



การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพและธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าในสถานะฝังกลบด้วยดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน

A Study of Physiological Structure and Element Composition of Fibers at Burial with Different pH Values

ศิริรัตน์ เรืองเกษา และ วรวัช วิชชวานิชย์*

Sirirat Ruangkasa and Woratouch Vichuwanich*

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110

Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy, Sam Phran, Nakhon Pathom 73110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: woratouch_w@yahoo.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: 17 September, 2020

Revised: 27 October, 2020

Accepted: 11 November, 2020

Available online: 25 September, 2021

DOI: 10.14456/jarst.2021.2

Keywords: morphological characteristics, acidity – alkalinity, landfill

The objectives of this study were to (1) comparatively examine the physiological structure and (2) identify the element composition of both natural and synthetic fibers that had been periodically landfilled with acid and alkaline soil. Three fiber materials including cotton, silk and polyester were buried in the known pH soil at different session of time and subsequently analyzed by the Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX). At a 30-day session: all cotton fibers revealed a shrunk and oval shape in the acid soil, while its major element composition (Carbon (C) and Oxygen (O)) were relatively equal in amount; 64.81% of C and 33.73% of O in an acidic condition and 64.82% of C and 33.73% of O in the alkalinity. Cotton fibers in the alkaline soil showed a triangle shape with more areas of torn surfaces than those in the acidity, and were comprised of 4 major elements namely C (42.21%), O (41.81%), Silicon (Si) (2.39%), and Calcium (Ca) (12.61%), while its composition in the acidic soil were C (61.57%), O (34.75%), Silicon (Si) (1.46%), and Calcium (Ca) (1.51%). Polyester fibers under the acidic landfill revealed a characteristic of

rough surface with a flattened and round edge and held more amounts of soil particles than those of the alkalinity. Interestingly, apart from its element composition base (C and O), Si was found under the acidic condition whereas Ca was prominent in the alkalinity. At the 15-day session, a minor change was observed. The resultant findings indicated that physiological structure and element composition of fibers could be identified and be a useful tool in the forensic facets while the technique used was neither destructive nor time consuming.

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าธรรมชาติจากพืชสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์ ที่ฝังกลบดินในสภาวะกรด-ด่างด้วยระยะเวลาแตกต่างกัน และศึกษาธาตุองค์ประกอบ ของเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ในสภาวะการฝังกลบด้วยดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างเส้นใยจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย ไหม และพอลิเอสเตอร์ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) ผลการวิจัย พบว่า เมื่อฝังกลบ 30 วัน เส้นใยฝ้ายมีเส้นใยเป็นรูปวงรีแบน และหดตัว ที่สภาวะกรด มีปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ คาร์บอน 64.81%, ออกซิเจน 33.73% ในสภาวะกรด และคาร์บอน 64.82%, ออกซิเจน 33.73% ในสภาวะด่าง เส้นใยไหมที่สภาวะด่างมีเส้นใยเป็นรูปสามเหลี่ยม มีร่องรอยฉีกขาดบนผิวมากกว่าสภาวะกรด และมีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน 42.21%, ออกซิเจน 41.81%, ซิลิกอน 2.39% และแคลเซียม 12.61% ที่สภาวะกรดจะพบคาร์บอน 61.57%, ออกซิเจน 34.75%, ซิลิกอน 1.46% และแคลเซียม 1.51% พอลิเอสเตอร์ในสภาวะกรดมีเส้นใยเป็นรูปทรงขอบโค้งมนและผิวขรุขระมีดินเกาะติดมากกว่าในสภาวะด่าง มีธาตุองค์ประกอบหลักก่อนการ

ฝังกลบ 2 ชนิด คือ คาร์บอนและออกซิเจน แต่เมื่อฝังกลบในดินสภาวะกรดจะพบซิลิกอนเกิดขึ้นในขณะที่สภาวะด่างจะพบแคลเซียม งานวิจัยนี้สามารถจำแนกประเภทเส้นใยได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา และธาตุองค์ประกอบที่พบในเส้นใยแต่ละประเภท สามารถนำมาใช้เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ เพราะไม่ทำลายวัตถุพยาน

คำสำคัญ: ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความเป็นกรด-ด่าง การฝังกลบ

บทนำ

จากอดีตถึงปัจจุบันการเกิดปัญหาอาชญากรรมในคดีฆาตกรรมมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากผู้กระทำผิดได้มีการวางแผนปิดบัง ซ่อนอำพราง และทำลายพยานหลักฐานต่าง ๆ ไว้อย่างแยบยล กว่าเจ้าหน้าที่ตำรวจจะทำการสืบสวน สอบสวน ถึงพยานหลักฐานชิ้นสำคัญกาลเวลาก็ทำให้หลักฐาน ชิ้นนั้นถูกทำลายและถูกย่อยสลายไปก่อนแล้ว เนื่องจากพยานหลักฐานเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สำคัญยิ่งในการนำไปตรวจพิสูจน์การกระทำ ความผิดของคนร้าย เช่น ในคดีนี้เองน้ำ ที่มีการจ้างฆ่าฝังดินถึง 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 (1) และศพถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งสภาพเสื้อผ้าและหลักฐานชิ้นอื่น ๆ ได้ถูกทำลายจนหมดสิ้น คดีต่อมา คือ ฆ่าฝังดินสาวทอม ที่รีสอร์

ตเมืองกาญจนบุรีในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งยังพอมีชิ้นส่วนของเสื้อ
เสื้อผ้าหลงเหลืออยู่บ้างเพียงเล็กน้อย (2) นอกจากนี้ ยังมีคดี
แอมแก้งสายฆ่าหั่นศพน้องแอม แล้วนำไปฝังดินเพื่ออำพราง
(3) ซึ่งกลุ่มผู้กระทำความผิดนั้นได้มีการวางแผนการทำงาน
ล่วงหน้า ถือได้ว่าเป็นการเตรียมการกระทำความผิดไว้มาก่อน

จากปัญหาดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการสืบสวนหา
ตัวผู้กระทำความผิดจะเริ่มที่การสอบปากคำพยานบุคคลและ
ค่อย ๆ สืบสวนมาถึงสถานที่ทำลายศพ ซึ่งต้องใช้ระยะ
เวลานาน เพราะผู้กระทำความผิดไม่ยอมรับสารภาพง่าย ๆ
บางครั้งกินเวลานานถึง 5-10 ปี ทำให้พยานหลักฐานถูก
ทำลายไปก่อน ซึ่งบางครั้งอาจมีการสืบสวนผิดพลาด ทำให้
จับตัวผู้ร้ายผิดคนก็ได้ นอกจากนี้การวางแผนฆ่าผู้อื่น
โดยวางแผนไว้มาก่อน และมีการอำพราง ปิดบัง ซ่อนเร้น
และทำลายหลักฐานดังกล่าวข้างต้น ทำให้การสืบสวน
สอบสวนหาพยานวัตถุเพื่อบ่งชี้ตัวผู้กระทำความผิดเป็นไปด้วย
ความยากลำบาก และหากได้พยานหลักฐานชิ้นสำคัญ
มาแล้วนั้นจะต้องทำการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์
เพื่อหาร่องรอยของผู้กระทำความผิดจากพยานหลักฐานที่
ผู้กระทำความผิดได้มีความพยายามที่จะทำลาย ซึ่งหลักฐาน
บางชิ้นอาจจะต้องใช้เครื่องมือ ทางนิติวิทยาศาสตร์
เฉพาะด้านมาทำการตรวจ สกัด และหา DNA ของ
ผู้กระทำความผิดให้ได้ ซึ่งนิติวิทยาศาสตร์ คือ การนำความรู้
ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อพิสูจน์
ข้อเท็จจริงในกระบวนการยุติธรรม ซึ่งสามารถสร้างความ
เชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรมได้เป็นอย่างดี เพราะ
หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ใน
ประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ประเทศในแถบ
ยุโรป และญี่ปุ่น นำความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการ
สืบสวนหาตัวคนร้ายอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะใน
ญี่ปุ่น สามารถนำนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในการสืบสวนจน
สามารถจับกุมคนร้ายได้ถึงร้อยละ 90 ของคดีฆาตกรรมที่
เกิดขึ้น (4)

อย่างไรก็ตาม ในการฝังทำลายหลักฐานศพก็ยัง
มีหลักฐานที่พอจะหลงเหลือให้ทำการตรวจพิสูจน์อยู่บ้าง
คือ เสื้อผ้าที่ผู้ตายสวมใส่ เนื่องจากเสื้อผ้าแต่ละชนิดใช้
ระยะเวลาในการย่อยสลายแตกต่างกัน เช่น ผ้าฝ้ายใช้
ระยะเวลา 1-5 เดือนในการย่อยสลาย เนื้อผ้าหนัง ใช้
ระยะเวลาถึง 25-40 ปี ขณะที่ผ้าขนสัตว์ใช้เวลา 1 ปี ใน
การย่อยสลาย ผ้าอ้อมเด็กใช้ระยะเวลา 500 ปี ในการ
ย่อยสลาย (5) ซึ่งยังไม่แนบรวมถึงสภาพภูมิอากาศที่เป็น
ตัวแปรสำคัญในการเร่งย่อยสลายของเสื้อผ้า

ในคดีอาญาต้องมีการพิสูจน์ความผิดจนสิ้น
ข้อสงสัย (Poof Beyond Reasonable Doubt) คือการ
แสดงให้เห็นด้วยพยานหลักฐานถึงการมีอยู่ของ
ข้อเท็จจริง โดยปราศจากข้อสงสัย ซึ่งพยานหลักฐาน
หมายถึง สิ่งใดที่สามารถจับต้องได้ตามกฎหมาย และเป็น
สิ่งที่สามารถนำเสนอในชั้นศาลเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงได้
ตาม ป.วิอาญา มาตรา 226 แบ่งพยานหลักฐานได้ 3
ประเภท ได้แก่ พยานวัตถุ พยานเอกสาร และพยาน
บุคคล (6) ในที่นี้จะกล่าวถึงพยานวัตถุประเภทเส้นใย ซึ่ง
อาจพบได้ในคดีประทุษร้ายเกือบทุกประเภท เนื่องจาก
เส้นใยเป็นส่วนประกอบของเครื่องนุ่งห่ม วัสดุการใช้งาน
ซึ่งชิ้นส่วนหรือเศษของเสื้อผ้าเป็นพยานหลักฐานที่พบ
บ่อยในสถานที่เกิดเหตุ (7)

ความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้าง
ทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของ
โมเลกุล ซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจัยทั้งสามนี้
ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกัน (8)
เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืชเกิดจากเซลลูโลส
ยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น
(C₆H₁₀O₅)_x โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ใน
โมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) การจัดเรียง
ตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็น ระเบียบ
(Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 - 95% และระหว่าง

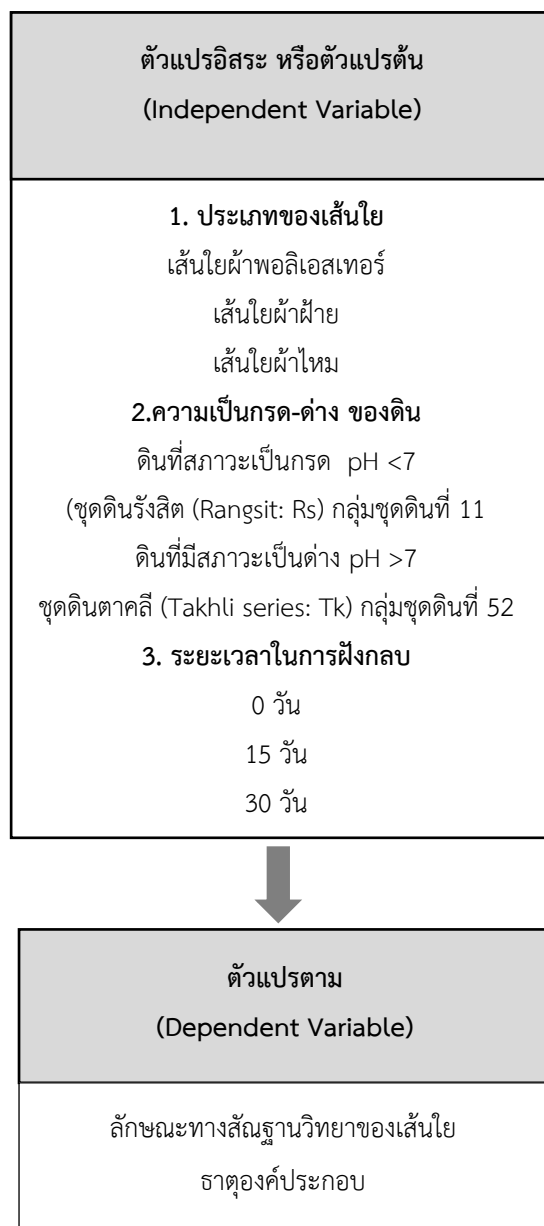
สายโมเลกุลจะการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ในขณะที่เส้นใยสังเคราะห์เกิดจากการนำวัตถุดิบที่เป็นสารเริ่มต้น เช่น เอธิลีน พรอพิลีน เบนซีน แนฟทาลีน โซลีน เป็นต้น มาทำปฏิกิริยาจนได้สารพอลิเมอร์ แล้วผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นเส้นใย (9)

การศึกษาความแตกต่างของเส้นใยมีหลากหลายเทคนิค เช่น เทคนิค Fourier Transform Spectroscopy (FT-IR) และ เทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) เป็นต้น ซึ่ง เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ แต่เทคนิคดังกล่าวไม่สามารถจำแนกเส้นใยประเภทอะคิลิกและเส้นใยฝ้ายได้ (13) ซึ่งหนึ่งในตัวอย่างของงานวิจัยนี้คือ เส้นใยฝ้าย ผู้วิจัยจึงไม่เลือกใช้เทคนิคนี้ในการตรวจวิเคราะห์

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการย่อยสลายของเส้นใยฝ้ายที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ การย่อยสลายจากการฝังกลบในดินที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้เส้นใยและเส้นด้ายได้รับความเสียหาย ที่จะให้มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าด้วยเช่นกัน ซึ่งเส้นใยหรือสิ่งทอจึงเป็นพยานหลักฐานที่มีคุณค่าในกระบวนการนิติวิทยาศาสตร์ในกรณีที่ไม่มียวัตถุพยานอื่น ๆ หลงเหลืออยู่หรือสามารถใช้ประโยชน์วัตถุพยานอื่น ๆ ได้เพียงเล็กน้อย ผลการวิจัยครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานทางด้านการตรวจวัตถุพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ในคดีฆาตกรรมอำพรางศพ ที่สามารถตรวจหาร่องรอยของผู้กระทำผิดต่อไป

จากแนวคิดข้างต้น ผู้วิจัยทำการศึกษาคู่สมบัตินทางกายภาพของเส้นใยผ้าในสภาวะฝังกลบมีกรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย ดังนี้ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ได้แก่ ประเภทของเส้นใย ความเป็นกรด-ด่างของดิน และระยะเวลาในการฝัง และ

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope รุ่น SU 1000

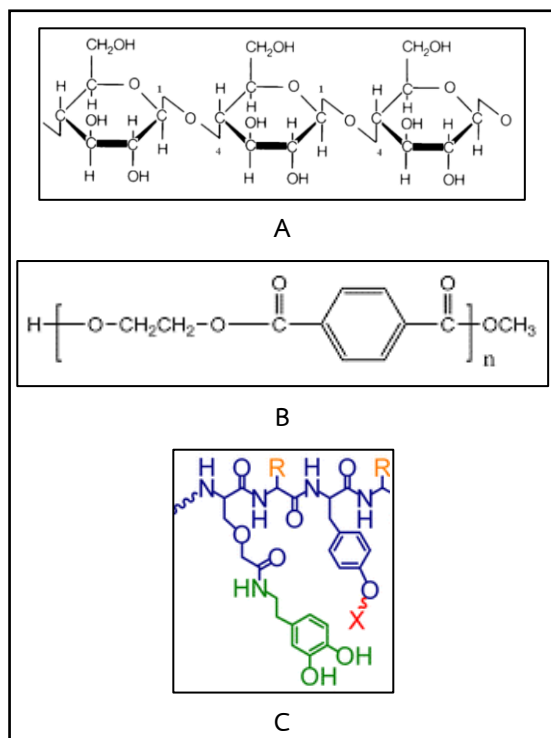
2. ชุดเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy / EDS/EDX)

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยด้วยเทคนิค SEM/EDX มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างผ้า

ตัดชิ้นผ้าตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย (A) ผ้าพอลิเอสเตอร์ (B) และผ้าไหม (C) ให้มีขนาด 21 ซม. x 29.7 ซม. โดยเส้นใยตัวอย่างมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2



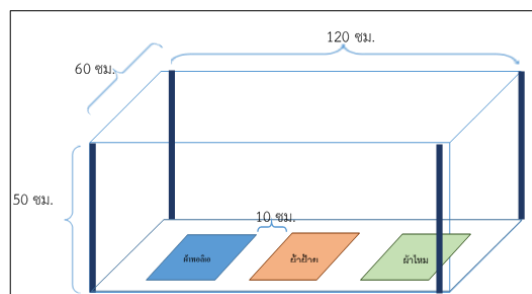
รูปที่ 2 โครงสร้างเส้นใยผ้าตัวอย่าง ผ้าฝ้าย (A) ผ้าพอลิเอสเตอร์ (B) และผ้าไหม (C)

2. การเตรียมหลุมสำหรับฝังกลบตัวอย่าง

เตรียมสถานที่ในการฝังผ้าตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด โดยการขุดหลุมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 60 x 120 x 50 ซม. จากพื้นที่ 2 สภาวะ คือ ดินสภาวะกรด จากชุด

ดินรังสิต (Rangsit: Rs) กลุ่มชุดดินที่ 11 (สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1) และดินสภาวะต่าง

จากชุดดินตาคลี (Takhli series: Tk) กลุ่มชุดดินที่ 52 (สถานีพัฒนาที่ดินลพบุรี) ที่มี จำนวนพื้นที่ละ 2 หลุม จากนั้นวางผ้าตัวอย่างลงในหลุม หลุมละ 3 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นห่างกัน 10 เซนติเมตร แล้วจึงกลบดินให้มีระดับความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร โดยฝังกลบผ้าตัวอย่างเป็นระยะเวลาที่ 15 วัน และ 30 วัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพจำลองการฝังกลบผ้าตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความสูงขึ้นมาจากใต้ดิน 50 ซม.

3. การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDX

ก่อนนำตัวอย่างผ้ามาตรวจวิเคราะห์ SEM/EDX ต้องนำ ตัวอย่างผ้า ทั้ง 3 ชนิด โดยจำแนกเป็น ผ้า 3 ชนิด จากที่ได้ไม่ฝังกลบ และตัวอย่างผ้า 3 ชนิดที่ได้จากการฝังกลบดินในสภาวะกรด และด่าง ที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน โดยเก็บไว้ในช่องพลาสติกมีซิปปิด-เปิด เพื่อรอการวิเคราะห์ด้วย SEM/EDX โดยไม่ต้องทำการฉาบผิวเส้นใยด้วยคาร์บอนหรือทองคำ จากนั้นทำการเตรียม stub โดยนำเทปกาวยางสองหน้าติดลงบน stub และนำตัวอย่างติดลงบน stub เมื่อติดตัวอย่างแล้วให้เก็บไว้ในกล่องเก็บ stub ที่ป้องกันสารปนเปื้อน โดยกำหนดเลขหมายตัวอย่างไว้ที่บริเวณต่าง ๆ และนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM/EDX

4. ตรวจวิเคราะห์สภาวะดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลองนำมาตรวจวิเคราะห์ และจัดบันทึก ดังนี้

- ตรวจวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง ด้วยวิธี pH meter method วัดค่า pH ด้วยเครื่องมือวัด pH meter

- ตรวจวัดความชื้น (Moisture) ด้วยวิธี Oven-drying method

- ตรวจอินทรีย์วัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley and Black method

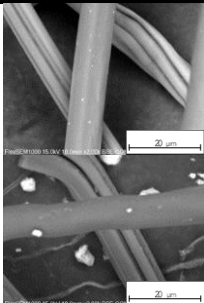
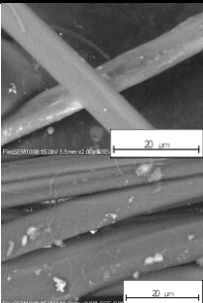
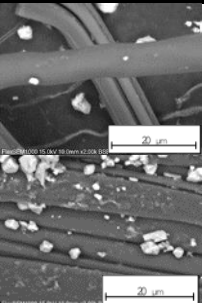
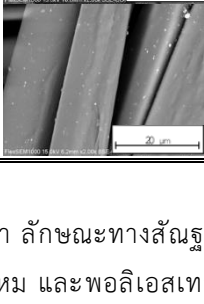
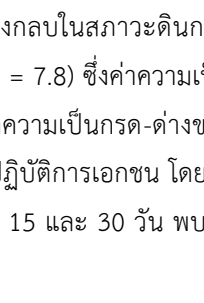
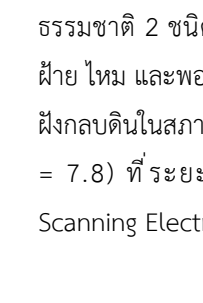
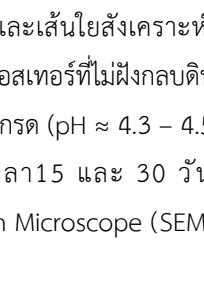
- ตรวจวิเคราะห์ธาตุ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM/EDX

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดลอง

1. ผลการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในสภาวะฝังกลบดินที่เป็นกรด และต่าง

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยตัวอย่างก่อนการฝังกลบดิน และหลังฝังกลบดินในสภาวะกรด และต่างที่ระยะเวลา 30 วัน ด้วยเทคนิค SEM/EDX

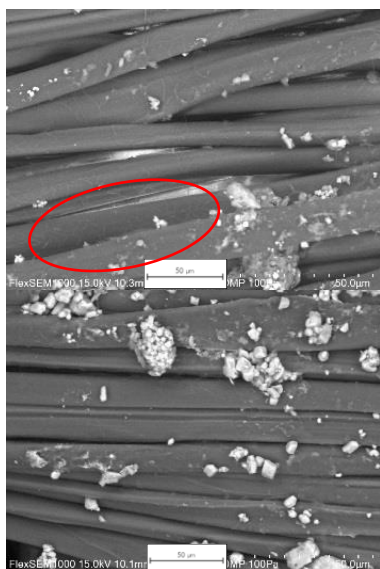
ชนิดของเส้นใย ตัวอย่าง	ลักษณะพื้นผิวเส้นใย ก่อนฝังกลบดิน (0 วัน)	ลักษณะพื้นผิวเส้นใย หลังฝังกลบดิน สภาวะกรด (30 วัน)	ลักษณะพื้นผิวเส้นใย หลังฝังกลบดิน สภาวะต่าง (30 วัน)
ฝ้าย			
ไหม			
พอลิเอสเตอร์			

จากตารางที่ 1 พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย เส้นใยไหม และพอลิเอสเตอร์ ก่อนการฝังกลบ และหลังการฝังกลบในสภาวะดินกรด ($\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$) และต่าง ($\text{pH} = 7.8$) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ต่าง ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ต่างของดิน (soil pH meter) จากห้องปฏิบัติการเอกชน โดยใช้เวลาฝังกลบเส้นใยตัวอย่างที่ 15 และ 30 วัน พบว่า

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) ไหม (Silk) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ในสภาวะไม่ฝังกลบดินและหลังการฝังกลบที่ดินสภาวะกรด หรือชุดดินรังสิต (Rangsit: Rs) กลุ่มชุดดินที่ 11 (สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1) และที่ดินสภาวะต่าง หรือชุดดินตาคลี (Takhli series: Tk) กลุ่มชุดดินที่ 52 (สถานีพัฒนาที่ดินลพบุรี) ที่ระยะเวลา 30 วัน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) (ตารางที่ 1)

เส้นใยฝ้ายมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ 2 ชนิด และเส้นใยสังเคราะห์ 1 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย ไหม และพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ฝังกลบดิน (0 วัน) และที่ฝังกลบดินในสภาวะกรด ($\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$) และต่าง ($\text{pH} = 7.8$) ที่ระยะเวลา 15 และ 30 วัน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า ก่อน

การฝังกลบด้วยดินเส้นใยฝ้ายมีลักษณะเส้นใยเป็นรูปวงรีแบน (Flat Oval) เรียงเส้นตรง และไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อฝังกลบด้วยดินทั้ง 2 สภาวะเส้นใยฝ้ายมีการบิดตัวและหดตัว ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมมีรูปทรงเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangular) จากการศึกษาเส้นใยไหมก่อนการฝังกลบ เส้นใยมีการเรียงตัวตรง ไม่เป็นระเบียบ แต่พื้นผิวของเส้นใยมีความวาว และเรียบ แต่เมื่อฝังกลบด้วยดินในสภาวะกรด ($\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$) และด่าง ($\text{pH} = 7.8$) พบว่า พื้นผิวของเส้นใยมีร่องรอยฉีกขาด และในสภาวะด่างมีดินเกาะติดบนเส้นใยมากกว่าเส้นใยที่ฝังกลบด้วยดินสภาวะกรด แสดงดังรูปที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเอสเทอร์ มีลักษณะรูปทรงแบบโค้งมน (Rounded Edges) เส้นใยมีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ และเมื่อฝังกลบดินในสภาวะกรดเส้นใยฝ้ายถูกเกาะติดด้วยดินเป็นจำนวนมาก ทำให้พื้นผิวของเส้นใยเรียบขึ้น ในขณะที่เส้นใยที่ถูกฝังกลบด้วยดินในสภาวะด่างมีดินเกาะอยู่น้อยมาก แต่พื้นผิวเส้นใยเกิดรอยฉีกขาดบางส่วน โดยการพิจารณาเส้นใยที่ถูกฝังกลบใช้ที่ระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 4 ลักษณะเส้นใยไหมที่ฝังกลบดินสภาวะกรด (ซ้าย) และสภาวะด่าง (ขวา)

2. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่ฝังกลบดินในสภาวะกรดและด่าง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของเส้นใยตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย ไหม และ พอลิเอสเทอร์ ที่ไม่ฝังกลบดิน หลังฝังกลบดินในสภาวะกรด ($\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$) และหลังฝังกลบดินในสภาวะด่าง ($\text{pH} 7 - 8$) ด้วยเทคนิค EDX (ตารางที่ 4) พบว่า เส้นใยฝ้ายที่ไม่ฝังกลบดิน มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $67.15\% \pm 0.69$ และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $32.77\% \pm 0.76$ เส้นใยฝ้ายหลังฝังกลบในดินสภาวะกรด มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $64.81\% \pm 3.40$ และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $33.73\% \pm 2.69$ และหลังฝังกลบในดินสภาวะด่าง มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $64.82\% \pm 1.82$ และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $33.73\% \pm 1.81$

เส้นใยไหมที่ไม่ฝังกลบดิน พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $59.25\% \pm 0.97$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $37.82\% \pm 0.84$ และแคลเซียม (Ca) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $2.06\% \pm 0.50$ เส้นใยไหมที่ฝังกลบดินสภาวะกรดพบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $61.57\% \pm 2.07$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $34.75\% \pm 1.86$ ซิลิกอน (Si) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1.46\% \pm 0.22$ และแคลเซียม (Ca) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1.51\% \pm 0.46$ และเส้นใยไหมที่ฝังกลบดินสภาวะด่าง พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $42.21\% \pm 3.91$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $41.81\% \pm 2.41$ ซิลิกอน (Si) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $2.39\% \pm 0.43$ และแคลเซียม (Ca) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $12.61\% \pm 1.32$ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยไหมหลังฝังกลบดินในรูปที่ 4 จะเห็นว่าสภาวะต่าง

มีดินยัดเกาะเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณธาตุ Si และ Ca มีปริมาณมากกว่าในสภาวะกรด

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ฝังกลบดินด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $62.59\% \pm 5.56$ และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $37.24\% \pm 5.36$ พอลิเอสเทอร์ที่ฝังกลบดินกรด พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $48.89\% \pm 3.66$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $38.37\% \pm 1.27$ และซิลิกอน (Si) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $3.33\% \pm 0.34$ พอลิเอสเทอร์ที่ฝังกลบดินต่าง พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $54.08\% \pm 4.22$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $40.59\% \pm 3.19$ และแคลเซียม (Ca) ปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $2.81\% \pm 0.99$ จะเห็นได้ว่าพอลิเอสเทอร์หลังฝังกลบด้วยดินกรด (ดินจากธัญบุรี) มีปริมาณธาตุ Si เกิดขึ้นเนื่องจากพบ Si เป็นธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในดินชนิดดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2 ในส่วนที่ฝังกลบด้วยดินต่าง (ดินจากลพบุรี) แม้ว่าจะมีปริมาณ Si เป็นธาตุองค์ประกอบในดินเช่นกัน แต่ในสภาวะต่างมีดินยัดเกาะที่เส้นใยน้อยกว่าในสภาวะกรด อีกทั้งยังมีปริมาณ Ca เป็นธาตุองค์ประกอบที่มากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 3

จากการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากธัญบุรี ซึ่งมีสภาวะดินเป็นกรด ($\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$) ด้วยวิธี EDX พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) อลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) (ตารางที่ 2)

จากการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากลพบุรี ซึ่งมีสภาวะดินเป็นด่าง ($\text{pH} \approx 7 - 8$) ด้วยวิธี EDX พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $21.00\% \pm 7.97$ ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $38.88\% \pm 4.75$ ซิลิกอน (Si) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $10.42\% \pm 6.28$ และ

แคลเซียม (Ca) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $26.08\% \pm 12.55$ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของดินจากธัญบุรี (ดินกรด $\text{pH} \approx 4.3 - 4.5$)

ธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	Mean $\pm$ S.D.
C	16.48	18.02	16.77	17.09% ± 0.82
O	45.19	44.53	43.69	44.47% ± 0.75
Al	10.04	12.3	11.42	11.25% ± 1.14
Si	25.05	22.35	21.81	23.07% ± 1.74

ตารางที่ 3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของดินจากลพบุรี (ดินด่าง $\text{pH} \approx 7 - 8$)

ธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	Mean $\pm$ S.D.
C	15.88	16.95	30.18	21.00% ± 7.97
O	44.14	37.60	34.91	38.88% ± 4.75
Si	7.93	5.77	17.57	10.42% ± 6.28
Ca	28.43	37.29	12.53	26.08% ± 12.55

อภิปรายผล

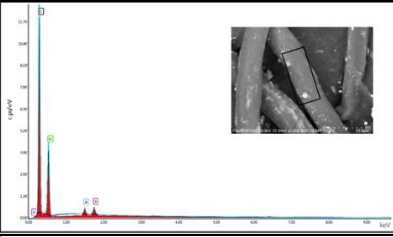
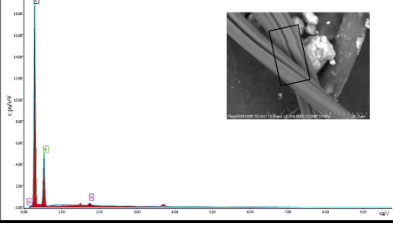
การตรวจลักษณะโครงสร้างของเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สามารถทำได้หลายวิธีที่ไม่ทำลายวัตถุพยาน เช่น Polarized Light Microscopy (PLM) และ Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) โดยเส้นใยนั้นจัดเป็นวัตถุพยานชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญกับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจเปรียบเทียบ

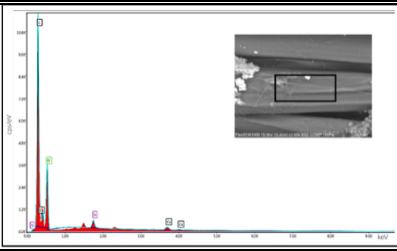
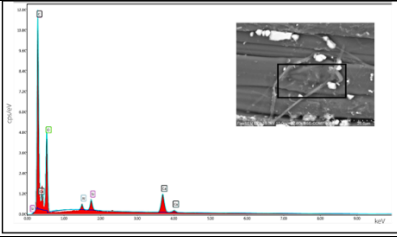
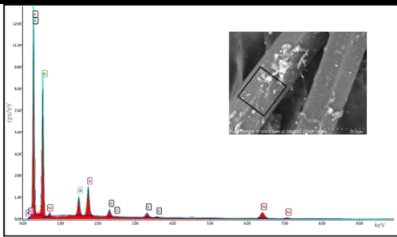
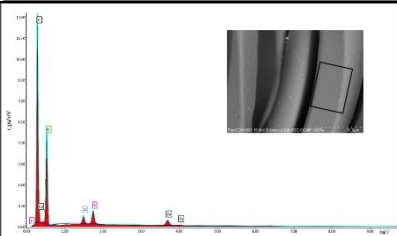
คุณลักษณะต่าง ๆ ของเส้นใยจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ตัวอย่างที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถใช้ตรวจสอบความแตกต่างของรูปร่างเส้นใย ประเภทเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ ลักษณะการหักทอ รวมทั้งธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแต่ละชนิด จึงสามารถนำไปใช้ในการจำแนกชนิดของเส้นใยออกจากกันได้ (14)

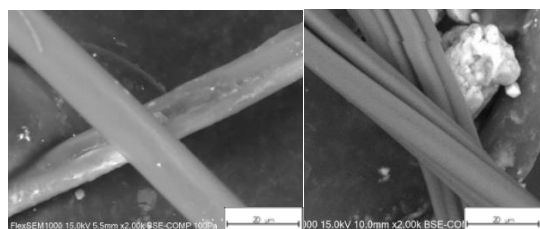
ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่ฝังกลบในสภาวะดินกรดและต่างที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) ผลการวิจัย พบว่า เส้นใยฝ้ายก่อนการฝังกลบมีลักษณะรูปร่างเป็น Flat Oval มีลักษณะคล้ายผ้าที่บิดเป็นเกลียวเล็กน้อย ตัวอย่างฝ้ายมีความหนาแน่น และฟู เมื่อนำเส้นใยฝ้ายก่อนการฝังกลบมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

พบว่าเส้นใยฝ้ายมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของ คาร์บอน (C) เท่ากับ $67.15\% \pm 0.69$ และออกซิเจน (O) เท่ากับ $32.77\% \pm 0.76$ เมื่อนำผ้าไป ฝังกลบดินในสภาวะกรด ที่ระยะเวลา 15 และ 30 วัน พบว่าลักษณะโครงสร้างของเส้นใยเกิดการกัดกร่อนทำให้เส้นใยเกิดการเสื่อมสภาพ และหดตัว เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ฝังกลบดินในสภาวะต่างที่ระยะเวลาเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 5 และพบว่าเส้นใยฝ้ายที่ฝังกลบดินในสภาวะกรดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของ คาร์บอน (C) เท่ากับ $64.81\% \pm 3.40$ และออกซิเจน (O) เท่ากับ $33.73\% \pm 2.69$ ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของเส้นใยฝ้ายที่ฝังกลบดินในสภาวะต่าง มีคาร์บอน (C) $64.82\% \pm 1.82$ และออกซิเจน (O) $33.73\% \pm 1.81$ ทำให้เห็นว่าเมื่อนำผ้าไปฝังดินแล้วธาตุองค์ประกอบหลักของผ้าจะมีปริมาณลดลง

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยก่อนการฝังกลบ และหลังฝังกลบด้วยดินในสภาวะกรดและต่างที่ระยะเวลา 30 วัน ด้วยเทคนิค SEM/EDX

ชนิดของ เส้นใย	สภาวะ ดิน	สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%)			
			C	O	Si	Ca
ฝ้าย	กรด		60.89	36.83	-	-
	ต่าง		65.63	33.78	-	-

ชนิดของเส้นใย	สถานะดิน	สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%)			
			C	O	Si	Ca
ไหม	กรด		59.95	36.40	1.61	2.05
	ด่าง		46.73	39.06	2.02	11.09
พอลิเอสเทอร์	กรด		47.63	37.24	3.57	-
	ด่าง		53.29	40.22	-	2.81



A

B

รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยฝ้าย A เส้นใยฝ้ายในสภาวะฝักกลบดินกรด B เส้นใยฝ้ายในสภาวะฝักกลบดินด่าง

เส้นใยไหมมีลักษณะรูปทรงเป็นแบบ Triangular ตัวอย่างเส้นใยไหมมีความแบน และมีเส้นใยที่บางและเล็ก เมื่อนำผ้ามาฝักกลบดินในสภาวะกรด และ

ด่าง พบว่า เส้นใยมีร่องรอยการฉีกขาด เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของเส้นใยไหมก่อนฝักกลบ พบว่ามีคาร์บอน (C) $59.25\% \pm 0.97$ ออกซิเจน (O) $37.82\% \pm 0.84$ และแคลเซียม (Ca) $2.06\% \pm 0.50$ หลังฝักกลบดินในสภาวะกรด มีปริมาณคาร์บอน (C) $61.57\% \pm 0.07$ ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะดินในสภาวะกรดมีปริมาณคาร์บอนอยู่มาก ออกซิเจน (O) $34.75\% \pm 1.86$ ซิลิกอน (Si) $1.46\% \pm 0.22$ และแคลเซียม (Ca) $1.51\% \pm 0.46$ และหลังฝักกลบดินในสภาวะด่าง พบว่ามีคาร์บอน (C) $42.21\% \pm 3.91$ ออกซิเจน (O) $41.81\% \pm 2.41$ ซิลิกอน (Si) $2.39\% \pm 0.43$ และแคลเซียม (Ca) $12.61\% \pm 1.32$ เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นเส้นใย

ธรรมชาติ มีความแข็งแรงทนทานน้อย เมื่อถูกฝังกลบด้วยดินที่มีความชื้น และความเป็นกรด-ด่างจึงทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของเส้นใย (11)

พอลิเอสเทอร์ มีลักษณะรูปทรงเป็นแบบ Rounded Edges ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเส้นใยไหม แต่ลักษณะผ้าแตกต่างกัน พอลิเอสเทอร์จะมีความมันเงา และโครงสร้างเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่พื้นผิวขรุขระ จะเสื่อมสภาพได้ในสภาวะต่าง เมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์มาฝังกลบดินในสภาวะกรดและด่าง พบว่า โครงสร้างของเส้นใยเกิดร่องรอยการฉีกขาดในสภาวะต่างมากกว่าในสภาวะกรด จากนั้นนำผ้านำก่อนฝังกลบมาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) พบว่ามี คาร์บอน (C) 62.59% ± 5.56 และออกซิเจน (O) 37.24% ± 5.36 เปรียบเทียบกับปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของเส้นใยหลังฝังกลบดินในสภาวะกรด มีคาร์บอน (C) 48.89% ± 3.66 ออกซิเจน (O) 38.37% ± 1.27 และซิลิกอน (Si) 3.33% ± 0.34 และปริมาณองค์ประกอบทาง

เคมี (Wt%) ของเส้นใยหลังฝังกลบดินในสภาวะต่าง พบว่ามีคาร์บอน (C) 54.08% ± 4.22 ออกซิเจน (O) 40.59% ± 3.19 และแคลเซียม (Ca) 2.81% ± 0.99 โดยปริมาณที่ลดลงขององค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ในตัวอย่างเส้นใยทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นในตารางที่ 5 โดยเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าที่ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลยนั้น อาจเกิดจากระยะเวลาในการฝังกลบที่น้อยเกินไป และการไม่มีสิ่งกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายของเศษผ้า เพราะจากสถิติมาตรฐานที่ฝังกลบศพนั้น สิ่งกระตุ้นสำคัญนอกเหนือจากความเป็นกรด และด่างของดินแล้วนั้น ยังมีจุลินทรีย์และแก๊สจากร่างการศพที่สามารถย่อยสลายเศษผ้าได้อีกด้วย และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีข้างต้น พบว่า เส้นใยแต่ละชนิดมีธาตุองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และมีปริมาณของธาตุองค์ประกอบในสภาวะต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณที่ลดลงขององค์ประกอบทางเคมี (Wt%)

ชนิดของเส้นใย		ฝ้าย	ไหม	พอลิเอสเทอร์
ก่อนฝัง	C	67.15	59.25	62.59
	O	32.77	37.82	37.24
	Ca	-	2.06	-
	Si	-	-	-
ฝังกลบดินกรด	C	64.81	61.57	48.89
	O	33.73	34.75	38.37
	Ca	-	1.51	-
	Si	-	1.46	3.33
หลังฝังกลบดินด่าง	C	64.82	42.21	54.08
	O	33.73	41.81	40.59
	Ca	-	12.61	2.81
	Si	-	2.39	-
ลดลง	C	2.34	17.04	8.51
	O	0.96	3.07	3.33
	Ca	0	0.55	0
	Si	0	1.46	0

สรุปผล

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยด้วยเทคนิค SEM/EDX สรุปได้ว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะเฉพาะตัว มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะโครงสร้างแตกต่างกัน และมีสมบัติการดูดซับที่ต่างกัน โดยสังเกตได้จากการยิดเกาะของดินในสภาวะกรด-ด่าง ในขณะที่เส้นใยสังเคราะห์เกิดจากสารเคมีโมเลกุลขนาดเล็ก และใช้สารเคมีที่แตกต่างกันแต่มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน จึงทำให้โครงสร้างของเส้นใยสังเคราะห์มีความคล้ายคลึงกันและมีความเป็นระเบียบ (12) ผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าลักษณะโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เพราะมีความแข็งแรงทนทานน้อย สำหรับการเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างมากที่สุด คือ เส้นใยพอลิเอสเตอร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 และสถานีพัฒนาที่ดินลพบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องดินและให้ความรู้เกี่ยวกับดิน

เอกสารอ้างอิง

1. One place ends! Including news of murder, murder, camouflage and surrender mystery [Internet]. Thai Rath newspaper. 2017 [cited 2020 Jan 1]. Available from: <https://www.thairath.co.th/news/crime/963495>. Thai.
2. Tom's mother's murder case, burial at Kan Resort Petition the court for compensation of 6 million [Internet]. Kom Chad Luek newspaper. 2017 [cited 2020 Jan 1]. Available from: <https://www.komchadluek.net/news/crime/282103>. Thai.
3. Nong Nam was buried for 5 years [Internet]. Daily News; 2560 [cited 2020 Jan 1]. Available from: <https://www.dailynews.co.th/crime/608313>. Thai.
4. Sinloya P. [The development of forensic science proces model for criminal investigation in three southern border provinces of thailand]. Suan Dusit Graduate School Academic Journal. 2015;11:43-53. Thai.
5. Degradation period [Internet]. Khon Kaen: Public Relations Office; 2017 [cited 2020 Jan 2]. Available from: https://region1.prd.go.th/ewt_news.php?nid=29244. Thai.
6. Suebpongsiri S. Forensic Evidence. Teaching documents for the course 510690. Nakhon Pathom: Police Cadet School; 2008. Thai.
7. Chamsuwanwong A. Forensic science 2 for crime investigation. 4th ed. Bangkok: TCG Printing; 2009. Thai.
8. Udomkitdecha W. Fiber Science. 1st ed. Bangkok: Printing House of Chulalongkorn University; 1999. Thai.
9. Kaewpraek S. Knowledge of fabrics and fibers. 1st ed. Bangkok: Ramkhamhaeng University; 1997. Thai.
10. Mahacharoen T. [The classification of natural and synthetic fibers in Thailand for forensic purpose by using surface and elemental analysis from scanning electron

- microscope/energy dispersive x-ray spectroscopy]. *CRMA Journal*. 2020;18:32-46. Thai.
11. Tepdacha W. A study of physical and mechanical properties of fabrics within burial conditions [master's thesis]. Nakhon Pathom: Silpakorn University; 2013. Thai.
 12. Phalathip P. The adsorption of heavy metal using modified synthetic fiber [master's thesis]. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2016. Thai.
 13. Ampruk J. Forensic analyses natural and synthetic fibers using FT-IR spectroscopy [master's thesis]. Nakhon Pathom: Silpakorn University; 2012. Thai.
 14. Krishnaveni A. Non-destructive Analysis of Trace Textile Fiber Evidence Via Room Temperature Fluorescence Spectroscopy. Doctoral Dissertation. Orlando: University of Central Florida; 2013.
 15. Chinaworn W. Gunshot residue analysis by SEM/EDX [master's thesis]. Nakhon Pathom: Silpakorn University; 2004. Thai.
 16. Srisawang N., Ngerchuklin P., Chaiyasat A., Chaiyasat P. [Polymer microcapsules encapsulating photocatalyst nanoparticles for dye treatment in wastewater]. *Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. 2020;19(2):1-16. Thai.