกิด	23 เมษายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	424/30 ถนนราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

