

การศึกษาคุณสมบัติเส้นใยผ้าในสภาวะฝงกลบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

ฐิติกาญจน์ อนวัชสกุล¹, ปริญา สีลานั้นท์^{2*}

^{1,2}คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

Received: 21 May 2022

Revised: 16 November 2022

Accepted: 16 November 2022

บทคัดย่อ

การตรวจพิสูจน์ประมาณระยะเวลาการเกิดเหตุในทางนิติวิทยาศาสตร์ขึ้นกับหลายปัจจัย พลวัตของพยานหลักฐานเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการแปรผล วัตถุพยานแวดล้อมและเครื่องแต่งกายสามารถช่วยให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยผ้าจากการฝงกลบที่ระยะเวลาและในดินที่ต่างกันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้เส้นใยธรรมชาติ (ผ้าฝ้าย) และเส้นใยสังเคราะห์ (พอลิเอสเตอร์) ฝงดินที่ความลึก 50 เซนติเมตร เปรียบเทียบที่ระยะเวลาจนถึง 30 วัน ผลการวิจัยพบว่า เส้นใยผ้าฝ้ายหลุดลอกและฉีกขาดจนมีลักษณะไม่เรียบเมื่อฝงในดินที่เป็นกรดและที่ระยะเวลาต่างกัน เส้นใยพอลิเอสเตอร์ไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ชัด จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผ้าพบว่า ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าแตกต่างกัน และมีลักษณะความจำเพาะที่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าผ้าฝ้ายมีความทนทานน้อยกว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณระยะเวลาการถูกฝงกลบของผ้าเพื่อใช้ประกอบการหลักการทางนิติวิทยาศาสตร์ในการตรวจพิสูจน์ข้อเท็จจริงของเหตุการณ์ได้

คำสำคัญ : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ การฝงกลบ นิติวิทยาศาสตร์

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: parinya.se@rpca.ac.th

The Study of Fiber Properties in Burial Conditions by Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy for Forensic Examination

Thitikan Anawatsakun¹, Parinya Seelanan^{2,*}

^{1,2}Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

Received: 21 May 2022

Revised: 16 November 2022

Accepted: 16 November 2022

Abstract

The estimation of incident period for forensic examination depends on several factors. Evidence dynamics is of particular problem in the incident clarification. Evidences from the environment and clothing can be associated for more accurate and reliable examination. The aim of this research was to study the change of physical and chemical properties for the fabric fibers under simulated burial conditions using Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) technique. Experimental research on the comparison study between natural fiber (cotton) and synthetic fiber (polyester) was performed. The selected fabric fibers were buried in different physical characteristics and acidity sandy loam soil at a depth of 500 mm and then recorded for a total period of 30 days. The results showed that peeling and tearing marks were physically observed in the cotton fibers. The fibers buried in acidic soil at different periods demonstrated a rough surface under SEM/EDX whereas polyester fibers were unable to be physically distinguished under tested conditions. From the chemical properties examination, the fabric fibers buried in soil at different periods were found to be significantly different at the 0.05 significance level. Therefore, it can be concluded that the cotton fiber is less durable than the polyester fiber. Moreover, the results can be used as a guideline for estimation of the burial period in order to support related scientific proof of evidence.

Keywords: Scanning Electron Microscope, Natural Fiber, Synthetic Fiber, Burial, Forensic Science

* Corresponding Author; E-mail: parinya.se@rpca.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการตรวจพิสูจน์อาชญากรรมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จะมีการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ตรวจพิสูจน์ข้อเท็จจริง เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงคนร้าย เหตุ เช้ากับสถานที่เกิดเหตุเพื่ออธิบายและพิสูจน์ทราบการกระทำ ความผิดด้วยคนร้ายมักทิ้งร่องรอยและพยานหลักฐานไว้ในที่เกิดเหตุทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ ตามหลักการและทฤษฎีการแลกเปลี่ยนวัตถุที่ทุกการสัมผัสจะมีการทิ้งร่องรอยไว้เสมอ หรือ Locard's Theory (Petherick, 2010) พยานหลักฐานที่พบในสถานที่เกิดเหตุ เช่น ลายนิ้วมือแฝงและฝ่าเท้าแฝง พยานวัตถุทางชีววิทยา และอาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุ เป็นต้น จำเป็นต้องถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชื่อมโยงเข้ากับพฤติกรรม สาเหตุ และตัวผู้กระทำผิด (Kozłowski, 2012) อย่างไรก็ตามในด้านนิติวิทยาศาสตร์นั้น ความเป็นพลวัตรหรือความไม่หยุดนิ่งของพยานหลักฐานเป็นปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลให้คุณค่าของพยานหลักฐานลดลง พลวัตรที่เด่นชัด เช่น การเปลี่ยนแปลงเพราะระยะเวลา การเปลี่ยนแปลงเพราะสภาพสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลผล ทำให้การสืบสวนและการพิสูจน์ทราบสาเหตุและข้อเท็จจริงนั้นคลี่คลายได้ยาก (Suebpong Siri, 2015)

วัตถุพยานประเภทเส้นใย เป็นวัตถุพยานอีกประเภทที่สามารถนำมาใช้เชื่อมโยงเข้ากับคนร้ายได้ เนื่องจากเส้นใยใช้เป็นส่วนประกอบของสิ่งทอ เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม และสิ่งทอต่างๆ พยานหลักฐานทางเส้นใยสามารถใช้ศึกษาในกรณีการนำศพไปฝังกลบในดินซึ่งเป็นวิธีการอำพรางคดี เสื้อผ้าที่เหยื่อสวมใส่ รวมถึงผ้าที่คนร้ายใช้ห่อศพ มักจะถูกฝังไปพร้อมกับศพด้วย โดยในทางนิติวิทยาศาสตร์การประมาณระยะเวลาจากการชั้นสูตรศพเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถประมาณเวลาที่เสียชีวิตได้แน่ชัดในทุกกรณี แต่อาจสามารถใช้วัตถุพยานที่พบกับร่างของศพ เช่น เสื้อผ้า นำมาศึกษาเพื่อประมาณระยะเวลาเบื้องต้น ในการศึกษาวัตถุพยานประเภทผ้าจึงต้องตรวจลักษณะกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีประกอบกัน เพื่อช่วยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเส้นใยผ้าได้ (Mahacharoen, 2020) ผู้วิจัยจึงคำนึงถึงประโยชน์ของวัตถุพยานประเภทเส้นใยที่สามารถส่งผลต่อการแปรผลและประมาณหาระยะเวลา การเสียชีวิต ทำให้เส้นใยผ้าเป็นวัตถุพยานที่มีคุณค่าและสามารถนำมาใช้ในการสืบสวนตรวจพิสูจน์ทางคดีเพื่อเชื่อมโยงเหยื่อกับผู้ต้องสงสัย รวมถึงสามารถใช้ประกอบการประมาณระยะเวลาการก่อเหตุร่วมกับคำให้การของผู้ต้องหาและพฤติการณ์ในคดีได้ นอกจากนี้ รายงานการศึกษาในต่างประเทศพบว่า เสื้อผ้าที่ทอด้วยเส้นใยขนสัตว์ที่ถูกฝังกลบในดินจะย่อยสลายจนหมดภายในระยะเวลาประมาณ 5-6 สัปดาห์ (Gubala and Kochan, 2000) รวมถึงการศึกษาปัจจัยของดินที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของเส้นใยจากศพที่ถูกฝัง (Lowe et al., 2013) และการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของเส้นใยผ้าหลังจากถูกฝังกลบในดิน (Mitchell et al., 2012) จากปัจจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์เส้นใยจึงก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนางานนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นการหลักการพิสูจน์ข้อเท็จจริงและเชื่อมโยงเข้ากับการกระทำ ความผิด

วัตถุพยานประเภทเส้นใยผ้าสามารถทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์ เทคนิควิธี Attenuated Total Reflectance (ATR-FTIR) และ Raman Spectroscopy (Cardell and Guerra, 2016) รวมถึงการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ในการวิเคราะห์ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการเปรียบเทียบกับวัตถุพยานอ้างอิง รวมถึงพิจารณาจากความจำเพาะทางเคมีและทางกายภาพ และพบว่า การวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าในกรณีถูกฝังกลบในดิน โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน หรือ Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใยผ้าในสถานะฝังกลบในดิน

(Mahacharoen, 2020 ; Ruangksa, 2021) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณความแตกต่างของธาตุองค์ประกอบทางเคมีเส้นใยผ้าแต่ละชนิด จากปัจจัยที่มีผล ต่อเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินที่มีคุณสมบัติต่างกัน โดยใช้ SEM/EDX เพื่อวิเคราะห์ ปริมาณธาตุและองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไป และเพื่อให้เป็นแนวทางในการประมาณระยะเวลาใน การก่อกองคื ออายุการรมได้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการวิจัย

การตรวจพิสูจน์เส้นใยทางนิติวิทยาศาสตร์จะศึกษาจากโครงสร้างทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติ ต่างๆ ของเส้นใยแต่ละชนิดที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล จำแนกเส้นใย และพิสูจน์ข้อเท็จจริง ร่องรอยการกระทำความผิดที่เกิดขึ้น การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยและการตรวจสอบความเสียหายของ เส้นใย ทำได้โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ในการพิจารณาเพื่อทำการเปรียบเทียบความเสียหาย กับวัตถุพยานอ้างอิง และเพื่อการพิจารณาจากความจำเพาะของคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ โดยประเภท ความเสียหายที่เกิดขึ้นของเส้นใยมีหลายแบบ หนึ่งในความเสียหายของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินโดยส่วนใหญ่ คือ ผลกระทบจากย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเส้นใยธรรมชาติ มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ (Robertson, Roux and Wiggins, 1999) นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของผ้า แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน สำหรับผ้าฝ้ายโดยส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นเส้นใยเซลลูโลสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงยาว ซึ่งเรียกว่า cellobiose และมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ผ้าฝ้ายจะถูกทำลายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพ ความเป็นกรด ซึ่งกรดจะเข้าไปทำลายพันธะที่บริเวณ glucoside oxygen atom ที่เชื่อมอยู่ระหว่างน้ำตาลกลูโคสทั้ง สองตัวของ cellobiose จนทำให้เกิดการแตกตัวได้ ส่วนโครงสร้างทางเคมีของผ้าพอลิเอสเตอร์ซึ่งเป็นเส้นใย สังเคราะห์ประกอบไปด้วยหมู่ Ester, carbonyl oxygen, benzene ring และ methylene ที่มีการจัดเรียงตัวกัน อย่างเป็นระเบียบ ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงและทนทาน และสามารถทนต่อกรดได้มากกว่าเส้นใยผ้าฝ้าย (Gohl and Vilensky, 1980)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยที่เกิดการเปลี่ยนแปลง สามารถตรวจวัดด้วยสัญญาณทางส ปกโทรสโคปีจากการคายพลังงานเมื่อเส้นใยเกิดการสลายตัว โดยใช้ SEM/EDX การแยกแยะสัญญาณเอกซ์เรย์ ลักษณะเฉพาะ (characteristic X-rays) ของธาตุที่แตกต่างกันด้วยสเปกตรัมเชิงพลังงาน ส่งผลให้สามารถระบุธาตุที่เป็น ส่วนผสมของวัตถุหรือพื้นผิวนั้น การวิเคราะห์สัญญาณเอกซ์เรย์ลักษณะเฉพาะของธาตุด้วยสเปกตรัมที่แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในหน่วย keV (แกน X) กับจำนวนสัญญาณเอกซ์เรย์ที่ตรวจจับได้ (แกน Y) สัญญาณพิค ที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมจะสอดคล้องกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบบนตัวอย่าง (Cardell and Guerra, 2016) ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณ โดยบอกเป็น % ของธาตุที่มีอยู่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tepdacha (2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบระยะเวลา ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของผ้าแต่ละชนิด พบว่าเส้นใยทุกชนิดได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ หลังจกฝังกลบทั้งในดินเหนียวและดินทราย เส้นใยผ้าธรรมชาติเสื่อมสภาพมากกว่าเส้นใยผ้าสังเคราะห์ และพบว่า

เส้นใยที่ฝักรวมเป็นระยะเวลาสั้นจะได้รับความเสียหายมากกว่า และยังพบว่าชนิดของผ้าและระยะเวลาที่ฝักรวมส่งผลต่อค่าความต้านแรงฉีกขาดอย่างมีนัยสำคัญ โดยผ้าทุกชนิดมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดลดลงหลังจากฝักรวมขึ้น แสดงให้เห็นว่าผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาฝักรวมต่างกันส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยผ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้การศึกษาในต่างประเทศ (Lowe et al., 2013) และ Ueland et al. (2019) เส้นใยผ้าแต่ละชนิดที่ถูกฝักรวมในดินโดยไม่คำนึงถึงชนิดและลักษณะของเนื้อดินพบว่าระยะเวลาที่ถูกฝักรวมมีผลต่อการเสื่อมสภาพของเส้นใย และงานวิจัยของ Ruangka (2021) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในสภาวะการฝักรวมด้วยดินเหนียว และดินทรายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เวลาแตกต่างกัน พบว่าสามารถจำแนกประเภทเส้นใยจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบแต่ละประเภทได้ และพบว่าเส้นใยผ้าฝ้ายจะหดตัวในสภาวะกรดได้มากกว่าในสภาวะด่าง นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Mahacharoen (2020) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวและธาตุองค์ประกอบในเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธี SEM/EDX ในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยศึกษาและจำแนกคุณสมบัติทางเคมีแบบเฉพาะเจาะจงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์และนำองค์ประกอบทางเคมีไปใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยทั้งสองชนิด พบว่า SEM/EDX สามารถใช้เป็นแนวทางการตรวจเส้นใยที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำโดยการจำแนกคุณสมบัติทางแสงของเส้นใย อีกทั้งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายวัตถุพยานและสามารถตรวจวิเคราะห์ซ้ำเพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดจากการฝักรวมในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน หรือ Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) ในการตรวจเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบในเส้นใยของผ้าแต่ละชนิด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ลักษณะของผ้าที่ใช้ศึกษา คือ ผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ (Polyester)
2. คุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสภาพพื้นผิวเส้นใยผ้า
3. คุณสมบัติทางเคมีที่ศึกษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของธาตุและองค์ประกอบของเส้นใยผ้า
4. ดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินร่วนปนทรายที่มีลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีต่างกัน โดยกำหนดดินชนิดที่ 1 เป็นดินชนิด A และดินชนิดที่ 2 เป็นดินชนิด B
5. เครื่องมือที่ใช้ศึกษา ได้แก่ เครื่องวัดค่า pH และค่าความชื้นของดิน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM /EDX) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น SU 1000

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

1. ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มประชากรเป้าหมายกลุ่มตัวอย่างผ้า คือ ผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากกลุ่มของผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์อย่างละ 1 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ซึ่งเป็นที่นิยมในการนำมาตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มเพื่อการบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศ

2. ดินที่ใช้ฝังกลบชิ้นส่วนผ้าตัวอย่าง กำหนดใช้ดินร่วนปนทรายซึ่งพบมากในประเทศไทย ดินที่นำมาศึกษาเป็นชุดดินระยอง กลุ่มชุดดินที่ 43 (Department of Land Development, 2014) ในเขตพื้นที่ตำบลทุ่งควายกิน กำหนดดินในการทดลองเป็น 2 ชนิด ดังแสดงตามภาพที่ 1 โดยดินชนิดแรกกำหนดเป็น ดินชนิด A มีลักษณะทางกายภาพที่หยาบคล้ายเม็ดทรายและมีสีเหลืองแดง (รหัสสีดิน 5YR 5/8) โดยเทียบสีกับ Munsell soil color chart (Color, 1994) มีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 4-6 และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 81.92% และดินชนิดที่สองกำหนดเป็นดินชนิด B มีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อน สีเทา (รหัสสีดิน 5YR 6/2) และมีเนื้อทรายผสมอยู่ มีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 6-7 และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 80.91%



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของดินร่วนปนทราย สำหรับการทดลองการฝังกลบผ้า (1) ดินชนิด A (2) ดินชนิด B

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

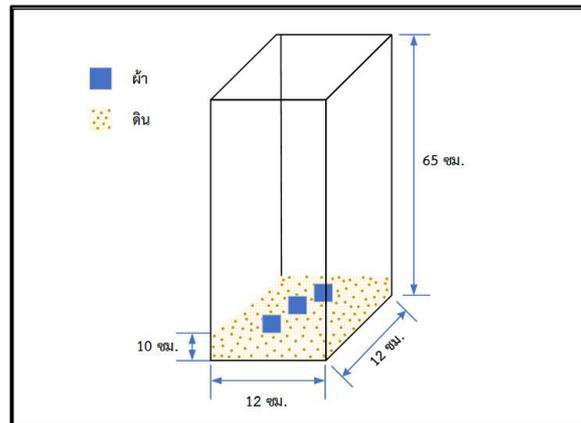
1. การเตรียมตัวอย่างผ้า ทำโดยการตัดชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ ให้มีขนาดประมาณ กว้าง x ยาว ประมาณ 3.0 x 3.0 เซนติเมตร เลือกใช้ผ้าสีขาวเพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ บันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างผ้าแต่ละชนิด

2. การเตรียมกล่องกระดาษสำหรับบรรจุดินและใช้สำหรับฝังกลบ ทำโดยการจำลองสภาวะคล้ายสภาพฝังกลบจริง จัดเตรียมกล่องขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น 12 x 12 x 65 เซนติเมตร จำนวน 4 กล่อง วางกล่องกระดาษไว้ในพื้นที่ปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมให้อยู่ในสภาวะเดียวกัน ดำเนินการทดลองการฝังกลบด้วยกล่องกระดาษสภาวะเหมือนจริงในดินชนิด A และดินชนิด B โดยทำการวัดค่า pH และอุณหภูมิดิน และความชื้นตลอดการทดลอง

3. บรรจุดินลงในกล่องกระดาษที่เตรียมไว้โดยให้มีความสูงขึ้นมาจากข้างใต้กล่อง 10 เซนติเมตร จากนั้นวางตัวอย่างผ้าและบรรจุดินลงในกล่องกระดาษให้มีระดับความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร ฝังกลบเป็นระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ตัวอย่างสภาพจำลองการฝังกลบแสดงดังภาพที่ 1

4. เมื่อทำการฝังกลบครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำผ้าตัวอย่างออกมาจากกล่องและสับตัดผ้าจำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดดินส่วนเกินออกก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดย SEM/EDX โดยไม่มีการซักล้างผ้าเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใยผ้าในสภาวะฝังกลบให้เสมือนจริง

5. สแกนด้วย SEM/EDX (Hitachi รุ่น SU1000) โดย Backscattered-Electron mode ที่ 20 kV กำลังขยายที่ 500 และ 1,000 เท่า ให้ปรากฏภาพ SEM และยิงเลเซอร์จำนวน 3 ครั้ง ที่บริเวณเส้นใยผ้าที่ตำแหน่งไม่ซ้ำกัน



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการฝังกลบตัวอย่างเส้นใยผ้าด้วยดินในภาชนะกล่องกระดาษ

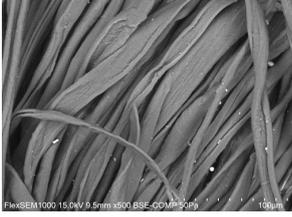
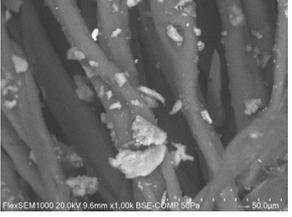
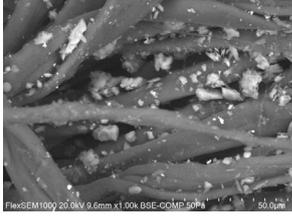
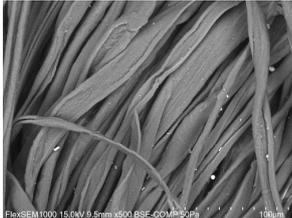
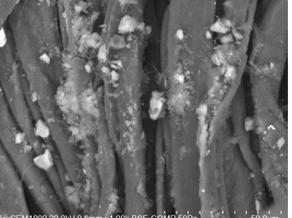
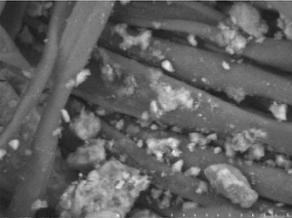
การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยแต่ละชนิดในสภาวะแวดล้อมและระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค SEM/EDX และใช้สถิติอ้างอิง ได้แก่ การวิเคราะห์ Independent Sample t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างเส้นใยผ้าตัวอย่างแต่ละชนิดที่ได้รับผลจากชนิดของดินและระยะเวลาในการฝังกลบ

ผลการวิจัย

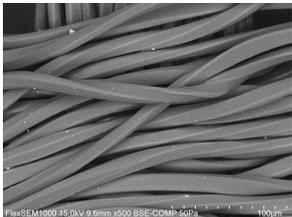
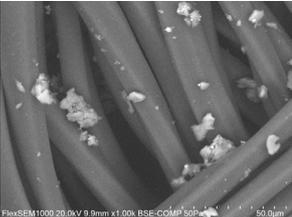
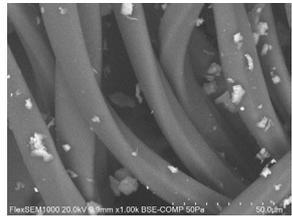
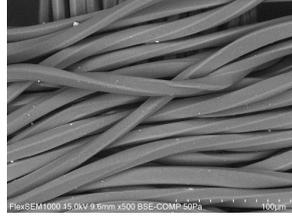
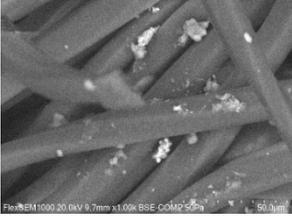
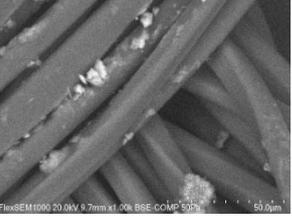
จากผลการศึกษาวิจัยเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ฝังกลบในดินร่วนปนทรายแต่ละชนิดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิค SEM/EDX โดยการตรวจลักษณะทางสัณฐานของสภาพพื้นผิวเส้นใยผ้า สังเกตและวิเคราะห์โครงสร้างการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า พิจารณาภาพขยายเส้นใยผ้าบริเวณที่พบการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยโดยการเปรียบเทียบที่มาตรวัดเท่ากันขนาด 20 ไมครอน (μm) วิเคราะห์กับปัจจัยระยะเวลาการฝังกลบที่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่ได้ปรากฏรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ก่อนและหลังการฝังกลบในดินโดยใช้ SEM/EDX

ประเภทของดิน	ระยะเวลา		
	ก่อนการฝังกลบ	ฝังกลบ 15 วัน	ฝังกลบ 30 วัน
ดินชนิด A			
ดินชนิด B			

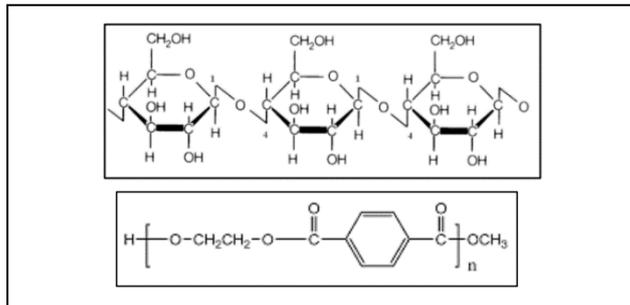
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อฝังกลบในดินชนิด A พบว่าลักษณะของเส้นใยมีความแตกต่างกัน พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 30 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน จนมีลักษณะไม่เรียบ แต่พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ระยะเวลา 15 วัน มีลักษณะเรียบ ไม่มีการหลุดลอกหรือฉีกขาด และเมื่อพิจารณาทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าฝ้ายในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายฝังกลบในดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน จนมีลักษณะไม่เรียบมากกว่าเส้นใยผ้าฝ้ายที่ฝังกลบในดินชนิด A ในขณะที่ระยะเวลา 30 วัน จะพบว่าลักษณะของเส้นใยไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายฝังกลบในดินร่วนปนทรายชนิด A และดินชนิด B เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน

ตารางที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ก่อนและหลังการฝังกลบในดินโดยใช้ SEM/EDX

ประเภทของดิน	ระยะเวลา		
	ก่อนการฝังกลบ	ฝังกลบ 15 วัน	ฝังกลบ 30 วัน
ดินชนิด A			
ดินชนิด B			

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ฝักรอบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่าลักษณะทางสัณฐานของพื้นผิวเส้นใยไม่มีความแตกต่างกัน และไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

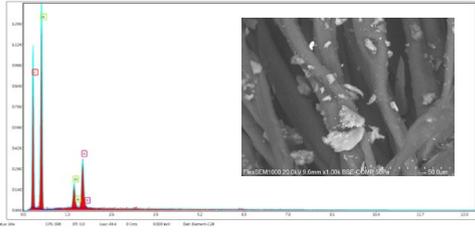
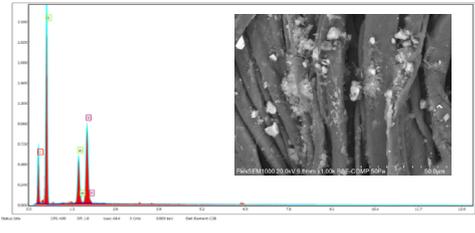
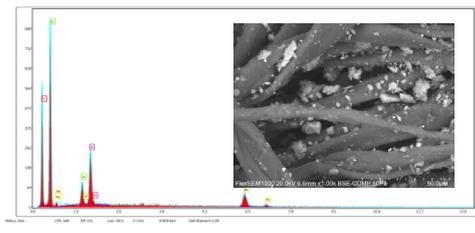
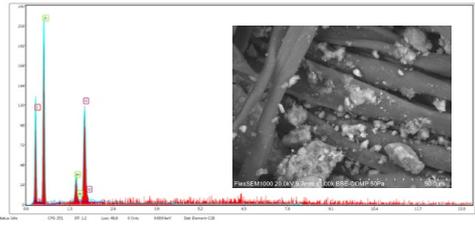
จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เครื่อง SEM/EDX เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเส้นใยฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์ ที่ถูกฝักรอบที่ระยะเวลาและในดินที่ต่างกัน จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทั้งสองชนิด พบว่ามีธาตุองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (C) และธาตุออกซิเจน (O) สอดคล้องกับโครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานทางเคมีของเส้นใยซึ่งแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานทางเคมีของเส้นใยฝ้าย (บน) และเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ (ล่าง)
ที่มา: Ruangkasa (2021)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้ายโดยการเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบในหน่วยร้อยละโดยมวล (Wt%) ของปริมาณธาตุของเส้นใยฝ้าย ก่อนฝักรอบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 38.83 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.06 เมื่อนำไปฝักรอบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า เมื่อฝักรอบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 27.99 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงที่เวลาก่อนการฝักรอบและระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 27.92% ส่วนปริมาณธาตุ O พบเท่ากับ 50.85 มีค่าลดลงคิดเป็น 10.88% และเมื่อฝักรอบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C เท่ากับ 33.81 ซึ่งคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่พบก่อนการฝักรอบเทียบกับที่ระยะเวลา 15 วัน ลดลงเท่ากับ 12.92% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.47 ซึ่งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.71% รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยฝ้ายหลังฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน จากเทคนิค SEM/EDX

ชนิดเส้นใย	ระยะเวลา	ชนิดของดินที่ฝังกลบ	ผลการวิเคราะห์และสเปกตรัมของเส้นใย	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)	
				C	O
ฝ้าย	15 วัน	ดินชนิด A		27.99	50.85
		ดินชนิด B		33.81	57.47
	30 วัน	ดินชนิด A		28.46	48.38
		ดินชนิด B		36.08	52.63

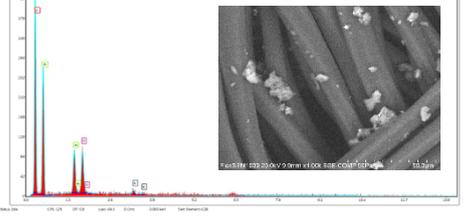
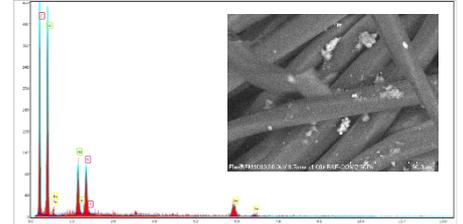
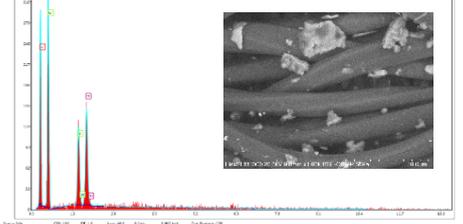
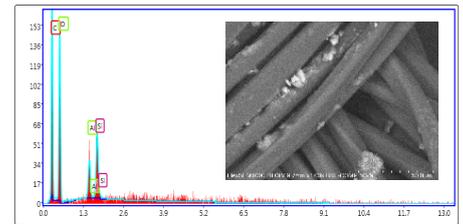
จากการศึกษาปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 38.83 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.06 เมื่อนำไปฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่าเมื่อฝังกลบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 28.46 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบเทียบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 26.71% สำหรับปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 48.38 มีค่าลดลงเท่ากับ 15.21% และเมื่อฝังกลบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 36.08 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 7.08% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 52.63 มีค่าลดลงเท่ากับ 7.76%

การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 57.87 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.90 เมื่อทำการฝังกลบในดินที่มีสภาวะแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยหลังฝังกลบด้วยดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ผลการทดลองที่ได้มีรายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 4 โดยปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ เมื่อทำการฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่าเมื่อฝังกลบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 50.21 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงก่อนฝังกลบเทียบกับระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 12.39% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.75 มีค่าลดลงเท่ากับ 9.43% เมื่อฝังกลบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 53.14 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบกับที่ระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 15.60% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 39.20 มีค่าลดลงเท่ากับ 1.41%

เส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 57.87 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.90 เมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด A วิเคราะห์ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 42.14 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบเทียบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 32.66% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 46.28 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.80% สำหรับการฝังกลบในดินชนิด B พบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 56.64 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบจากที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 9.75% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 43.36 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5.18%

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเส้นใยผ้าใน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ independent t-test ผ่านโปรแกรม SPSS ของข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีภายในเส้นใยผ้าแต่ละชนิดหลังจากการถูกฝังกลบในดินร่วนปนทรายที่สภาวะแวดล้อมต่างกัน ทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบจากสถิติที่ใช้เพื่อสามารถยืนยันความแตกต่างของผลลัพธ์ในแต่ละสภาวะการทดลอง (Tepdacha, 2013) หลังจากที่เส้นใยผ้าฝ้ายถูกฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน ปริมาณธาตุ C ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินคนละชนิดกันไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินคนละชนิดกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อผ้าฝ้ายถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณธาตุ C และธาตุ O ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน สำหรับการทดลองโดยใช้ผ้าพอลิเอสเตอร์ฝังกลบในดินทั้งสองชนิด พบว่าที่ระยะเวลา 15 วัน ปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกลบในดินทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินที่ต่างกันนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยพอลิเอสเตอร์หลังฝังกลบด้วยดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ด้วยเทคนิค SEM/EDX

ชนิดเส้นใย	ระยะเวลา	ชนิดของดินที่ฝังกลบ	ผลการวิเคราะห์และสเปกตรัมของเส้นใย	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)	
				C	O
พอลิเอสเตอร์	15 วัน	ดินชนิด A		50.70	37.95
		ดินชนิด B		48.84	41.31
	30 วัน	ดินชนิด A		40.94	48.10
		ดินชนิด B		53.23	44.07

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าที่สภาวะก่อนและหลังการฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน โดยใช้ข้อมูลปริมาณธาตุองค์ประกอบที่วิเคราะห์โดยเทคนิค SEM/EDX มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนองค์ประกอบของเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ซึ่งถูกฝังกอบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลาต่างกัน

ชนิดของเส้นใยผ้า	ระยะเวลา	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)					
		ธาตุ C		ธาตุ O		อัตราส่วน (C:O)	
		ดินชนิด A	ดินชนิด B	ดินชนิด A	ดินชนิด B	ดินชนิด A	ดินชนิด B
ผ้าฝ้าย	ก่อนฝังกอบ (0 วัน)	38.83	38.83	57.06	57.06	0.68	0.68
	15 วัน	27.99	33.81	50.85	57.47	0.54	0.59
	30 วัน	28.46	36.08	48.38	52.63	0.59	0.69
ผ้าพอลิเอสเตอร์	ก่อนฝังกอบ (0 วัน)	57.87	57.87	41.90	41.90	1.38	1.38
	15 วัน	50.70	48.84	37.95	41.31	1.34	1.18
	30 วัน	40.94	53.23	48.10	44.07	0.85	1.21

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยโดยการวิเคราะห์ภาพสแกน SEM ในช่วงมาตรวัดขนาดเท่ากันที่ระยะ 20 μm เพื่อเปรียบเทียบเส้นใยผ้า พบว่า เส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกอบในดินชนิด A และดินชนิด B พบการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยที่ระยะเวลา 30 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน ลักษณะไม่เรียบ มัดเส้นใยมีการขยายตัวออกมากกว่าเมื่อเทียบกับการถูกฝังกอบที่ระยะเวลา 15 วัน เนื่องจากดินชนิด A มีความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B จึงพบว่าลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายในดินชนิด B มีความแตกต่างกันกับในดินชนิด A อย่างชัดเจน สำหรับการวิเคราะห์ทางสัณฐานของพื้นผิวเส้นใยสังเคราะห์ พบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกอบในดินชนิด A และดินชนิด B ไม่พบลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของเส้นใยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อระบุความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเส้นใยผ้าสังเคราะห์ที่ฝังกอบในดินตัวอย่างภายในระยะเวลาที่กำหนดนั้น ยังไม่สามารถระบุจากการวิเคราะห์ภาพสแกน SEM เพียงอย่างเดียวได้

การศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์หลังการฝังกอบ พบว่ามีการสลายตัวของเส้นใยผ้าเกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากธาตุ C และ ธาตุ O มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง โดยในดินชนิด A ซึ่งมีความเป็นกรดจะพบการสลายตัวของปริมาณธาตุ C ทั้งในผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ แต่สำหรับธาตุ O จะพบปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่ต่อเนื่อง แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของธาตุ C:O ในตัวอย่างผ้าทั้งสองชนิด พบว่ามีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาในดินชนิด B จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุ C และธาตุ O ในผ้าทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก พบปริมาณธาตุ C เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราส่วนองค์ประกอบธาตุ C:O ทั้งผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ มีอัตราส่วนลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝังกอบ และจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนที่ช่วงระยะเวลา 15 วันของการฝังกอบ แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของเส้นใยจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีสอดคล้องกับการสลายตัวตามผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ จากผลการวิจัยทำให้สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกอบในดินมีการเสื่อมสลายที่แตกต่างกันตามปัจจัยสภาวะของดินและระยะเวลาที่ใช้ในการฝังกอบ สามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบในกรณีที่พบวัตถุพยานประเภทเสื้อผ้าซึ่งเกี่ยวข้องข้องการฝังกอบ และเป็นแนวทางในการพิจารณาพร้อมกับข้อมูลทางพฤติการณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อประมาณระยะเวลาที่วัตถุพยานถูกฝังกอบช่วงระยะเวลาภายใน 30 วันได้

อภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดจากการฝังกลบในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินต่างชนิดกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) พบว่า ลักษณะการจัดเรียงตัว โครงสร้างและคุณสมบัติของเส้นใยผ้าทั้งสองชนิดแตกต่างกัน และลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้ายแสดงให้เห็นการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วนจนมีลักษณะไม่เรียบเมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด A ที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ในขณะที่เส้นใยผ้าฝ้ายเมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด B ที่ระยะเวลาแตกต่างกันกลับไม่พบความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพอย่างเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากดินชนิด A มีความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B เมื่อตัวอย่างผ้าถูกฝังกลบในดินที่สภาวะกรดจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเส้นใยผ้าฝ้ายเกิดการเสียสภาพและหดตัวลง เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างและความชื้นที่มีอยู่ภายในดิน ส่งผลทำให้เส้นใยผ้าเกิดการเสื่อมสภาพ (Tepdacha, 2013) อีกทั้งมีรายงานผลการศึกษาว่าเส้นใยผ้าฝ้ายจะหดตัวในสภาวะกรดได้มากกว่าในสภาวะด่าง (Ruangkasa, 2021) ในขณะที่ผลการศึกษาเส้นใยโพลีเอสเตอร์เมื่ออยู่ในดินที่มีสภาวะต่างกันและระยะเวลาต่างกันยังไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ สอดคล้องกับงานวิจัย Ueland et al. (2019) ซึ่งพบว่าผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติสลายตัวเร็วกว่าผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ และขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการถูกฝังกลบในดิน รวมไปถึงงานวิจัย Komkleow et al. (2014) ซึ่งอธิบายว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของเส้นใยผ้าฝ้ายนั้นสูงกว่าในผ้าพอลิเอสเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เกิดแนวทางในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเส้นใยผ้าโดยใช้ SEM/EDX ร่วมกับการศึกษาลักษณะทางกายภาพเพื่อจำแนกความแตกต่างของผ้าในสภาวะต่างๆ

เมื่อศึกษาปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยผ้าแต่ละชนิด ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยผ้า เมื่อนำไปฝังกลบในดินที่มีสภาวะแตกต่างกัน คือ ดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน มีค่าองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahacharoen (2020) ที่ศึกษาลักษณะเส้นใยผ้าและธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค SEM พบว่า เส้นใยฝ้ายและเส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) เช่นกัน และยังพบว่าผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินที่มีสภาวะต่างกันในช่วงระยะเวลาก่อนฝังถึงระยะเวลาที่ฝังแล้ว 15 วัน ปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยผ้าฝ้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเส้นใยผ้าที่ฝังกลบในดินนานถึงระยะเวลา 30 วัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์นั้น มีปริมาณการลดลงที่น้อยกว่าในเส้นใยฝ้ายในช่วงระยะเวลาเดียวกัน แสดงให้เห็นได้ว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์มีการย่อยสลายได้ยากกว่าผ้าฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ อีกทั้งยังสอดคล้องตรงกับงานที่ผู้วิจัยศึกษาโดยใช้ดินตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น

จากผลการวิจัยทำให้ยืนยันว่าเส้นใยผ้าจากธรรมชาติ คือ ผ้าฝ้าย มีลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีความทนทานน้อยกว่าเส้นใยสังเคราะห์ คือ ผ้าพอลิเอสเตอร์ แต่จากปัจจัยอื่น เช่น ความชื้นและปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้อง ทำให้ปริมาณของธาตุออกซิเจนที่มีในเส้นใยทั้งสองชนิดไม่คงที่ Tepdacha (2013) และพบว่าคุณสมบัติของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดมีผลโดยตรงต่อผ้าที่ผลิตจากเส้นใยนั้น เส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำและความชื้นได้มากกว่า ส่วนผ้าที่ทำจากเส้นใยที่แข็งแรงก็จะมี ความทนทานกว่าด้วย รวมถึงค่า pH ภายในดินชนิด A ที่ความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B ส่งผลให้ปริมาณของธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทั้งสองชนิดลดลงอย่างแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้ SEM/EDX ยังเป็นเทคนิคที่สามารถจำแนกชนิดและลักษณะของเส้นใย

ได้โดยไม่ทำลายวัตถุพยาน มีประโยชน์ต่อการตรวจพิสูจน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เนื่องจากข้อได้เปรียบในการเก็บวัตถุพยานสำหรับการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผ้าชนิดที่นิยมนำมาใช้งาน งานวิจัยต่อไปควรศึกษาปัจจัยชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องสำหรับการฝังกลบในดิน เช่น จุลินทรีย์ในดิน ความชื้น สภาพอากาศ จำนวนในการซักล้างผ้าแต่ละชนิด เป็นต้น เพื่อให้เกิดรูปแบบการวิเคราะห์ (profile) ที่ครอบคลุมและเกิดประโยชน์ในการพัฒนาวิธีการตรวจเปรียบเทียบวัตถุพยานต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 การวิจัยนี้ศึกษาผลจากการฝังกลบในดินที่มีต่อชนิดของผ้า (เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์) ในการประมาณระยะเวลาควรคำนึงถึงคุณสมบัติทางโครงสร้าง ใยผ้า การถักทอ และการยึดจับของเส้นใยเพิ่มเติม เพื่อสามารถประมาณระยะเวลาหลังการฝังกลบได้แม่นยำยิ่งขึ้น

1.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของผ้าแต่ละชนิดอาจคลาดเคลื่อนหากสภาวะที่ใช้แตกต่างกัน ควรควบคุมสภาวะการฝังกลบ สภาพอากาศ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ ให้ใกล้เคียงกัน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรใช้ระยะเวลาการฝังกลบที่นานขึ้น และศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการฝังกลบให้ครอบคลุมเพื่อเป็น การควบคุมสภาวะการฝังกลบให้ใกล้เคียงสภาพจริง เช่น ความเป็นด่าง และจุลินทรีย์

2.2 ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อเส้นใยผ้า และเกิดขึ้นปกติในชีวิตประจำวัน เช่น การซักล้าง หรือ การใช้น้ำยาทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

- Cardell, C. and Guerra, I. (2016). An overview of emerging hyphenated SEM-EDX and Raman spectroscopy systems: Applications in life, environmental and materials sciences. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 77, 156-166.
- Color, M. (1994). *Munsell soil color charts, revised edition*. New Windsor, New York: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.
- Department of Land Development. (2010). *62 soil group series* [Online]. Retrieved March 1, 2020, from: https://ladd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm. (in Thai)
- Gohl, E. and Vilensky, L. (1980). *Textile science: An Explanation of Fibre Properties*. Sydney, Australia: Longman Cheshire.
- Gubala, J. and Kochan, R. (2000). The biodegradation of the fabric of soldiers' uniforms. *Science & Justice*, 40(1), 15-20.

- Komkleow, S., Whalley, A., Karnchanatat, A. and Sihanonth, P. (2014). *Decomposition of cotton and polyester fabrics in soil and related fungi*. Thesis of the Degree of Master of Science Program in Biotechnology. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Kozłowski, R. (2012). *Identification of natural textile fibres*. In *Woodhead Publishing Series in Textiles (Eds)*. Handbook of Natural Fibres. (pp. 314-344). Australia: Woodhead Publishing.
- Lowe, A. et al. (2013). The effect of soil texture on the degradation of textiles associated with buried bodies. *Forensic Science International*, 231, 331-339.
- Mahacharoen, T. (2020). 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*, 18, 32-46. (in Thai)
- Mitchell, J., Carra, D., Niven, B., Harrison, K. and Girvan, E. (2012). Physical and mechanical degradation of shirting fabrics in burial conditions. *Forensic Science International*, 222, 94-101.
- Petherick, W., Turvey, B. and Ferguson, C. (2010). *Forensic Criminology*. London: Elsevier Academic Press.
- Robertson, J., Roux C. and Wiggins, K. (1999). *Forensic Examination of Fibres*. London, UK: Taylor and Francis.
- Ruangkasa, S. (2021). A Study of Physiological Structure and Element Composition of Fibers at Burial with Different pH Values. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 20(2), 2773-9473. (in Thai)
- Suebpongsiri, S. (2015). Crime Reconstruction in Forensic Science Approach. *Journal of Criminology and Forensic Science*, 1, 7-16. (in Thai)
- Tepdacha, W. (2013). *A Study of physical and mechanical properties of fabrics within burial conditions*. Thesis of the Master of Science Program in Forensic Science. Silpakorn University. (in Thai)
- Ueland, M., Forbes, S. L., and Stuart, B. H. (2019). Understanding clothed buried remains: the analysis of decomposition fluids and their influence on clothing in model burial environments. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15(1), 3-12.