

การตรวจลักษณะทางพื้นผิวและธาตุองค์ประกอบในเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติ
ที่พบในประเทศไทยโดยวิธี Scanning Electron Microscope/
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy เพื่อประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์
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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท ดร.ธิติ มหาเจริญ

Police Lieutenant Colonel Assistant Professor Dr.Thiti Mahacharoen

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ ต.สามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110 ประเทศไทย
Forensic Science faculty, Royal Police Cadet Academy, Nakorn Pathom, 73110, Thailand.

Corresponding Author. E-mail: m_thiti@yahoo.com

(Received: November 12, 2019, Accepted: February 26, 2020)

บทคัดย่อ : การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจำแนกคุณสมบัติทางเคมีแบบเฉพาะเจาะจงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่พบในประเทศไทย และนำองค์ประกอบทางเคมีไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ รวมถึงนำเสนอแนวทางในการพัฒนาการตรวจเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและเครื่องตรวจเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน เป็นตัวจำแนกคุณสมบัติทางแสงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย, ไหม, กัญชง และขนสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ไนลอน, โพลีเอสเตอร์, โมตาไครลิก, อะคริลิก และเรยอน ผลการวิจัยพบว่า เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ตัวอย่างนั้นมีคุณลักษณะทางพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของเส้นใยแต่ละชนิด สามารถนำไปจำแนกและใช้ประโยชน์ในการตรวจพิสูจน์วัตถุพยานประเภทเส้นใยในคดีได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้ในการระบุประเภทของเส้นใยที่พบในสถานที่เกิดเหตุได้

คำสำคัญ : เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด/เครื่องแผ่กระจายรังสีเอ็กซ์

Abstract : This research intend to study the specific classification of natural and synthetic fibers mostly found in Thailand and apply elemental components for comparison of chemical properties of each type of fiber. The development of examination method is proposed in this study as an effective and rapid tool for fiber analysis for forensic purpose. By using Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy as a classification method. Nine fibers are included in this study. The natural fibers are cotton, silk, hemp, wool and synthetic fibers are nylon, polyester, modacrylic, acrylic and rayon. The results show that both natural and synthetic fiber has a unique surface and chemical components which can be applied for forensic examination to identify the type of each fiber. This technique is able to be applied for fiber found in a crime scene and compare the unknown to the known one.

Keywords : Natural Fiber, Synthetic Fiber, SEM/EDS

1. บทนำ

ในปัจจุบันเกิดปัญหาทางด้านอาชญากรรมขึ้นมากมาย การที่จะนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกระบวนการยุติธรรมนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะจะต้องมีการรวบรวมพยานหลักฐานมายืนยันให้สามารถพิสูจน์ความผิดได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกาและประเทศในทวีปยุโรป จึงมีการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ มาพัฒนาใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานต่างๆ ให้ได้ผลที่ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเป็นผลอย่างยิ่งในการสืบสวนติดตามหาคนร้ายต่างๆ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น เมื่อมีคดีฆาตกรรมเกิดขึ้น สามารถจับกุมคนร้ายได้ถึงร้อยละ 90 โดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

นิติวิทยาศาสตร์เป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดีความเพื่อผลในการบังคับใช้กฎหมายและการลงโทษ เช่น การตรวจสถานที่เกิดเหตุ และการถ่ายรูป (Crime Scene Investigation and Forensic) การตรวจลายนิ้วมือ ฝ่ามือ ฝ่าเท้า (Fingerprint, Palmprint, Footprint) การตรวจเอกสาร (Document) การตรวจอาวุธปืน และกระสุนปืนของกลาง (Forensic Ballistics) การตรวจทางเคมี (Forensic Chemistry) การตรวจทางฟิสิกส์ (Forensic Physics) การตรวจทางชีววิทยา (Biological Trace Evidence) และการตรวจทางนิติเวช (Forensic Medicine) ได้แก่ งานนิติพยาธิ งานนิติวิทยา งานชีวเคมี งานพิสูจน์บุคคล งานภาพทางการแพทย์

การตรวจวัตถุพยานประเภทเส้นใยนั้นว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะสามารถพบได้ทั่วไปในที่เกิดเหตุ ซึ่งเส้นใยมีลักษณะที่เล็ก และสามารถถ่ายทอดจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ง่าย แต่ทว่าการนำความรู้ทางด้านจุลทรรศน์วิทยามาใช้กับเส้นใยในงานนิติวิทยาศาสตร์ยังไม่แพร่หลายและยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจที่จะได้ศึกษาและทำการทดลองเพื่อสามารถ

นำคุณสมบัติทางแสงและทางเคมีมาใช้ในการระบุประเภทเส้นใยธรรมชาติประเภทต่างๆ ได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาและจำแนกคุณสมบัติทางเคมีแบบเฉพาะเจาะจงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่พบในประเทศไทย

2.2 เพื่อนำองค์ประกอบทางเคมีที่พบในเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ไปใช้ในการตรวจคุณลักษณะเฉพาะทางเคมี เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์

2.3 เพื่อนำเสนอแนวทางในการพัฒนาการตรวจเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำในงานนิติวิทยาศาสตร์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สายพิน สืบสันติกุล (2549) [1] ศึกษาเรื่อง การศึกษาองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ประกอบกับ Energy Dispersive Spectrometer เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายลักษณะเส้นใยและสเปกตรัมของตัวอย่างกับภาพถ่ายและสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง พบว่า มีลักษณะแบนยาวและเป็นท่อนคล้ายท่อซึ่งไม่เหมือนเส้นใยแอสเบสตอสที่เป็นส่วนประกอบของผ้าเบรกรถยนต์โดยทั่วไป เส้นใยเหล่านี้มีธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบ คือ แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิคอน แคลเซียม และเหล็ก คล้ายองค์ประกอบของเส้นใยแอสเบสตอส แต่อัตราส่วนความสูงของพีก (Peak Height) ของธาตุแต่ละธาตุแตกต่างจากเส้นใยแอสเบสตอส และจากการวิเคราะห์ด้วย X-ray Diffraction ไม่พบพีกที่ตรงกับพีกของแอสเบสตอส จึงสรุปได้ว่าเส้นใยที่พบในผ้าเบรกรถยนต์ที่ได้วิเคราะห์ทดสอบไม่ใช่แอสเบสตอส

ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่มีธาตุเหล็กและไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก ผลจากการศึกษาองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์สามารถนำไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ทดสอบองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา แผ่นผ้าเตทานเก็บเสียงกันความร้อน ผนังกันห้อง เส้นเชือกฉนวนกันความร้อน และแป้งเด็ก ได้อีกด้วย

จารุวรรณ อัมพฤกษ์ (2555) [2] ศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้ผ้าฝ้าย เส้นใยขนุน ผ้าลูกไม้ทำจากผ้าฝ้าย ผ้าป่าน ผ้าลินิน ผ้าโซลอน ผ้าชีฟอง ผ้าเครปซาติน และผ้าไหม ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance (ATR-FTIR) จากผลการทดลองพบว่า หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏใน Spectrum สามารถจำแนกและแบ่งเส้นใยออกได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ได้แก่ เส้นใยฝ้าย ป่าน ขุน และลินิน ซึ่ง Spectrum ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับเซลลูโลส กลุ่มที่สองคือ ผ้าไหม โดย Spectrum ของผ้าไหมตัวอย่างมีพีคของกลุ่มเอไมด์ที่เลขคลื่น 1650 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ และในกลุ่มสุดท้ายเป็นตัวอย่างที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งเห็นได้จากพีคของหมู่เอสเตอร์ที่เลขคลื่น 1735 cm^{-1} ใน Spectrum ของตัวอย่าง ผ้าในกลุ่มนี้คือ ผ้าชีฟอง ผ้าโซลอน และผ้าเครปซาติน ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค ATR-FTIR เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบผ้าและเส้นใยทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

กรชูลี พนาพิทักษ์กุล และคณะ (2557) [3] ได้ศึกษาการเตรียมและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิสไตรีน/พอลิอะนิลีนโดยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าจากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของพอลิสไตรีนและพอลิสไตรีน/พอลิอะนิลีนในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูราน (THF) ที่ความเข้มข้นของพอลิสไตรีน 30% w/w และพอลิสไตรีน 30% w/w ผสมด้วยพอลิอะนิลีน 3, 5 และ 7% w/w โดยใช้ความต่างศักย์ 10 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็ม

และแผ่นรองรับ 20-25 เซนติเมตร อัตราเร็วในการปล่อยสาร 1-2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง นำเส้นใยที่ผลิตได้ไปสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยที่ได้ของพอลิสไตรีนมีลักษณะแบนเรียบสม่ำเสมอ ขนาด 10-20 ไมโครเมตร ส่วนเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีน/พอลิอะนิลีนลักษณะเส้นใยที่มีปมผสมอยู่ ขนาดของเส้นใยเล็กลง ปริมาณปมที่เกิดขึ้นอยู่กับร้อยละของพอลิอะนิลีนที่ผสมและเวลาที่ใช้ในการผสมสาร ถ้าใช้เวลาในการผสมพอลิอะนิลีนในสารละลายพอลิสไตรีนนานขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ได้มีปมน้อยลงไปมาก แต่ถ้าใช้เวลาในการผสมนานเกินไปสารละลายจะมีความเข้มข้นสูงจนไม่สามารถปั่นเป็นเส้นใยได้

Wanagho และคณะ (1989) [4] ได้ทำการศึกษาการกระจายของอนุภาคดินโดยใช้เทคนิคทางจุลทรรศน์ ซึ่งการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคเป็นเทคนิคที่ต้องใช้ความชำนาญและความเชี่ยวชาญเป็นอย่างสูง แต่สามารถที่จะนำเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพเข้ามาช่วยเพื่อทำให้ขั้นตอนง่ายและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งตัวอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่วนที่ใช้เป็นสัญญาณภาพในเชิงปริมาณได้ซึ่งขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์จะอยู่ระหว่าง 0.4-150 ไมโครเมตร

Cho และคณะ (2001) [5] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค ATR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นใยโดยเฉพาะเมื่อเส้นใยที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ทราบสมิซชันสเปกตรัมที่อ่านค่าได้ยาก เทคนิคนี้ สามารถใช้ในการวิเคราะห์เส้นใยเพื่อให้สามารถทราบค่าของเส้นใย เช่น ค่าสปินแอนโทสเดติก หรือ เพอร์มาเนนท์เพรสของเส้นใย ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจเอกลักษณ์ของเส้นใยที่มีประสิทธิภาพ

Houck (2003) [6] ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวัตถุดิบประเภทเส้นใย ซึ่งได้จากของเพียงหนึ่งชิ้นจากทั้งหมด 20 คติโดยแบ่งเป็น คติปล้นทรัพย์ คติฆาตกรรม

และคดีลักพาตัว โดยใช้เทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ และไมโครสเปกโตรมิเตอร์ โดยพบว่าสามารถจำแนกไฟเบอร์ได้โดยแบ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ และใช้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สีย้อมและลักษณะทางโพลิมอร์ โดยพบว่าสามารถนำเส้นใยมาใช้ในการจำแนกวัตถุพยานที่แตกต่างกันในแต่ละกรณีได้

Li-Ling Cho (2007) [7] ทำการศึกษา เรื่องการจำแนกชนิดเส้นใยด้วยเทคนิควิธี Raman Microspectroscopy โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเส้นใยฝ้าย เรยอน ขนสัตว์ เส้นใยไหม โพลีเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิก และโมดาคไรลิก ซึ่ง วิธี Raman Microspectroscopy ใช้วิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของเส้นใยและสามารถใช้ตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานที่มีขนาดเล็กได้ จากผลการทดลองพบว่า เส้นใยแต่ละชนิดจะมี Spectrum แตกต่างกัน โดยเส้นใยที่มีโพลิมอร์ชนิดเดียวกันจะมี Spectrum เป็นแบบเดียวกันถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

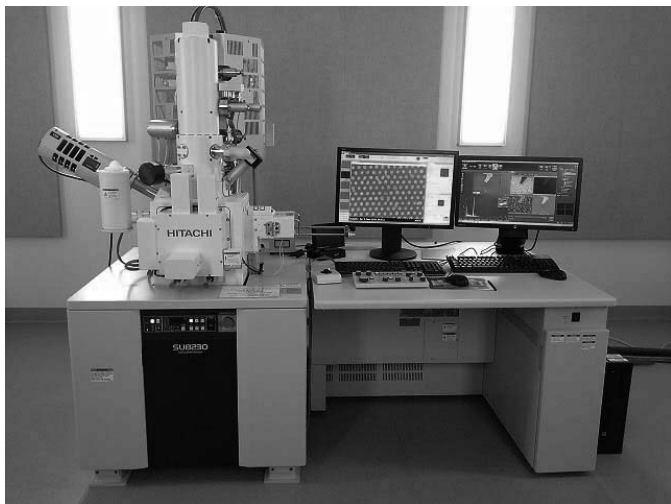
D. A. Stoney และ P. L. Stoney (2012) [8] ทำการตรวจวิเคราะห์อนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Very Small Particles: VSP) ที่ติดอยู่บนพื้นผิวของพรม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเส้นใยไนลอนและมีรูปร่างตัดของเส้นใยเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยใช้ตัวอย่างพรมจำนวน 120 ตัวอย่าง นำมาจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ที่ทำงาน และรถยนต์ ใช้เทคนิค SEM ในการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา และใช้เทคนิค EDS ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า สามารถจำแนกชนิดของอนุภาคขนาดเล็กที่ติดอยู่บนพรมได้ด้วยเทคนิค SEM/EDS โดยใช้การสกัดตัวอย่างด้วยเอทานอลและกรองด้วย โพลีคาร์บอนเนต ซึ่งการตรวจวิเคราะห์อนุภาคขนาดเล็กบนพรม นั้นได้ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการตรวจวิเคราะห์วัตถุพยานในกระบวนการยุติธรรม การวิจัยนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการตรวจวัตถุพยานประเภทอื่นๆ ฐานข้อมูลที่ได้จากการตรวจอนุภาคขนาดเล็กบนพรมนั้นสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับวัตถุพยานที่พบในสถานที่เกิดเหตุได้

4. วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาและจำแนกคุณสมบัติทางเคมีแบบเฉพาะเจาะจงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่พบในประเทศไทย และนำองค์ประกอบทางเคมีที่พบในเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ไปใช้ในการตรวจคุณลักษณะเฉพาะทางเคมีรวมทั้งนำเสนอแนวทางในการพัฒนาการตรวจเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้ Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS) รุ่น SU 8230 กลุ่มตัวอย่างเส้นใยที่นำมาวิจัยในครั้งนี้มีทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) กัญชง (Hemp) ไหม (Silk) ขนสัตว์ (Wool) ไนลอน (Nylon) โพลีเอสเตอร์ (Polyester) โมดาคไรลิก (Modacrylic) อะคริลิก (Acrylic) และเรยอน (Rayon)

4.1 วิธีการวิจัย

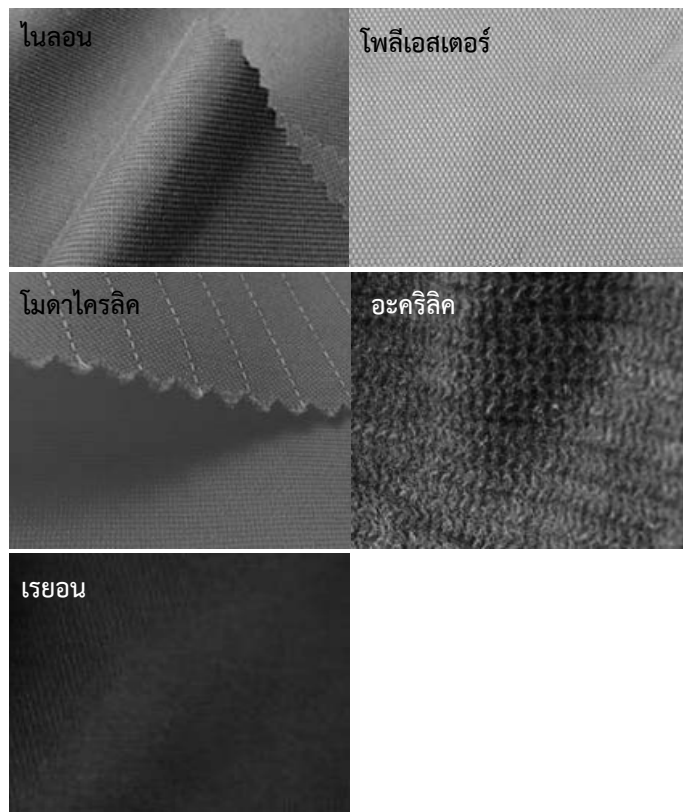
เตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบ โดยตัดชิ้นทดสอบจากผ้าตัวอย่างทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยฝ้าย ไหม กัญชง ขนสัตว์ ไนลอน โพลีเอสเตอร์ โมดาคไรลิก อะคริลิก และเรยอน ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 5x5 เซนติเมตร ใช้ปากคีบดึงเส้นใยตัวอย่างออก จำนวน 1 เส้นแล้วติดลงบนแผ่น stub จากนั้นนำไปศึกษาวิเคราะห์ลักษณะเส้นใย ขนาดเส้นใย ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ ด้วยเครื่อง SEM/EDS โดยทำการวัดตัวอย่างละ 5 ซ้ำ



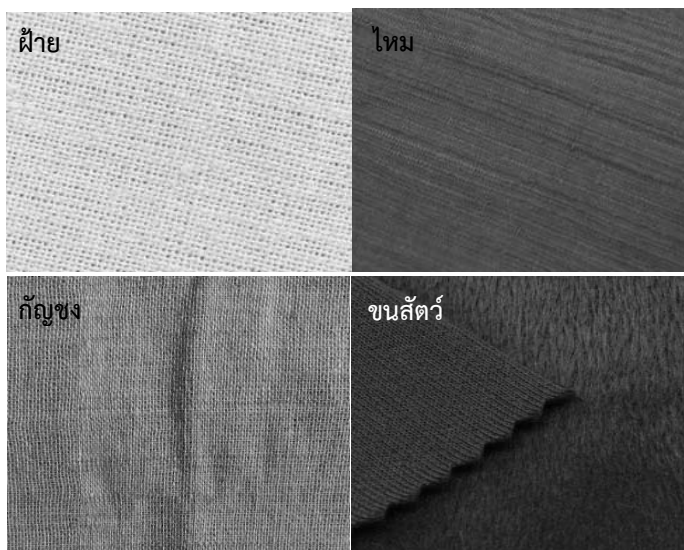
ภาพที่ 1 เครื่อง SEM รุ่น SU 8230

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

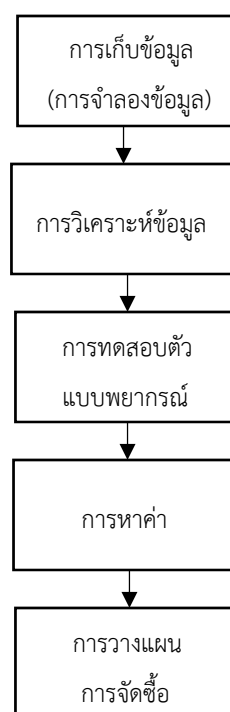
สถิติที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยแต่ละชนิด



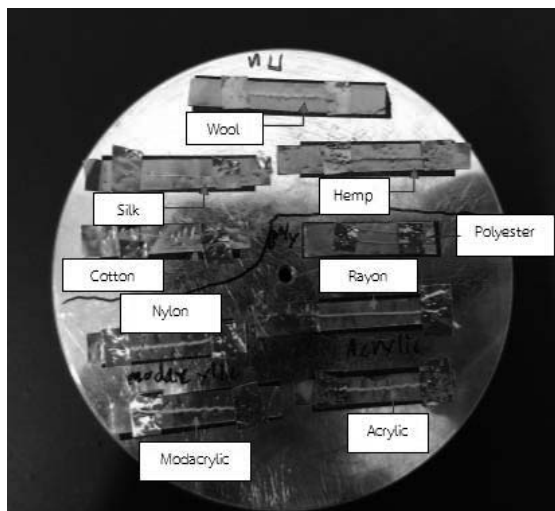
ภาพที่ 3 ตัวอย่างผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 2 ตัวอย่างผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย



ภาพที่ 4 การเตรียมเส้นใยตัวอย่างทดสอบ

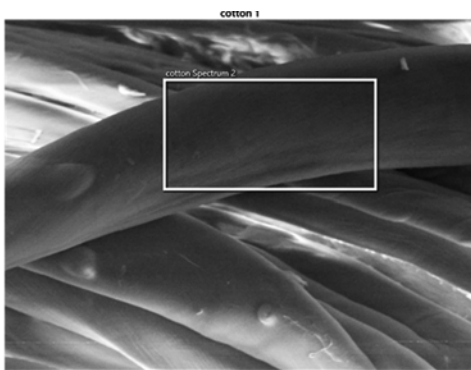
5. ผลการศึกษา

5.1 เส้นใยธรรมชาติ

ในการวิจัยนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) กัญชง (Hemp) ไหม (Silk) และขนสัตว์ (Wool) เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติตัวอย่างด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) ได้ผลการทดลองดังนี้

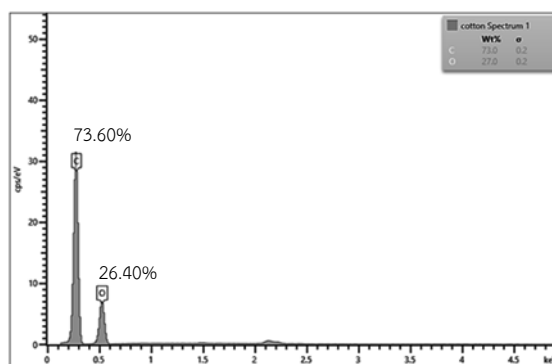
5.1.1 ฝ้าย (Cotton)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายด้วยวิธี SEM

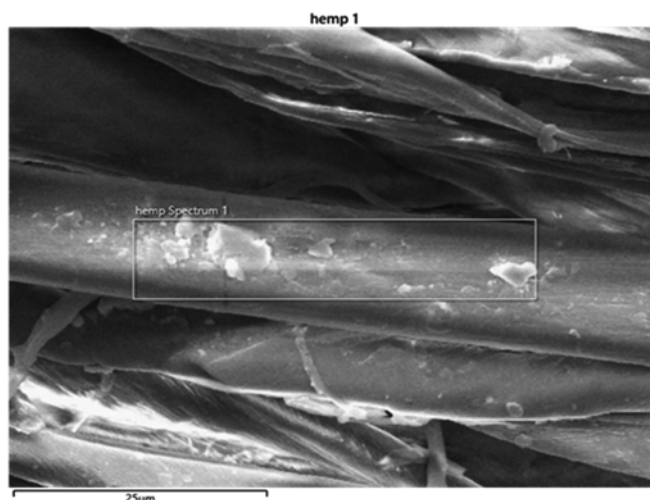
เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้ายตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 73.60% และ 26.40% ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.17 ของทั้ง 2 ธาตุองค์ประกอบ



ภาพที่ 6 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยฝ้าย

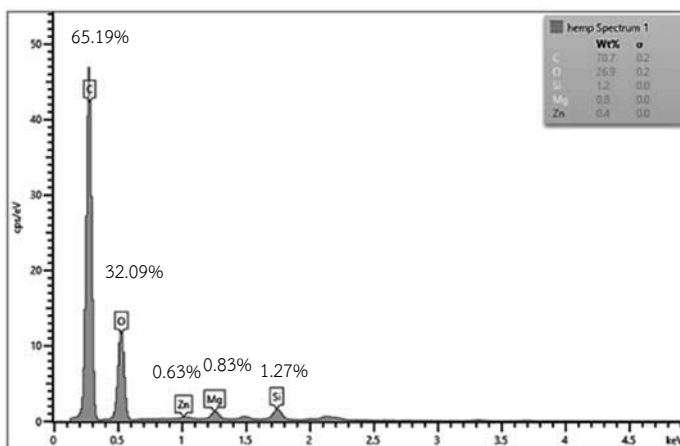
5.1.2 กัญชง (Hemp)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยกัญชงด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยกัญชงด้วยวิธี SEM

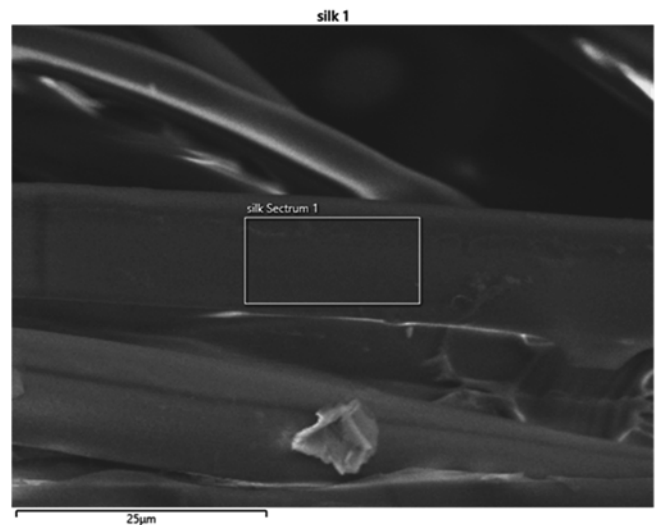
เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วยตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 5 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 65.19% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 6.76 ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 32.09% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 6.77 แมกนีเซียม (Mg) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.83% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.09 ซิลิกอน (Si) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.27% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.07 และสังกะสี (Zn) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.63% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.27



ภาพที่ 8 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย

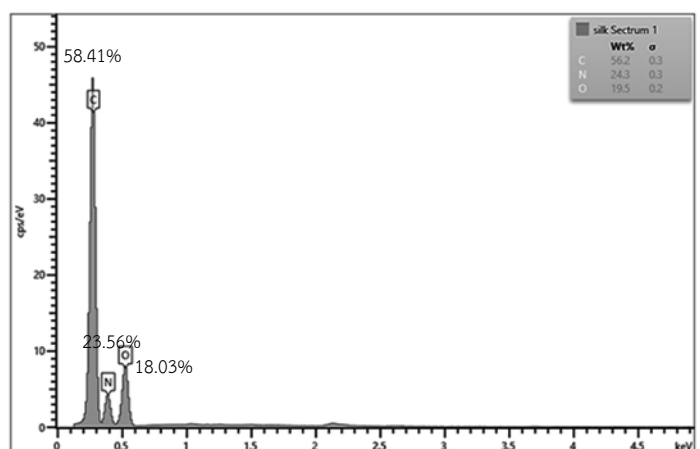
5.1.3 ไหม (Silk)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมด้วยวิธี SEM

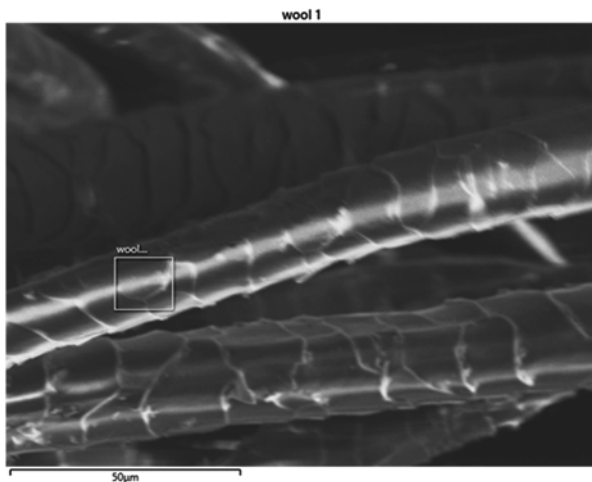
เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นไหมตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 58.41% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 6.72 ไนโตรเจน (N) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 23.56% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 4.18 และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 18.03% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.64



ภาพที่ 10 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นไหม

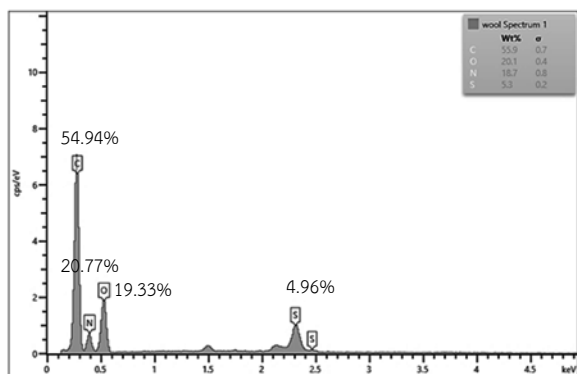
5.1.4 ขนสัตว์ (Wool)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยขนสัตว์ด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยขนสัตว์ ด้วยวิธี SEM

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยขนสัตว์ด้วยวิธี EDS พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 54.94% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.12 ไนโตรเจน (N) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 20.77% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 5.16 ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 19.33% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.76 และกำมะถัน (S) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 4.96% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.59



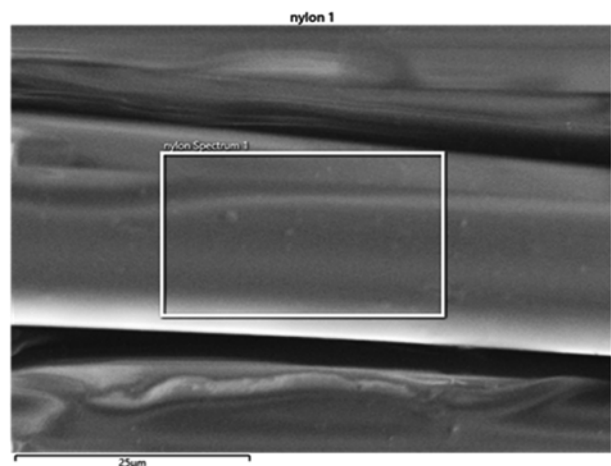
ภาพที่ 12 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยขนสัตว์

5.2 เส้นใยสังเคราะห์

ในการวิจัยนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเส้นใยสังเคราะห์ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไนลอน (Nylon) โพลีเอสเตอร์ (Polyester) โมดาโครลิก (Modacrylic) อะคริลิก (Acrylic) และเรยอน (Rayon) เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) ได้ผลการทดลองดังนี้

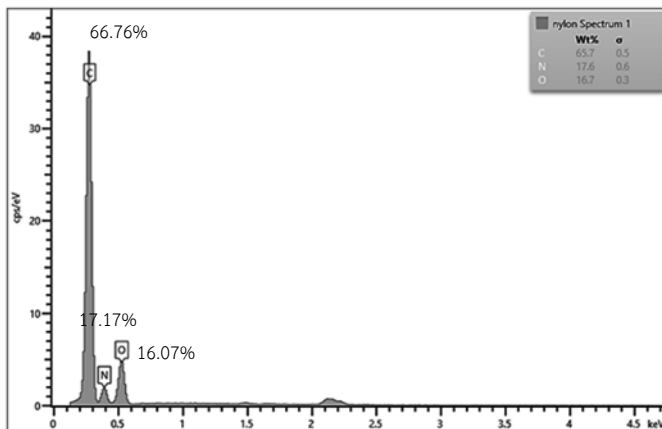
5.2.1 ไนลอน (Nylon)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไนลอนด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 13

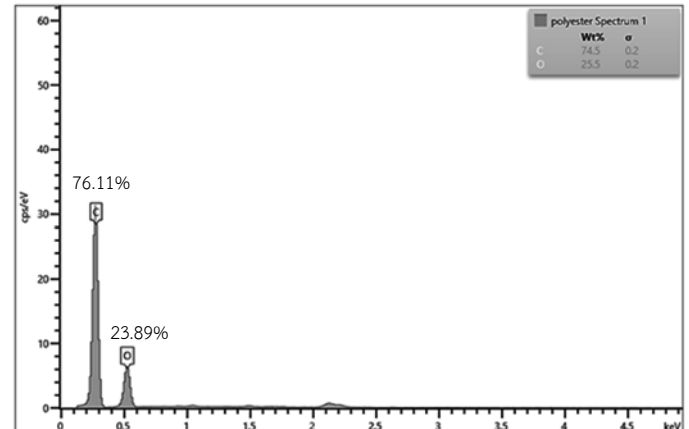


ภาพที่ 13 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไนลอนด้วยวิธี SEM

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยไนลอนด้วยวิธี EDS พบว่ามีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 66.76% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.59 ไนโตรเจน (N) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 17.17% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.84 และออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 16.07% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.78



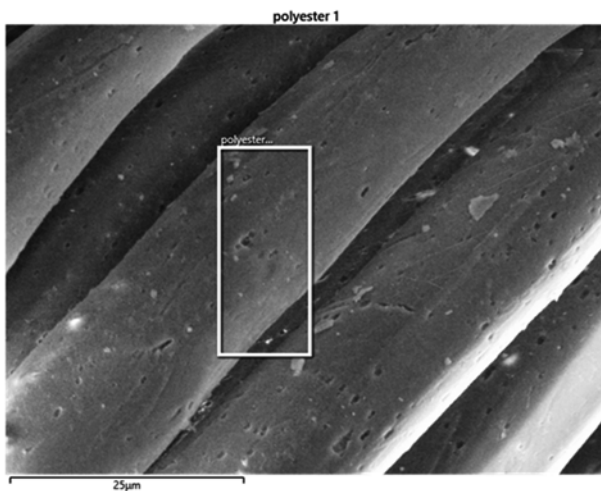
ภาพที่ 14 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยไนลอน



ภาพที่ 16 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยโพลีเอสเตอร์

5.2.2 โพลีเอสเตอร์ (Polyester)

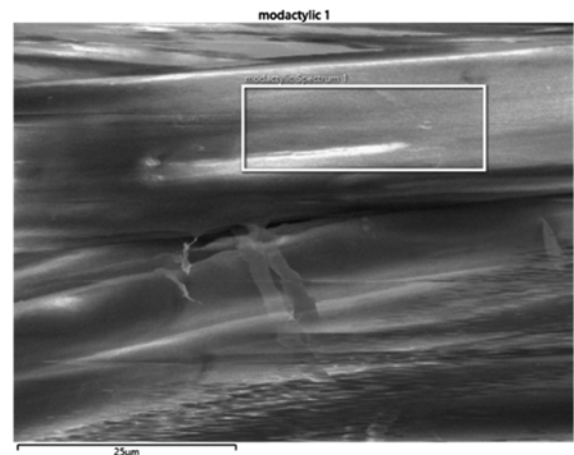
จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ด้วยวิธี SEM

5.2.3 โมดาไครลิก (Modacrylic)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยโมดาไครลิก ด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 17

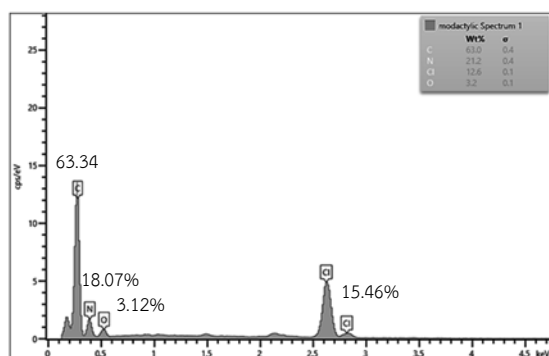


ภาพที่ 17 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยโมดาไครลิกด้วยวิธี SEM

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 76.11% และ 23.89% ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.47 ของทั้ง 2 ธาตุองค์ประกอบ

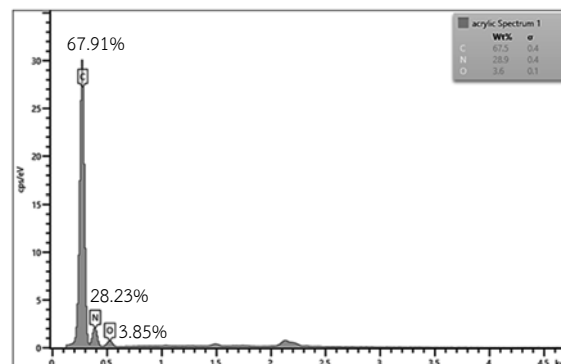
เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยโมดาไครลิกตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 63.34% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.67 ไนโตรเจน (N) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 18.07% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.84 ออกซิเจน (O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.12% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่

0.17 และคลอรีน (Cl) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 15.46% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.95



ภาพที่ 18 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยโพลิอิมิดาโครลิก

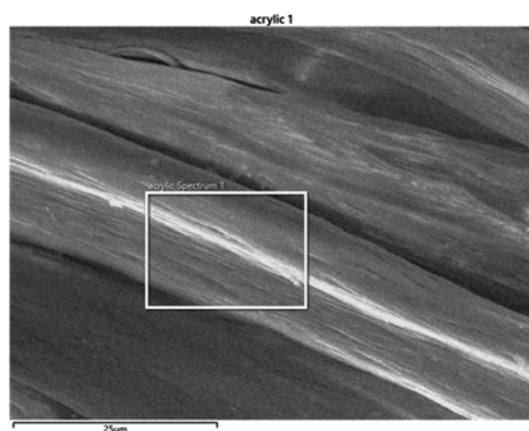
ปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.85% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.23



ภาพที่ 20 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยอะคริลิก

5.2.4 อะคริลิก (Acrylic)

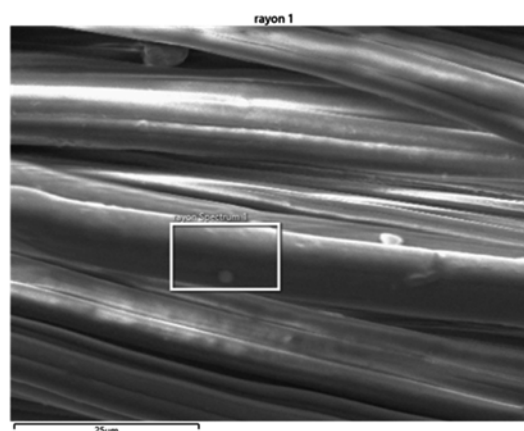
จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอะคริลิก ด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอะคริลิกด้วยวิธี SEM

5.2.5 เรยอน (Rayon)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยเรยอน ด้วยวิธี SEM ได้ผลดังภาพที่ 21



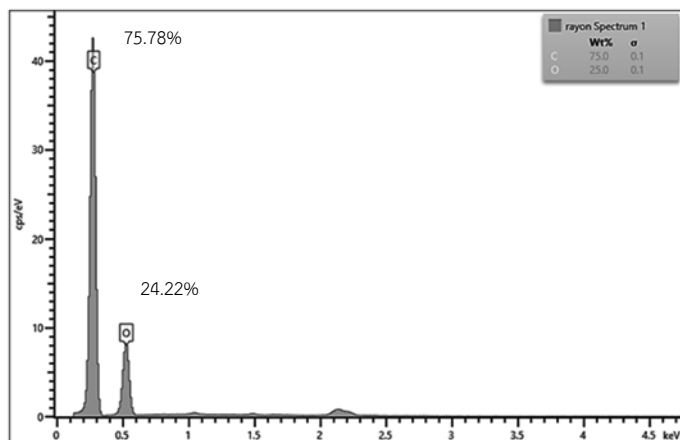
ภาพที่ 21 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยเรยอนด้วยวิธี SEM

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอะคริลิกตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 67.91% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 3.37 ไนโตรเจน (N) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 28.23% มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 3.35 และออกซิเจน (O) มี

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเรยอนตัวอย่างด้วยวิธี EDS พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 75.78% และ 24.22% ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.77 ของทั้ง 2 ธาตุองค์ประกอบ

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรม และการศึกษาศีรษะทางเคมี และองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

ประเภทของเส้นใย	ชนิดเส้นใย	ลักษณะทางกายภาพ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (Wt%)							
			C	O	Mg	Si	Zn	N	S	Cl
เส้นใยธรรมชาติ	ฝ้าย	พื้นผิวไม่เรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	73.60	26.40	-	-	-	-	-	-
	กัญชง	พื้นผิวไม่เรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	65.19	32.09	0.83	1.27	0.63	-	-	-
	ไหม	พื้นผิวเรียบ มีความมันวาว	58.41	18.03	-	-	-	23.56	-	-
	ขนสัตว์	พื้นผิวไม่เรียบ มีเกล็ดเรียงซ้อนกัน	54.94	19.33	-	-	-	20.77	4.96	-
	ไนลอน	พื้นผิวเรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	66.76	16.07	-	-	-	17.17	-	-
เส้นใยสังเคราะห์	โพลีเอสเตอร์	พื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบ	76.11	23.89	-	-	-	-	-	-
	โมดาคีรลิต	พื้นผิวเรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	63.34	3.12	-	-	-	18.07	-	15.46
	อะคริลิต	พื้นผิวเรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	67.91	3.85	-	-	-	28.23	-	-
	เรยอน	พื้นผิวเรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย	75.78	24.22	-	-	-	-	-	-



ภาพที่ 22 สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบของเส้นใยเรยอน

6. สรุปและอภิปรายผล

เมื่อทำการศึกษาลักษณะทางพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ ฝ้าย กัญชง ไหม และขนสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ ไนลอน โพลีเอสเตอร์ โมตาไครลิก อะคริลิก และเรยอน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) จากนั้นทำการศึกษาธาตุองค์ประกอบ ด้วยวิธี Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่า เส้นใยไหมมีลักษณะพื้นผิวเรียบ มีความมันวาว เส้นใยฝ้ายและกัญชงมีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย ส่วนเส้นใยขนสัตว์มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ มีเกล็ดเรียงซ้อนกัน จากนั้นทำการศึกษาธาตุองค์ประกอบ ด้วยวิธี Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) พบว่า เส้นใยกัญชงมีธาตุองค์ประกอบหลัก 5 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 65.19% ออกซิเจน (O) 32.09% แมกนีเซียม (Mg) 0.83% ซิลิกอน (Si) 1.27% และสังกะสี (Zn) 0.63% เส้นใยขนสัตว์มีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 54.94% ออกซิเจน (O) 19.33% ไนโตรเจน (N) 20.77% และกำมะถัน (S) 4.96% เส้นใยไหมมีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 58.41% ออกซิเจน (O) 18.03% และไนโตรเจน (N) 23.56% และเส้นใยฝ้ายมีธาตุองค์

ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 73.60% และออกซิเจน (O) 26.40%

เมื่อทำการศึกษาลักษณะทางพื้นผิวของเส้นใยสังเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ ไนลอน โพลีเอสเตอร์ โมตาไครลิก อะคริลิก และเรยอน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า เส้นใยไนลอน โมตาไครลิก อะคริลิก และเรยอนมีลักษณะพื้นผิวเรียบ มีความมันวาวเล็กน้อย ส่วนเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีลักษณะพื้นผิวขรุขระไม่เรียบ จากนั้นทำการศึกษาธาตุองค์ประกอบ ด้วยวิธี Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) พบว่า เส้นใยโโมตาไครลิกมีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 63.34% ออกซิเจน (O) 3.12% ไนโตรเจน (N) 18.07% และคลอรีน (Cl) 15.46% เส้นใยอะคริลิกมีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 67.91% ออกซิเจน (O) 3.85% และไนโตรเจน (N) 28.23% เส้นใยไนลอนมีธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 66.76% ออกซิเจน (O) 16.07% และไนโตรเจน (N) 17.17% เส้นใยโพลีเอสเตอร์มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 76.11% และออกซิเจน (O) 23.89% และเส้นใยเรยอนมีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) 75.78% และออกซิเจน (O) 24.22%

เทคนิควิธีการตรวจวิเคราะห์เส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์มีหลากหลายวิธีที่ไม่ทำลายวัตถุพยาน เช่น เทคนิควิธี Polarized Light Microscopy (PLM), Infrared Microspectroscopy, Microspectrophotometry (MSP) และ Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) ซึ่งเส้นใยนี้นั้นเป็นวัตถุพยานชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ดังนั้นการตรวจเปรียบเทียบคุณลักษณะความเหมือนหรือแตกต่างของเส้นใยที่พบในสถานที่เกิดเหตุกับเส้นใยตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องมีการรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยให้คงอยู่ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาถึงคุณค่าของวัตถุพยาน

ในกระบวนการพิจารณาคุณสมบัติของศาลเป็นอย่างมาก เทคนิควิธีการตรวจวิเคราะห์เส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์นั้นสามารถใช้ทดสอบดูความแตกต่างของรูปร่างเส้นใย ชนิดของเส้นใย (ใยธรรมชาติหรือใยสังเคราะห์) รูปแบบการหักทอ สีของเส้นใย ตลอดจนธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแต่ละชนิดได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้จำแนกชนิดของเส้นใยออกจากกันได้ [9]

ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะทางพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีที่พบในเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) จากผลการวิจัยพบว่า เส้นใยไหมซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะพื้นผิวเรียบ และมีความมันวาวมากกว่าเส้นใยฝ้าย และกัญชง เนื่องจากเส้นใยไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่ได้จากรัง (Cocoon) ของไหม มีองค์ประกอบจากโปรตีน 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใยไหม ที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) ประมาณ 62.5-67.0% เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำและน้ำร้อน ซึ่งไฟโบรอินเป็นพอลิเปปไทด์สายตรงที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน จำนวน 17 ตัว ได้แก่ อะลานีน (Ala) ไกลซีน (Gly) ซีรีน (Ser) และไทโรซีน (Thy) เป็นต้น และกาไหม ซึ่งมีชื่อเรียกว่า เซรีซิน (Sericin) ประมาณ 23.0-27.5% เป็นโปรตีนเชิงซ้อน (Complex Protein) ที่เคลือบเส้นใยไฟโบรอิน ทำให้เส้นใยไหมที่สาวจากรังไหมแต่ละรังเชื่อมรวมเป็นเส้นเดียวกันได้ และส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ไขมัน แวกซ์ (Cere) สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) สารสี (Pigment) และปริมาณเถ้า (Ash)

โดยปกติเส้นใยไหมดิบจะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระไม่เรียบ แต่ระหว่างกระบวนการต้มรังไหมในขั้นตอนการสาวไหมนั้น เซรีซินจะถูกชะล้างออกไป เป็นผลให้พื้นผิวของเส้นใยไหมมีลักษณะเรียบมากขึ้น [10] [11] [12] ส่วนความมันวาวของเส้นใย (Luster) เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแสงที่ถูกสะท้อนกลับโดยผิวหน้าของผ้า ซึ่งผ้าที่สะท้อนแสงกลับออกมามากก็จะมีค่าความมันวาวมากขึ้นขึ้นอยู่กับลักษณะผิวหน้าของเส้นใย สารเติมแต่งและ

โครงสร้างของผ้า เส้นใยไหมมีความมันวาวสูงก็เนื่องมาจากเส้นใยไหมมีผิวหน้าที่เรียบและเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Filament) [13] ส่วนความมันวาวในเส้นใยสังเคราะห์นั้นผู้ผลิตสามารถควบคุมความมันวาวของเส้นใยได้โดยการควบคุมปริมาณของสีที่ผสมหรือการเติมสารลดความมัน ซึ่งก็คือไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ลงไปในกระบวนการผลิต [14]

เส้นใยฝ้ายและกัญชงเป็นเส้นใยที่ได้จากพืชเป็นเส้นใยเซลลูโลส [15] โครงสร้างของโมเลกุลจะประกอบด้วยกลุ่มแอนไฮโดรกลูโคสเกาะเกี่ยวกันเป็นสายโซ่ยาว โมเลกุลใหญ่ กลูโคสแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

เส้นใยขนสัตว์มีองค์ประกอบเป็นเกล็ดแข็งของโปรตีนที่เรียกว่า เคราติน ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดเดียวกันกับที่เป็นองค์ประกอบของเล็บ เกล็ดเคราตินในเส้นใยขนสัตว์จะมีการวางตัวเรียงซ้อนทับกันเหมือนแผ่นกระเบื้อง เคราตินมีโครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสเตอีน ซึ่งมีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโมเลกุล [16] ซิสเตอีน 2 โมเลกุลรวมตัวกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (S-S : Disulfide Bond) จะเป็นโมเลกุลของซิสทีน (Cystine)

สำหรับเส้นใยไนลอนเป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก เป็นโพลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-Crystalline) ที่มีหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ

เส้นใยอะคริลิกเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างอะครีโลไนไตรล์ 85.8% และมอนอเมอร์ชนิดอื่นๆ เมื่อได้เป็นโพลิเมอร์แล้วจะทำให้เป็นเส้นใยต้องนำไปละลายในไดเมทิลฟอร์มาไรด์แล้วจึงอัดเป็นเส้นใย เมื่อตัวทำละลายระเหยไปก็จะได้เส้นใยอะคริลิก เส้นใยอะคริลิกจึงมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

เส้นใยโมดาคไรลิกเป็นเส้นใยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับอะคริลิก แต่มีส่วนผสมต่างกันคือ เป็นเส้นใยที่มีโพลิเมอร์ประกอบด้วย ไวนิลคลอไรด์ 60% และอะครีโลไนไตรล์ 40% จึงมีธาตุไนโตรเจนและคลอรีนเป็นองค์ประกอบในเส้นใยด้วย [17] [18]

7. กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถ การให้คำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิและความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือของ ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และตัวอย่างเส้นใยจากศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุศาสตร์แห่งชาติ (MTEC)

8. บรรณานุกรม

- (1) สายพิน สืบสันติกุล, "การศึกษาองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์," เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2. กองฟิล์มและวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ 2549.
- (2) จารวรรณ อัมพฤกษ์, "การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)." การค้นคว้าอิสระปริญญาโท สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555.
- (3) กรจุลี พนาพิทักษ์กุล, กัลยา เอื้อประเสริฐศักดิ์, มนุ เพ็ญพุ่ม, "การเตรียมและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิไธรีน/พอลิอะนิลีนโดยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 22, ฉบับที่ 6, หน้า 767-774, 2557.
- (4) S. Wanagho, G. Gettingby, B. Caddey, J. Robertson, "Determination of particle size distribution of soils in forensic science using classical and modern instrumental methods." *Journal of Forensic Sciences* 34, vol. 4, pp. 823-835, 1989.
- (5) Cho et al., "Single fiber analysis by internal reflection infrared microspectroscopy." *Journal of Forensic Science* 46, vol. 6, pp. 1309-1314, 2001.
- (6) M. M. Houck, "Inter-comparison of unrelated fiber evidence." *Forensic Science International*, vol. 135, pp. 146-149, 2003.
- (7) L. L. Cho, "Identification of textile fiber by Raman microspectroscopy." *Forensic Science Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 55-62, 2007.
- (8) D. A. Stoney, P. L. Stoney, "Use of Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy (SEM/EDS) Methods for the Analysis of Small Particles Adhering to Carpet Fiber Surfaces as a Mean to Test Associations of Trace Evidence in a Way that is Independent of Manufactured Characteristics," Research report submitted to the U.S. Department of Justice, 2012.
- (9) Appalaneni, Krishnaveni. "Non-destructive Analysis of Trace Textile Fiber Evidence Via Roomtemperature Fluorescence Spectroscopy," Doctoral Dissertation, Department of Chemistry, University of Central Florida, 2013.
- (10) วิโรจน์ แก้วเรือง, (1 สิงหาคม 2562) โหม...คุณประโยชน์ที่ค้นพบอย่างไม่จบสิ้น ตอนที่ 1, 2555, (Online). แหล่งที่มา: www.gotoknow.org/posts/451359
- (11) วิศิษฐ์ แวสูงเนิน, "การเพิ่มสมบัติการใช้งานเส้นใยไหมธรรมชาติโดยวิธีการดัดแปรทางเคมี" รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- (12) วิทยาลัยการอาชีพขอนแก่น, (1 สิงหาคม 2562) เส้นใยไหม, 2556, (Online). แหล่งที่มา: www.kknac.ac.th/salamai/page/m9.htm
- (13) ไรจน์ฤทธิ์ ไรจน์ธเนศ, ภัฏฐพร พิมพะ, (ม.ป.ป.). ปฏิบัติการเตรียมเส้นใยเรยอน. คู่มือสื่อการสอนวิชาเคมีโดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและคณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (14) บุรินทร์ พุทธิโชติ, (ม.ป.ป.), (1 สิงหาคม 2562) การผลิตเส้นใยสมรรถนะสูง (High Performance Fibers) เพื่อการปฏิรูปอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม, (Online). แหล่งที่มา: www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/article/high_performance_fibers.pdf
- (15) ดนตรี จิรภัทรพิมล, (ม.ป.ป.), (1 สิงหาคม 2562) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยและการดูแลรักษา, (Online). แหล่งที่มา: www.human.cmu.ac.th/home/hc/ebook/006103/lesson2/02.htm
- (16) อภิชาติ สนธิสมบัติ, (12 ตุลาคม 2562) สมบัติของเส้นใยสิ่งทอ, 2555, (Online). แหล่งที่มา: http://www.ftcexpert.com/2012/Powerpoint/Intro_cotton_flax_wool_silk.pdf
- (17) ไรจน์ฤทธิ์ ไรจน์ธเนศ, ภัฏฐพร พิมพะ, (ม.ป.ป.). ปฏิบัติการเตรียมเส้นใยเรยอน. คู่มือสื่อการสอนวิชาเคมีโดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (18) นพภาพร พานิช และคณะ, (ม.ป.ป.), (1 สิงหาคม 2562) Acrylonitrile, (Online). แหล่งที่มา: www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/I3acrylonitrile.htm