



การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ

Sieve shaker

โดย

นางสาวภัทรจิรา พวงลำเจียก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence
(XRF) และ Sieve shaker



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

THE ELEMENT AND GRAIN-SIZE ANALYSIS OF SAND BY X-RAY
FLUORESCENCE(XRF) AND SIEVE SHAKER



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Silpakorn University


Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker
โดย	นางสาวภัทรธิรา พวงลำเจียก
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. มุฮัมมัด นิยมเดชา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี)	
พิจารณาเห็นชอบโดย	
.....	ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. มุฮัมมัด นิยมเดชา)	
.....	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร. นพรุจ ศักดิ์ศิริ)	



640720014 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ทราย, X-ray Fluorescence (XRF), Sieve shaker, นิติวิทยาศาสตร์, จังหวัดเพชรบุรี

นางสาว ภัทรธิดา พวงลำเจียก: การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. มูฮำหมัด นิยมเดชา

ทราย เป็นหินหรือแร่ธาตุขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สามารถปนเปื้อนเข้าไปยังผู้กระทำผิดได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ติดตามรองเท้า เสื้อผ้า เป็นต้น และยังคงเหลือไว้เป็นพยานหลักฐานให้ตรวจพิสูจน์ได้ ซึ่งในงานวิจัยก่อนหน้าเป็นการมุ่งเน้น หรือทำวิจัยเกี่ยวกับดิน และใช้เทคนิคอื่นๆในการตรวจพิสูจน์องค์ประกอบ ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และขนาดของทรายด้วย Sieve shake จากทรายทุกหาดในจังหวัดเพชรบุรี พบองค์ประกอบทางเคมีหลัก 3 อันดับแรก คือ Si_2O (87.59-99.79%) และที่รองลงมาคือ CaO (0.838-7.744%) และ Al_2O_3 (0.695-4.314%) ตามลำดับ และขนาดของทรายพบว่าส่วนใหญ่ขนาดของทรายอยู่ที่ 0.315 mm. – 0.10 mm. คิดเป็น %w/w ตั้งแต่ 5.51-53.97% ของตัวอย่างทรายในแต่ละหาด แต่ในหาดเจ้าสำราญพบว่ามีขนาดส่วนใหญ่ที่ขนาด 0.10 mm. คิดเป็น 83.95% และยังเป็นหาดที่พบปริมาณ Al_2O_3 มากที่สุด คือ 4.314% ทำให้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ และสามารถบอกความต่างของทรายในหาดจังหวัดเพชรบุรีได้



640720014 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : Sand X-ray Fluorescence (XRF) Sieve shaker Forensic science Phetchaburi Province

MISS Pattira POUNGLUMJEAK : The element and grain-size analysis of sand by X-ray Fluorescence(XRF) and Sieve shaker Thesis advisor : Lecturer Muhammad Niyomdecha, Ph.D.

Sand is small rocks or minerals that can be seen with the naked eye. It can be cross-contaminated to offenders in various ways, such as tracking in their shoes, clothing, etc., and is still left as evidence to verify. The previous research, it focused on soil and used other techniques to verify the composition. In this research, the chemical composition of sand was analyzed by using the X-ray Fluorescence (XRF) technique, and the size of the sand was measured by the Sieve shaking technique. All sand in this research is sourced from beaches in Phetchaburi Province. The three main chemical constituents were SiO₂ (87.59-99.79%) CaO (0.838-7.744%) and Al₂O₃ (0.695-4.314%), respectively. The size of sand was mostly 0.315 mm. – 0.10 mm., with %w/w ranging from 5.51-53.97% However, in Haad Chao Samran beach, most of the sand size was 0.10 mm., accounting for 83.95%, with Al₂O₃ about 4.314%, making the sample from the beach considered the most Al₂O₃ contains in all sampled beaches in the Phetchaburi province. The difference in Haad Chao Samran's sand characteristics from other's beaches from this research benefits in adding as a forensic database. In addition, the researcher suggests that there should be an extensive scope of the study from other provinces in comparison to make a database and categorize the differences more profoundly.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน จึงกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.มูฮำหมัด นิยมเดชา อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนสละเวลาในการให้คำแนะนำ ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการแก้ไขรายงานวิจัย และการนำเสนอตีพิมพ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.พล.ต.ต. ดร.นพรุจ ศักดิ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาแนะนำแนวทาง และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับหัวข้อ และการทำวิจัย ให้ผู้วิจัยสามารถเริ่มต้นได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และคุณปิยาภา จันทรมล เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย ในการให้คำแนะนำเพิ่มเติม และการประสานงานเอกสารต่างๆให้ลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมและตรวจสอบความถูกต้องของรายงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณรัตนจิตต์ อัคราชีวะ ผู้บังคับบัญชาที่ให้ความกรุณา อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำและกำลังใจ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณคุณพัชราภรณ์ งามมั่นผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ในส่วนของไปเก็บตัวอย่างสำหรับงานวิจัย และ คุณชลธิชา ดาเอก ที่ให้กำลังใจ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆเพื่อให้งานวิจัยลุล่วงด้วยดี

ขอกราบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ด้วยความเคารพอย่างสูง ที่ท่านเป็นผู้สนับสนุนทุน และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยก้าวผ่านทุกอุปสรรค และทำงานวิจัยได้อย่างลุล่วงไปด้วยดี โดยเฉพาะคุณแม่ คุณจันทร์เพ็ญ พวงลำเจียก ที่ให้ความเชื่อมั่น และกำลังใจ ให้ผ่านทุกปัญหาและอุปสรรค เป็นแรงผลักดันที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความสำเร็จในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์ใดๆอันพึงบังเกิดจากงานวิจัยนี้ ขอเป็นเครื่องบูชาพระคุณและขอมอบความกตัญญูตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้มาโดยตลอด และหากงานวิจัยนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยพร้อมน้อมรับคำแนะนำติชม เพื่อเป็นประโยชน์ในงานวิจัยต่อไป

ภัทรธิรา พวงลำเจียก

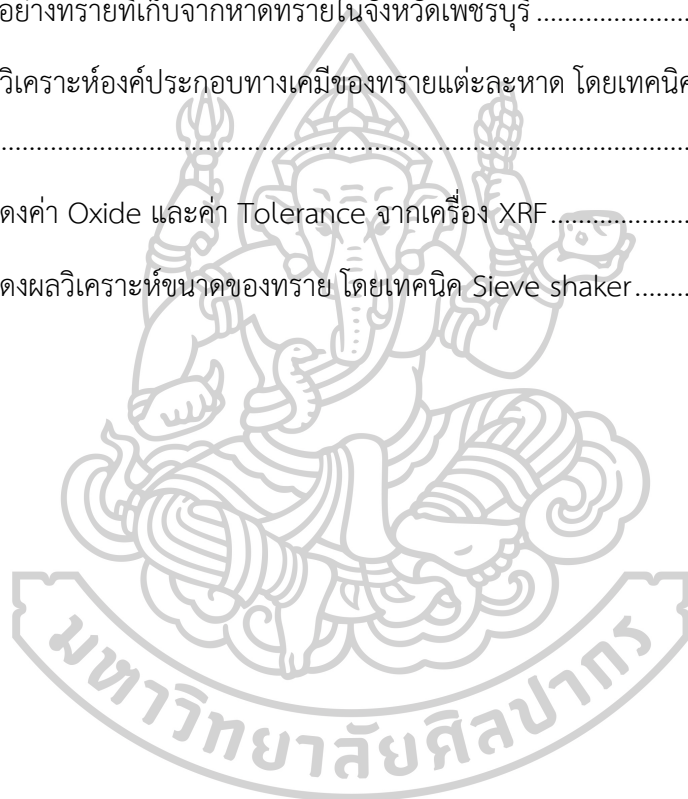
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 คำถามการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.2.1 งานวิจัยในประเทศ	17
2.2.1 งานวิจัยต่างประเทศ.....	18
2.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย	21

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	22
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	25
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	28
3.5 ขั้นตอนในการทดลอง	29
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1 ลักษณะทางกายภาพของทราย	32
4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF).....	35
4.3 ผลวิเคราะห์ขนาดของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค Sieve shaker.....	42
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุป และอภิปรายผล.....	44
5.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF).....	44
5.1.2 การวิเคราะห์ขนาดของทรายด้วยเทคนิค Sieve shaker	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
รายการอ้างอิง	47
ประวัติผู้เขียน.....	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 absorption edge และพลังงานของรังสีเอกซ์จำเพาะ (keV) ของธาตุ	14
ตารางที่ 2 ตัวอย่างทรายจาก 10 แห่งในจังหวัดเพชรบุรี	22
ตารางที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
ตารางที่ 4 ตัวอย่างทรายที่เก็บจากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรี	32
ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)	35
ตารางที่ 6 แสดงค่า Oxide และค่า Tolerance จากเครื่อง XRF	35
ตารางที่ 7 แสดงผลวิเคราะห์ขนาดของทราย โดยเทคนิค Sieve shaker	42



สารบัญรูปรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมแบ่งเป็นชั้น	12
รูปที่ 2 (a) รังสีเอกซ์พลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกไปจากวงโคจร	12
รูปที่ 3 สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์จำเพาะจากการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอน	13
รูปที่ 4 สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์จำเพาะจากการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอน	13
รูปที่ 5 (a) แอ็บซอร์บชันแอดจ์ของอิเล็กตรอนในชั้น K, L, M และ (b) แอ็บซอร์บชันแอดจ์ของคาร์บอน ไนโตรเจนและออกซิเจน.....	14
รูปที่ 6 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอกซ์	16
รูปที่ 7 (a) หัววัดรังสีเอกซ์แบบสารกึ่งตัวนำ HPGe และ (b) หัววัดรังสีเอกซ์แบบก๊าซ	16
รูปที่ 8 การจัดต่อประกอบอุปกรณ์การวิเคราะห์โดยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	17
รูปที่ 9 กรอบแนวคิดงานวิจัย	20
รูปที่ 10 แผนผังการเก็บตัวอย่างทรายในแต่ละหาด	29
รูปที่ 11 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดทรายเม็ดแรก (P1) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF).....	36
รูปที่ 12 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดแหลมหลวง (P2) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF).....	37
รูปที่ 13 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดเจ้าสำราญ (P3) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF).....	37
รูปที่ 14 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดเสาเอียง (P4) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)	38
รูปที่ 15 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดแก้ว (P5) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)	38
รูปที่ 16 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดปึกเตียน (P6) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)	39

รูปที่ 17 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดบางเกตุ (P7) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) 39

รูปที่ 18 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดบางเก่า (P8) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) 40

รูปที่ 19 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดชะอำ (P9) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) 41

รูปที่ 20 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดมฤคทายวัน (P10) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)..... 41

รูปที่ 21 กราฟแสดงขนาดของอนุภาคของทรายทั้ง 10 หาด ในจังหวัดเพชรบุรี 42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์ส่งผลกระทบต่อสังคมในหลายด้าน โดยเฉพาะปัญหาอาชญากรรมต่างๆ มีการพัฒนาวิธีการ หรือการปกปิด บิดเบือนการกระทำผิดต่างๆ หรือพัฒนาให้มีความซับซ้อนยากต่อการสืบถึงตัวผู้กระทำผิด ไม่ว่าจะเป็นการลักทรัพย์ การทำร้ายร่างกาย หรือแม้กระทั่งคดีฆาตกรรม รูปแบบของพยานหลักฐานที่ใช้ในการพิสูจน์จึงต้องเปลี่ยนแปลงไป ไม่สามารถใช้เพียงพยานบุคคลเพียงอย่างเดียวได้เหมือนในอดีต เนื่องจากข้อจำกัดของพยานบุคคลในเรื่องการจดจำ หรือการกลับคำให้การของพยานบุคคล จึงมีการนำหลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิสูจน์พยานหลักฐานประกอบกรณีวินิจฉัย พิเคราะห์คดี เพื่อค้นหาหรือสามารถเชื่อมโยงตัวผู้กระทำผิด ผู้เกี่ยวข้องในการกระทำผิด และเพื่อความคงไว้ซึ่งความยุติธรรม เนื่องจากพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นมักเป็นพยานวัตถุ สามารถแสดงได้ถึงข้อเท็จจริง สามารถตรวจพิสูจน์ได้ตามหลักวิทยาศาสตร์ ผ่านกระบวนการตรวจพิสูจน์ที่ถูกต้อง มีมาตรฐาน โดยการนำเอาความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์มาประยุกต์เพื่อสนับสนุนงานด้านยุติธรรมเรียกว่า “นิติวิทยาศาสตร์” และสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นธรรมชาติ เช่น การพิสูจน์หลักฐานที่รวมถึงการตรวจสถานที่เกิดเหตุ และ นิติวิทยาศาสตร์ที่เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ โดยการนำเอาวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆมาประยุกต์ในการพิสูจน์พยานหลักฐาน เช่น การตรวจลายนิ้วมือ การตรวจอาวุธปืน การตรวจทางฟิสิกส์ การตรวจทางนิติเวช และการตรวจทางเคมี เป็นต้น (นิยมไทย, 2563)

ปัญหาทางด้านอาชญากรรม เป็นอีกหนึ่งปัญหาในสังคมไทยที่เพิ่มมากขึ้น จากสถิติของสำนักงานตำรวจเกี่ยวกับปัญหาด้านอาชญากรรม พบว่า สถิติตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2563 ถึง 31 สิงหาคม 2564 พบว่าทั่วประเทศมีการรับแจ้งความผิดเกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย และเพศ 14,024 ราย เป็นความผิดฆ่าผู้อื่น (คดีอุกฉกรรจ์) 1,014 ราย, ทำร้ายผู้อื่นถึงแก่ความตาย 378 ราย, พยายามฆ่า 1,639 ราย, ทำร้ายร่างกาย 3,093 ราย, ข่มขืนกระทำชำเรา 1,465 ราย, อื่นๆ 6,435 ราย (สำนักงานสถิติสำนักงานตำรวจ 2564) จากหลากหลายปัญหาด้านอาชญากรรม การกระทำผิดที่หลากหลายรูปแบบมากขึ้น มีการอำพรางคดี บิดเบือนข้อเท็จจริงต่างๆของผู้กระทำผิด เจ้าหน้าที่ตำรวจจึงติดตาม จับกุมผู้กระทำผิดได้ยากมากขึ้น การเชื่อมโยงตัวผู้ก่อเหตุ หรือผู้เกี่ยวข้องกับคดีจึง

ต้องมีการหาพยานหลักฐานที่หลากหลายมากขึ้น โดยพยานหลักฐานมีหลากหลายรูปแบบ เช่น รอยนิ้วมือแฝง รอยเท้า คราบเลือดและคราบอสุจิ เป็นต้น พัฒนาการและความรู้ที่เผยแพร่มากขึ้นเกี่ยวกับพยานหลักฐานและการเชื่อมโยงไปสู่ผู้กระทำผิด ทำให้ตัวผู้กระทำผิดจึงพยายามหาวิธีต่างๆ มากมายในการปกปิด ทำลายหลักฐาน หรือการอำพรางศพในคดีฆาตกรรม หลักฐานบางอย่างอาจถูกกลบเกลื่อน ปกปิดได้ การเก็บวัตถุพยานอาจมีการปนเปื้อนหรือมีสิ่งแปลกปลอม ปะปน มากับวัตถุพยานคือ ระหว่างผู้ต้องหา เหยื่อ และสถานที่เกิดเหตุถ้ามีการสัมผัสกันจะแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนซึ่งกันและกันเสมอ ตามหลักการเรื่องวัตถุพยานของโลคาร์ด (Lockard's Exchange Principle) (Williams, 2014) มีวัตถุพยานอย่างหนึ่งที่ตัวผู้กระทำผิด หรือแม้แต่ตัวผู้ตรวจพิสูจน์เองก็อาจมองข้ามไป คือ ทราย ที่อาจสามารถติดตามรองเท้า หรืออยู่ตามซอกเล็บของเหยื่อ หรือแม้กระทั่งในอวัยวะ เช่น ปอด หรือกระเพาะอาหารของเหยื่อ ตัวอย่างอาชญากรรมที่เป็นกระแส และข่าวดังในปี 2565 อย่างคดีของดาราสาวชื่อดัง แดงโม นางสาวภัทริดา (นิดา) พัชรวีระพงษ์ พลัดตกจากเรือในแม่น้ำเจ้าพระยา และพบเป็นศพในเวลาต่อมา ซึ่งยังไม่สรุปว่าเป็นอุบัติเหตุ หรือคดีฆาตกรรม หากย้อนกลับไปในวันที่เกิดเหตุมีหลักฐานพบว่า 1 ใน 5 ผู้เกี่ยวข้องกับคดีมีการเคาะทรายออกจากรองเท้าหลังจากลงเรือ (line today) และกรมสอบสวนคดีพิเศษก็ได้รับวัตถุพยาน ได้แก่ ผ้าขาวโปร่งลายจุด จำนวน 1 ผืน เส้นผม จำนวน 2 เส้น และเศษวัสดุคล้ายดินและทรายอีกจำนวนหนึ่ง เพื่อส่งตรวจพิสูจน์ (กรมสอบสวนคดีพิเศษ, 2022)

ทราย เป็นคำที่มีความหมายกว้าง ครอบคลุมรวมไปถึงหินหรือแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกบดให้เป็นเม็ดทรายเล็กๆ ร่วน ไม่เกาะกันแน่นสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้สามารถปนเปื้อนและถูกมองข้ามจากผู้กระทำผิด และยังคงเหลือไว้เป็นพยานหลักฐานให้ตรวจพิสูจน์ได้ แต่ในงานวิจัยต่างๆ ก่อนหน้า เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับดิน งานวิจัยของ กาญจนนาพร ทำวิจัยตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในดินด้วยเทคนิค SEM/EDS (กาญจนนา, 2564) การศึกษาลักษณะทางกายภาพเช่น ชนิดดิน สีดิน และองค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Cox, Peterson, Young, Cusik, & Espinoza, 2000) เทคนิค X-ray diffraction (XRD) (จันทร์จิรา สีทอง, 2551) เทคนิค Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectrometry (Reidy, Bu, Godfrey, & Cizdziel, 2013) และ Energy Dispersive X-ray (EDX) (Sharma, Patel, Lata, & Milosh, 2016) ให้ผลในการพิสูจน์หลักฐานได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจำแนกดินได้

X-Ray Spectrometer (XRF) หมายถึง เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณเป็นเทคนิคที่วิเคราะห์ธาตุของวัสดุที่หลากหลายรวมทั้ง โลหะ โลหะผสม โพลีเมอร์ เซรามิก วัสดุทางธรณีวิทยา ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทราช ดิน สี และอื่นๆ อีกมากมาย เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยการวัดอัตราการเรืองรังสีเอกซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุ ซึ่งปล่อยออกมาจากอะตอมที่สภาวะถูกกระตุ้น ในงานวิจัยของ Toshio Nakanishi เป็นการทําวิจัยเพื่อหา lower limit ของเทคนิค XRF ที่ใช้ตรวจหาองค์ประกอบของธาตุในเศษแก้ว หรือกระจก เพื่อใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ (Nakanishi et al., 2008) จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยคิดว่าแนวคิดในการตรวจด้วยเทคนิค XRF อาจสามารถนำมาใช้กับวัตถุพยานขนาดเล็กคล้ายเศษแก้วและกระจกที่ปนเปื้อนใช้ในการเป็นพยานหลักฐานได้อย่าง ทราช

จากคดีดังของคุณแดงโมที่กำลังเป็นกระแส และจากการสืบค้นข้อมูล อ้างอิงงานวิจัยต่างๆ ทำให้พบว่า ยังไม่มีผู้วิจัยที่ทำงานวิจัยในการตรวจพิสูจน์ทราช แต่ทราชก็เป็นวัตถุพยานในหลายๆ คดีทางผู้วิจัยจึงได้เห็นถึงความสำคัญและปัญหาตรงนี้จึงทำการวิจัยเรื่องนี้ขึ้นมา และรวมถึงเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ยังไม่มีผู้วิจัยใช้เทคนิคนี้ และยังเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการศึกษาองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในตัวอย่าง นิยมใช้ในทางธรณีวิทยา และเป็นเทคนิคที่มีความหลากหลายในการตรวจธาตุองค์ประกอบหลัก และเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ไม่ได้มีใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ทางผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญที่จะนำเทคนิคนี้มาใช้เพื่อประโยชน์ในการเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของทราชโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)
- 2) เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและขนาดของทราชแต่ละหาในจังหวัดเพชรบุรี

1.3 คำถามการวิจัย

ปริมาณธาตุองค์ประกอบและขนาดของทราชแต่ละหาในจังหวัดเพชรบุรีมีความแตกต่างกันหรือไม่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ด้านประชากร กลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ตัวอย่างทรายที่เก็บจากหาดทราย 10 แห่งในจังหวัดเพชรบุรี คือ

1) หาดทรายเม็ดแรก	ต.แหลมผักเบี้ย	อ.บ้านแหลม
2) หาดแหลมหลวง	ต.แหลมผักเบี้ย	อ.บ้านแหลม
3) หาดเจ้าสำราญ	ต.หาดเจ้าสำราญ	อ.เมืองเพชรบุรี
4) หาดเสาเอียง(โตนดน้อย)	ต.หนองขนาน	อ.เมืองเพชรบุรี
5) หาดแก้ว	ต.ปึกเตียน	อ.ท่ายาง
6) หาดปึกเตียน	ต.ปึกเตียน	อ.ท่ายาง
7) หาดบางเกตุ	ต.บางเก่า	อ.ชะอำ
8) หาดบางเก่า	ต.บางเก่า	อ.ชะอำ
9) หาดชะอำ	ต.ชะอำ	อ.ชะอำ
10) หาดมฤคทายวัน	ต.ชะอำ	อ.ชะอำ

1.4.2 ตัวแปรที่จะศึกษา

1.4.2.1 ตัวแปรอิสระ คือ 1) ทรายจากแต่ละหาด (ทั้งหมด 10 หาด)

1.4.2.2 ตัวแปรตาม คือ 1) ปริมาณธาตุองค์ประกอบของทราย 2) ขนาดของทราย

1.4.2.3 ตัวแปรควบคุม คือ 1) ปริมาณของทรายตัวอย่างที่นำมาใช้วิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่างที่เท่ากันคือ วิเคราะห์ XRF = 15 g. และ วิเคราะห์ Sieve shaker = 300 g. 2) ตัวอย่างทรายที่ใช้ก่อนการวิเคราะห์ต้องอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เท่ากัน 3) การเก็บตัวอย่างที่เหมือนกันแต่ละหาดเก็บตัวอย่าง 5 จุด แต่ละจุดห่างกันจุดละ 50 m. โดยลึกลงไป 5 cm.

1.4.3 ด้านเนื้อหา

เนื้อหาที่จะศึกษาประกอบด้วย

1.4.3.1 ปริมาณธาตุองค์ประกอบของทรายตัวอย่างทรายแต่ละหาดในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีทั้ง 10 หาด

1.4.3.2 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคทรายตัวอย่างทรายแต่ละหาดในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีทั้ง 10 หาด

1.4.4 ด้านพื้นที่

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวอย่างทรายจากทุกหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรี จำนวน 10 หาด คือ หาดบ้านทรายเม็ดแรก, หาดแหลมหลวง, หาดเจ้าสำราญ, หาดเสาเอียง(ไตนดน้อย), หาดแก้ว, หาดปึกเตียน, หาดบางเกตุ, หาดบางเก่า, หาดชะอำ และ หาดมฤคทายวัน

1.4.5 ด้านระยะเวลา

1.4.5.1 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างทรายจากหาดทรายจังหวัดเพชรบุรี และ ศึกษาองค์ประกอบโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) กับขนาดของอนุภาคทรายโดย Sieve Shaker ตั้งแต่ช่วงปลายเดือนธันวาคม 2565 – มกราคม 2566

1.4.5.2 ระยะเวลาในการทำวิจัยทั้งหมด 6 เดือน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ทราย หมายถึง หินและแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกบดให้เป็นเม็ดเล็กๆ ร่วน ไม่เกาะกันแน่น สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ตามธรรมชาติแล้วทรายเกิดจากหินที่ถูกละเอียด ซึ่งหมายถึงทรายทั่วไป ไปที่เราพบเห็นตามชายหาด แต่อีกความหมายหนึ่งในแง่วิทยาศาสตร์ (โดยเฉพาะทางธรณีวิทยา) แล้วหมายถึงชื่อขนาดของอนุภาคขนาดเม็ด "ทราย" ที่มีขนาดอนุภาคหรือเม็ดตะกอนระหว่าง 0.0625 ถึง 2 มิลลิเมตร อนุภาคหนึ่งๆ ของทรายนั้น เรียกว่า "เม็ดทราย" ขนาดของอนุภาคที่เล็กถัดลงไป เรียกว่า ทรายแป้ง (silt) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.0625 มิลลิเมตร จนถึง 0.004 มิลลิเมตร ส่วนขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของทราย เรียกว่า กรวด (gravel) อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 2 ถึง 64 มิลลิเมตร (ท่านสามารถศึกษาการแบ่งขนาดของอนุภาคทางธรณีวิทยาได้จาก grain size) เมื่อใช้นิ้วดูเบาๆ ขนาดอนุภาคทรายนั้นจะให้ความรู้สึกสาก ส่วนอนุภาคทรายแป้งนั้นจะรู้สึกเหมือนนิ้วดูผงแป้ง แต่จะรู้สึกสากๆ เพียงเล็กน้อย)

1.5.2 X-Ray Spectrometer (XRF) หมายถึง เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณเป็นเทคนิคที่วิเคราะห์ธาตุของวัสดุที่หลากหลายรวมทั้ง โลหะ โลหะผสม โพลีเมอร์ เซรามิก วัสดุทางธรณีวิทยา ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทราย ดิน สี และอื่นๆ อีกมากมาย เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยการวัดอัตราการเรืองรังสีเอกซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุ ซึ่งปล่อยออกมาจากอะตอมที่สภาวะถูกกระตุ้น

1.5.3 Sieve shaker หมายถึง เครื่องเขย่าตะแกรง หรือเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน ใช้เพื่อแยกและวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคต่างๆ นิยมในตัวอย่างที่เป็นของแข็งโดยใช้กับตะแกรงมาตรฐานที่มีขนาดรูตะแกรงที่แตกต่างกัน โดยขนาดของรูตะแกรงที่ใช้ขึ้นอยู่กับช่วงความสามารถของแต่ละรุ่นว่าสามารถแยกอนุภาคของตัวอย่างได้ในช่วงขนาดเท่าไร ในงานวิจัยนี้ใช้ตะแกรงขนาดดังนี้

- 1) ตะแกรงขนาด 2.00 mm. (Sieve 2.00 mm.)
- 2) ตะแกรงขนาด 1.60 mm. (Sieve 1.60 mm.)
- 3) ตะแกรงขนาด 1.00 mm. (Sieve 1.00 mm.)
- 4) ตะแกรงขนาด 0.80 mm. (Sieve 0.80 mm.)
- 5) ตะแกรงขนาด 0.63 mm. (Sieve 0.63 mm.)
- 6) ตะแกรงขนาด 0.315 mm. (Sieve 0.315 mm.)
- 7) ตะแกรงขนาด 0.25 mm. (Sieve 0.25 mm.)
- 8) ตะแกรงขนาด 0.10 mm. (Sieve 0.10 mm.)
- 9) pan ชั้นที่ถัดจากตะแกรงขนาด 0.10 mm. สำหรับขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 0.10 mm.

1.5.4 เครื่องบด (Grinding Machine) หมายถึง เครื่องมือสำหรับบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กและละเอียด ก่อนนำไปอัดให้เป็นแผ่น

1.5.5 เครื่องอัด (Press Machine) หมายถึง เครื่องมือสำหรับอัดตัวอย่างให้เป็นแผ่น โดยใช้ระบบ Manual Oil Hydraulic

1.5.6 Grinding aid pellets หรือ เม็ดยา หมายถึง เป็นสารแทนกรดบอริก ไม่เป็นอันตราย ช่วยในการยึดเกาะของผงตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้หมายถึงผงทรายที่บด เม็ดยาจะบดพร้อมตัวอย่างทราย เพื่อช่วยให้เมื่อนำไปอัดเป็นแผ่นก่อนการไปวิเคราะห์ XRF สามารถยึดติดกันได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ประโยชน์ด้านวิชาการ

1.6.1.1) สามารถพิสูจน์ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างทราย เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในอนาคต

1.6.1.2) สามารถวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคตัวอย่างทราย เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในอนาคต

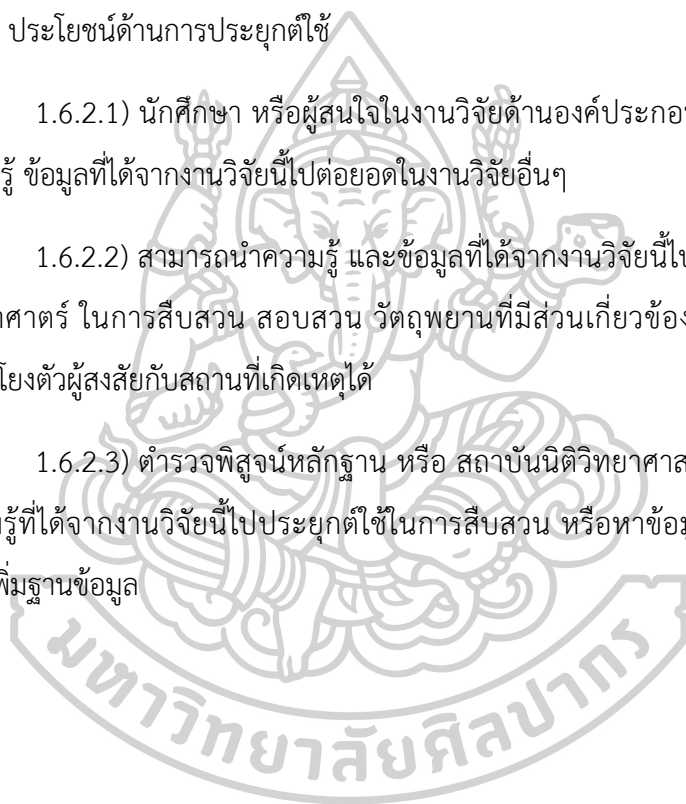
1.6.1.3) ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และข้อมูลเกี่ยวกับทราย

1.6.2 ประโยชน์ด้านการประยุกต์ใช้

1.6.2.1) นักศึกษา หรือผู้สนใจในงานวิจัยด้านองค์ประกอบของทราย สามารถนำความรู้ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปต่อยอดในงานวิจัยอื่นๆ

1.6.2.2) สามารถนำความรู้ และข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในการสืบสวน สอบสวน วัตถุพยานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทราย เพื่อสามารถเชื่อมโยงตัวผู้สงสัยกับสถานที่เกิดเหตุได้

1.6.2.3) ตำรวจพิสูจน์หลักฐาน หรือ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์สามารถนำข้อมูลหรือความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการสืบสวน หรือหาข้อมูลเพิ่มเติมในพื้นที่อื่นๆ เพื่อเพิ่มฐานข้อมูล



บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานในบทนี้เป็น การประมวล รวบรวมแนวคิด ทฤษฎีงานวิจัยต่างๆ ที่สำคัญของการวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของตัวอย่างทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker” เพื่อเป็นพื้นฐานสร้างความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งนี้ และเป็นประโยชน์ในการกำหนดกรอบแนวคิดเบื้องต้น โดยผู้วิจัยได้สรุปประเด็นสำคัญซึ่งแบ่งเป็น 3 หัวข้อดังนี้

- 2.1) แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2.2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.3) กรอบแนวคิดงานวิจัย

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอเสนอเป็น 2 แนวคิด ได้แก่ 1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทรายและหาดทราย 2) หลักการของเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทรายและหาดทราย

ทราย ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Silicon) และออกซิเจน (Oxygen) มีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือเรียกว่า ซิลิกา (Silica) เกิดตามธรรมชาติจากการสลายตัวของหินแล้วถูกสายลม กระแสน้ำ พัดพามารวมกัน โดยมากพบตามริมแม่น้ำ หรือริมทะเลที่เรียกว่าชายหาด หรือหาดทราย และอาจจะปนอยู่ในดิน ทรายมีลักษณะเป็นเม็ดหินละเอียดเล็กๆ ขนาดต่างๆกันตั้งแต่ละเอียดเป็นผงมองลักษณะทั่วไปเหมือนผงฝุ่น ไปจนกระทั่งขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัดเจนอย่างที่เรียกกันทั่วไปว่าทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายริมทะเลมักมีสีขาวกว่า และละเอียดกว่าทรายริมแม่น้ำ แต่โดยทั่วไปทรายไม่ได้ประกอบด้วย ซิลิกา เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทรายบางแหล่งมีสารอย่างอื่นเจือปนอยู่ด้วย

หาดทราย เกิดจากการสะสม พัดพา เคลื่อนที่ของตะกอนทั้ง ตะกอนดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กและเม็ดทรายที่มีหลากหลายขนาด โดยมีคลื่น กระแสน้ำและกระแสน้ำเป็นผู้ปรับแต่งให้เกิดชายหาดในลักษณะที่แตกต่างกันตามแต่ภูมิประเทศและแหล่งกำเนิดของชายหาด บางปีมีปริมาณ

ทรายมากหรือช่วงลมสงบ หน้าหาดก็จะกว้างและมีสันดอนทรายไหล่พื้นน้ำใกล้ชายหาด ในขณะที่บางปีมีทรายน้อยอาจเพราะมีลมมรสุมรุนแรงพัดพาให้เกิดคลื่นกระทบฝั่งพัดพาทรายออกจากชายหาดไปสะสมตัวเป็นสันดอนนอกฝั่ง หน้าหาดก็จะแคบ แต่หลังจากพายุ ลมและคลื่นสงบลง คลื่นจะมีขนาดเล็กลงและจะค่อยๆ ทอยพัดพาทรายกลับคืนมาที่ชายฝั่งตามเดิม ดังนั้น รูปทรงของหาดทรายจึงมีความแตกต่าง เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละพื้นที่และฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจากสมดุลของทรายที่มาหล่อเลี้ยงชายหาด และกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้จะสับเปลี่ยนหมุนเวียนไปเป็นวัฏจักรที่ไม่สิ้นสุด ลักษณะการเกิดของชายหาดในแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะที่มาของชายหาดประเภท "หาดทราย" โดยมีรายละเอียดของแต่ละชนิด ดังนี้

1) สันดอนทรายปากแม่น้ำ ปากแม่น้ำเป็นแหล่งสะสมทราย (skinks) ขนาดใหญ่ แต่ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งให้ทราย (Sources) แก่ชายหาดที่สำคัญ กระบวนการเกิดและสลายของสันดอนทราย (Bar) ที่ปากแม่น้ำนั้นมีความซับซ้อนมาก อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ 3 ปัจจัยหลัก คือ น้ำท่า (runoff) น้ำขึ้นน้ำลง และคลื่นที่กระทำกันตลอดเวลา สันดอนทรายมี 2 ลักษณะใหญ่ คือ

แบบที่ 1 หาดสันดอนปากแม่น้ำ (barrier beaches) ที่ทอดตัวยาวขนานกับชายฝั่ง เกิดจากทรายที่พัดพามาตามชายฝั่งกองกันอยู่ที่ปากแม่น้ำและน้ำท่าไม่มากพอที่จะดันให้สันดอนนั้นหลุดออกได้ จึงไหลเลาะไปตามแนวชายฝั่ง แต่เมื่อยามใดทรายที่มาหล่อเลี้ยงชายฝั่งลดลง น้ำท่าปริมาณมากก็จะผลักดันให้หาดสันดอนนั้นขาดออก ซึ่งภาษาท้องถิ่นภาคใต้เรียกว่า “วะแตก” (breaching)

แบบที่ 2 สันดอนปากแม่น้ำ (bars) เกิดจากทรายที่ถูกพัดพามาตามชายฝั่งตกทับถมกันอยู่ทางใต้ของกระแสคลื่น (downdrift coast) ที่บริเวณปากแม่น้ำ เมื่อรวมกับทรายที่ไหลมาจากแม่น้ำจึงสะสมเพิ่มขึ้นกลายเป็นสันดอนทรายขนาดใหญ่ที่ชายฝั่ง เช่น ปากแม่น้ำตรัง

2) สันดอนจะงอย (แหลมทราย) สันดอนจะงอยมีลักษณะยื่นออกไปในทะเล เช่น บริเวณแหลมตะลุมพุก จังหวัดนครศรีธรรมราช และแหลมตาชี จังหวัดปัตตานี ซึ่งเกิดจากสมดุลระหว่างการสะสมตัวของตะกอนที่มาจากแม่น้ำและการเคลื่อนที่ของทรายชายฝั่ง โดยทั่วไปแล้วสันดอนจะงอยจะเกิดในบริเวณที่แนวชายฝั่งเบี่ยงเบนฉับพลันหรือยื่นออก ทำให้ทรายตกทับถมได้ดี และถ้าตะกอนทรายมีปริมาณมากพอ สันดอนจะงอยจะยื่นยาวออกไปไกล ซึ่งทิศทางของปลายสันดอนจะงอยของแหลมตะลุมพุกและแหลมตาชี แสดงถึงการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำชายฝั่งโดยที่อ่าวไทยภาคใต้ตอนล่างมีตะกอนทรายเคลื่อนที่สุทธิไปทางทิศเหนือในอัตราระหว่าง 170,000-1,000,000 ลบ.ม./ปี หาดทรายชายฝั่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างดี ที่ทำให้คลื่นลมในอ่าวด้านในของสันดอนจะงอยไม่

รุนแรง จึงเกิดพื้นที่ป่าชายเลนขนาดใหญ่อยู่ด้านในอ่าว กระบวนการนี้จะทำให้แผ่นดินกว้างใหญ่ออกไป การรบกวนสมดุลของธรรมชาติไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตามย่อมส่งผลเสียหายต่อพัฒนาการและเสถียรภาพของสันดอนจะงอย

3) เนินทรายชายฝั่ง (Coastal sand dunes) เนินทรายชายฝั่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการป้องกันหาดทรายและพื้นที่ด้านหลังจากคลื่นและลม เนินทรายที่สูงใหญ่และมีหลายแนวขนานไปกับชายฝั่งที่จะเกิดขึ้นได้ต้องมีปัจจัยที่พร้อมมูลหลายอย่าง อาทิ พื้นที่หาดต้องกว้างพอที่เมื่อน้ำลงแล้วทรายจะแห้งให้ลมหอบทรายขึ้นไปได้ มีแหล่งให้ทรายจำนวนมากที่มาพอกพูนภูมิประเทศที่เหมาะสมคือ ชายหาดที่อยู่ไม่ไกลจากปากแม่น้ำที่เป็นแหล่งสะสมของทรายจำนวนมาก เม็ดทรายต้องมีขนาดพอเหมาะที่ลมสามารถหอบไปกองสูงขึ้นไปได้ ชายทะเลที่เปิดกว้างไม่มีเกาะแก่ง ลมและคลื่นก็ทำหน้าที่ได้เต็มที่ ในการสร้างเนินทรายให้สูงใหญ่ และเมื่อรวมกับปัจจัยอื่นๆ ข้างต้นแล้ว เนินทรายบางแห่งสูงได้นับสิบเมตร เช่น สันทรายบางเบ็ด จังหวัดชุมพร ที่มีเนินทรายสูงถึง 15 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) การเกิดเนินทรายเป็นแนวยาวนั้น เม็ดทรายต้องเคลื่อนที่ไปในลักษณะกระดอน (saltation) จากแรงลมที่พัดทรายไปในทิศทางเดียวกัน ทรายเม็ดใหญ่ก็จะกลิ้งไปตามพื้น กระบวนการทั้งหมดนี้ความเร็วที่พอเหมาะต้องอยู่ระหว่าง 10-20 ไมล์/ชั่วโมง และพัดนานเป็นฤดูกาลอยู่หลายๆ เดือน

4) เนินทรายเคลื่อนตัว เมื่อเกิดเนินทรายแรกแล้ว ลมพัดเม็ดทรายให้ปลิวต่อและไปตกที่ข้างหลังเรื่อย ๆ ทำให้กองเนินทรายแรกที่ค่อยๆ เคลื่อนลึกเข้าไปในแผ่นดิน เนินทรายหน้าลูกใหม่ก็พัฒนาขึ้น กระบวนการนี้ดำเนินการต่อไปไม่รู้จบนับพัน ๆ ปี จนเกิดเป็นเนินทรายที่ 3 ที่ 4 ที่ 5 กระทั่งหมดฤทธิ์แรงลม ระหว่างเนินทรายมีร่องเรียกว่า “ลำราง” ที่ทำหน้าที่ระบายน้ำฝนออกสู่ชายฝั่ง

5) เนินทรายลูกอ่อน ในฤดูแล้งน้ำทะเลจะลดลงจนหาดกว้าง ทรายที่แห้งแล้วลมก็พัดขึ้นไปเป็นเนินทรายลูกอ่อน (embryo dune) อยู่ด้านหน้า ซ่อมแซมเนินทรายเดิมที่ถูกกัดเซาะไปในช่วงฤดูมรสุม และวนเวียนไปแบบนี้เรื่อย ๆ เนินทรายลูกอ่อนค่อยๆ พัฒนาเป็นเนินทรายหน้า (front dune) หรือยังไม่ทันใดก็ตายเสียก่อนหากฤดูมรสุมถัดมาแรงเกินไป การพอกพูนของเนินทรายอาจไม่เกิดขึ้นได้จากเม็ดทรายล้น ๆ แรกเริ่มจะต้องมี “ขยะทะเล” ที่คลื่นซัดมากองตามแนวบนสุดของน้ำขึ้น ขยะทะเลนั้นนอกจากเป็นกับดักทรายที่ถูกพัดตกลงมาแล้ว ที่เป็นซากพืชซากสัตว์ก็กลายเป็นปุ๋ยให้หญ้าชายหาดงอกงามขึ้นปกคลุมและตรึงทรายเอาไว้อีกชั้นหนึ่ง หญ้าชายหาดเหล่านี้นอกจากต้องทนทาน

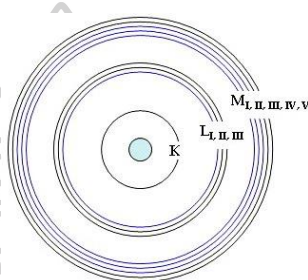
แดด ลม ไอน้ำเค็ม และแรงเสียดสีของเม็ดทรายแล้ว ยังโตเร็วเพื่องอกให้พื้นทรายตลอดเวลา มีรากยาวลึกและเหง้าที่แผ่ออกไปข้างๆ ทำให้เนินทรายสูงขึ้นและแผ่กว้างออกไป

2.1.2 หลักการของเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence, XRF เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการกระตุ้นพลังงานแก่สารตัวอย่าง ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมสารตัวอย่าง ทำให้เกิดการคายพลังงานอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ เรียกว่า ฟลูออเรสเซนซ์ เทคนิค XRF จะสามารถวิเคราะห์ผลได้ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยผลเชิงคุณภาพเกิดจากสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์มีค่าพลังงานเฉพาะธาตุ หรือมีความยาวคลื่นเฉพาะตัว จึงทำให้สามารถบ่งบอกได้ถึงชนิดธาตุในสารตัวอย่างและความเข้ม (Intensity) ของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์สามารถบ่งบอกผลในเชิงปริมาณธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณด้วยเทคนิค XRF นั้น จะสามารถทำได้โดยการสร้างกราฟปรับเทียบ (calibration curve) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้กับปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่อยู่ในสารมาตรฐาน โดยกราฟนี้จะสร้างขึ้นมาจากสารมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นของธาตุที่แน่นอน เมื่อต้องการหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่างจะสามารถนำค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่างมาเทียบใน calibration curve ซึ่งจะช่วยให้ทราบค่าความเข้มข้นธาตุที่สนใจในสารตัวอย่างได้ ดังนั้นในการสร้างกราฟ calibration curve จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมสารมาตรฐานเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบ ซึ่งลักษณะของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานควรมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือ ควรมีสถานะและองค์ประกอบเดียวกันในเนื้อสาร วิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการสร้าง calibration curve จะสามารถเตรียมได้ด้วยวิธีการหลอม (fusion method) และเตรียมด้วยวิธีอัดให้เป็นเม็ด (pressed powder) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จะศึกษาผลการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ของสารมาตรฐานที่ถูกเตรียมด้วยวิธีต่างชนิด รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยจะศึกษาผลของการเตรียมสารมาตรฐานต่างวิธีที่มีผลต่อลักษณะของ calibration curve ตามลำดับ

เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม เปลี่ยนระดับชั้นที่มีพลังงานสูงไปยังชั้นที่มีพลังงานต่ำกว่า และคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (characteristic X ray) ของแต่ละธาตุ อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม แบ่งเป็นชั้น (shells) โดย

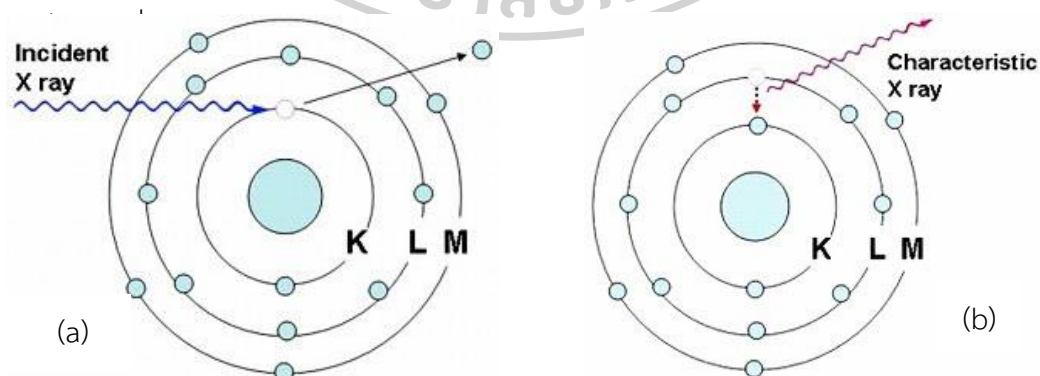
ชั้นในสุด ได้แก่ ชั้น K มีระดับพลังงาน (energy level) ต่ำสุด ถัดออกมา ได้แก่ ชั้น L, M, N, ... ซึ่งจะมีระดับพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้อิเล็กตรอนในชั้น K ที่มีระดับพลังงานเดียวแล้ว อิเล็กตรอนในชั้นอื่น ยังแบ่งเป็นชั้นย่อย ได้แก่ LI, LII, LIII และ MI, MII, MIII, MIV, MV ซึ่งอะตอมของธาตุแต่ละชนิด จะมีความแตกต่างของพลังงานของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นไม่เท่ากัน อิเล็กตรอนในแต่ละชั้นของวงโคจร มีพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ที่ได้รับจากนิวเคลียสแตกต่างกัน อิเล็กตรอนวงในที่อยู่ใกล้นิวเคลียส จะได้รับพลังงานยึดเหนี่ยวมากกว่าอิเล็กตรอนวงนอก และธาตุที่มีเลขอะตอม (Z) สูงขึ้น จะมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่ออิเล็กตรอนมากขึ้น



รูปที่ 1 อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมแบ่งเป็นชั้น

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-1.jpg>

เมื่อยิงรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา อิเล็กตรอน หรือโปรตอนไปยังอะตอมของธาตุ จะชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอม ทำให้ตำแหน่งนั้นว่าง อิเล็กตรอนในชั้นที่มีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ เช่น จากชั้น L ไปชั้น K จากชั้น M ไปชั้น K หรือจากชั้น M ไปชั้น L โดยคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (characteristic X-

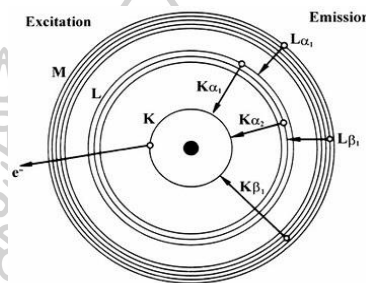


รูปที่ 2 (a) รังสีเอกซ์พลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกไปจากวงโคจร

(b) อิเล็กตรอนในชั้น M ที่มีพลังงานสูงกว่าลงมาแทนที่ โดยคายรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะออกมา

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-3.jpg>

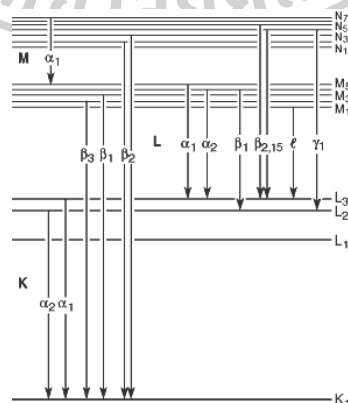
รังสีเอกซ์จำเพาะ (characteristic X-ray) ที่เกิดจากอิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่า ลงไปแทนที่ว่างในชั้น K เรียกว่า K radiation หรือ K X-ray และเรียกว่า L radiation หรือ L X-ray ถ้าเป็นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากอิเล็กตรอน ลงไปแทนที่ว่างในชั้น L โดยส่วนใหญ่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากวงโคจรจะเป็นอิเล็กตรอนในชั้น K ทำให้รังสีเอกซ์จำเพาะที่คายออกมา มีความเข้มของ K X-ray มากกว่า L X-ray รังสีเอกซ์จำเพาะจากอิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่าหนึ่งระดับจะกำกับด้วยเครื่องหมาย α เช่น อิเล็กตรอนจากชั้น L ไป K = $K\alpha$ หรือ อิเล็กตรอนจากชั้น M ไป L = $L\alpha$



รูปที่ 3 สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์จำเพาะจากการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอน

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-4.jpg>

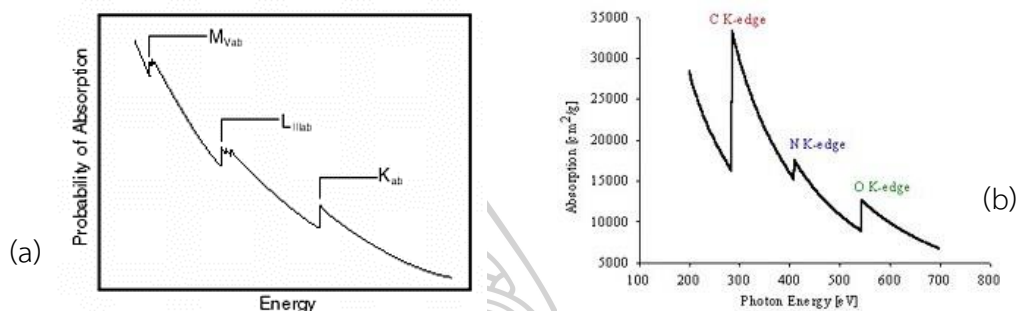
รังสีเอกซ์จำเพาะจากอิเล็กตรอนในชั้นย่อยของแต่ละระดับที่ลงไปแทนที่ว่าง จะกำกับเพิ่มเติมด้วยหมายเลข เช่น อิเล็กตรอนจากชั้นย่อยของ L_{III} ไป K = $K\alpha_1$ และ L_{II} ไป K = $K\alpha_2$ หรือ MV ไป $L_{II} = L\alpha_1$ และ MIV ไป $L_{III} = K\alpha_2$ นอกจากนั้น รังสีเอกซ์จากอิเล็กตรอนจากชั้นอื่นที่ลงมาแทนที่ จะมีเครื่องหมายและหมายเลขกำกับแตกต่างกัน เช่น $K\beta_1$, $K\beta_2$, $L\beta_1$, $L\beta_2$, $L\gamma_1$, $L\gamma_2$ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์จำเพาะจากการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอน

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf->

รังสีที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม จะต้องมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่มของอิเล็กตรอน หรือ แอบซอร์บชันเอจ (absorption edge) โดยจะมีสัมประสิทธิ์ในการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดเมื่อมีความถี่ใกล้เคียงกับ absorption edge และจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่ที่เข้าทำปฏิกิริยามีพลังงานสูงขึ้น โดยมีค่าแตกต่างกันสำหรับอิเล็กตรอนแต่ละชั้นและแตกต่างกันในแต่ละธาตุ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 (a) แอบซอร์บชันเอจของอิเล็กตรอนในชั้น K, L, M และ (b) แอบซอร์บชันเอจของคาร์บอน ไนโตรเจนและออกซิเจน

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-6.gif>

การหาชนิดของธาตุ สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์จำเพาะ ขณะที่การหาปริมาณธาตุ สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่คายออกมา ตารางที่ 1 แสดงค่าของ absorption edge ของอิเล็กตรอนในชั้น K และชั้น L และค่าของพลังงานรังสีเอกซ์จำเพาะของแต่ละธาตุ

ตารางที่ 1 absorption edge และพลังงานของรังสีเอกซ์จำเพาะ (keV) ของธาตุ

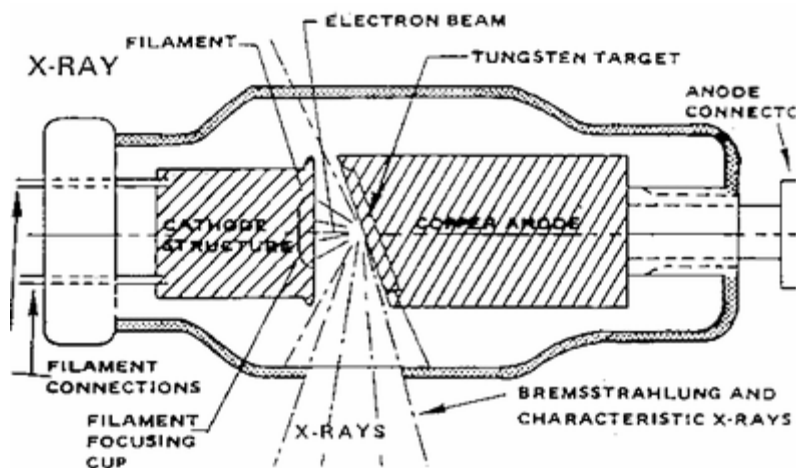
Element	Z	Kabs	K α 1	K β 1	L-IIIabs	L α 1	L β 1
F	9	0.687	0.677				
Na	11	1.072	1.041	1.067			
Mg	12	1.305	1.253	1.295			
Al	13	1.559	1.486	1.553			
Si	14	1.838	1.740	1.829			
P	15	2.142	2.013	2.136			
S	16	2.472	2.307	2.464			
Cl	17	2.822	2.622				
Ar	18	3.202	2.957	3.190			
K	19	3.607	3.313	3.589			
Ca	20	4.038	3.691	4.012	0.346	0.341	0.345
Sc	21	4.496	4.090	4.460	0.403	0.395	0.400
Ti	22	4.965	4.510	4.931	0.454	0.452	0.458
V	23	5.465	4.951	5.426	0.513	0.511	0.519

Cr	24	5.989	5.414	5.946	0.574	0.573	0.583
Mn	25	6.540	5.898	6.489	0.641	0.637	0.649
Fe	26	7.112	6.403	7.057	0.709	0.705	0.718
Co	27	7.709	6.929	7.648	0.779	0.776	0.791
Ni	28	8.333	7.477	8.263	0.855	0.851	0.869
Cu	29	8.979	8.046	8.904	0.932	0.930	0.950
Zn	30	9.659	8.637	9.570	1.021	1.012	1.034
Sr	38	16.105	14.163	15.833	1.940	1.806	1.871
Zr	40	17.998	15.772	17.665	2.223	2.042	2.124
Ba	56	37.441	32.188	36.372	5.247	4.465	4.827
La	57	38.925	33.436	37.795	5.483	4.650	5.041
Ce	58	40.449	34.714	39.251	5.724	4.839	5.261
Nd	60	43.571	37.355	42.264	6.208	5.229	5.721
Hf	72	65.351	55.781	63.222	9.561	7.898	9.021
Pb	82	88.006	74.965	84.922	13.035	10.550	12.612
Th	90	109.646	93.334	105.591	16.300	12.967	16.199
U	92	115.036	98.422	111.281	17.167	13.612	17.217

การวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ โดยทั่วไป จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม โดยใช้รังสีเอกซ์พลังงานสูงจากหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) หรือไอโซโทปรังสี (radio isotope) ที่ให้รังสีเอกซ์ หลอดรังสีเอกซ์ประกอบด้วยไส้หลอด (filament) ที่เป็นแคโทด (cathode) หรือขั้วลบ และแอโนด (anode) หรือขั้วบวกที่มีความต่างศักย์สูง (high voltage) ทำด้วยโลหะที่มีเลขอะตอมสูงและทนความร้อนได้ดี เช่น W, Mo หรือ Rh เมื่อป้อนไฟฟ้าเข้าไป จะทำให้เกิดความร้อนที่คาโทดและมีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ความต่างศักย์จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าชนแอโนดที่เป็นเป้า (target) และปล่อยรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง หรือเบรมสตราห์ลุง (Bremsstrahlung) ออกมา โดยมีความเข้ม (I) แปรผันตามกระแสไฟฟ้า (i) ศักย์ไฟฟ้า (V) และเลขอะตอม (Z) ของธาตุที่ใช้ทำแอโนด ตามสมการ

$$I = kiZV^2$$

โดย k เป็นค่าคงที่



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอกซ์

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-8.gif>

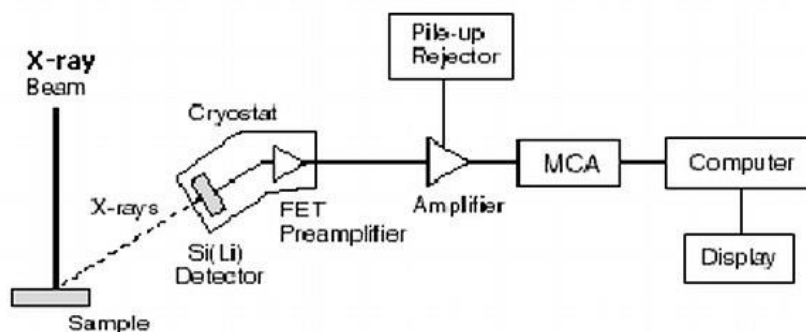
ไอโซโทปรังสีที่ใช้ในงานเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นไอโซโทปที่ให้รังสีเอกซ์ ได้แก่ Fe-55, Cd-109, Am-241 และ Pu-238 ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนหรือบรรจุอยู่ในตลับที่มีช่องเปิด รังสีเอกซ์ที่ให้ออกมาจากแต่ละธาตุในตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์พลังงานของรังสี เพื่อหาชนิดของธาตุ และวิเคราะห์ความเข้มของรังสีเพื่อหาปริมาณธาตุได้โดยใช้หัววัดรังสีเอกซ์แบบก๊าซ (gas ionization chamber) ชนิด proportional counter หัววัดรังสีแบบเปล่งแสง (scintillation counter) หรือหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้หัววัดชนิดซิลิกอน(ลิเทียม): Si(Li) หรือเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง : HPGe



รูปที่ 7 (a) หัววัดรังสีเอกซ์แบบสารกึ่งตัวนำ HPGe และ (b) หัววัดรังสีเอกซ์แบบก๊าซ

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-10.gif>

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดรังสีเอกซ์โดยทั่วไป ประกอบด้วยหัววัดรังสี (detector) ส่วนสร้างสัญญาณ (preamplifier) ส่วนขยายสัญญาณ (amplifier) ส่วนวิเคราะห์สัญญาณ (multichannel analyzer) หรือ MCA ประกอบกับคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมประมวลผลและแสดงผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การจัดต่อประกอบอุปกรณ์การวิเคราะห์โดยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ที่มา : <https://www.nst.or.th/article/article494/xrf-1/xrf-14.jpg>

รังสีเอกซ์พลังงานสูงจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไอโซโทปหรือหลอดรังสีเอกซ์ ที่ตกกระทบตัวอย่าง จะทำให้ธาตุที่อยู่ภายในตัวอย่างปลดปล่อยรังสีเอกซ์จำเพาะของแต่ละธาตุออกมา ซึ่งแสดงผลการวัดเป็นแถบพลังงาน หรือสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตำแหน่งที่แสดงผลการวัดรังสีเอกซ์ของแต่ละธาตุ เรียกว่า โฟโตพีค (photopeak) ซึ่งมีพื้นที่ของพีค (peak area) เป็นค่านับวัด (count) ของรังสีเอกซ์ ที่มีค่าแปรผันตามปริมาณธาตุในตัวอย่าง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอแนะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่ตีพิมพ์ในประเทศไทย และงานวิจัยต่างประเทศ แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยในประเทศ

ฉันทนา และคณะ(2559) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอน ร่วมกับเทคนิค X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), X-ray absorption structure (XAS) และ Fourier transform infrared micro spectroscopy (FTIRMS) เป็นต้น เพื่อไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมและงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ (วิทยานิพนธ์, 2559)

ศรัณย์ธรรม ภูริจารุยางกูร(2559) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความต่างของดินจากพื้นที่ต่างๆ 30 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค FTIR และวัดสีดินด้วยเทคนิค Spectrophotometer ตามระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ให้ผลว่าสเปกตรัม IR และผลวิเคราะห์สีให้

ค่าที่ต่างกัน ถึงแม้สังเกตด้วยตาเปล่า หรือลักษณะทางกายภาพจะคล้ายกัน ผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถไปประยุกต์ใช้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง (ภูริจารูยางกูร, 2559)

งานวิจัยของ อภิญา และคณะ(2019) การตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างดินจากพื้นที่ราบโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุในดิน เพื่อศึกษาลักษณะจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของดิน จาก อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์เป็นแนวทางในการบอกแหล่งที่มาของดินเพื่อประยุกต์ใช้ในการงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ (ข้าไข, สโมสรสุข, ศรีนุตตระกูล, ธิมาชัย, & สโมสรสุข, 2019)

2.2.1 งานวิจัยต่างประเทศ

งานวิจัยของ Anjos และคณะ(2002) ได้ทำการวิจัยดิน โดยใช้เทคนิค energy-dispersive X-ray fluorescence ที่ความลึกของดิน 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 และ 40-60 cm. ศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบของดิน ธาตุ K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr และ Pb ของดินปกติ ดินที่ผ่านที่มีปุ๋ยอินทรีย์ และดินที่ผ่านการบำบัด พบว่าดินแต่ละแหล่งมีปริมาณความหลากหลายของธาตุที่ต่างกัน (Anjos et al., 2002)

งานวิจัยของ Junger และคณะ(1996) ได้ทำการวิจัยศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ดินในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้ตัวอย่างดินจากที่ต่างๆโดยลักษณะสีฐานของแร่ พบว่าผลที่ได้ ดินมากกว่า 50% ที่นำมาวิเคราะห์สี สามารถบอกได้ถึงความต่างของดินแต่ละพื้นที่ (Junger, 1996)

Petraco et al. (2008) ทำการวิจัยเกี่ยวกับกรณีศึกษาของอาชญากรรมต่างๆที่เกิดขึ้น ที่วัตถุพยานมีความเกี่ยวข้องกับดิน และในตัวอย่างเคสที่ 2 ในรายงานเป็นการรายงานเกี่ยวกับเคสที่มีการพบทรายที่รองเท้าจึงมีการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่อไป (Petraco, Kubic, & Petraco, 2008)

Pye & Croft (2007) ทำงานวิจัยเกี่ยวกับดิน ศึกษาหาความหลากหลาย ความต่างของดินเพื่อประยุกต์งานนิติวิทยาศาสตร์ โดยเทคนิค energy-dispersive X-ray analysis และ SEM ของลักษณะทางกายภาพ (Pye & Croft, 2007)

งานวิจัยของ Toshio Nakanishi เป็นการทําวิจัยเพื่อหา lower limit ของเทคนิค XRF ที่ใช้ตรวจหาองค์ประกอบของธาตุในเศษแก้ว หรือกระจก เพื่อใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ (Nakanishi et al., 2008) จากงานวิจัยดังกล่าวทําให้ผู้วิจัยคิดว่าแนวคิดในการตรวจด้วยเทคนิค XRF อาจสามารถนำมาใช้กับวัตถุพยานขนาดเล็กคล้ายเศษแก้วและกระจกที่ปนเปื้อนใช้ในการเป็นพยานหลักฐานได้อย่าง ทราบ

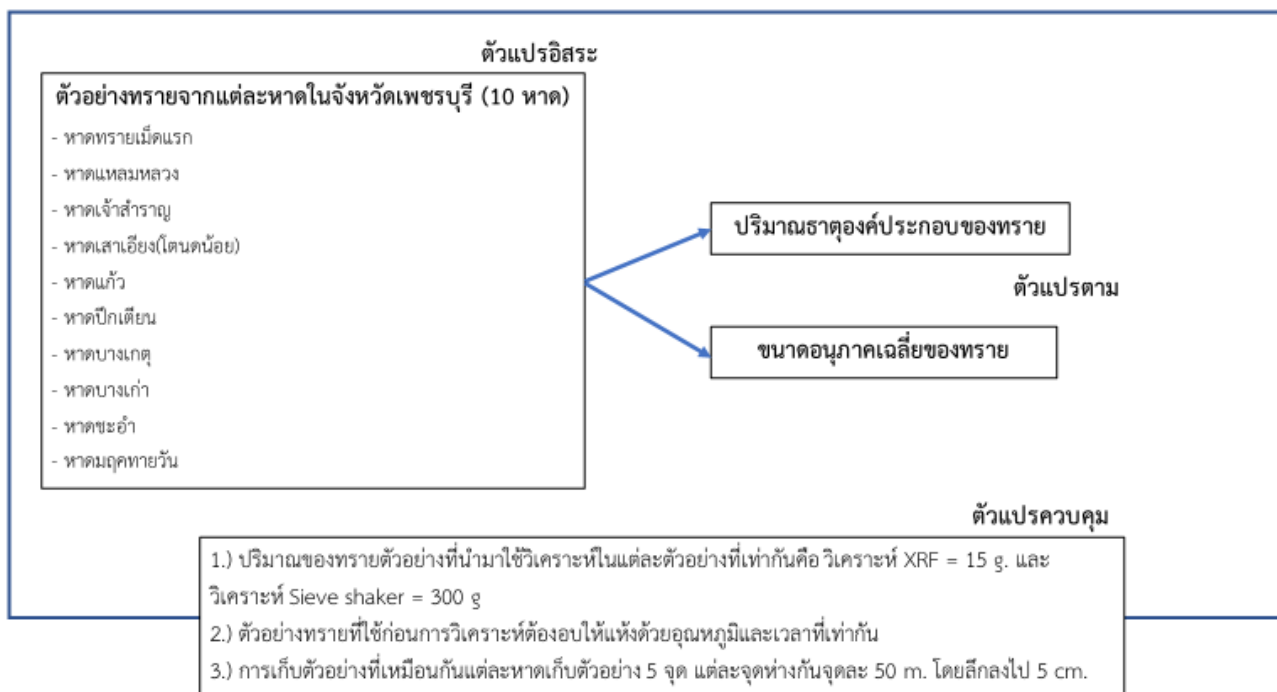
ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของทรายโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ซึ่งในงานวิจัยในฐานะข้อมูลที่ผู้วิจัยได้สืบค้น ฐานข้อมูลส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของดิน ด้วยเทคนิคต่างๆอย่าง วิธีทาง Spectrophotometer การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ฯลฯ แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ขนาดของทราย เพื่อหาขนาดของทรายส่วนมาก และเพื่อหาความแตกต่างของทรายแต่ละที่ได้ด้วยขนาด ซึ่งแตกต่าง เพิ่มเติมจากงานวิจัยที่มีการทําวิจัยมาก่อนหน้านี้

จากการทบทวนและวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อนำไปสู่การกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยเพื่อสร้างงานวิจัยใหม่ พบว่า

1) ในด้านประเด็นที่ศึกษา จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือลักษณะทางกายภาพต่างๆ เช่น สี เป็นต้น วิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่าง แต่โดยรวมเป็นการวิเคราะห์ ดิน แต่ในส่วนของแนวทางการศึกษาเรื่ององค์ประกอบ หรือขนาดของ ทราย ยังไม่มีการศึกษาวิจัย มีเพียงกรณีศึกษาจากเคสอาชญากรรมที่มีทรายมาเกี่ยวข้องในเคสที่ 2 ของงานวิจัยกรณีศึกษาของ (Petraco et al., 2008) ทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดเรื่องนี้ขึ้นมา

2) ในด้านเครื่องมือที่ใช้ศึกษา โดยรวมเป็นการใช้เครื่องมือต่างๆมากมาย ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน เช่น เทคนิค X-ray diffraction (XRD), X-ray absorption structure (XAS) และ Fourier transform infrared micro spectroscopy (FTIRMS) เป็นต้น แต่ยังไม่มีการนำเครื่อง เทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) มาใช้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของทราย มีเพียงการใช้ในการวิเคราะห์เศษกระจก ซึ่งทางผู้วิจัยมีแนวคิดว่าจะเศษกระจกเป็นวัตถุพยานขนาดเล็กเช่นเดียวกับทราย น่าจะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ทราย ที่เป็นแนวคิดเริ่มต้นได้ จึงเกิดเป็นกรอบแนวคิดงานวิจัยนี้

2.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย



รูปที่ 9 กรอบแนวคิดงานวิจัย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของตัวอย่างทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker” เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) การวิจัยนี้เป็นการศึกษาธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างทราย และขนาดของทรายจากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรีทุกหาด ทั้งหมดจำนวน 10 หาด คือ หาดทรายเม็ดแรก, หาดแหลมหลวง, หาดเจ้าสำราญ, หาดเสาเอียง(โตนดน้อย), หาดแก้ว, หาดปึกเตียน, หาดบางเกตุ, หาดบางเก่า, หาดชะอำ และ หาดมฤคทายวัน

ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

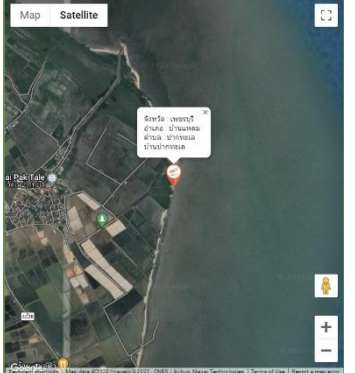
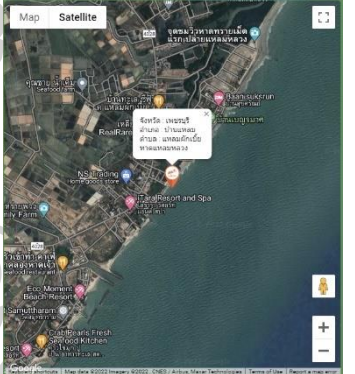

3.1 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย

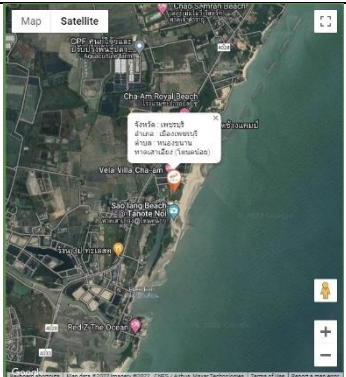
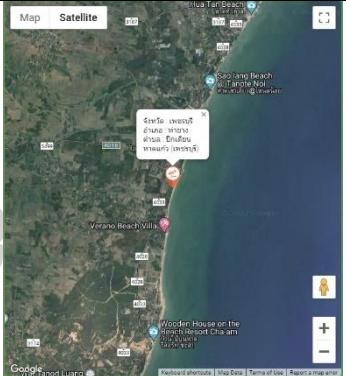

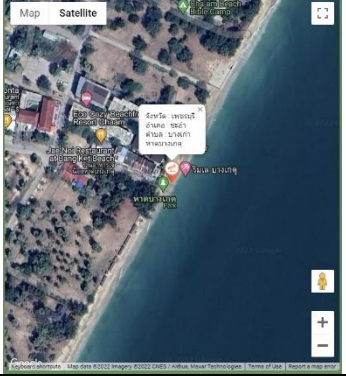
แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเป็นแหล่งข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสาร (Documentary research) เพื่อใช้ในการกำหนดกรอบแนวคิดงานวิจัย โดยผู้วิจัยทำการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารอ้างอิงในวารสาร ตำราเรียน บทความสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสรุปออกมาเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย

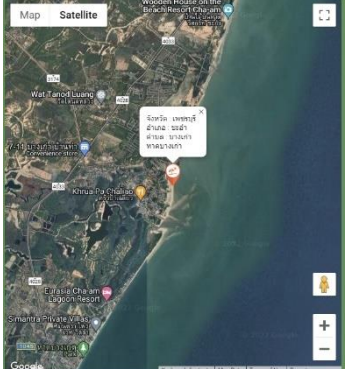
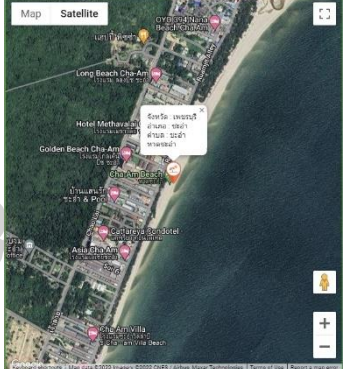
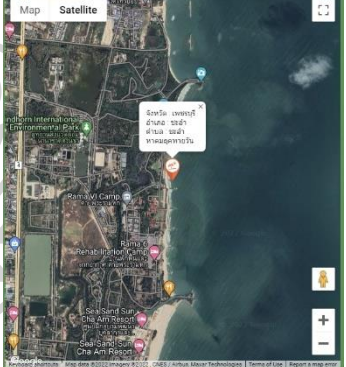
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ ตัวอย่างทรายที่เก็บจากหาดทราย 10 แห่งในจังหวัดเพชรบุรี คือ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างทรายจาก 10 แห่งในจังหวัดเพชรบุรี



ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพถ่ายแผนที่
1	หาดทรายเม็ดแรก	แหลมผักเบี้ย	บ้านแหลม	
2	หาดแหลมหลวง	แหลมผักเบี้ย	บ้านแหลม	
3	หาดเจ้าสำราญ	หาดเจ้าสำราญ	เมืองเพชรบุรี	




ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพถ่ายแผนที่
4	หาดเสาเอียง(โตนดน้อย)	หนองขนาน	เมืองเพชรบุรี	
5	หาดแก้ว	ปึกเตียน	ท่ายาง	
6	หาดปึกเตียน	ปึกเตียน	ท่ายาง	
7	หาดบางเกตุ	บางเก่า	ชะอำ	

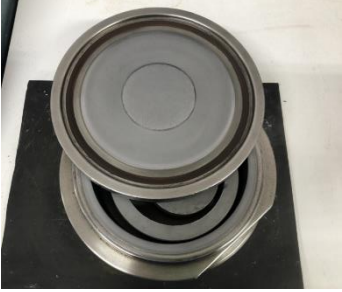


ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพถ่ายแผนที่
8	หาดบางแก้ว	บางแก้ว	ชะอำ	
9	หาดชะอำ	ชะอำ	ชะอำ	
10	หาดมฤคทายวัน	ชะอำ	ชะอำ	

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	รูปภาพ
1	เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometer	
2	เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 1 ตำแหน่ง	

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	รูปภาพ
3	เครื่องบด (บดตัวอย่างทราย)	
4	เครื่องอัด (อัดผงตัวอย่างทรายให้เป็นแผ่นสำหรับวิเคราะห์กับเครื่อง XRF)	
5	Oven (ตู้อบ)	

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	รูปภาพ
6	ถ้วยใส่ตัวอย่างวัสดุสำหรับใส่เครื่องบด	
7	เครื่อง Sieve Shaker	
8	ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 2.00 mm., 1.60 mm., 1.00 mm., 0.80 mm., 0.63 mm., 0.315 mm., 0.25 mm. และ 0.10 mm.	

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	รูปภาพ
9	ถุงซิปลงสำหรับใส่ตัวอย่างทราย	
10	Grinding aid pellets หรือ เม็ดยา สำหรับใส่พร้อมทรายตัวอย่างในการบดให้ละเอียด เป็นตัวช่วยให้การยัดเป็นแผ่นเพื่อนำไปวิเคราะห์ หรือสามารถใช้ boric acid ได้เช่นกัน (แต่เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เม็ดยาในงานวิจัยนี้) โดยสาร 2 ชนิดนี้เป็นตัวช่วยยัดเกาะที่ matrix เหมาะกับ sample มากที่สุด	

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 เริ่มศึกษาและค้นคว้าในหัวข้อเรื่องที่น่าสนใจ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเรื่องที่เรียนได้ จากการศึกษาค้นคว้าทำให้เห็นถึงปัญหาด้านอาชกรรมที่เกิดขึ้นและทรายก็เป็นวัตถุพยานอย่างหนึ่งที่อาจช่วยสืบค้นความจริง หรือสามารถเชื่อมโยงกับผู้เกี่ยวข้องหรือผู้กระทำผิด แต่ทรายเป็นวัตถุพยานหนึ่งที่ถูกมองข้ามไป และงานวิจัยเกี่ยวกับทรายในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์มีน้อยหรือแทบจะไม่มี และเครื่อง XRF ก็เป็นเครื่องมือที่ไม่มีใช้อย่างแพร่หลาย จึงเกิดแนวคิดในการตรวจพิสูจน์ธาตุองค์ประกอบของทรายโดยใช้เทคนิค XRF ร่วมกับ Sieve Shaker ในการวิเคราะห์

3.4.2 รวบรวม และค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ และศึกษาหาทรายในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี เพื่อวางแผนในการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ต่อไป และติดต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อช่วยแนะนำแนวทาง ชี้แนะการทำวิจัย และช่วยให้คำแนะนำเมื่อเกิดปัญหาในงานวิจัยติดต่อและขออนุญาตหัวหน้างานผู้จัดการส่วนวิเคราะห์แก้วและวัตถุดิบ บริษัท บีจี คอนเทนเนอร์ กล๊าส จำกัด (มหาชน) เพื่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย และขอความรู้คำแนะนำเพิ่มเติม

3.4.3 ทำการทดลอง ในห้องปฏิบัติการของบริษัท บีจี คอนเทนเนอร์ กล๊าส จำกัด (มหาชน) โดยการนำตัวอย่างทรายจากหาดทรายจังหวัดเพชรบุรีทั้ง 10 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometer และ ขนาดอนุภาคของทรายโดย Sieve Shaker

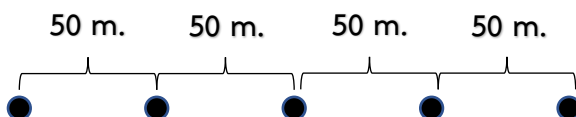
3.4.4 บันทึกและแปลผลการทดลองโดยแสดงผลพร้อมทั้งอธิบายกราฟ และตาราง

3.4.5 สรุปและอภิปรายผล ตรวจสอบความถูกต้องจากนั้นนำเสนอรายงานการวิจัย

3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

3.5.1 การเก็บตัวอย่างทราย

เก็บตัวอย่างทรายจากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรีทั้ง 10 หาด คือ หาดทรายเม็ดแฉก, หาดแหลมหลวง, หาดเจ้าสำราญ, หาดเสาเอียง(โตนดน้อย), หาดแก้ว, หาดปึกเตียน, หาดบางเกตุ, หาดบางเก่า, หาดชะอำ และ หาดมฤคทายวัน การเก็บตัวอย่างที่เหมือนกันแต่ละหาดเก็บตัวอย่าง 5 จุด แต่ละจุดห่างกันจุดละ 50 m. โดยลึกลงไป 5 cm. โดยใช้ช้อนแสดนเลสในการขุด จุดละประมาณ 100 g. และนำแต่ละจุดมารวมกันเป็นตัวอย่างทรายในแต่ละหาด



รูปที่ 10 แผนผังการเก็บตัวอย่างทรายในแต่ละหาด

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างทรายสำหรับการวิเคราะห์ X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometer

3.5.2.1) นำตัวอย่างทรายที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 °C ประมาณ 15 – 20 นาที จนทรายที่ขึ้นแห้งสนิท แล้วทิ้งให้เย็น

3.5.2.2) ชั่งตัวอย่างทราย 40 g. เติม Grinding aid pellets จำนวน 16 เม็ด เทส่วนผสมลงในถ้วยบด วิเคราะห์ หรือสามารถใช้ boric acid ได้เช่นกัน (แต่เพื่อความสะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เม็ดยาในงานวิจัยนี้)

3.5.2.3) นำถ้วยบดตัวอย่างเข้าบดด้วยเครื่องบด ทำการบดตัวอย่าง 1 นาที เมื่อบดเสร็จใช้ช้อนสะอาดคนผสมทรายให้เข้ากัน และระวังการปนเปื้อน

3.5.2.4) ชั่งตัวอย่างทรายที่บดและผสมเข้ากันดีแล้วมาชั่ง 15 g. \pm 0.1 g. นำไปอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัด ด้วยแรงประมาณ 100-350 Psi

3.5.2.5) นำตัวอย่างที่อัดเป็นแผ่นเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์ด้วย X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometer

3.5.2.6) ทำการ Drift Correction โดยเลือกโปรแกรม SAND CRM ของเครื่อง XRF ใส่ตัว Drift ตามที่โปรแกรมแสดง และทำการวัดแผ่น STD ของทรายก่อน หากค่าที่วัดได้ของก้อน STD Sand ผ่าน จึงนำตัวอย่างทรายแต่ละตัวอย่างมาวิเคราะห์ต่อ

3.5.2.7) บันทึกผลแล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อเพื่อสรุปผล

3.5.3 การเตรียมตัวอย่างทรายสำหรับการวิเคราะห์ขนาดโดย Sieve Shaker

3.5.3.1) นำตัวอย่างทรายที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 °C ประมาณ 15 – 20 นาที จนทรายที่ขึ้นแห้งสนิท แล้วทิ้งให้เย็น

3.5.3.2) นำตัวอย่างทรายที่แห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก 300 g.

3.5.3.3) นำตะแกรงแต่ละขนาดมาเรียงต่อกันเหมือนเก้าอี้ป่นโต โดยเรียงจากขนาดตะแกรงใหญ่ไปเล็ก จากบนลงล่าง และมีถาดรองที่ชั้นสุดท้าย (ตั้งแต่ 2.00 mm. – 0.10 mm.)

3.5.3.4) นำตัวอย่างทรายเทใส่ตะแกรง Sieve ปิดฝาตะแกรง และตัวล้อยึด ด้านบน

3.5.3.5) เปิดเครื่อง Shaker ที่แรงเขย่า 80 แอมพลิจูด ตั้งเวลา 20 นาที

3.5.3.6) หลังจากเครื่องหยุดทำงาน นำตัวอย่างทรายที่ค้างอยู่ในแต่ละชั้นมาชั่ง น้ำหนัก หน่วยเป็นกรัม

การคำนวณ

$$\% \text{Grain size (ขนาดของทราย)} = \frac{\text{น้ำหนักของทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นนั้น}}{\text{น้ำหนักรวมของทรายทุกชั้น}} \times 100$$

3.5.3.7) วิเคราะห์แต่ละตัวอย่างซ้ำ 3 รอบ/ตัวอย่าง คำนวณ บันทึกผลเพื่อนำข้อมูลไปสรุปต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometer และ ขนาดของทรายโดยเทคนิค Sieve shaker นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยการสร้างกราฟ และแผนภูมิโดยโปรแกรม Microsoft excel เพื่อวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของทราย โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และเพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของทรายแต่ละหาดในจังหวัดเพชรบุรีเพื่อใช้ในการตอบคำถามงานวิจัย โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติเชิงพรรณนา ด้วยค่าร้อยละ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ช่วยตอบคำถามงานวิจัย

บทที่ 4


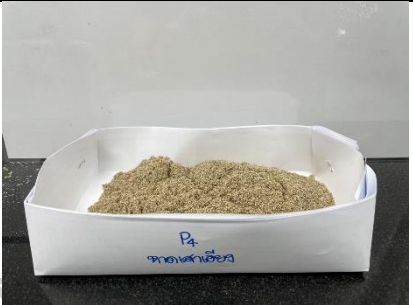


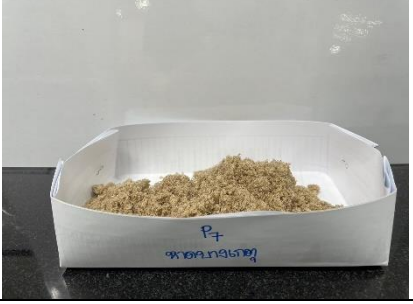
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

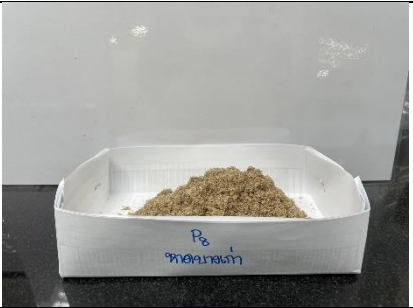
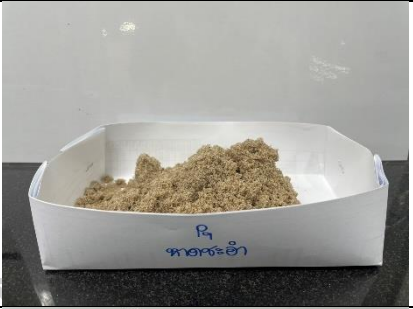
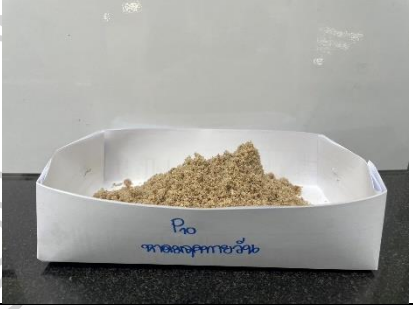
งานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและขนาดของตัวอย่างทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และ Sieve shaker” เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) การวิจัยนี้เป็นการศึกษาธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างทราย จากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรีทุกหาด ทั้งหมดจำนวน 10 หาด คือ หาดทรายเม็ดแรก, หาดแหลมหลวง, หาดเจ้าสำราญ, หาดเสาเอียง (โตนน้อย), หาดแก้ว, หาดปึกเตียน, หาดบางเกตุ, หาดบางเก่า, หาดชะอำ และ หาดมฤคทายวัน โดยผู้วิจัยเก็บตัวอย่างทรายในแต่ละหาดจำนวน 5 จุด แต่ละจุดแต่ละจุดห่างกันจุดละ 50 m. โดยลึกลงไป 5 cm. โดยใช้ช้อนแสดนเลสในการชุด จุดละประมาณ 100 g. และนำแต่ละจุดมารวมกันเป็นตัวอย่างทรายในแต่ละหาด และใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของทราย และใช้เทคนิค Sieve shaker ในการวิเคราะห์ขนาดของทราย เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของทรายแต่ละหาดในจังหวัดเพชรบุรี โดยผลวิจัยที่ได้ดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของทราย

ตารางที่ 4 ตัวอย่างทรายที่เก็บจากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรี

ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพตัวอย่างทราย
1	หาดทรายเม็ดแรก	แหลมผักเบี้ย	บ้านแหลม	
2	หาดแหลมหลวง	แหลมผักเบี้ย	บ้านแหลม	

ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพตัวอย่างทราย
3	หาดเจ้าสำราญ	หาดเจ้าสำราญ	เมืองเพชรบุรี	
4	หาดเสาเอียง (โตนดน้อย)	หนองขนาน	เมืองเพชรบุรี	
5	หาดแก้ว	ปึกเตียน	ท่ายาง	
6	หาดปึกเตียน	ปึกเตียน	ท่ายาง	
7	หาดบางเกตุ	บางเก่า	ชะอำ	

ตัวอย่าง	สถานที่	ตำบล	อำเภอ	ภาพตัวอย่างทราย
8	หาดบางเก่า	บางเก่า	ชะอำ	
9	หาดชะอำ	ชะอำ	ชะอำ	
10	หาดมฤคทายวัน	ชะอำ	ชะอำ	

ตัวอย่างทรายทั้ง 10 ตัวอย่างจากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรีมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน โดยสีของทรายเป็นสีน้ำตาลส้ม แต่ในหาดเจ้าสำราญมีลักษณะทางกายภาพของสีทรายที่เข้มกว่าหาดอื่นๆ เป็นสีน้ำตาลดำ และสิ่งที่ทำให้แต่ละทรายมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน คือ หินและเศษเปลือกหอยที่ปะปนอยู่ในตัวอย่างทราย ซึ่งสิ่งที่พบสามารถทำให้องค์ประกอบทางเคมีและขนาดอนุภาคของทรายแต่ละแหล่งแตกต่างกัน

4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

Sample Name	Sand Sample	Chemical composition (%w/w)							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
P1	หาดทรายเม็ดแรก	93.75	2.636	0.329	3.149	0.288	0.229	1.700	0.067
P2	หาดแหลมหลวง	94.45	2.306	0.268	2.871	0.215	0.235	1.520	0.051
P3	หาดเจ้าสำราญ	91.77	4.314	0.553	2.833	0.390	0.390	2.597	0.088
P4	หาดเสาเอียง(โตนดน้อย)	97.10	2.306	0.369	0.986	0.196	0.119	1.329	0.086
P5	หาดแก้ว	97.03	1.566	0.221	2.092	0.118	0.150	1.084	0.038
P6	หาดปึกเตียน	87.59	2.196	0.354	7.744	0.239	0.201	1.653	0.045
P7	หาดบางเกตุ	99.79	0.695	0.166	1.079	0.074	0.120	0.460	0.033
P8	หาดบางเก่า	93.97	1.153	0.191	3.865	0.112	0.128	1.133	0.075
P9	หาดชะอำ	98.41	0.922	0.148	1.702	0.100	0.137	0.646	0.039
P10	หาดมฤคทายวัน	94.48	1.684	0.227	0.838	0.069	0.147	1.167	0.062

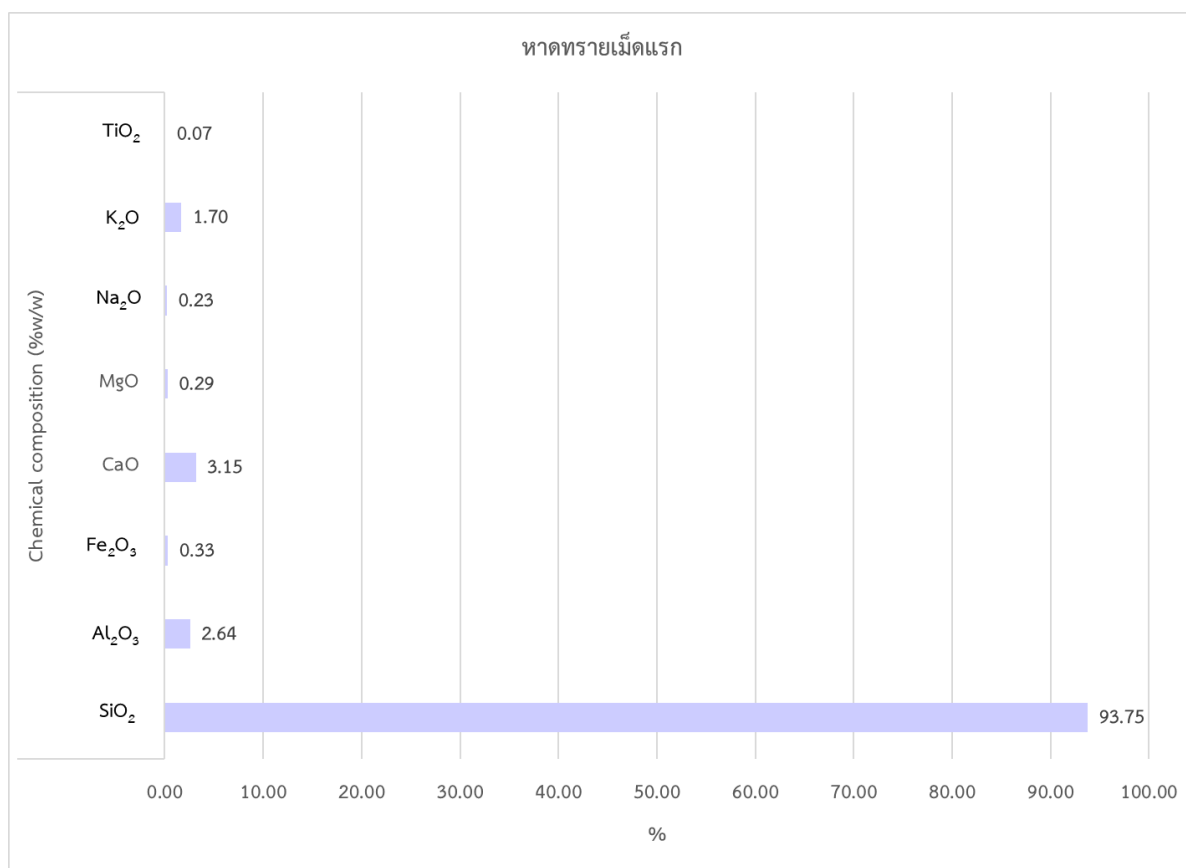
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทรายทั้ง 10 หาดในจังหวัดเพชรบุรี ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) โดยก่อนการใช้เครื่อง X-Ray Spectrometer ให้ทำการวัดแก้วมาตรฐาน STG2 ด้วยโปรแกรม S8-Check-Vac 34 เพื่อเช็คเครื่องก่อนวัดตัวอย่าง เปรียบเทียบค่า Chemical Composition ที่ได้จากการวัดแก้วมาตรฐาน STG2 กับค่าความคลาดเคลื่อน ตามเกณฑ์ที่คู่มือเครื่อง X-Ray Spectrometer กำหนดดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงค่า Oxide และค่า Tolerance จากเครื่อง XRF

Oxide	Tolerance
%Al ₂ O ₃	± 0.030
%Fe ₂ O ₃	± 0.0020
%CaO	± 0.20
%SiO ₂	± 1.5
%Na ₂ O	± 0.5
%Sb ₂ O ₃	± 0.020

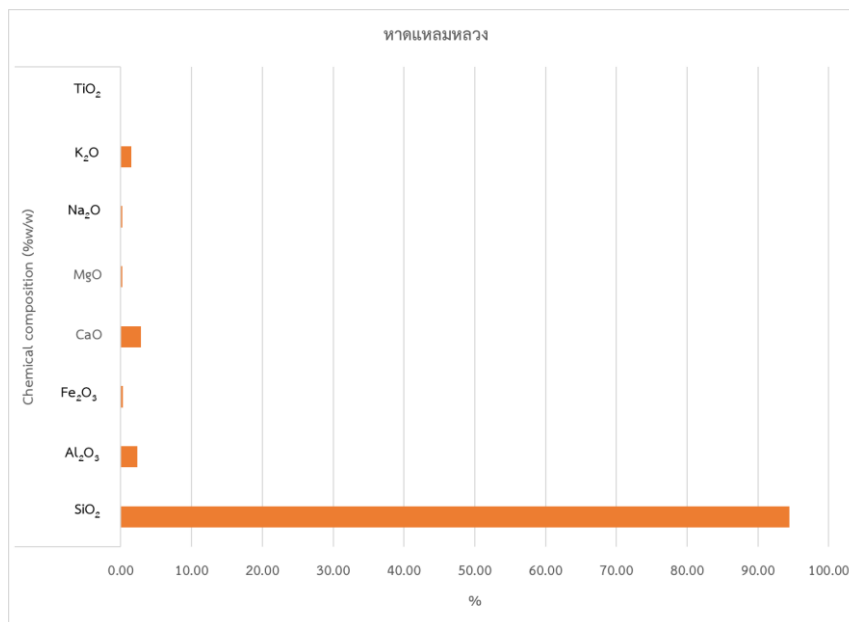
องค์ประกอบของทรายทั้ง 10 หาดประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O และ TiO_2 โดยที่องค์ประกอบที่พบมากที่สุดคือ SiO_2 (87.59-99.79%) และที่รองลงมาคือ CaO (0.838-7.744%) และ Al_2O_3 (0.695-4.314%) ตามลำดับ โดยสามารถแสดงเป็นแผนภูมิแท่งองค์ประกอบทางเคมีของทรายแต่ละหาดได้ดังนี้

รูปที่ 11 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดทรายเม็ดแรก (P1) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



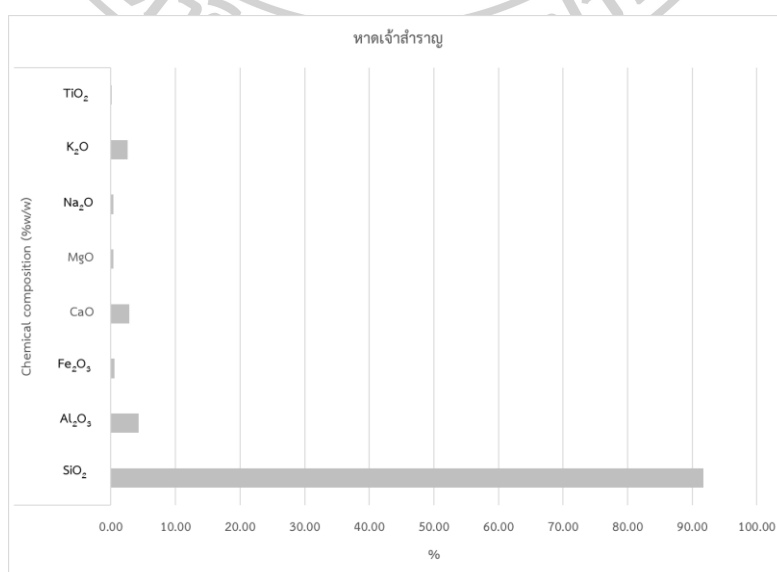
องค์ประกอบทางเคมีของหาดทรายเม็ดแรก(P1) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 93.75%, CaO 3.15%, Al_2O_3 2.64% และ K_2O 1.70% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 12 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดแหลมหลวง (P2) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



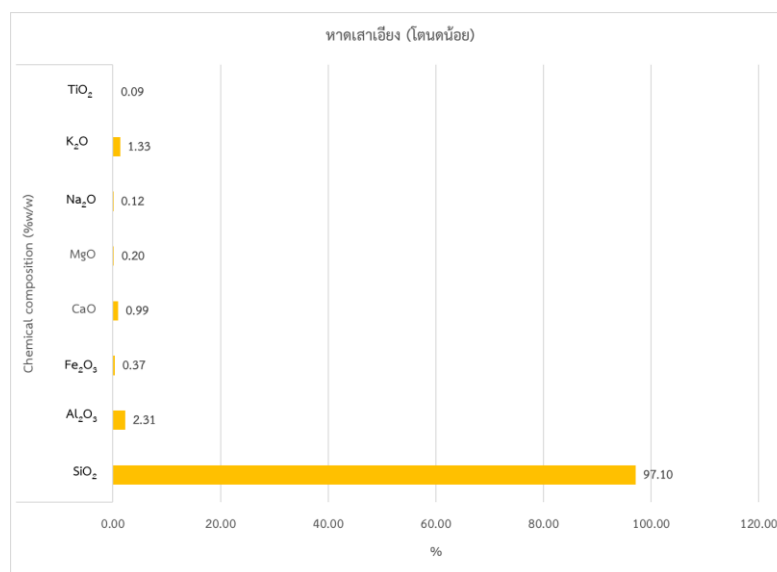
องค์ประกอบทางเคมีของหาดแหลมหลวง (P2) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO₂ 94.45%, CaO 2.87%, Al₂O₃ 2.31% และ K₂O 1.52% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 13 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดเจ้าสำราญ (P3) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



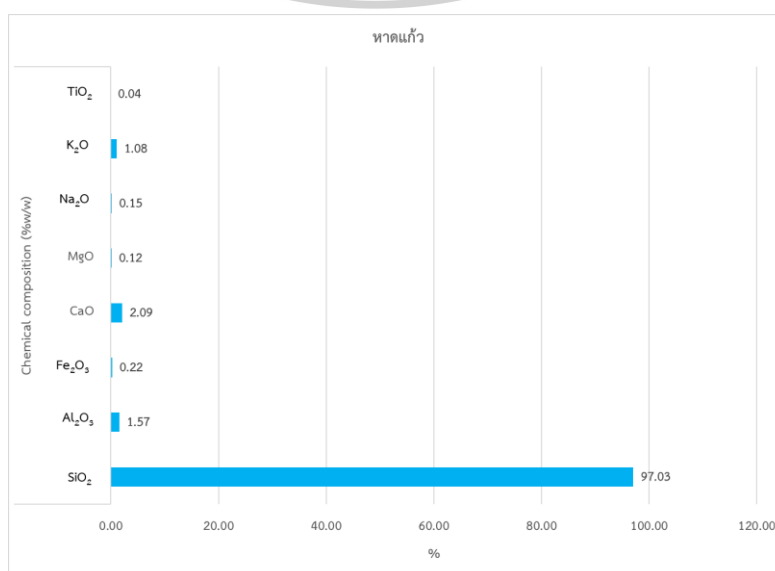
องค์ประกอบทางเคมีของหาดเจ้าสำราญ (P3) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 91.77%, CaO 2.83%, Al_2O_3 4.31% และ K_2O 2.60% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 14 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดเสาเอียง (P4) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



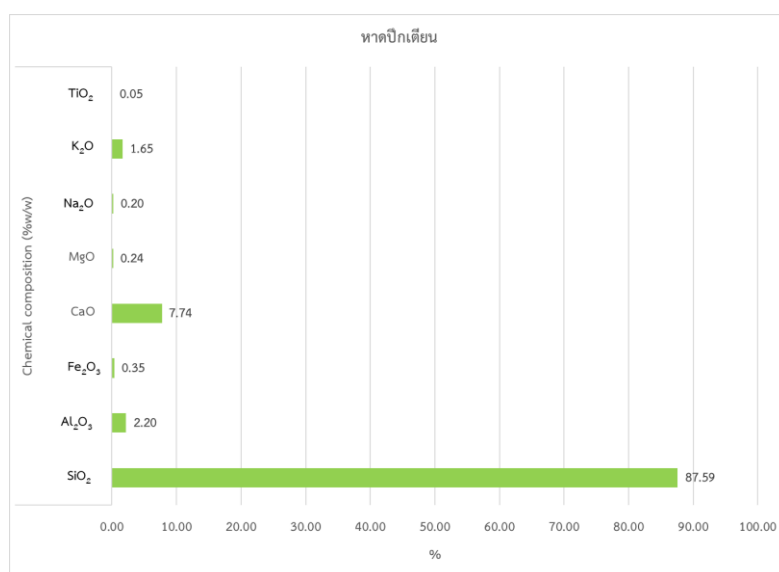
องค์ประกอบทางเคมีของหาดเสาเอียง (P4) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 97.10%, CaO 0.99%, Al_2O_3 2.31% และ K_2O 1.33% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 15 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดแก้ว (P5) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



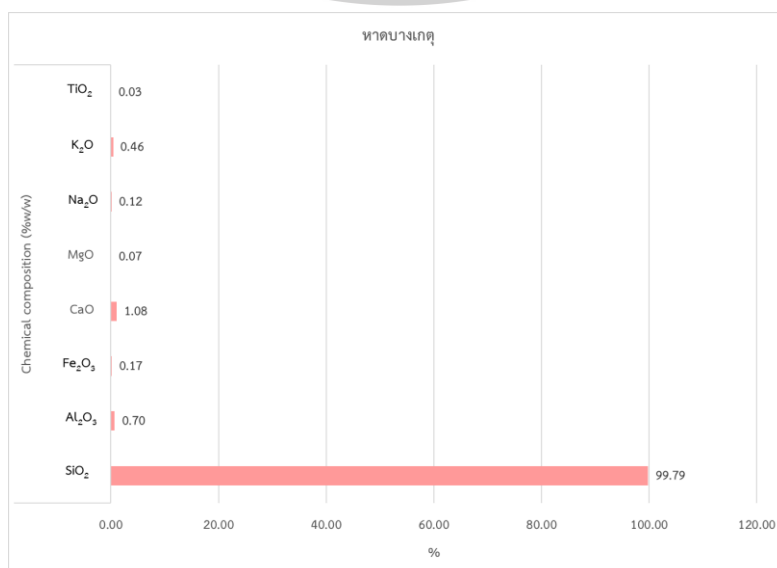
องค์ประกอบทางเคมีของหาดทรายแก้ว (P5) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 97.03%, CaO 2.09%, Al_2O_3 1.57% และ K_2O 1.06% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 16 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดปึกเตียน (P6) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



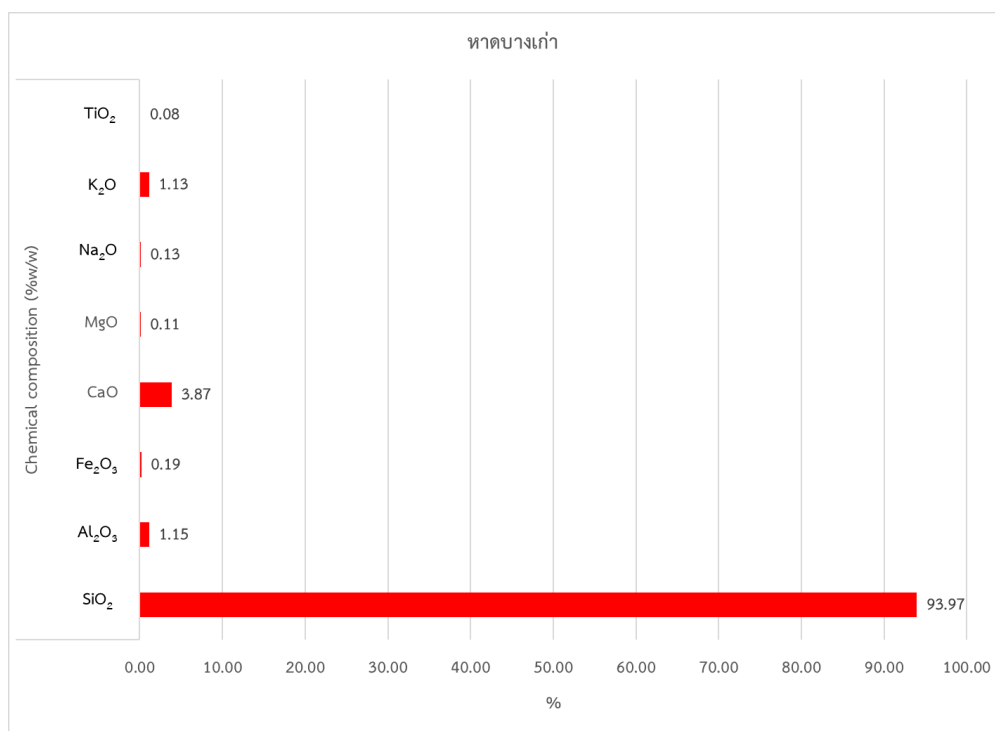
องค์ประกอบทางเคมีของหาดปึกเตียน (P6) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 87.59%, CaO 7.74%, Al_2O_3 2.20% และ K_2O 1.65% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 17 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดบางเกตุ (P7) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



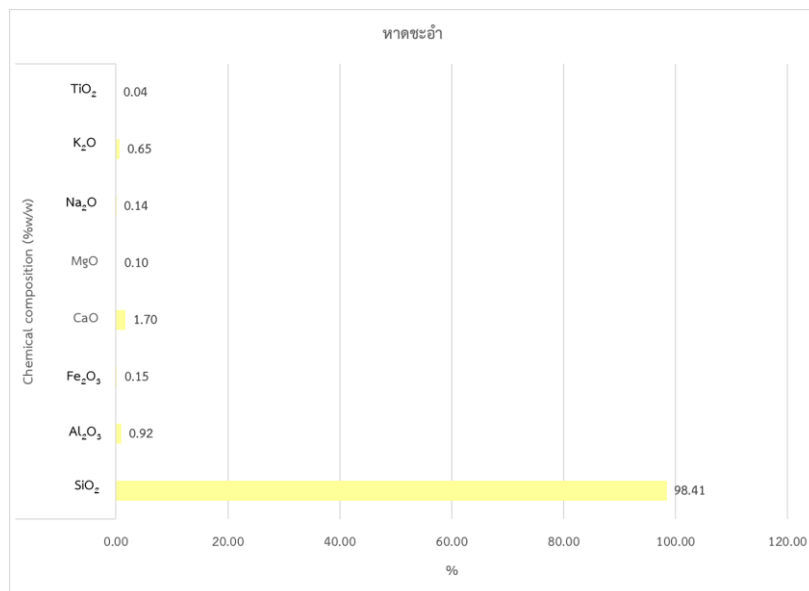
องค์ประกอบทางเคมีของหาดทรายบางเกตุ(P7) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 99.79%, CaO 1.08%, Al_2O_3 0.70% และ K_2O 0.46% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 18 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดบางเก่า (P8) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



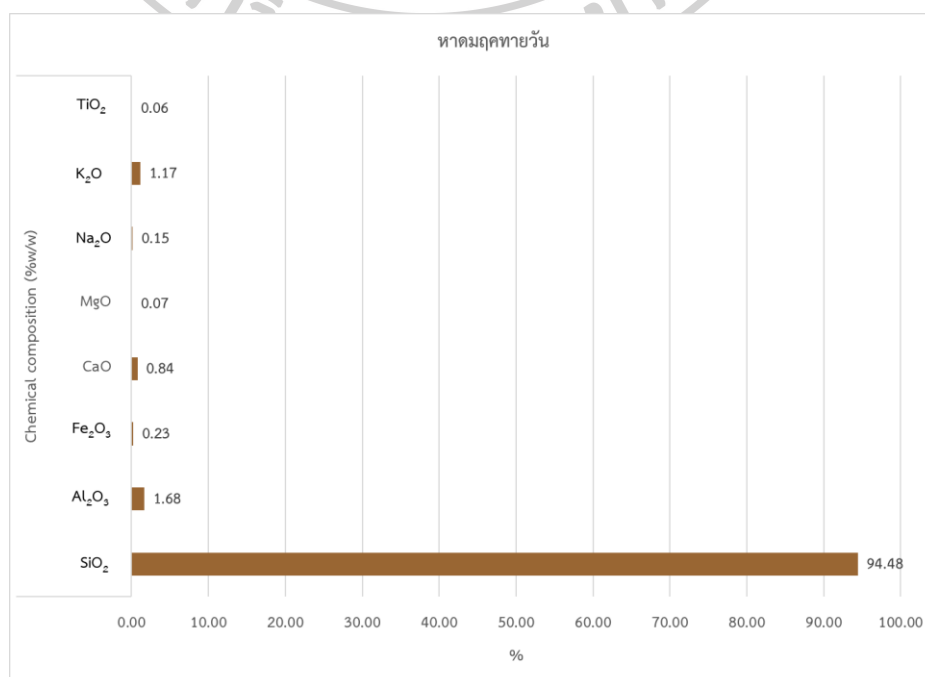
องค์ประกอบทางเคมีของหาดบางเก่า (P8) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO_2 93.97%, CaO 3.87%, Al_2O_3 1.15% และ K_2O 1.13% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 19 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดชะอำ (P9) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



องค์ประกอบทางเคมีของหาดชะอำ (P9) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO₂ 98.41%, CaO 1.70%, Al₂O₃ 0.92% และ K₂O 0.65% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

รูปที่ 20 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหาดมฤคทายวัน (P10) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)



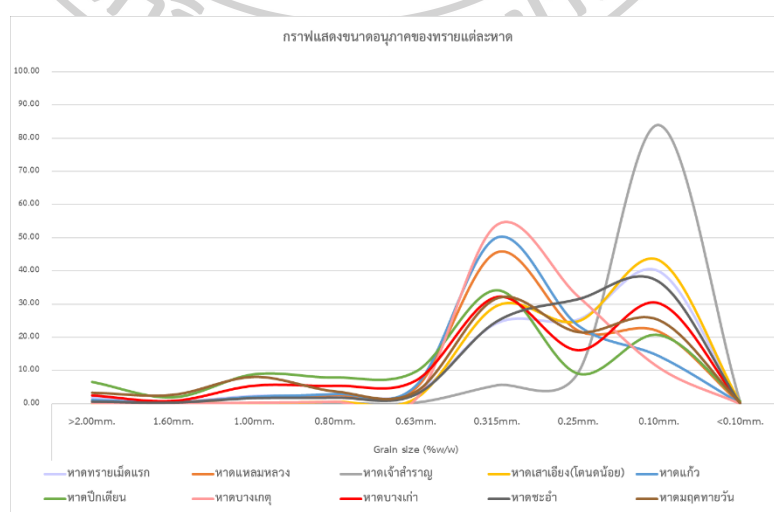
องค์ประกอบทางเคมีของหาดมฤคทายวัน (P10) โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่า SiO₂ 94.48%, CaO 0.84%, Al₂O₃ 1.68% และ K₂O 1.17% เป็นองค์ประกอบหลัก Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O และ MgO เป็นองค์ประกอบรอง ตามลำดับ

4.3 ผลวิเคราะห์ขนาดของทรายแต่ละหาด โดยเทคนิค Sieve shaker

ตารางที่ 7 แสดงผลวิเคราะห์ขนาดของทราย โดยเทคนิค Sieve shaker

Sample Name	Sand Sample	Grain size (%w/w)								
		>2.00mm.	1.60mm.	1.00mm.	0.80mm.	0.63mm.	0.315mm.	0.25mm.	0.10mm.	<0.10mm.
P1	หาดทรายเม็ดแรก	1.81	0.61	2.30	2.32	3.37	24.30	25.32	39.89	0.08
P2	หาดแหลมหลวง	0.69	0.41	2.00	2.59	4.76	45.71	22.06	21.75	0.03
P3	หาดเจ้าสำราญ	0.10	0.03	0.17	0.17	0.27	5.51	9.23	83.95	0.57
P4	หาดเสายิ่ง(โตนน้อย)	0.00	0.06	0.19	0.53	1.59	29.45	24.76	43.14	0.28
P5	หาดแก้ว	1.13	0.34	2.11	2.93	5.44	50.07	23.55	14.32	0.11
P6	หาดปึกเตียน	6.59	1.93	8.90	7.92	9.75	34.26	9.09	20.74	0.82
P7	หาดบางเกตุ	0.30	0.06	0.36	0.58	1.46	53.97	32.39	10.88	0.00
P8	หาดบางเก่า	2.54	0.87	5.46	5.44	7.04	32.11	16.10	30.20	0.24
P9	หาดชะอำ	0.57	0.27	1.62	1.78	2.75	24.82	31.46	36.70	0.03
P10	หาดมฤคทายวัน	3.29	2.66	8.06	3.68	3.62	31.75	21.58	25.16	0.20

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทรายทั้ง 10 หาดในจังหวัดเพชรบุรี ด้วยเครื่อง Sieve shaker เพื่อหาขนาดเฉลี่ยของทรายแต่ละหาด และจัดทำกราฟเปรียบเทียบขนาดของทรายทั้ง 10 หาด ขนาดตั้งแต่ 2.00 mm จนถึงขนาดที่เล็กกว่า 0.10 mm.



รูปที่ 21 กราฟแสดงขนาดของอนุภาคของทรายทั้ง 10 หาด ในจังหวัดเพชรบุรี

ขนาดของทรายทั้ง 10 หาด ขนาดตั้งแต่ 2.00 mm จนถึงขนาดที่เล็กกว่า 0.10 mm. โดยขนาดตั้งแต่ 2.00 mm. – 0.63 mm. ในทุกหาดมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันที่ %w/w ตั้งแต่ 0 – 9.75% ของตัวอย่างทรายในแต่ละหาด และส่วนใหญ่ขนาดของทรายอยู่ที่ 0.315 mm. – 0.10 mm. แต่หาดเจ้าสำราญเป็นหาดที่เห็นความแตกต่างของขนาดได้ชัด มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันที่ %w/w ของขนาด 0.10 mm. ถึง 83.95 %



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป และอภิปรายผล

5.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

จากการศึกษาธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างทราย จากหาดทรายในจังหวัดเพชรบุรีทุกหาด ทั้งหมดจำนวน 10 หาด คือ หาดทรายเม็ดแรก, หาดแหลมหลวง, หาดเจ้าสำราญ, หาดเสาเอียง (โตนดน้อย), หาดแก้ว, หาดปึกเตียน, หาดบางเกตุ, หาดบางเก่า, หาดชะอำ และ หาดมฤคทายวัน เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของทรายแต่ละหาดในจังหวัดเพชรบุรี โดยนำมาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างทรายด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบของทรายหลักๆ ที่พบเป็น 3 อันดับแรก คือ

อันดับที่ 1 SiO_2 มีปริมาณ 87.59-99.79% ขององค์ประกอบทั้งหมดของทราย โดยสามารถเรียงลำดับหาดทรายที่พบปริมาณ SiO_2 ตั้งแต่ปริมาณมากที่สุด ถึงน้อยที่สุด ดังนี้ หาดบางเกตุ มีปริมาณ SiO_2 มากที่สุด คือ 99.79% ต่อมาเป็น หาดชะอำ(98.41%), หาดเสาเอียง(97.10%), หาดแก้ว(97.03%), หาดมฤคทายวัน(94.48%), หาดแหลมหลวง(94.45%), หาดบางเก่า(93.97%), หาดทรายเม็ดแรก(93.75%), หาดเจ้าสำราญ(91.77%) และสุดท้ายหาดปึกเตียนมีปริมาณ SiO_2 น้อยที่สุด จาก 10 หาด คือ 87.59% เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของหาดบางเกตุ มีสิ่งแปลกปลอมต่างๆ เช่น ซากสัตว์ ซากพืช ต้นไม้ หรือหินอยู่น้อย ทำให้หาดบางเกตุมีความบริสุทธิ์ของทรายอยู่มาก จึงส่งผลให้ตัวรบกวนไม่มี และ % SiO_2 สูงกว่าหาดอื่นๆ

อันดับที่ 2 CaO มีปริมาณ 0.838-7.744% ขององค์ประกอบทั้งหมดของทราย โดยสามารถเรียงลำดับหาดทรายที่พบปริมาณ CaO ตั้งแต่ปริมาณมากที่สุด ถึงน้อยที่สุด ดังนี้ หาดปึกเตียน มีปริมาณ CaO มากที่สุด คือ 7.744% ต่อมาเป็น หาดบางเก่า(3.865%), หาดทรายเม็ดแรก(3.149%), หาดแหลมหลวง(2.871%), หาดเจ้าสำราญ(2.833%), หาดแก้ว(2.092%), หาดชะอำ(1.702%), หาดบางเกตุ(1.079%), หาดเสาเอียง (0.986%) และสุดท้ายหาดมฤคทายวันมีปริมาณ CaO น้อยที่สุด จากทั้งหมด 10 หาด คือ 0.838% เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของหาดปึกเตียน มีเปลือกหอย ซากพืช ซากสัตว์ปะปนอยู่ค่อนข้างมาก จึงทำให้มี % CaO สูงกว่าหาดอื่นๆ

อันดับที่ 3 Al_2O_3 มีปริมาณ (0.695-4.314%) ขององค์ประกอบทั้งหมดของทราย โดยสามารถเรียงลำดับหาดทรายที่พบปริมาณ Al_2O_3 ตั้งแต่ปริมาณมากที่สุด ถึงน้อยที่สุด ดังนี้ หาดเจ้า

สำราญ มีปริมาณ Al_2O_3 มากที่สุด คือ 4.314% ต่อมาเป็น หาดทรายเม็ดแรก(2.636%), หาดแหลม หลวงและหาดเสาเอียง(2.306%), หาดปึกเตียน(2.196%), หาดมฤคทายวัน(1.684%), หาดแก้ว (1.566%), หาดบางเก่า(1.153%), หาดชะอำ(0.922%) และสุดท้ายหาดบางเกตุมีปริมาณ Al_2O_3 น้อยที่สุดจากทั้งหมด 10 หาด คือ 0.695% เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของ หาดเจ้าสำราญ มีหิน ปนอยู่ค่อนข้างมาก $%Al_2O_3$ สูงกว่าหาดอื่นๆ

ซึ่งตรงตามที่ทฤษฎีของทรายที่ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Silicon) และออกซิเจน (Oxygen) มีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือเรียกว่า ซิลิกา (Silica) (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ผลวิเคราะห์จึงพบ SiO_2 เป็นอันดับ 1 หรือมีมากที่สุด และที่รองลงมาคือ CaO และ Al_2O_3 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละหาดอาจมีมากหรือน้อยแตกต่างกันไป อาจเกิดได้จากสารอินทรีย์ต่างๆที่พบในแต่ละหาด เช่น เปลือกหอย, ซากสัตว์ทะเลตัวเล็ก หรือแม้แต่หิน ที่ทำให้มี CaO และ Al_2O_3 มากกว่าหาดอื่นๆ เช่น หาดปึกเตียน และหาดเจ้าสำราญ ที่ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทรายที่เก็บมาจะมีเปลือก หอย ซากพืช ปนมากับตัวอย่างที่สามารถสังเกตได้ชัด นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้มีการทำการทดลอง เพิ่มเติม เพื่อดูความแตกต่างของขนาดอนุภาคของทรายด้วยเทคนิค Sieve shaker ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ ศุภรัตน์ และคณะ(2559) ที่ศึกษาวิจัยธาตุองค์ประกอบของหินด้วย X-ray Fluorescence พบว่า หินชนิดต่างๆมีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 , CaO, Al_2O_3 และองค์ประกอบ อื่นๆคล้ายงานวิจัยนี้

5.1.2 การวิเคราะห์ขนาดของทรายด้วยเทคนิค Sieve shaker

การวิเคราะห์ขนาดของทรายด้วยเทคนิค Sieve shaker ที่ใช้ตะแกรงขนาดตั้งแต่ 2.00 mm. – 0.10 mm. เพื่อดูความต่างของแนวโน้มขนาดของทรายในแต่ละหาด สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ช่วงขนาดทรายดังนี้

ช่วงที่ 1 ขนาด 2.00 mm. – 0.63 mm. คิดเป็น %w/w ตั้งแต่ 0 – 9.75% ของตัวอย่าง ทรายในแต่ละหาด โดยหาดปึกเตียนเป็นหาดที่ขนาด 2.00 mm. เยอะกว่าหาดอื่นที่ 6.59% เนื่องจากมีเปลือกหอยและหินในตัวอย่างทรายเป็นค่อนข้างเยอะ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีที่พบค่า CaO มาก ในช่วงขนาดทรายช่วง 2.00 mm. – 0.63 mm. ส่วนใหญ่ เกิดจากเปลือกหอย ซากพืช ปนมากับตัวอย่างทราย

ช่วงที่ 2 ขนาด 0.315 mm. – 0.25 mm. คิดเป็น %w/w ตั้งแต่ 5.51-53.97% ของ ตัวอย่างทรายในแต่ละหาด โดยเป็นขนาดที่พบได้มากที่สุดในแต่ละหาด ยกเว้นหาดเจ้าสำราญที่ขนาด

0.315 mm. มีเพียง 5.51% และขนาด 0.25 mm. คิดเป็น 9.23% ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของขนาดทรายในหาดเจ้าสำราญอย่างชัดเจน เมื่อมีเหตุการณ์ในพื้นที่ชายหาดจังหวัดเพชรบุรี

ช่วงที่ 3 ขนาดเล็กกว่า 0.10 mm. คิดเป็น %w/w ตั้งแต่ 0-83.95% ของตัวอย่างทรายในแต่ละหาด โดยหาดเจ้าสำราญสามารถพบขนาดของทราย 0.10 mm. มากที่สุดคิดเป็น 83.95% จากผลการวิเคราะห์ขนาดของทรายมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นหาดเจ้าสำราญที่สามารถแยกความแตกต่างของขนาดทรายออกจากหาดอื่นๆในจังหวัดเพชรบุรีได้

จากการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทรายทั้ง 10 หาดในจังหวัดเพชรบุรีโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) และขนาดของทรายโดยเทคนิค Sieve shaker ในการทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันมาก อาจด้วยเป็นพื้นที่ในจังหวัดเดียวกัน แต่ละหาดมีพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน สภาพแวดล้อมใกล้เคียง และด้วยข้อจำกัดของเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ที่มีตัวองค์ประกอบมาตรฐานของเครื่อง (STD) ที่ใช้ในการวัดจำกัด และเน้นการวัดเชิงปริมาณ จึงไม่สามารถระบุบางองค์ประกอบแฝงนอกเหนือจากนี้ได้ ทำให้ผลวิเคราะห์ดูไม่แตกต่าง และการสุ่มตัวอย่างเป็นเพียงการเก็บตัวอย่างจากบนบก สภาพแวดล้อมที่ไม่ต่าง ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลขององค์ประกอบทราย และขนาดของทรายในจังหวัดเพชรบุรีได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในอนาคตต่อการสืบสวน สอบสวนเมื่อมีคดีที่เกี่ยวข้องกับทราย หรือเกิดในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีการนำงานวิจัยนี้ไปเป็นข้อมูล หรือไปต่อยอดการทดลอง ผู้วิจัยขอเสนอให้ทำการศึกษาขอบเขตเพิ่มเติม ดังนี้ ตัวอย่างจากทรายทั้งบนบก และในน้ำ (ใต้น้ำทะเล หรือใต้แม่น้ำ), ทรายจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น คนละจังหวัด หรือทรายจากทะเลคนละฝั่งมหาสมุทร (อันดามัน/อ่าวไทย)

รายการอ้างอิง

- Anjos, M., Lopes, R., Jesus, E., Assis, J., Cesareo, R., Barroso, R., & Barradas, C. (2002). Elemental concentration analysis in soil contaminated with recyclable urban garbage by tube-excited energy-dispersive X-ray fluorescence. *Radiation Physics and Chemistry*, 65(4-5), 495-500.
- Junger, E. (1996). Assessing the unique characteristics of close-proximity soil samples: just how useful is soil evidence *Journal of Forensic Science*, 41(1), 27-34.
- Nakanishi, T., Nishiwaki, Y., Miyamoto, N., Shimoda, O., Watanabe, S., Muratsu, S., . . . Kasamatsu, M. (2008). Lower limits of detection of synchrotron radiation high-energy X-ray fluorescence spectrometry and its possibility for the forensic application for discrimination of glass fragments. *Forensic Science International*, 175(2-3), 227-234.
- Petraco, N., Kubic, T. A., & Petraco, N. D. (2008). Case studies in forensic soil examinations. *Forensic Science International*, 178(2-3), e23-e27.
- Pye, K., & Croft, D. (2007). Forensic analysis of soil and sediment traces by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray analysis: An experimental investigation. *Forensic Science International*, 165(1), 52-63.
- Williams, G. G. a. M. (Ed.) (2014) *Locard's Principle*. Published online: Oxford University Press.
- กรมสอบสวนคดีพิเศษ. (2022). ดีเอสไอ ส่งวัตถุพยานคดี "แดงโม" ให้สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ตรวจสอบพิสูจน์. Retrieved from <https://www.dsi.go.th/>
- ข้าไข, อ., สโมสรรสุข, ว., ศรีนุตตระกูล, ว., ธิมาชัย, เ., & สโมสรรสุข, เ. (2019). การตรวจวิเคราะห์ชนิด และปริมาณธาตุในตัวอย่างดินจากพื้นที่ราบโดย เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 5(2), 25-35.
- นิยมไทย, อ. (2563). พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์. In *จลนิตี* (Vol. 17, pp. 139-144).
- ภูริจารูยางกูร, ศ. (2559). การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน. (วิทยาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,
- วัยนิษฐพงษ์, ฉ. (2559). การประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในการศึกษาด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนิติวิทยาศาสตร์. *Science and Technology Silpakorn University* 3.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภัทรธิดา พวงลำเจียก
วัน เดือน ปี เกิด	8 พฤศจิกายน 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดชุมพร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีเพื่ออุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	4/63 หมู่ 5 ตำบล เบิกไพร อำเภอ บ้านโป่ง จังหวัด ราชบุรี 70110

