การใช้วิธี ATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

โดย
นางสาวสุธีรา ธรรมจง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การใช้วิธี ATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

โดย
นางสาวสุธีรา ธรรมจง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ATR-FTIR ANALYSIS OF FABRICS AND THEIR THERMALLY TREATED SAMPLES FOR FORENSIC EXAMINATION

By

MISS Suthera THAMMAJONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FORENSIC SCIENCE)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การใช้วิธี ATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์
โดย	สุธีรา ธรรมจง
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย)

58312312 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : เทคนิค ATR-FTIR, ผ้า, เส้นใย

นางสาว สุธีรา ธรรมจง: การใช้วิธี ATR-FTIR spectrophotometry ในการวิเคราะห์ผ้าและตัวอย่างผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อจำแนกผ้าและตรวจสอบผ้าที่ถูกทำลายจากความร้อนโดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection - Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) สำหรับการทดสอบจะเลือกผ้าตัวอย่าง 12 ชิ้น ของผ้าคอตตอน 100% ไนลอน 100% อะคริลิก 100% ผ้าโพลิเอสเตอร์ 100% ไหม 100% และผ้าผสมโพลิเอสเตอร์ 65% กับ คอตตอน 35% สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่างผ้าสามารถใช้ระบุชนิดผ้าจากลักษณะพีค FTIR ของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในตัวอย่าง สเปกตรัมของตัวอย่างผ้าที่ถูกทำให้เสียสภาพด้วยความร้อนแสดงให้เห็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ปรากฏขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของการประยุกต์ทางความร้อนคือการถูกทำลายการดูดกลืนของพีคนั้นๆ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค ATR-FTIR อาจมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์ของตัวอย่างผ้าและผ้าที่ถูกทำลายโดยความร้อนที่พบในคดีวางเพลิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

58312312 : Major (FORENSIC SCIENCE)

Keyword : ATR-FTIR, Fabrics, Fibers

MISS SUTHERA THAMMAJONG : ATR-FTIR ANALYSIS OF FABRICS AND THEIR THERMALLY TREATED SAMPLES FOR FORENSIC EXAMINATION THESIS ADVISOR : SUPACHAI SUPALAKNARI, Ph.D.

The objective of this study is to identify fabrics and examine thermally treated fabrics using the Attenuated Total Reflection - Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) technique. Twelve samples of 100% cotton, 100% nylon, 100% acrylic, 100% polyester, 65% polyester/35% cotton and 100% silk were selected for examination. The FTIR spectra of the cloth samples can be used to identify the fabric from the characteristic IR peaks of functional groups present in the sample. The spectra of thermally treated samples revealed the deterioration of functional groups due to the effect of heat application as suggested by the diminishing absorption of the characteristic bands. The results in this study demonstrated that the ATR-FTIR technique may be helpful in forensic comparison of fabric samples and thermally changed fabrics found in arson cases.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านและหลายหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุกชัย ศุภลักษณ์นารี ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตั้งแต่เริ่มต้นการเก็บตัวอย่างจนถึงการทดลองในห้องปฏิบัติการ และ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง เรียบร้อยและสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย กรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิด และความช่วยเหลือ ตรวจทานแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้อง เรียบร้อย และสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ รวมถึงผู้สนับสนุนท่านอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมิได้เอ่ยนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนแนะนำและให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุธีรา ธรรมจง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

3. สมมุติฐานของการศึกษา 2

4. ขอบเขตของการศึกษา 2

5. ขั้นตอนการศึกษา 3

6. นิยามศัพท์เฉพาะ 3

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

8. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 5

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

1. ความหมายของเส้นใย 6

2. โครงสร้างของเส้นใย (Fiber Structure) 6

3. ลักษณะการจัดเรียงตัวภายในเส้นใย 7

4. สมบัติของเส้นใย (Fiber Properties) 8
5. การวิเคราะห์เส้นใย (Fiber Identification) 13
6. การแบ่งชนิดเส้นใย (Fibers Classification) 14
7. ความหมายของผ้า 20
8. เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย 21
9.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 25
วิธีดำเนินการวิจัย 25
1. ผ้าที่ใช้ในการทดลอง 25
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 29
3. วิธีการดำเนินการวิจัย 33
บทที่ 4 35
ผลการศึกษา 35
ผลการวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR 35
บทที่ 5 48
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา 48
รายการอ้างอิง 51
ประวัติผู้เขียน 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นการดูดความชื้นได้ที่สภาวะมาตรฐานของชนิดเส้นใยต่าง ๆ 11

ตารางที่ 2 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้รีดกับผ้าที่ผลิตจากเส้นใยชนิดต่าง ๆ 12

ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง 25

ตารางที่ 4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 30

ตารางที่ 5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 32

ตารางที่ 6 หมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏของผ้าแต่ละชนิด 36

ตารางที่ 7 แสดงตำแหน่งพีคในสเปกตรัมที่ถูกทำลายของผ้าที่ถูกเผาไฟ 43

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของ Monomer และ Polymer.....7

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะรูปทรงภาคตัดขวางของเส้นใย (Cross -Sectional Shape).....9

ภาพที่ 3 โครงสร้างของ amino acid.....16

ภาพที่ 4 ภาพตัดขวางโครงสร้างเส้นขน 17

ภาพที่ 5 แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy 22

ภาพที่ 6 ตัวอย่างผ้าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ผ้าฝ้าย a.) ผ้าไหม b.) ผ้าใยบัวเกาหลี c.) 35

ภาพที่ 7 Infrared spectrum ของผ้าฝ้าย cotton 100%.....37

ภาพที่ 8 Infrared spectrum ของผ้าขนหนู (Towel fabric) 37

ภาพที่ 9 Infrared spectrum ของผ้าดิบ TC (Toray tetoron+Cotton).....37

ภาพที่ 10 Infrared spectrum ของผ้าผสม 65% polyester กับ 35% cotton 38

ภาพที่ 11 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%.....38

ภาพที่ 12 Infrared spectrum ของผ้ายืดโพลีเอสเตอร์ (polyester) 38

ภาพที่ 13 Infrared spectrum ของเส้นใย Acrylic fibers 100%.....39

ภาพที่ 14 Infrared spectrum ของผ้าซาติน (Satin fabric).....39

ภาพที่ 15 Infrared spectrum ของผ้าใยบัวเกาหลี (stocking fabric).....39

ภาพที่ 16 Infrared spectrum ของผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric) 40

ภาพที่ 17 Infrared spectrum ของผ้าสักหลาด (Felt fabric).....40

ภาพที่ 18 Infrared spectrum ของผ้าไหม (Silk).....40

ภาพที่ 19 Infrared spectrum ของผ้าไหมที่ถูกให้ความร้อนจากแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 °c

.....41

ภาพที่ 20 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ถูกให้ความร้อนจากแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 ºc โดยที่ ให้ความร้อนที่ 200 ºc เวลา 10 นาที a.) ให้ความร้อนที่ 200 ºc เวลา 20 นาที b.)ให้ความร้อนที่ 200 ºc เวลา 30 นาที c.) 42

ภาพที่ 21 ผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย Hot plate อุณหภูมิ 200 ºc เป็นเวลา 30 นาที ผ้า cotton a.) ผ้าไหม b.) ผ้าซาติน c.).....42

ภาพที่ 22 ผ้าสำหรับวิเคราะห์จำแนกชนิดผ้า ผ้าที่ถูกให้ความร้อนด้วยแท่นให้ความร้อน และผ้าที่ถูกเผาด้วยไฟ ผ้าฝ้ายขนาด ขนาด3x3เซนติเมตรสำหรับใช้วิเคราะห์จำแนกชนิดผ้า a.) ผ้าที่ฝ้ายถูกให้ความร้อน ให้ความร้อนที่ 200 ˚c เป็นเวลา 30นาที b.) ผ้าฝ้ายที่ถูกเผาด้วยไฟจากหัวพ่นแก๊ส c.) 42

ภาพที่ 23 Infrared spectrum ของผ้า Cotton a.) และ ผ้า Cotton ที่ถูกเผาไฟ b.).....44

ภาพที่ 24 Infrared spectrum ของผ้า ไหม a.) และ ผ้า ไหม ที่ถูกเผาไฟ b.).....44

ภาพที่ 25 Infrared spectrum ของผ้าใยบัวเกาหลี a.) และ ผ้าใยบัวเกาหลีที่ถูกเผาไฟ b.) 45

ภาพที่ 26 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ a.) และ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ที่ถูกเผาไฟ b.).....45

ภาพที่ 27 Infrared spectrum ของผ้าผสม65% polyester กับ 35% cotton a.) และผ้าผสม 65% polyester กับ 35% cotton ที่ถูกเผาไฟ b.) จากภาพจะเห็นว่าเมื่อถูกเผา พีคในสเปคตรัมของส่วนที่เป็นผ้า cotton ถูกทำลายจากการเผา แต่พีคในสเปคตรัมของส่วนที่เป็น polyester ยังคงสภาพเดิม .46

ภาพที่ 28 Infrared spectrum ของผ้าที่ถูกเผา ผ้าไหม a.) และผ้าฝ้าย b.).....46

ภาพที่ 29 Infrared spectrum ของผ้าที่ถูกเผาของผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้าโพลิเอสเตอร์ ผ้าใยบัวเกาหลี....47

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาเศรษฐกิจและสังคมในบ้านเมืองนั้นมีส่วนทำให้ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชาชนในปัจจุบันทำเกิดมิจฉาชีพและการก่ออาชญากรรมเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินเพิ่มขึ้น พยานหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสืบสวนเพื่อนำไปสู่กระบวนการจับกุมตัวผู้กระทำผิดเพื่อคลี่คลายคดี พยานหลักฐานหรือ วัตถุพยาน คือสิ่งที่เกี่ยวข้องที่จะเชื่อมโยงกับการเกิดการกระทำผิดต่างๆและหมายถึงสิ่งที่สามารถจับต้องได้ตามกฎหมาย และเป็นสิ่งที่สามารถนำมาเสนอในชั้นศาลเพื่อพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดีได้ และเครื่องช่วยชี้ชัดว่ามีการก่ออาชญากรรมเกิดขึ้นอย่างแน่นอน (พล.ต.อ. อรรถพล แช่มสุวรรณวงศ์และคณะ, 2546) ตามหลักการของ “ Locard Exchange Principle Theory ” ผู้กระทำความผิดมักทิ้งร่องรอยหรือพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ เมื่อวัตถุมีการสัมผัสกันจะมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันจะทำให้สามารถเก็บร่องรอย หรือพยานหลักฐานและอ่านสภาพของสถานที่เกิดเหตุได้นำไปสู่การหาตัวผู้กระทำความผิดและป้องกันผู้บริสุทธิ์จากการถูกกล่าวหาได้ (เชิดพงศ์ ชูกลิ่น, 2558) วัตถุพยานมีหลายประเภท ได้แก่ วัตถุพยานทางชีวภาพ เช่น คราบเลือด คราบน้ำลาย คราบอสุจิ เส้นผม เส้นขน และวัตถุพยานประเภทสิ่งของ เช่น ลูกกระสุน ปลอกกระสุน เสื้อผ้า เส้นใย วัตถุพยานประเภทเส้นใยอาจได้มาจาก พรม เครื่องแต่งกาย เครื่องตกแต่งบ้าน เชือก หรือแม้กระทั่งเส้นใยจากเครื่องนอน ของใช้ส่วนตัว ของใช้ในบ้านอื่นๆ โดยที่เส้นใยต่างๆเหล่านี้อาจเชื่อมโยงไปถึงตัวผู้กระทำความผิดหรือเหยื่อโดยตรงและจากการพัฒนาของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้น อุปกรณ์เหล่านั้นก็ได้ถูกนำมาประยุคใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการพิสูจน์พยานหลักฐาน สำหรับนำมาประกอบการพิจารณาคดีในชั้นศาลได้เป็นอย่างดี เส้นใยธรรมชาติถูกพัฒนาผลิตขึ้นเป็นผ้าเพื่อใช้เพื่อปกปิดร่างกาย ใช้ห่อหุ้มให้ความอบอุ่นแก่ร่างกายจนเป็นสิ่งที่จำเป็นในชีวิตประจำวันมาหลายศตวรรษ ผ้าเกิดจากการถักทอของเส้นใย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เช่น ฝ้าย (cotton) ไหม (silk) ขนแกะ (wool) เป็นต้น และเส้นใยสังเคราะห์ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น (man-made fiber) เช่น โพลิเอสเตอร์ (polyester) โพลิเอไมด์ (polyamide) ไนลอน

(nylon) อะคริลิก (acrylic) เป็นต้น เส้นใยมีลักษณะคุณสมบัติต่างกัน ส่งผลให้ผ้าที่ถักทอจากเส้นใยต่างๆ มีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปด้วย ปัจจุบันมีการนำผ้าหรือเส้นใยมาผลิตเป็นของใช้ต่างๆ มากขึ้น เช่น ผ้าม่าน พรม กระเป๋า รองเท้า อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น จึงทำให้พบพยานหลักฐานที่ชนิดที่เป็นผ้ามีหลากหลายชนิดการสืบสวนโดยนำวัตถุพยานประเภทเส้นใยหรือเศษผ้าที่ได้ในสถานที่เกิดเหตุมาตรวจเปรียบเทียบกับวัตถุพยานรอบๆตัวของผู้ต้องสงสัยว่าเป็นชนิดเดียวกันหรือมีความเชื่อมโยงสนับสนุกหลักฐานอื่นๆ ก็สามารถนำไปใช้เป็นพยานหลักฐานที่มีน้ำหนักประกอบในการพิจารณาตัดสินคดีในชั้นศาลได้

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาจำแนกแยกความแตกต่างของผ้าชนิดต่างๆ และสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของของโครงสร้างผ้าชนิดต่างๆเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิค ATR-FTIRได้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

3. สมมุติฐานของการศึกษา

1. ผ้าต่างชนิดกันที่ผลิตมาจากเส้นใยที่มีความแตกต่างกัน จะมีโครงสร้างองค์ประกอบและคุณสมบัติของผ้าที่แตกต่างกัน

2. เทคนิค ATR-FTIR สามารถใช้วิเคราะห์และจำแนกชนิดของผ้า และ ใช้ศึกษาองค์ประกอบของผ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อนได้

4. ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษาความแตกต่างและจำแนกชนิดของผ้า โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ที่เลขที่คลื่น 4000-650 CM^{-1} และศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของผ้าเมื่อถูกให้ความร้อน

5. ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
3. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย
4. ทำการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลพร้อมข้อเสนอแนะ
6. นำเสนอผลการศึกษา

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

ATR-FTIR (Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy) หมายถึง เทคนิคทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบถึงหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสาร เป็นวิเคราะห์ทางเคมีขั้นสูง ที่ถูกพัฒนามาจาก IR spectrometer โดยอาศัยการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งให้เกิดการสั่นของพันธะโมเลกุล มีประสิทธิภาพในการแยกสาร และมีความไวสูง

เส้นใย (Fiber) หมายถึง วัสดุหรือสารใดๆที่เกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 เท่าตัว สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก แยกประเภทตามความยืดหยุ่น (flexibility) ความละเอียด (fineness)

ผ้า (Fabric) เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนสามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านี้ร่วมกัน

โพลิเมอร์ (Polymer) หมายถึง สารโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆกันที่เรียกว่า “mer” หรือ “repeating unit” จ้านวนมาก มาเชื่อต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) ในการตรวจวิเคราะห์จำแนกชนิดผ้าได้

2. สามารถนำวิธีการตรวจไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อความรวดเร็ว สะดวก ไม่ทำลายตัวอย่าง และไม่ต้องเสียเวลาและขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง

3. เพื่อเจ้าหน้าที่นำไปเป็นหลักฐานประกอบการสืบสวนสอบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจและนำไปใช้ในการตรวจวัตถุพยาน

8. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ผ้าที่นำมาใช้ทดลอง

ตัวแปรตาม ได้แก่ สเปกตรัมของผ้าที่ปรากฏ

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิที่ให้ความร้อน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานใดที่จะสรุปได้ว่ามนุษย์กลุ่มใดเป็นกลุ่มแรกที่เริ่มรู้จักใช้ผ้ามีเพียงหลักฐานที่นักโบราณคดีค้นพบตามสถานที่โบราณที่ขุดพบโครงกระดูกหรือภาพเขียนตามผนังถ้ำแล้วนำมาประกอบเป็นข้อสันนิษฐานโดยจากการสำรวจพบผ้าลินินในถ้ำที่จอร์เจียเมื่อกว่า 34,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช (Kvavadze et al., 2009) ซึ่งนับเป็นหลักฐานทางประวัติศาสตร์หนึ่งชิ้นที่สำคัญเกี่ยวกับผ้า ซึ่งใช้เป็นหลักฐานที่แสดงได้ว่ามีการใช้ผ้ามาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์

มนุษย์ในยุคก่อนประวัติศาสตร์แต่งกายด้วยเครื่องห่อหุ้มร่างกายที่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า หนังสัตว์ ขนนก ดิน สี ฯลฯ ข้อสันนิษฐานจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายได้สันนิษฐานว่า มนุษย์ในยุคก่อนประวัติศาสตร์อาจต้องการปกปิดร่างกายเพราะเกิดความอาย มนุษย์บางเผ่าพันธุ์ใช้สีจากพืชนำมาเขียนนำมาสักเพื่อเป็นเครื่องตกแต่งแทนการห่อหุ้มร่างกาย และในเวลาต่อมามนุษย์รู้จักวิธีดัดแปลงสิ่งที่มีตามธรรมชาติมาใช้ทำเป็นเครื่องห่อหุ้มร่างกายให้เหมาะสม เช่น การผูก มัด สาน ถัก ทอ ฯลฯ และยังมีแนวคิดที่นำผ้ามาใช้เพื่อปกป้องร่างกายจากอากาศที่หนาวเย็น และยังใช้เพื่อนปกคลุมร่างกายเพื่อป้องกันสัตว์ประเภทแมลง หนามจากต้นไม้ กิ่งไม้ ขนหรือยางพืชต่าง ๆ ฯลฯ ที่จะทำให้ร่างกายเกิดการระคายเคืองได้

ยังมีอีกหนึ่งข้อสันนิษฐานว่าผ้ามีวิวัฒนาการมาจากการที่มนุษย์เริ่มรู้จักใช้หนังสัตว์ที่ถูกฆ่าเพื่อนำมาประกอบอาหาร นำหนังสัตว์มาดัดแปลงเพื่อเป็นสิ่งห่อหุ้มปกคลุมร่างกาย ต่อมามนุษย์เริ่มอาศัยอยู่เป็นหลักแหล่งมีสังคมรู้จักทำการเกษตร ทำการเพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์ไว้เพื่อเป็นอาหาร จึงพบว่าสัตว์เลี้ยงประเภทแพะ แกะ จะให้ขนที่อ่อนนุ่มสามารถนำขนมาใช้ห่อหุ้มปกคลุมร่างกายจากความหนาวเย็นได้ดี และต่อมามนุษย์ก็เริ่มรู้จักใช้พืชที่มีเส้นใยที่มีความแข็งแรงคล้ายขนสัตว์ทำให้เป็นแผ่นนำมาห่อหุ้มร่างกาย เริ่มมีระบบแลกเปลี่ยนซื้อขาย มีการผลิตเพื่อขายในชุมชน และขยายเป็นระดับการผลิตขนาดอุสาหกรรม

ในอดีตเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มถูกผลิตด้วยวิธีการทอจากผ้าหรือถักผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ ผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ของมนุษย์ จึงมีคนค้นคิดวิธีทำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติขึ้นที่มาจากเซลลูโลส โดยเป็นสารที่สามารถอัดเป็นเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายไหมได้ เรียกว่า เรยอน (rayon) ในเวลาต่อมา ชาวฝรั่งเศสได้พบวิธีสังเคราะห์เส้นใยไนลอน โพลิเอไมด์หรือไนลอน ขึ้นมา

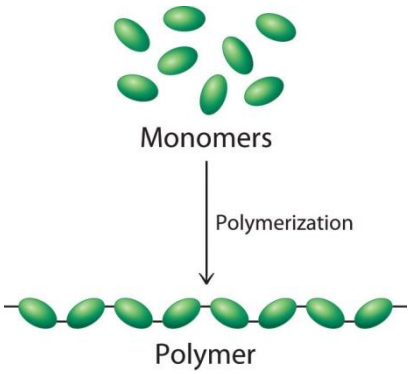
ได้ และทำให้มีการพัฒนาเป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกได้ เช่น เส้นใยอะคริลิก เส้นใยโพลิเอสเตอร์ และอื่น ๆ

1. ความหมายของเส้นใย

เส้นใย (Fiber) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของวัสดุสิ่งทอ คือ วัสดุหรือสารใดๆ จากทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่าง ความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 เท่าตัวสามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ จัดเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้าไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก มักจะประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบบ้างเพียงเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากและโมเลกุลมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว โดยแต่ละห่วงโซ่โมเลกุลจะมีโครงสร้างเหมือนกัน จึงเรียกว่า โซ่โมเลกุล (molecular chain)

2. โครงสร้างของเส้นใย (Fiber Structure)

โครงสร้างทางกายภาพ เช่น ความยาว ความหยาบ ความละเอียด ลักษณะผิวของเส้นใยมีผลต่อสมบัติด้านความรู้สึกอันเกิดจากการสัมผัส ความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย โครงสร้างทางเคมี มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรง การยืดตัว ความหนาแน่น ความชื้นที่เส้นใยดูดซึมได้ การรับสีย้อม เป็นต้น เส้นใย (Fiber) มีโครงสร้างโมเลกุลที่เกิดจากการเรียงต่อกันของหน่วยพื้นฐานทางเคมี (monomer) ก่อให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลที่ยาวต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (polymer) โพลิเมอร์ (Polymer) หมายถึง สารโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆกันที่เรียกว่า “mer” หรือ “repeating unit” จำนวนมาก มาเชื่อต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของ Monomer และ Polymer

ที่มา : Polymeric Solids ; Available from: https://saylordotorg.github.io/text_general-chemistry-principles-patterns-and-applications-v1.0/s16-08-polymeric-solids.html

ประเภทของโพลิเมอร์จำแนกตามแหล่งที่มา

1. โพลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymers) เป็นโพลิเมอร์ที่พบตามธรรมชาติ มนุษย์ได้นำเอาโพลิเมอร์เหล่านี้มาดัดแปลงเพื่อใช้ประโยชน์ เช่น แป้ง ไหม ฝ้าย ปอ ป่าน น้ำยางพารา ฯลฯ

2. โพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymers) เนื่องจากโพลิเมอร์ธรรมชาติ มีปริมาณคุณสมบัติและขอบเขตการใช้งานที่จำกัด ดังนั้นมนุษย์จึงได้ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์ขึ้นมา เช่น polyvinylchloride (PVC), polystyrene (PS), polyethylene (PE), polypropylene (PP)

3. ลักษณะการจัดเรียงตัวภายในเส้นใย

โดยทั่วไป ประกอบด้วย 3 ลักษณะคือ

3.1 บริเวณอสัณฐาน (Amorphous Regions) ส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

3.2 บริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline Regions) เป็นส่วนที่แข็งแรงของเส้นใยเนื่องจากโซ่โมเลกุลจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ

3.3 การจัดเรียงตัวของส่วนที่เป็นระเบียบตามแนวแกนเส้นใย (Orientation) ทำให้เพิ่มความแข็งแรงในด้านการทนแรงดึงตามแนวแกนเส้นใยได้

โครงสร้างเส้นใย มีส่วนทั้งที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐานผสมผสานกัน แต่เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดได้จากโพลิเมอร์ที่แตกต่างกัน และด้วยกระบวนการผลิตที่ไม่เหมือนกันเส้นใยแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างของโครงสร้างมาก

4. สมบัติของเส้นใย (Fiber Properties)

4.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

4.1.1 ความยาวเส้นใย (Fiber Length) เส้นใยของสิ่งทอควรมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยสูงอย่างน้อย 100 เท่า ความยาวของเส้นใยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ เส้นใยสั้น (staple fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีขนาดความยาวสั้นๆ วัดด้วยหน่วยเป็นเซนติเมตร มิลลิเมตร นิ้ว หรือสัดส่วนของนิ้ว ไปจนถึงเป็นฟุต และ เส้นใยยาว (filament) เป็นลักษณะเส้นใยที่มีความยาวมากๆ วัดในหน่วย เมตร กิโลเมตร หลา

4.1.2 ความละเอียดเส้นใย (Fiber Fineness)

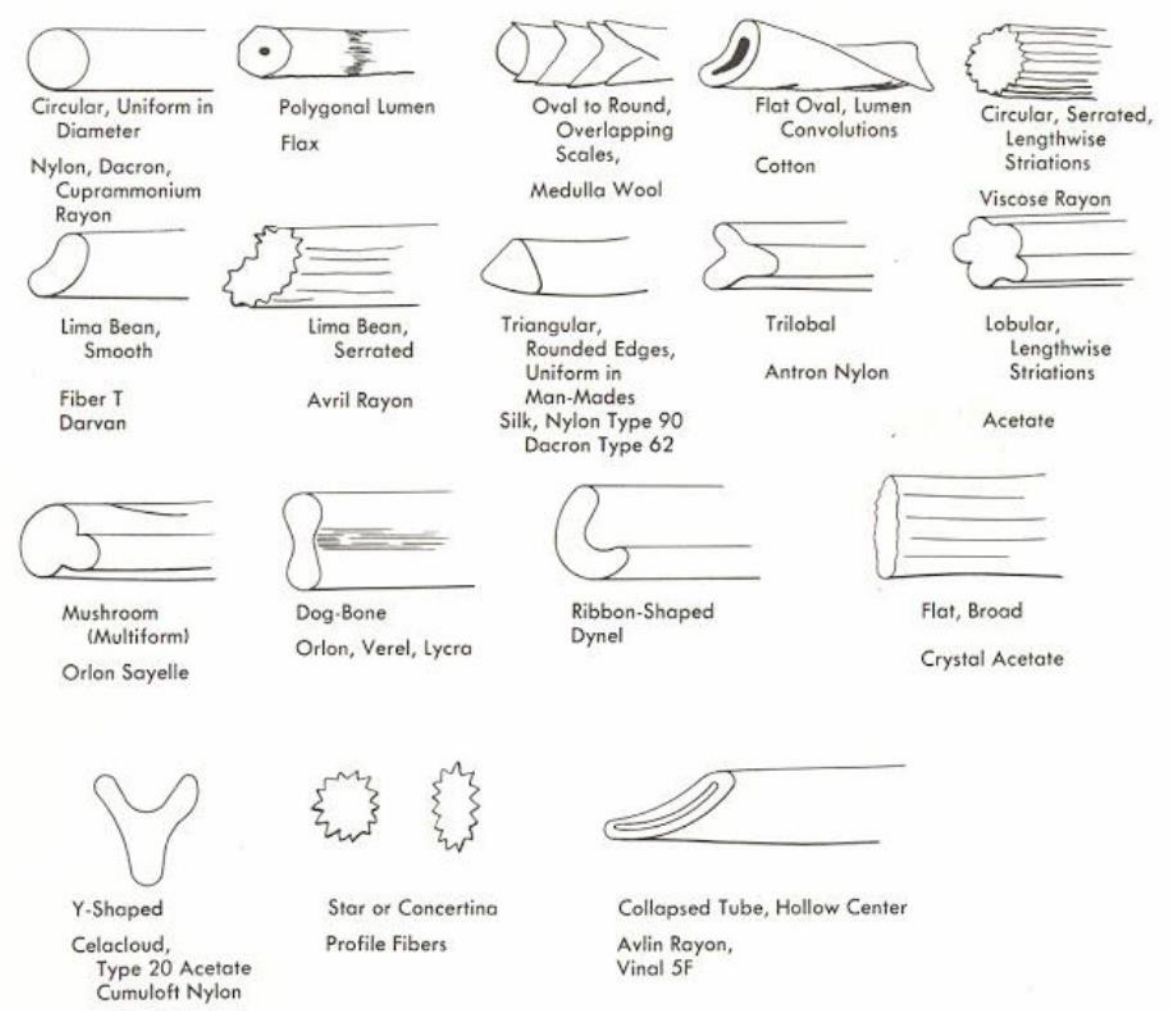
จะวัดโดยใช้วิธีวัดน้ำหนักของเส้นใยต่อความยาวที่กำหนดเรียกว่า “การวัดความหนาแน่นเชิงเส้น” หรือ “Linear density”

4.1.3 รูปทรงภาคตัดขวางและสภาพผิวของเส้นใย

จะมีผลต่อ ความมัน ความเงา ความฟู และผิวสัมผัสของเนื้อผ้าที่จะนำเส้นใยไปถักทอเป็นผ้า

4.1.4 ความหยิกบนเส้นใย (Fiber Crimp)

จะช่วยให้เส้นใยมีการเกาะตัวกันเหนียวแน่นเมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายช่วยให้มีความสามารถในการคืนตัวสูง ทนทานต่อการขูดขีด และเพิ่มความสามารถในการดูดซึมน้ำ และก่อให้เกิดความสบายเมื่อสัมผัสกับผิวแต่จะทำให้ความมันลดลง



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะรูปทรงภาคตัดขวางของเส้นใย (Cross -Sectional Shape)
ที่มา : *วิทยาศาสตร์เส้นใยและผ้า* ; สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ

4.1.5 ความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber Strength)

ความแข็งแรงของเส้นใย จะเรียกว่า “tenacity “ หรือความทนแรงดึง ณ จุดขาด ซึ่งจะหาได้จากการวัดแรงดึงที่คงที่ (มีหน่วยเป็นกรัม) ที่ทำให้เส้นใย 1 เท็กซ์ หรือ 1 ดีเนียร์ ขาดออกขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นกรัมต่อดีเนียร์ (g/denier) หรือ กรัมต่อเท็กซ์ (g/tex)

4.1.6 ความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย (Spinnability)

เส้นใยที่เหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอต้องมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายได้ดี ดังนั้นเส้นใยที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้นั้น เส้นใยควรจะมีคุณสมบัติการยึดเกาะกันได้ดี ทำให้ได้เส้นด้ายที่มีคุณภาพดี

4.1.7 ความสม่ำเสมอ (Uniformity)

เส้นใยควรมีความคล้ายคลึงหรือคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน เช่น ความยาว ขนาดความกว้าง หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง การบิดตัวหรือโค้งงอที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้การนำเส้นใยไปผลิตในขั้นตอนอื่น ๆ ทำได้ง่ายและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ในส่วนของเส้นใยประดิษฐ์มักจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยธรรมชาติ เพราะสามารถควบคุมกระบวนการผลิตเส้นใยได้เอง ทั้งขนาดของพื้นที่หน้าตัด รูปทรง ตลอดจนความยาวของเส้นใย

4.1.8 ความสามารถในการดัดงอ (Flexibility)

เส้นใยที่นำไปผลิตเป็นผ้าจะต้องมีคุณสมบัติบิดตัวหรือโค้งงอได้ โดยไม่หักหรือขาดได้ง่าย และเมื่อปล่อยแรงบิดหรือโค้งงอแล้วจะต้องคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ดี สมบัติของเส้นใยข้อนี้จะส่งผลโดยตรงต่อความทนทานของเสื้อผ้าที่ผลิตโดยเส้นใย

4.1.9 ความหนาแน่น (Density)

เส้นใยทุกชนิดมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ยกเว้นเส้นใยประดิษฐ์ในกลุ่มที่เป็นโอเลฟินส์ (PE, PP) เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีความสามรถในการคืนกลับตัวที่ดี เนื่องจากมีจำนวนของเส้นใยต่อน้ำหนักสูงกว่า จึงช่วยเสริมแรงให้เกิดแรงในการคืนตัวกลับที่มากกว่าความหนาแน่นของเส้นใยนั้นมีผลต่อน้ำหนักของผ้า เส้นใยที่มีความหนา แน่นต่ำจะทำให้ได้ผ้าที่ที่มีน้ำหนักเบา

4.1.10 ความมัน (Luster)

ปริมาณของแสงที่สะท้อนออกจากผิวของเส้นใยสู่สายตาของผู้มองวัดได้จากระดับของความสว่าง หรือความทึบ เส้นใยธรรมชาติที่มีความมันวาวสูง ได้แก่ ไหม เส้นใยธรรมชาติที่มีความมันวาวต่ำ ได้แก่ ฝ้าย และ ขนสัตว์ ในส่วนของเส้นใยประดิษฐ์นั้นสามารถควบคุมความมันในการผลิตได้ โดยจะควบคุมปริมาณสีที่ผสมลงไป หรือเติมสารลดความมันลงไปเพื่อให้ความมันวาวลดลง

4.1.11 ความสามารถในการดูดซึมความชื้น (Moisture Regain)

ความสามารถในการดูดซึมความชื้นของเส้นใยนั้นมีผลต่อความสบายต่อผิวสัมผัสเมื่อสวมใส่ผ้าที่ผลิตโดยเส้นใยชนิดนั้น การสะสมของไฟฟ้าสถิต การรักษาขนาดในน้ำ ความสามารถในการย้อมสีของเส้นใย

4.1.12 สภาพยืดหยุ่น (Elasticity)

สภาพยืดหยุ่นของเส้นใยเป็นสมบัติที่เส้นใยสามารถยืดตัวออกเมื่อถูกแรงดึง และหดตัวกลับเมื่อเอาแรงออก

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นการดูดความชื้นได้ที่สภาวะมาตรฐานของชนิดเส้นใยต่าง ๆ

ชนิดเส้นใย	เปอร์เซ็นการดูดความชื้นได้ที่สภาวะมาตรฐาน
ไหม	11.0
ขนแกะ	1.36-16
ฝ้าย	8.5
ลินิน	12.0
อะซิเตท	6.5
อะคริลิก	1.0-2.5
อะรามิด	4.5
ไนลอน	3.5-5.0
โอเลฟิน	0-0.1
โพลิเอสเตอร์	0.4
เรยอน	10.7-16.0

4.1.13 การยืดตัว (Elongation)

เส้นใยจะยืดออกเมื่อถูกดึงออกจนถึงจุดที่เส้นใยทนแรงดึงนั้นไม่ได้อีกเส้นใยก็จะขาดออก ระยะที่ยืดออกนี้อาจวัด ณ แรงกระทำใดที่ต้องการ หรือวัด ณ จุดขาด ก็ได้ การยืดตัวของเส้นใย มักเขียนในรูป ร้อยละที่ยืดออก หรือเรียกว่า %Elongation

4.1.14 การคืนตัวจากแรงอัด และความสามารถในการรับแรงอัด (Resiliency and Compressibility)

Compressibility คือ ความสามารถในการรับแรงอัด เส้นใยที่มีความอ่อนนุ่มมากจะสามารถรับแรงอัดได้ดี ส่วน Resiliency เป็นการคืนตัวสู่สภาพเดิม ภายหลังจากที่ได้รับแรงอัด

หรือโค้งงอแล้ว เส้นใยที่มีความยืดหยุ่นดี จะมีการคืนตัวที่ดี ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยที่มีความคืนตัวดีจะมีคุณสมบัติทำให้ผ้าไม่ยับได้ง่าย

4.1.15 ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance)

เป็นความสามารถของเส้นใยที่ทนต่อการขัดสี หรือขัดถูต่อการใช้งาน เช่น ผ้าบุเก้าอี้ ผ้าบุชั้นในกระเป๋า รองเท้าผ้า ผ้าทำกระเป๋ากางเกง เป็นต้น

4.1.16 การนำไฟฟ้า การนำความร้อน (Electrical and Thermal Conductivity)

เป็นความสามารถของเส้นใยในการส่งผ่านประจุไฟฟ้า เนื่องจากเส้นใยมีหมู่ที่มีขั้วในโครงสร้าง เส้นใยที่นำไฟฟ้าต่ำๆมักจะสะสมประจุไฟฟ้าสถิต ทำให้สวมใส่ไม่สบาย

4.1.17 ความทนทานต่อความร้อน (Thermal Resistance)

เส้นใยแต่ละชนิดทนต่อความร้อนนั้นแตกต่างกัน เส้นใยเซลลูโลสจะติดไฟง่ายและลุกไหม้รวดเร็ว ขนสัตว์ เส้นไหม เมื่อติดไฟแล้วจะดับได้ด้วยตัวเอง เส้นใยแก้วและเส้นใยหินจะไม่ติดไฟ เส้นใยธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนสูงจะทำให้เปลี่ยนสีเป็นเหลืองเกรียม จนลุกไหม้ เส้นใยสังเคราะห์เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวลง และเมื่อถึงจุดหลอมเหลวก็จะหลอม เหลวเป็นยางเหนียวคล้ายกับพลาสติก

ตารางที่ 2 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้รีดกับผ้าที่ผลิตจากเส้นใยชนิดต่าง ๆ

เส้นใยธรรมชาติ	**อุณหภูมิที่ใช้รีด ˚C**	**เส้นใยธรรมชาติ**	**อุณหภูมิที่ใช้รีด ˚C**
ฝ้าย	220	ไนลอน 66	180
ลินิน	230	พอลิเอสเตอร์	160
ไหม	150	อะซิเตท	160
ขนสัตว์	150	สเปนเดกซ์	150
เรยอน	190		

4.2 สมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

สมบัติทางเคมีของเส้นใยส่งผลต่อการเลือกใช้ชนิดของสีย้อม การเลือกใช้สารเคมีเพื่อตกแต่งผ้า การนำไปใช้งาน การทำความสะอาดและการดูแลรักษา ความทนต่อสารฟอกขาว และความทนต่อแสงแดด

4.3 สมบัติทางชีวภาพ (Biological Properties)

สมบัติทางชีวภาพของเส้นใยจะแสดงออกและเปลี่ยนแปลง เมื่อเส้นใยสัมผัสหรือถูกกัดกินโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา เชื้อแบคทีเรีย เส้นใยธรรมชาติมักจะไม่มีความต้านทานต่อเห็ด รา และเชื้อแบคทีเรียหรือแมลงได้ดีเท่ากับเส้นใยสังเคราะห์

5. การวิเคราะห์เส้นใย (Fiber Identification)

5.1 การตรวจสอบด้วยสายตาและการสัมผัส (Visual and Touch Inspection) การทดสอบด้วยการเผา (Burning Test) ให้สังเกตว่าเส้นใยไหม้ไฟหรือไม่ ในขณะที่เผาเส้นใยติดไฟทันที หรือหดตัวออกจากเปลวไฟ สังเกตการลุกไหม้ต่อไปหรือ ค่อยๆ ดับเอง และดมกลิ่นควัน โดยวิธีใช้มือโบกควันมาใกล้จมูกผู้ทดสอบ สังเกตสีที่มีการเปลี่ยนแปลงและลักษณะของเถ้าขณะเย็นตัวลงแล้ว

5.2 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Examination) ให้สังเกตลักษณะโครงสร้างตามความยาวและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย

5.3 การทดสอบความสามารถในการละลาย (Solubility Test) ให้สังเกตปฏิกิริยาของเส้นใยต่อ กรด ด่าง และสารเคมีเฉพาะอย่าง

5.4 การทดสอบโดยการย้อมสี (Staining Test) ทำการทดสอบด้วยชุดสีย้อมทดสอบ แล้วเทียบกับมาตรฐานสีหลักการทำเส้นใยให้เปียกด้วยน้ำร้อน แล้วย้อมสีเส้นใยตัวอย่างโดยจุ่มลงในสีย้อม แล้วนำตัวอย่างขึ้นและล้างออกด้วยน้ำเปล่า ปล่อยให้แห้งและนำไปวิเคราะห์ผล

5.5 การทดสอบความหนาแน่นของเส้นใย (Fiber Density Test)การหาความหนาแน่นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบเพื่อแยกชนิดเส้นใยและใช้ยืนยันผลการทดสอบที่ได้จากวิธีอื่นๆ

6. การแบ่งชนิดเส้นใย (Fibers Classification)

การแบ่งชนิดเส้นใยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) ได้แก่ Cellulose Fiber (cotton, flax, jute, ramie) Protein Fiber (wool, silk, mohair) และ Mineral Fiber (asbestos, glass fiber) เส้นใยประดิษฐ์ (Man-Made Fiber) ได้แก่ Regenerated Fiber (rayon, acetate) และ Synthetic Fiber (nylon, polyester. Acrylic)

6.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber)

6.1.1 Cellulose fibers

เส้นใยธรรมชาติ ชนิด Cellulose fibers แบ่งออกเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด ได้แก่ ฝ้าย (cotton), นุ่น(kapok) และเส้นใยที่ได้จากลำต้น ได้แก่ ลินิน (flax),ป่านเฮมพ์ หรือ กัญชง (hemp) ,ป่านรามี (ramie) ,ปอกระเจา (Jute) และเส้นใยที่ได้จากใบ ได้แก่ ป่านศรนารายณ์ (Sisal), pineapple leaf เส้นใยจากผล ได้แก่ coir สมบัติเส้นใย Cellulose fibers ได้แก่ การดูดซึมความชื้นได้ดีส่งผลทำให้เสื้อผ้าสวมใส่สบาย การนำความร้อนได้ดีทำให้ผ้าเย็นสบายในช่วงหน้าร้อน การคืนตัวจากแรงอัดต่ำทำให้ผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ Cellulose fibers จะยับได้ง่ายและมีความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิสูงทำให้รีดผ้าด้วยความร้อนสูงได้จุดติดไฟได้รวดเร็ว มีความหนาแน่นสูงทำให้ผ้าที่ทอขึ้นมีน้ำหนักดี ตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติจากพืช ได้แก่

6.1.1.1. ฝ้าย (Cotton)

เป็นเส้นใยที่ผลิตจากเมล็ดที่มีการนำมาใช้งานมากที่สุด สมบัติทางเคมีของฝ้าย สามารถทนสารฟอกขาว ทนต่อด่างและสารละลายอินทรีย์ ได้ดี แต่ไม่ทนกรด ทนต่อแสงแดดได้ดี สมบัติทางกายภาพของฝ้ายลักษณะสีมักจะเป็นสีขาว ครีม หรือน้ำตาล เส้นใยมีลักษณะสั้น (Staple) ความยาวประมาณ 0.3-6 cm มีความมันน้อย ความแข็งแรงปานกลาง มีการยืดตัวค่อนข้างดี การคืนตัวจากแรงอัดต่ำทำให้ผ้ายับได้ง่าย การดูดความชื้น ค่อนข้างดี (7-10%) การทนต่อความร้อนค่อนข้างสูง (204-218ºC) เมื่อมีการติดไฟผ้าจะถูกเผาไหม้อย่างรวดเร็ว

6.1.1.2. นุ่น (Kapok)

ใยนุ่นได้จากส่วนที่เป็นเมล็ดของต้นนุ่น (Seed fiber) ฝักนุ่นมีลักษณะยาวหัวท้ายแหลม มีขนาด 3-6 นิ้ว เมื่อแก่เปลือกแห้งแตกเปิดให้เห็นเส้นใยหรือปุยนุ่นซึ่งติดอยู่กับเมล็ด แล้วจึงนาปุยนุ่นแยกออกจากเมล็ด สมบัติทางกายภาพของนุ่น เส้นใยมีลักษณะสั้น (Staple) ความ

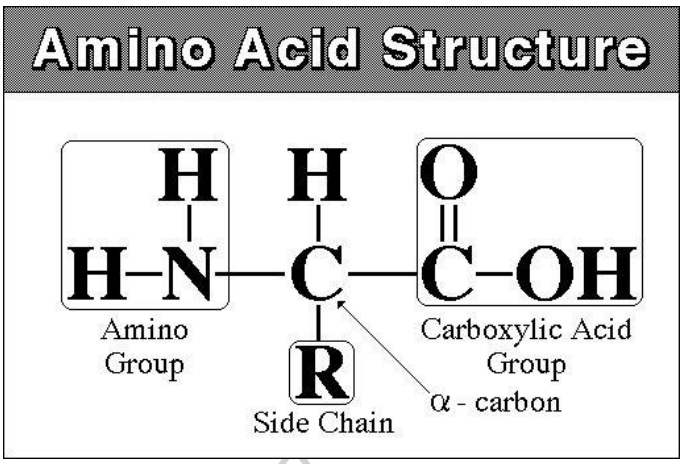
ยาวประมาณ 1-3.5 cm มีสีขาว ครีม ลักษณะพื้นผิวเส้นใยจะเรียบ เส้นใยมีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีการบิดเป็นเกลียวน้อย ผนังเซลล์บางและประกอบไปด้วยแว๊กซ์จำนวนมาก ช่องส่งลำเรียงน้ำ (Lumen) มีขนาดกว้าง ภายในกลวงเป็นโพรงอากาศ ลักษณะภาคตัดขวางจะมีรูปร่างเป็นวงรีไปจนถึงทรงกลม

6.1.1.3. ลินิน (Linen or flax)

ลินินเป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกของลำต้นแฟลกซ์ซึ่งเป็นเส้นใยที่เก่าแก่ที่สุดเป็นเวลากว่า 4500 ปีมาแล้วจากการใช้พันศพโบราณคือพวกมัมมี่ (จารุวรรณ อัมพฤกษ์, 2012) สมบัติทางกายภาพของลินิน ลักษณะของเส้นใยมีความยาวประมาณ 15-100 cm สีเนื้อออกเหลือง น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม ไปจนถึงสีเทา เส้นใยมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง การยืดตัว ไม่ค่อยดี การคืนตัวจากแรงอัด ค่อนข้างต่ำ ทำให้ผ้ายับง่าย มีการดูดความชื้น ดี (10-20%) ทนต่อความร้อนสูง (230ºC) เมื่อติดไฟ จะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว สมบัติทางเคมีของลินินทนด่างและสารละลายอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่ทนกรดแก่

6.1.2 เส้นใยธรรมชาติจากสัตว์ (Protein Fiber)

ธาตุหลักคือ C, H, O, N และ มี S ในขนสัตว์ สมบัติของเส้นใยธรรมชาติจากสัตว์มีสมบัติการคืนตัวที่ดี รอยยับย่นสามารถหายได้โดยการแขวนทิ้งไว้หลังการใช้การดูดซึมความชื้นดีทำให้สวมใส่สบายในสภาพอากาศที่เย็นชื้น ความถ่วงจำเพาะต่ำผ้าขนสัตว์มีน้ำหนักเบากว่าผ้าที่ทำจากเส้นใยพืชที่ความหนาเท่ากัน ทนต่อเปลวไฟการเผาไหม้ไม่หมด ดับไฟได้ด้วยตัวเอง ให้กลิ่นเหมือนการเผาไหม้เส้นผมเกิดเป็นขี้เถ้าสีดำ และมีความเปราะ ความแข็งแรงลดลงเมื่อเปียกควรเพิ่มความระมัดระวังขณะซักล้าง ไม่ทนต่อความเป็นด่างแก่ต้องใช้สบู่หรือน้ำยาซักล้างที่เป็นกลางหรือด่างอ่อนๆและแสงแดดจะทำให้ผ้าเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง



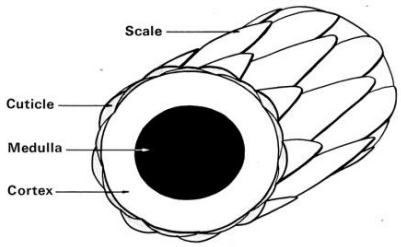
ภาพที่ 3 โครงสร้างของ amino acid

ที่มา : *กรดอะมิโน* ; Available from:

http://119.46.166.126/self_all/selfaccess10/m4/biology4_2/lesson2/item12.ph

6.1.2.1. ขนสัตว์ (Wool)

เป็นเส้นใยสั้นโดยความยาวจะขึ้นกับพันธ์ของแกะองค์ประกอบหลักคือ keratin ประกอบ ด้วยธาตุ C, H, O, N, S สมบัติทางกายภาพของขนสัตว์ ลักษณะเส้นใยสั้นความยาวประมาณ 2.5-50 cm สีขาว ครีม น้ำตาล เทา ดำ ความมันของเส้นใยขนสัตว์ขึ้นอยู่กับพันธุ์และถิ่นกำเนิดของสัตว์ที่ผลิตเส้นใย มีความแข็งแรงต่ำ (tenacity = 1.5 g/deneir) และจะลดลง 10-20% เมื่อเปียก สภาพยืด หยุ่นของเส้นใยดีมากสามารถยืดออกได้ 20-30% คืนตัวกลับจากแรงยืดได้ถึง 99% การคืนตัวจากแรงอัด ดีมาก ทำให้ไม่ยับง่าย การดูดความชื้นค่อนข้างดี (13-18%) ทนต่อความร้อนได้ประมาณ 100 ºC และเริ่มมีความหยาบกระด้างเมื่อให้ความร้อนที่ 204 ºC เริ่มหลอม และกลายเป็นเถ้า เมื่อติดไฟการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างช้าๆและ ดับไฟได้ด้วยตนเอง สมบัติทางเคมีของขนสัตว์ มักจะทนกรดอ่อนได้ ยกเว้นกรดกำมะถันร้อน ไม่ทนต่อความเป็นด่าง โดยเฉพาะด่างแก่ แสงแดดจัดจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง มีความทนต่อเชื้อราและแบคทีเรียได้ดี แต่ไม่ทนต่อมอดและแมลง



ภาพที่ 4 ภาพตัดขวางโครงสร้างเส้นขน

ที่มา : *Hair features*; Available from:

https://www.landcareresearch.co.nz/resources/identification/animals/hair/hair-features

6.1.2.2. ไหม (Silk)

องค์ประกอบหลักประกอบด้วยธาตุ Fibroin Protein (C, H, O, N) สมบัติทางกายภาพของไหม ลักษณะของเส้นใยเป็น เส้นใยยาว (filament) ความยาวประมาณ 390-600 เมตรสีเหลือง จนถึงเทา มีความเงามันดีมาก ความแข็งแรงสูง (tenacity = 3.5-5.0 g/deneir) และลดลง 15-25% เมื่อเปียก การยืดตัวดี สามารถยืดออกได้ประมาณ 20% ของความยาวเดิม การคืนตัวจากแรงอัดดี ทำให้ไม่ยับ ง่ายการดูดความชื้น ค่อนข้างดี (11%) ทนต่อความร้อนได้ถึง 170ºC ในเวลาสั้นๆ แต่ดีกว่าขนสัตว์ สมบัติทางเคมีของไหม คือ ทนกรดอ่อนและเจือจางได้ ถูกทำลายได้ด้วยเกลือคลอไรด์ เช่น เหงื่อ น้ำเกลือ น้ำยาดับกลิ่น ทนต่อสารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีความอ่อนไหวต่อแสงแดด ทำให้ผ้าเหลืองและความแข็งแรงลดลง สามารถทนต่อราและแมลงได้ดี

6.1.3 เส้นใยธรรมชาติจากแร่ธาตุ (Mineral Fiber)

6.1.3.1. แร่ใยหิน (Asbestos)

เป็นกลุ่มของแร่ซิลิเกตที่เกิดตามธรรมชาติ มี 2 กลุ่ม คือ Serpentine และ Amphibole แร่ใยหินมีผลึกที่เป็นเส้นใยยาว มีคุณสมบัติทนไฟ ทนสารเคมี ทนต่อการขัดสี ในอดีตผ้าใยหินได้รับการใช้ประโยชน์โดยทำเสื้อสำหรับนักดับเพลิง ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้แล้ว เนื่องจากเศษใยหินเล็กๆ จะแตกหักและสามารถผ่านเข้าสู่ปอดผู้สวมใส่ ทำให้เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งที่ปอด

6.1.3.2. ใยแก้ว (Glass Fiber)

เส้นใยแก้ว องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่คือ ซิลิกา (SiO_2) ที่เหลือจะเป็นออกไซด์ชนิดต่างๆ เช่น Al2O3, CaO, MgO, Na2CO3 และอื่นๆ

6.2 เส้นใยประดิษฐ์ (Man-Made Fiber)

เส้นใยประดิษฐ์ คือ เส้นใยที่สังเคราะห์โดยการนำสาร โพลิเมอร์ธรรมชาติหรือสารเคมีโมเลกุลเล็กๆ ไปทำปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสมจนได้สาร โพลิเมอร์ แล้วนำสาร โพลิเมอร์นั้นไปทำเส้นใย ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใย (Fiber spinning) แบ่งออกเป็น เส้นใยประดิษฐ์กลุ่ม Regerated Fiber ได้แก่ เรยอน, อะซิเตท และ กลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) ได้แก่ ไนลอน (Nylon), โพลิเอสเตอร์ (Polyester), อะคริลิก (Acrylic), สเปนเดกซ์ (Spandex) เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) เส้นใยจะมีความแข็งแรงและทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ ผิวเส้นใยเรียบ ทำให้ดูดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกมาติดได้ยาก ง่ายต่อการบำรุงรักษา ทนทาน ไม่ดูดความชื้น (Hydrophobic) ย้อมสีติดยากขจัดคราบไขมันออกได้ยาก จุดหลอมเหลวต่ำทำให้ต้องระมัดระวังในการรีด และสวมใส่ไม่สบาย

6.2.1. เรยอน (Rayon)

เรยอน คือ เส้นใยประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ เรียกว่า “Regerated Cellulose” ซึ่งถูกแทนที่ด้วยสารอื่นไม่มากกว่า 15% ของไฮโดรเจนที่อยู่ในหมู่ไฮดรอกซิล เส้นใยเรยอนมีความมันเส้นใยอ่อนนุ่ม คล้ายเส้นไหม เส้นใยมีความแข็งแรง ความสามารถในการดูดความชื้นดี ไม่ทนต่อกรด แต่สามารถทนต่อด่างเจือจางได้ ทนต่อสารฟอกขาว และย้อมติดสีได้ดี

6.2.2.อะซิเตท (Acetate)

เส้นใยอะซิเตท เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส (derivative of cellulose) โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับกรดอะซิติก (acetice acid) และอะซิติกแอนไฮไดร์ (acetic anhydride) ในสภาวะที่มีกรดซัลฟูริก เรียกว่า ปฏิกิริยา “Acetylation” เส้นใยอะซิเตท เป็นเส้นใยที่ผลิตได้จากสารเซลลูโลส อะซิเตทโดยไม่น้อยกว่า 92% ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลส ถูกทาปฏิกิริยากับกรดอะซิติก สมบัติของเส้นใยอะซิเตท ส่วนใหญ่ผลิตเป็นเส้นใยยาว สวยงามคล้ายไหม ลักษณะ

ของเส้นใยมีความใส กึ่งทึบ ทึบ มีความแข็งแรงต่ำ ความสามารถในการดูดความชื้น: ต่ำ (3-6%) อ่อนไหวต่อความร้อน (< 177 ºC) ไม่ทนต่อกรดและด่างที่เข้มข้น ทนต่อสารฟอกขาว และสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ซักแห้งได้ดี ละลายได้ในอะซิโตนและคลอโรฟอร์ม สมบัติทางชีวภาพของเส้นใยไม่ขึ้นราและทนต่อแมลงได้ดี

6.2.3. ไนลอน (Nylon)

ไนลอน (Nylon) เป็นเส้นใยประดิษฐ์ที่เนื้อเส้นใยเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวของโพลิเอไมด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น ซึ่งมีปริมาณของแขนเอไมด์ ถูกแทนที่โดยตรงด้วยวงแหวนอะโรมาติกน้อยกว่า 85% ของปริมาณทั้งหมด ลักษณะของเส้นใยจะมี สีขาว ความมันสูง สามารถควบคุมความมันได้ตามต้องการจากการผลิต ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (4.0-4.5%) ทนต่อด่าง ไม่ทนกรด ซักแห้งได้ ทนต่อสารละลายอินทรีย์ ทนต่อเชื้อราและแมลง

6.2.4 โพลิเอสเตอร์ (Polyester)

พอลิเอสเตอร์ เป็นเส้นใยที่เป็น โพลิเมอร์สายโซ่ยาว ซึ่งประกอบด้วยอย่างน้อย 85% โดยน้ำหนักของพอลิเอสเตอร์ที่ได้จาก dihydric alcohol และ Terephthalic acid เส้นใยมีการคืนตัวจากแรงอัดได้ดี ถึงดีมาก ทั้งในขณะแห้งและเปียก ความสามารถในการยืดตัวไม่ดี ถ้ามีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงๆจะคืนกลับสภาพเดิมได้ไม่ดี การดูดซึมความชื้นต่ำมาก แห้งเร็วเมื่อเปียก แต่สวมใส่ไม่สบายตัว ความสามารถในการทนต่อความร้อนปานกลาง เริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 230ºCหากติดไฟจะละลายและหลอมเป็นหยด ทนต่อกรดและด่างได้ดี ทนต่อสารซักฟอกและสารละลายที่ใช้ซักแห้งทั่วไปได้ ทนทานต่อแสงแดด เหมาะใช้ทำเป็นผ้าม่าน

6.2.5 อะคริลิก (Acrylic)

เส้นใยประดิษฐ์ซึ่งวัสดุที่เป็นเส้นใยนั้นเกิดจากโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของอะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) อย่างน้อย 85% โดยน้ำหนัก สมบัติทางกายภาพของเส้นใยอะคริลิคมีความแข็งแรงปานกลาง 2.0-3.5 gpd ต่ำกว่าใยธรรมชาติชนิดอื่น แต่สูงกว่าเส้นใยขนสัตว์ มีการดูดซึมความชื้นต่ำประมาณ 1.0-3.0% การทนต่อความร้อนจะเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 210-230ºC การติดไฟจะหลอมเหลวและหดตัวเล็กน้อยคล้ายไนลอน จากนั้นจะติดไฟและเผาไหม้ให้ขี้เถ้าสีดา กลิ่นคล้ายสารประเภทอะโรมาติก

6.2.6 สแปนเดกซ์ (Spandex)

เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยสารโพลิเมอร์สังเคราะห์สายโซ่ยาว ที่มีส่วนของพอลิยูริเทน อย่างน้อย 85% โดยน้ำหนัก สมบัติทางกายภาพของสเปนเดกซ์ จะมีความแข็งแรงต่ำ ค่า tenacity = 0.6-0.9 gpd แต่คุณสมบัติการยืดตัว ดีมากและเป็นสมบัติเด่นของเส้นใยสเปนเดกซ์ สามารถยืดตัวออกได้ถึง 400-700% ก่อนถึงจุดขาด การดูดซึมความชื้นต่ำมาก (0.75-1.3%) ทำให้สวมใส่ไม่สบายตัวเมื่อสัมผัสเส้นใยโดยตรง ทนต่อกรดได้ดี ไม่ทนต่อด่าง ทนทานต่อสารละลายอินทรีย์ได้ดีสามารถซักแห้งได้ทนต่อเหงื่อและน้ำมันได้ดี

7. ความหมายของผ้า

ผ้า (Fabric) หมายถึง วัสดุชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นแผ่น มีความกว้าง ความยาวและความหนาขนาดต่าง ๆ กัน ถูกทอที่เป็นผืน และผ่านกระบวนการผลิตจากเส้นใย ธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ เกิดเป็นเส้นด้าย และผ่านกรรมวิธีผลิตจนได้เป็นผืนผ้า ประเภทของผ้า แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

7.1.ประเภทผ้าทอ (weaving fabric) กรรมวิธีการนำเส้นด้ายมาขัดกัน มีเส้นใยด้าย คือ เส้นด้ายยืน (Warp yarn) และเส้นด้ายพุ่ง (Weft yarn)

7.2.ประเภทผ้าถัก (Knitted fabric) การนำเส้นด้ายต่อกันเป็นห่วง (Interlock loops) มีเส้นใยด้าย คือ เส้นด้ายแนวตั้ง (Wales) และเส้นด้ายแนวนอน (Course)

7.3.ประเภทผ้าไม่ถักไม่ทอ หรือผ้านอน วูฟเวน (Non woven fabric) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นผ้าที่เกิดจากการสานไปมาของเส้นใย (fibrous web) มีการยึดกันด้วยการ ที่เส้นใยพันกันไปมา (mechanical entanglement) หรือโดยการใช้ความร้อน เรซิน หรือสารเคมีในการทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย

การผลิตผ้านั้นสามารถผลิตได้จากวัสดุหลายประเภท ได้แก่ สัตว์ พืช แร่ธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ผ้าที่ผลิตจากสัตว์วัสดุที่นำมาใช้นั้นได้จากขน ผม ผิวหนัง และเส้นใย (ดักแด้) ของสัตว์ เช่น ขนแกะ ขนแพะ เป็นต้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เสื้อขนแกะ และผ้าไหม ผ้าที่ผลิตจากพืชวัสดุที่ได้จะนำมาจากเส้นใยของพืช เช่น ใยสัปปะรด ใยฝ้าย เป็นต้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เสื้อใยสัปปะรด เสื้อที่ทำจากฝ้ายสำหรับเด็กอ่อน ผ้าที่ผลิตจากแร่ธรรมชาติวัสดุ

ที่ได้จะนำมาจากเส้นใยของแร่ธรรมชาติ เช่น ใยหิน และใยหินบะซอลต์ ผ้าที่ผลิตจากสังเคราะห์ทางเคมีวัสดุที่ใช้มาจากการสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี เช่น เส้นใยไนลอน เส้นใยทนไฟ เป็นต้น

8. เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

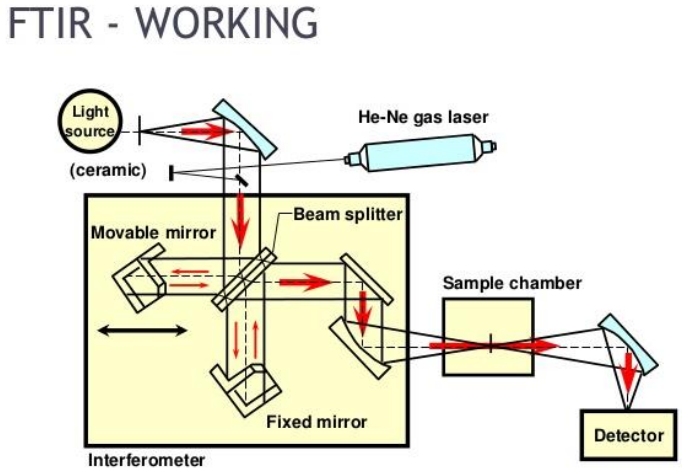
8.1 หลักการของเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)) FTIR เป็นเทคนิคที่ใช้การศึกษาทรานส์ซิชันของการสั่นหรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชั่นของโมเลกุลของสารนั้น เป็นเครื่องมือการวิเคราะห์ขั้นสูง ที่มีการพัฒนามาจาก เครื่อง IR Spectrometer เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น และมีความสามารถในการแยกสูง และความไวสูง และแม่นยำ นิยมใช้วิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ และใช้ได้ดีกับสารที่มีความบริสุทธิ์สูงทั้งที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสง เมื่อแสงอินฟาเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ ผ่านสู่สารอินทรีย์ พันธะเคมีในโมเลกุลของสารจะดูดกลืนพลังงานที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่ง ข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์โดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์ที่เรียกว่าฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจะคำนวณพลังงานของแต่ละความยาวคลื่นแปรผลออกมาเป็นสเปกตรัม เนื่องจากสารแต่ละชนิดให้สเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถนำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้พิสูจน์และบ่งชี้ชนิดของตัวอย่างได้

หลักการทำงานของเครื่อง FTIR คร่าว ๆคือ เมื่อมีการให้ความร้อนช่วงอุณหภูมิ 1,000-8,000 องศาเซลเซียส กับแหล่งกำเนิดรังสีแล้ว รังสีอินฟาเรดที่ถูกปล่อยออกมาจะผ่านไปยังเซลล์ตัวอย่าง ทำให้ดูดกลืนรังสีตรงกับความถี่การสั่นหลักมูลของพันธะ ซึ่งความเข้มของสัญญาณจะวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจหา ได้ลักษณะเป็นคลื่น หลังจากประมวลผลโดยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transformation) จะเปลี่ยนเป็นเส้นสเปกตรัมของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความถี่

ในปัจจุบันเครื่อง FTIR รุ่นใหม่ๆได้ถูกพัฒนาให้ทันสมัยสะดวกและง่ายต่อการใช้งานขึ้นมาก ปรับให้เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้โดยตรง ผ่านอุปกรณ์ ได้แก่ ผลึกเพชร และ ผลึกเจอร์มาเนียม ในส่วนของ ผลึกเพชร ซึ่งเหมาะกับของแข็งทั่วไปและของแข็งที่มีผิวไม่เรียบ และ

ต้องทนต่อแรงกด ส่วนผลึกเจอร์มาเนียม (Germanium crystal)เหมาะกับตัวอย่างที่ค่อนข้างนิ่ม เช่น ฟิล์มและยาง



ภาพที่ 5 แผนผังการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy

ที่มา : Fourier Transform Infrared Spectroscopy ; Available from:

https://www.slideshare.net/aishuanju/ftir-45012578

๑.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 2555 จารุวรรณ อัมพฤกษ์ ทำการศึกษาการวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ผ้าที่ถูกนำมาศึกษา ได้แก่ ผ้าฝ้าย เส้นใยนุ่น ผ้าลูกไม้ที่ทำจากผ้าฝ้าย ผ้าป่าน ผ้าลินิน ผ้าโซลอน ผ้าซีฟอง ผ้าเครปซาติน และผ้าไหม จากการทดลองสามารถแยกผ้าได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ผลิตจากธรรมชาติที่ได้จากพืช สเปกตรัมที่ได้คล้ายเซลลูโลส ได้แก่ ผ้าฝ้าย ป่าน นุ่น ลินิน กลุ่มที่สองสเปกตรัมที่ได้มีพีคของกลุ่มเอไมด์ที่เลขคลื่น 1650 cm^{-1} ซึ่งแสดงว่าเป็นเส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ คือ ผ้าไหม กลุ่มที่สามเป็นเส้นใยสังเคราะห์สเปกตรัมแสดงพีคที่เลขคลื่น 1735 cm^{-1} ซึ่งได้แก่ ผ้าซีฟอง ผ้าโซลอน ผ้าเครปซาติน จากทดลองสรุปได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยวิธี ATR-FTIR เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบผ้าและเส้นใยและมีประโยชน์ต่อกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ (จารุวรรณ อัมพฤกษ์, 2012)

ปี 2557 จิราพร เกิดแก้ว ศึกษาผ้าชนิดต่างๆ เพื่อจำแนกตัวอย่างผ้าต่างชนิดกัน ด้วยเทคนิค ATR-FTIR และ วิเคราะห์ทางความร้อน ด้วยเทคนิค TGA และเทคนิค DSC ในการทดลองใช้ผ้าทั้งหมด 21 ชิ้น มาวิเคราะห์เป็นผ้าที่ทราบองค์ประกอบแน่ชัดจำนวน 8 ชิ้น คือ ผ้าไหม, โพลิเอไมล์100%, โพลิเอสเตอร์ 100%, ฝ้ายธรรมชาติ 100% , อะคลิลิค 100% , bamboo 70 % ผสมกับฝ้าย30%, โพลิเอสเตอร์ 65% ผสมกับ ไนลอน 35%, ผ้าไหม40% ผสมกับ ฝ้าย 30% และ ผ้า Tolay veket 30% วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR- FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบของเส้นใยปรากฏพีคในหมู่ฟังชั่นที่เป็นของกลุ่มตัวอย่างนั้นจริง ผลการทดลองจากเทคนิค ATR-FTIR และข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DSC พบว่าสามารถระบุและแยกความแตกต่างของผ้าได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ (จิราพร เกิดแก้ว, 2015)

ปี 2562 Pilleriin Peets ได้ศึกษาการคัดแยกประเภทของผ้าโดยใช้เทคนิค Reflectance-FT-IR Spectroscopy (r-FT-IR) ทำการศึกษาผ้าที่มีองค์ประกอบชนิดเดียวทั้งหมด 61 แบบ โดยแบ่งได้เป็น 16 ประเภทที่แตกต่างกัน ทำการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ระหว่างโหมด r-FT-IR กับ ATR-FT-IR ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างสองวิธีการวิเคราะห์ โดยในกรณีศึกษาสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ของวิธี r-FT-IR มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวิธี ATR-FT-IR แต่ก็ยังพบว่าในกรณีของเส้นใยที่ทำมาจากขนสัตว์ ไหม และ polyamide เทคนิค r-FT-IR มีความสามารถจำแนกความแตกต่างของ ได้ดีกว่าเทคนิค ATR-FTIR (Peets, Kaupmees, Vahur, & Leito, 2019)

ปี 2562 Diego Badillo-Sanchez ได้ทำการศึกษาประวัติการเสื่อมสภาพของผ้าไหมในทวีปอเมริกาใต้ โดยใช้เทคนิค A Focal Plane Array (FPA) FTIR และวิธีอื่นๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ผ้าไหมถูกสร้างขึ้นมาจากวัตถุดิบที่ประเมินค่าไม่ได้ และควรค่าแก่การอนุรักษ์ไว้ซึ่งความงดงาม จึงจำเป็นต้องทำการเก็บรักษาไฟโบรอินโปรตีนที่อยู่ในเส้นไหมเพื่อไม่ให้เสื่อมสภาพจากการย้อม มลภาวะและเทคนิคการผลิต เครื่องมือ FPA FTIR สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถึงระดับไมครอน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทุติยภูมิของเส้นไหมจากหลายพื้นที่ของทวีปอเมริกาใต้ โดยเทคนิค FTIR และวิธีอื่นๆ เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนจากอายุของตัวอย่าง และการย้อม พบว่าแรงกดแรงดันที่ใช้จากการใช้วิธี ATR ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างของเส้นใย การให้สเปคตรัมที่คล้ายคลึงกันสำหรับความเก่าแก่และอายุของตัวอย่าง พบว่าบางค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่าง กับค่าที่เปลี่ยนไปในโครงสร้างทุติยภูมิ โยความสัมพันธ์นี้เกี่ยวข้องระหว่างสี

ของตัวอย่างกับโครงสร้างของเส้นใยไหม ที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีในการย้อมเส้นไหม ทั้งนี้ยังได้ศึกษาโดยเทคนิค FPA μ– FTIR และอีกหลายวิธีเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำและไม่ส่งผลกระทบต่อโปรตีนในโครงสร้างทุติยภูมิของตัวอย่าง (Badillo-Sanchez, Chelazzi, Giorgi, Cincinelli, & Baglioni, 2019)

จากข้อมูลการศึกษาที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการจำแนกชนิดของผ้าชนิดต่างๆและศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผ้าชนิดนั้นๆถูกทำลายโดยความร้อนจนเสียสภาพการเป็นผ้า โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection - Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) เพื่อสามารถแยกความแตกต่างของผ้าชนิดต่างๆ และเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผ้าที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับผ้าที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีทั้งหมด 12 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้าซาติน ผ้าผสม (65% polyester35% cotton) ผ้าใยบัวเกาหลี ผ้ากำมะหยี่ ผ้าสักหลาด ผ้าขนหนู ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้ายืดโพลีเอสเตอร์ ผ้าดิบ TC (Toray tetoron+cotton) และ เส้นใยอะคริลิค ภาพประกอบตามตารางที่ 3

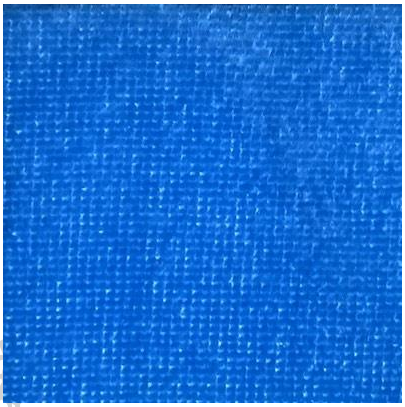
ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง

The type of fabrics	Picture
ผ้าฝ้าย 100% cotton	
เส้นใยอะคลิลิค 100% acrylic fibers	

ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

The type of fabrics	Picture
ผ้าผสม 65% polyester 35% cotton	
ผ้าซาติน (Satin fabric)	
ผ้าใยบัวเกาหลี (Nylon stocking flower fabric)	

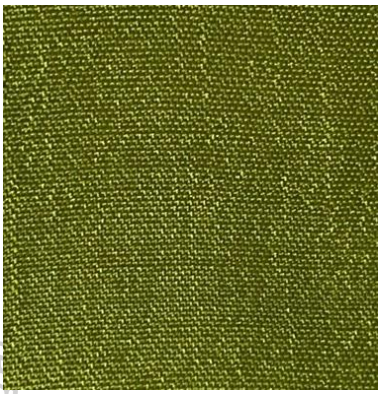
ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

The type of fabrics	**Picture**
ผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric)	
ผ้าสักหลาด (Felt fabric)	
ผ้าขนหนู (Towel fabric Cotton)	

ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

The type of fabrics	Picture
ผ้าโพลีเอสเตอร์ (100% polyester)	
ผ้ายืดโพลีเอสเตอร์	
ผ้าดิบ TC (Toray tetoron+cotton)	

ตารางที่ 3 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

The type of fabrics	Picture
ผ้าไหม (Silk)	

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่อง Attenuated Total Reflectance (รุ่น Universal ATR sampling accessory) และ Fourier Transform Infrared Spectroscopy รุ่น Spectrum 100 FT-IR ยี่ห้อ PerkinElmer , เครื่องให้ความร้อน (Hotplate Stirrer), และอุปกรณ์อื่นๆ ตามที่ปรากฏตามตารางที่ 4 และสารเคมีที่ใช้ ตามที่ปรากฏตามตารางที่ 5

ตารางที่ **4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

Tools and equipment	**Picture**
ชุดเครื่องมือ ATR-FTIR - เครื่อง Attenuated Total Reflectance (ATR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Universal ATR sampling accessory - เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 FTIR	
เครื่องให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนสารละลาย (Hotplate Stirrer) รุ่น C-MAG HS 7	
ปากคีบ (Forceps)	

ตารางที่ 4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

Tools and equipment	Picture
กรรไกร	
FLAME GUN GAS BURNER หัวพ่นแก๊ส	
GAS Refill กระป๋องแก๊ส	
Aluminium foil	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

Tools and equipment	Picture
กระดาษทิชชู	
สำลี	
ช้อนตักสารพลาสติก	

ตารางที่ 5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

Tools and equipment	Picture
Acetone	

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร สำหรับใช้วิเคราะห์ชนิดผ้า

3.1.2. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร แล้วนำไปวางบนเตาให้ความร้อน (Hot Plate)โดยให้ความร้อนที่ 200 และ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10นาที 20นาที และ 30 นาที

3.1.3. นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด ขนาด 3x3 เซนติเมตร ทำให้เสียสภาพโดยการเผาด้วยไฟจากไฟหัวพ่นแก๊สกระป๋อง (Butane gas cartridge) จนผ้าไหม้เป็นเถ้าหรือเป็นยางเหนียว

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ ATR-FTIR

นำตัวอย่างผ้าทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยตั้งค่าการสแกน ที่ 4000-650 cm^{-1} ที่ 16 scans มีค่า resolution 4 cm^{-1} จะได้สเปกตรัมที่พล็อตระหว่าง % Transmittance กับเลขคลื่น (cm^{-1}) จากนั้นนำผลสเปกตรัมที่ได้ ไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของพีค และประมวลผลการทดลองต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

แผนผังการทดลอง

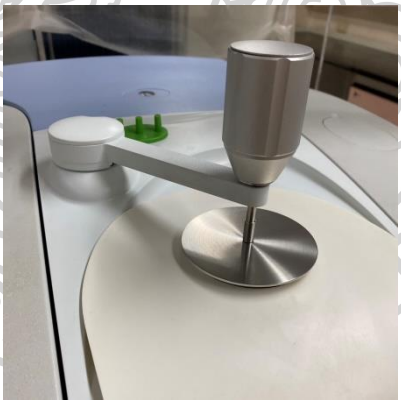
ตัวอย่างผ้า จำนวน 12 ชนิด

ผ้าชนิดต่างๆ

ผ้าที่ถูกให้ความร้อนด้วย Hot Plate

ผ้าที่ถูกเผาด้วยไฟจนไหม้

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค **ATR-FTIR**



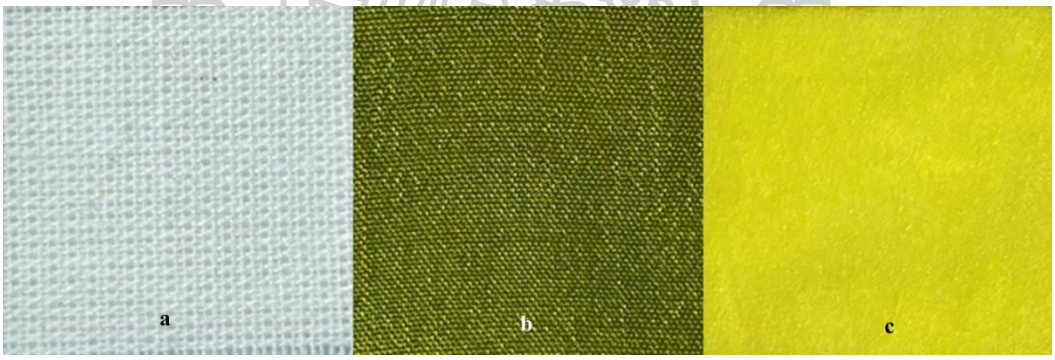
วิเคราะห์หาตำแหน่งของพีค และประมวลผล

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR

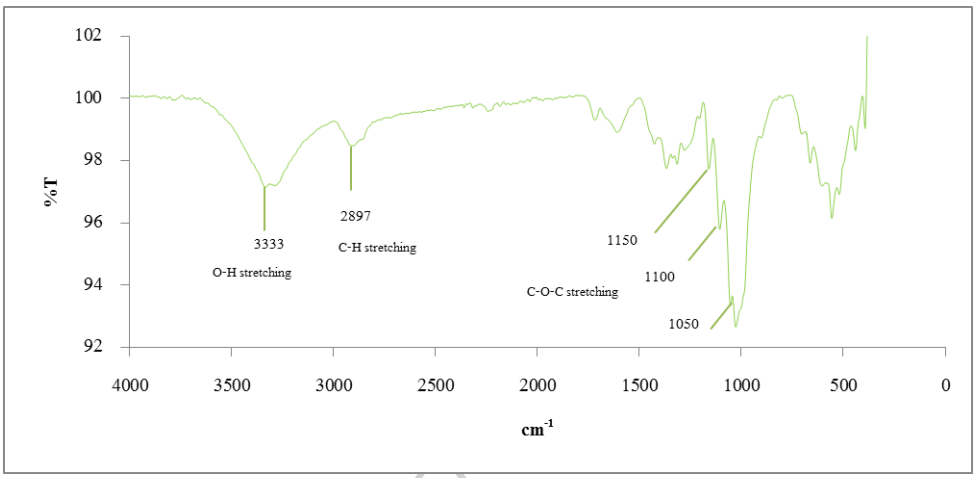
เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย เทคนิค ATR-FTIR พบว่าตำแหน่งพีคในสเปกตรัม ของผ้าแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไปตามหมู่ฟังก์ชั่น ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบแล้วพบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างผ้า ตามวัสดุของเส้นใยที่ผลิตคือ เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ได้แก่ ผ้า cotton 100% และ ผ้าขนหนู (Towel fabric) เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ผ้าไหม (Silk) เส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% ผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric) ผ้าสักหลาด (Felt fabric) ผ้าซาติน (Satin fabric) ผ้าใยบัวเกาหลี เส้นใย Acrylic และเมื่อจำแนกเส้นใยตามลักษณะหมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏ จะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ ได้แก่ กลุ่มของผ้า Cotton กลุ่มของผ้าไหม (Silk) กลุ่มของ Polyester กลุ่มของ Polyamide และกลุ่มของ Acrylic ดังตารางที่ 6 และพบว่ามีผ้าผสมที่ผลิตจากเส้นใยมากกว่าหนึ่งชนิดจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ผ้าดิบ TC และ ผ้าผสม (ระหว่าง65% polyester กับ 35% cotton) ซึ่งผ้าทั้งสองชนิดแสดงหมู่ฟังก์ชั่นของผ้า cotton และ หมู่ฟังก์ชั่นของ polyester ดังภาพสเปกตรัมที่ปรากฏในภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10



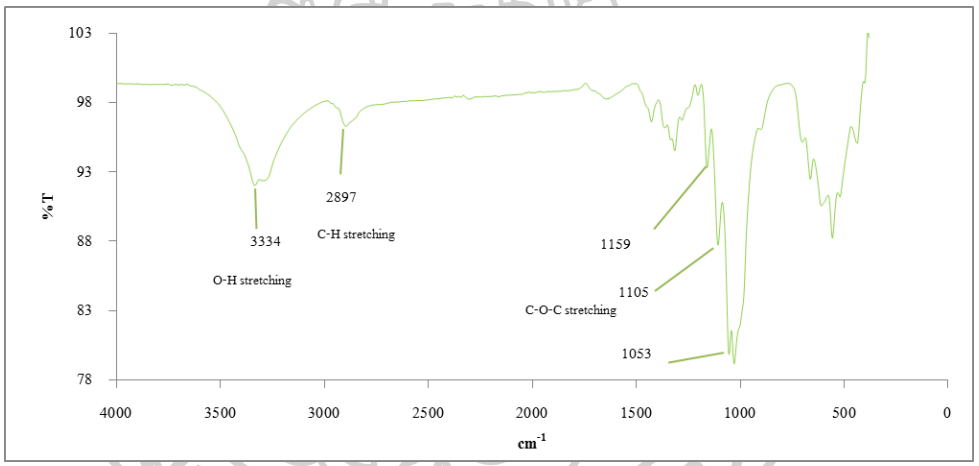
ภาพที่ 6 ตัวอย่างผ้าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ผ้าฝ้าย a.) ผ้าไหม b.) ผ้าใยบัวเกาหลี c.)

ตารางที่ 6 หมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏของผ้าแต่ละชนิด

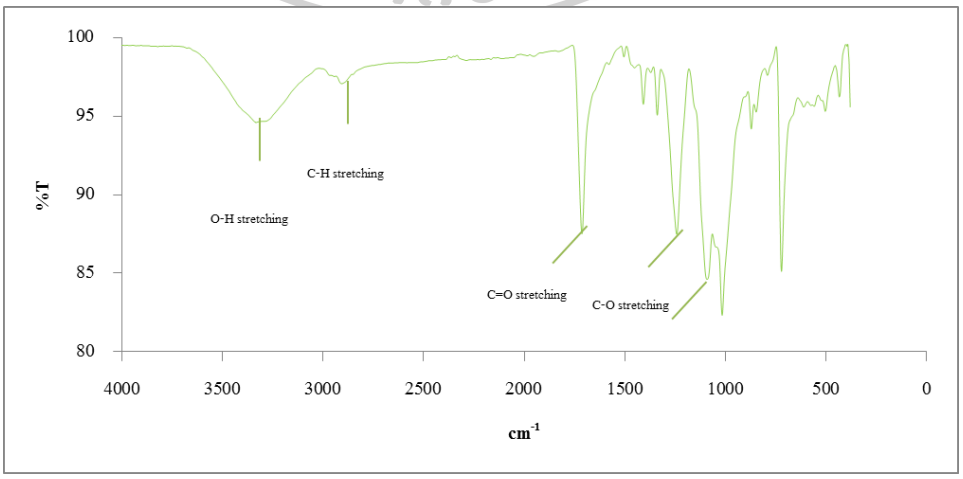
กลุ่มที่	ผ้า	หมู่ฟังก์ชัน
กลุ่มที่1ผ้า Cotton	ผ้า cotton ผ้าขนหนู	O-H stretching ที่เลขคลื่น 3333 cm^{-1}, C-O-C stretching ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1}, 1150 cm^{-1}, C-H stretching ที่เลขคลื่น 2897 cm^{-1}
กลุ่มที่ 2 ผ้าไหม	ผ้าไหม	O-H stretching ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1}, C-H stretching, C=O stretching ที่เลขคลื่น 1696 cm^{-1}, N-H bending ที่เลขคลื่น 1514 cm^{-1} และ ที่เลขคลื่น 1619 cm^{-1}
กลุ่มที่ 3 Polyester	ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้ากำมะหยี่ ผ้าสักหลาด ผ้าซาติน	C=O stretching ที่เลขคลื่น 1713 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ของ ester หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่เลขคลื่น 1245 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชันของ C-H bending
กลุ่มที่ 4 Polyamide	ผ้าใยบัวเกาหลี	C-H stretch ที่เลขคลื่น 2932 cm^{-1}และ 2862 cm^{-1}ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน CH_3, CH_2 ของอัลเคน, N-H bend ที่เลขคลื่น 1632 cm^{-1}และ 1536 cm^{-1} C-O stretch ที่เลขคลื่น 1261 cm^{-1},N-H stretch ที่เลขคลื่น 3294cm^{-1}
กลุ่มที่ 5 Acrylic	เส้นใย Acrylic	C=N stretching ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1}, C=O stretching ที่เลขคลื่น 1733 cm^{-1} ของหมู่ ester, C=C stretching ที่เลขคลื่น 1645 cm^{-1} ของหมู่อัลคีน, C-H bending ที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1}



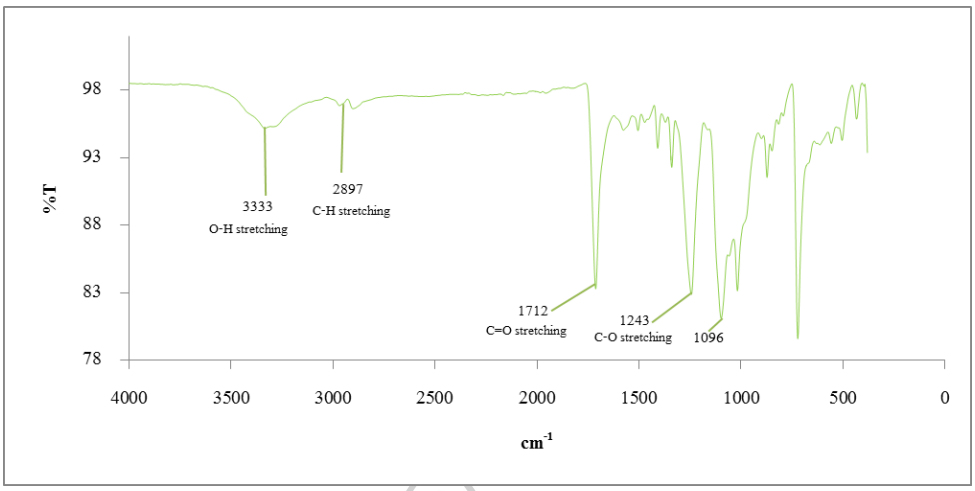
ภาพที่ 7 Infrared spectrum ของผ้าฝ้าย cotton 100%



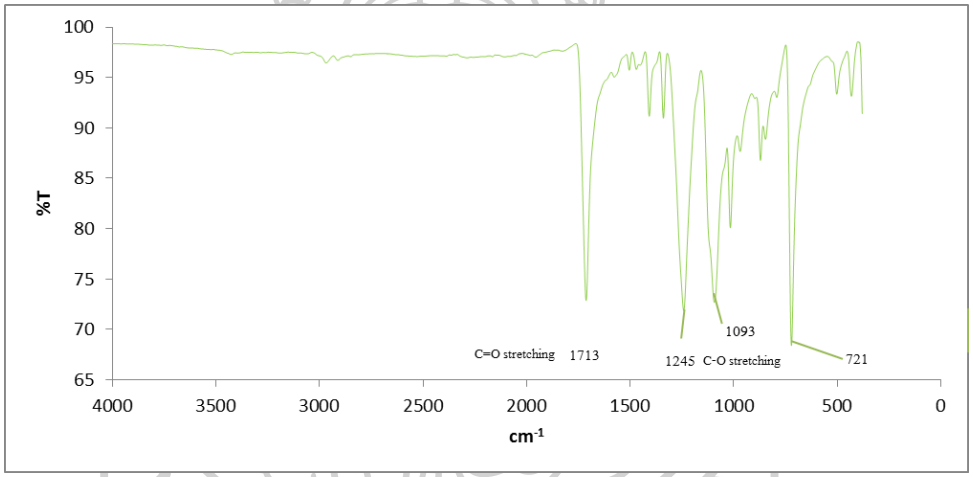
ภาพที่ 8 Infrared spectrum ของผ้าขนหนู (Towel fabric)



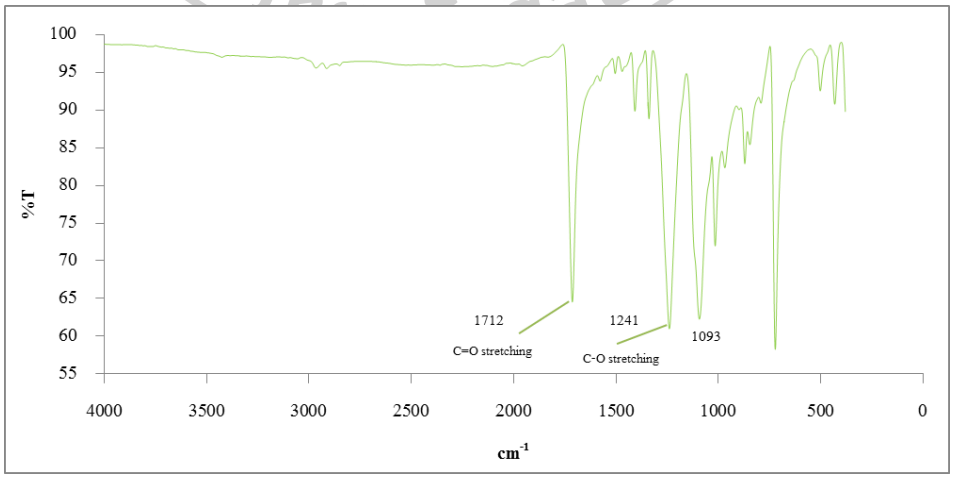
ภาพที่ 9 Infrared spectrum ของผ้าดิบ TC (Toray tetoron+Cotton)



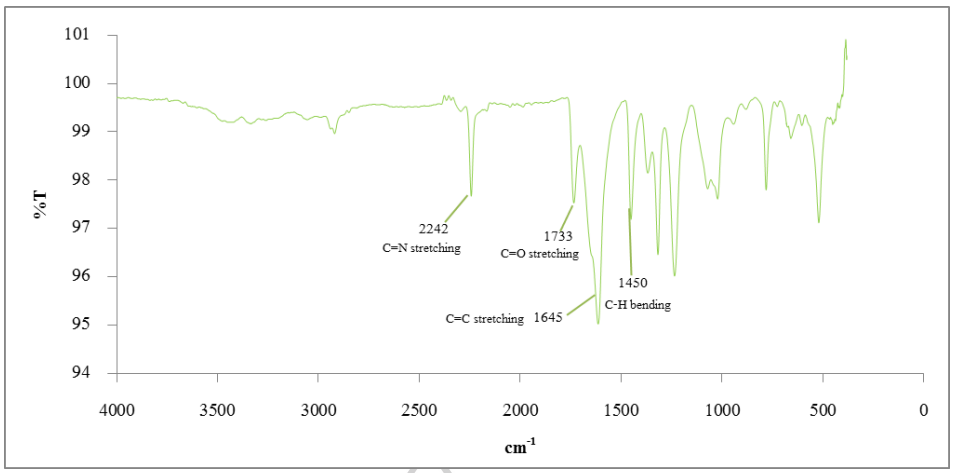
ภาพที่ 10 Infrared spectrum ของผ้าผสม 65% polyester กับ 35% cotton



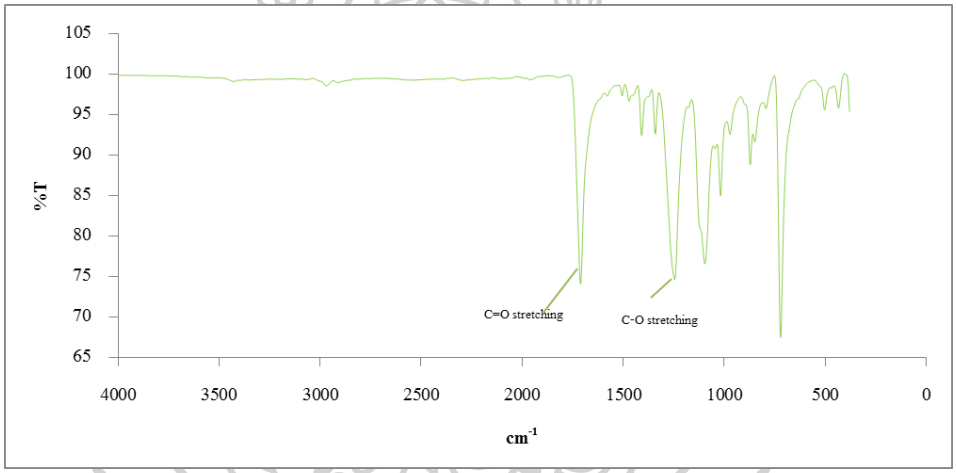
ภาพที่ 11 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ 100%



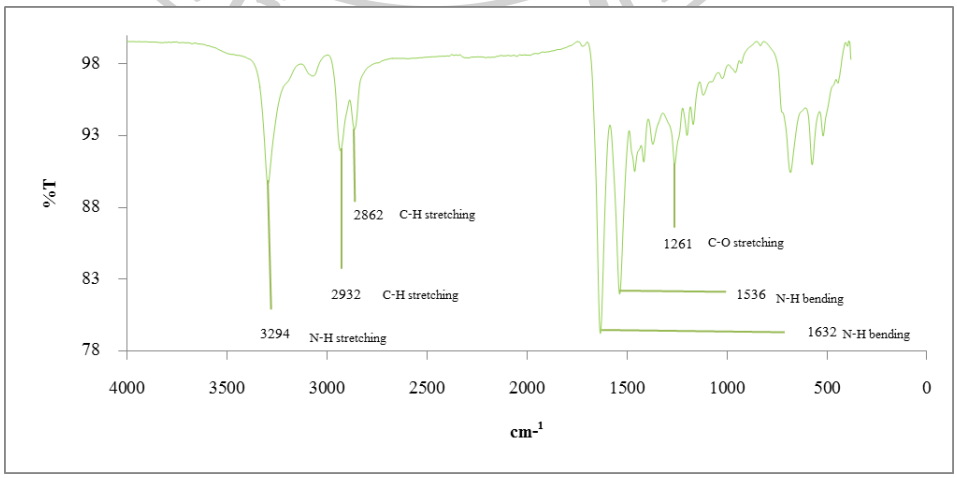
ภาพที่ 12 Infrared spectrum ของผ้ายืดโพลีเอสเตอร์ (polyester)



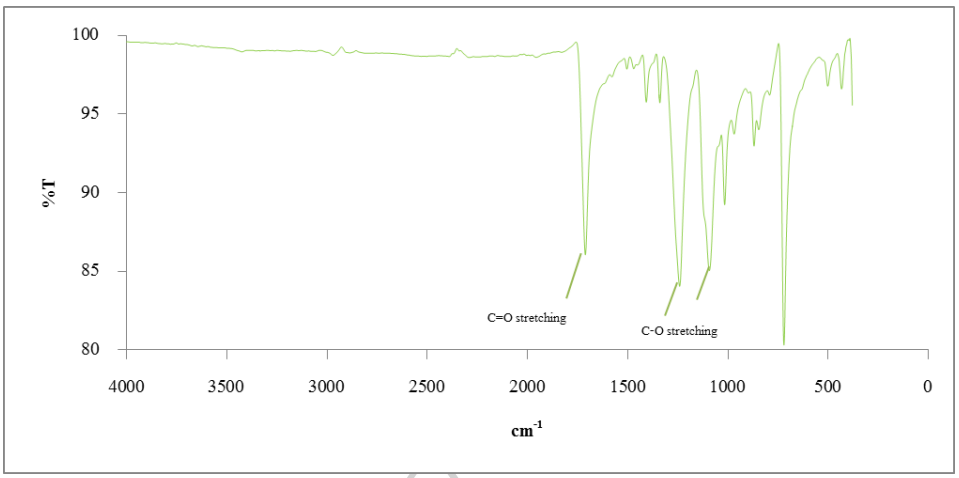
ภาพที่ 13 Infrared spectrum ของเส้นใย Acrylic fibers 100%



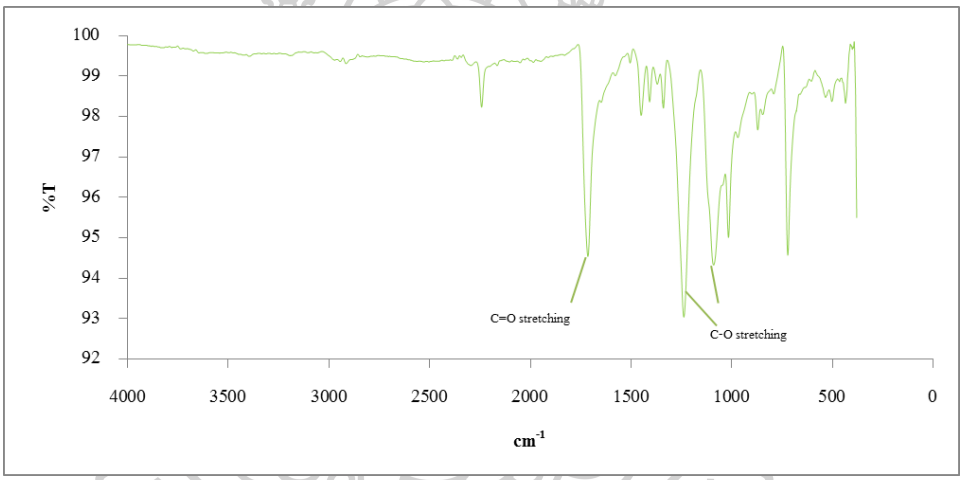
ภาพที่ 14 Infrared spectrum ของผ้าซาติน (Satin fabric)



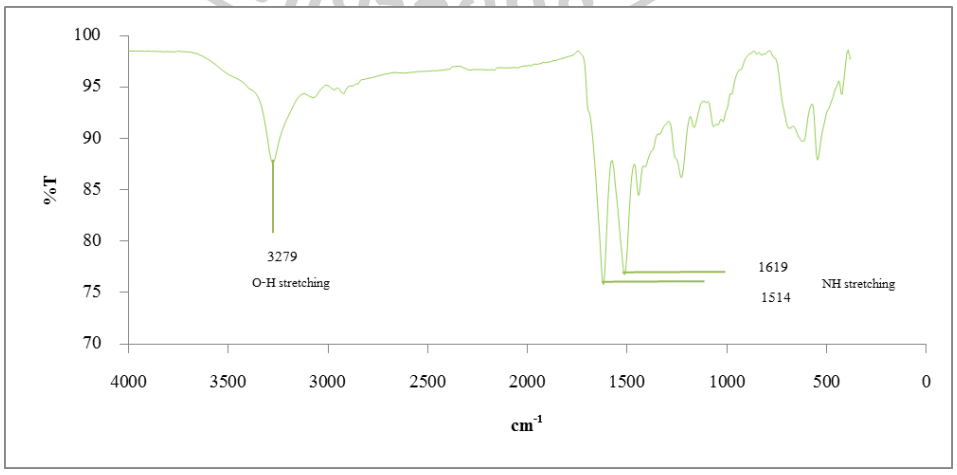
ภาพที่ 15 Infrared spectrum ของผ้าใยบัวเกาหลี (stocking fabric)



ภาพที่ 16 Infrared spectrum ของผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric)

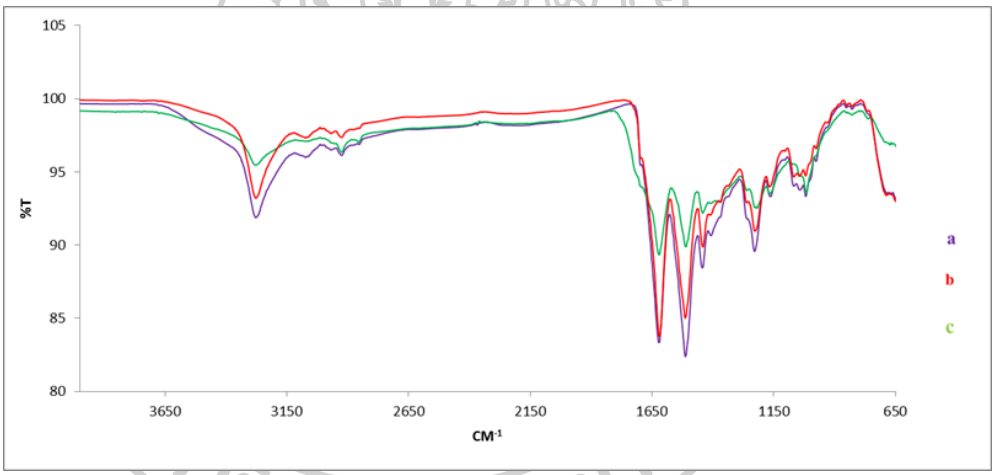


ภาพที่ 17 Infrared spectrum ของผ้าสักหลาด (Felt fabric)

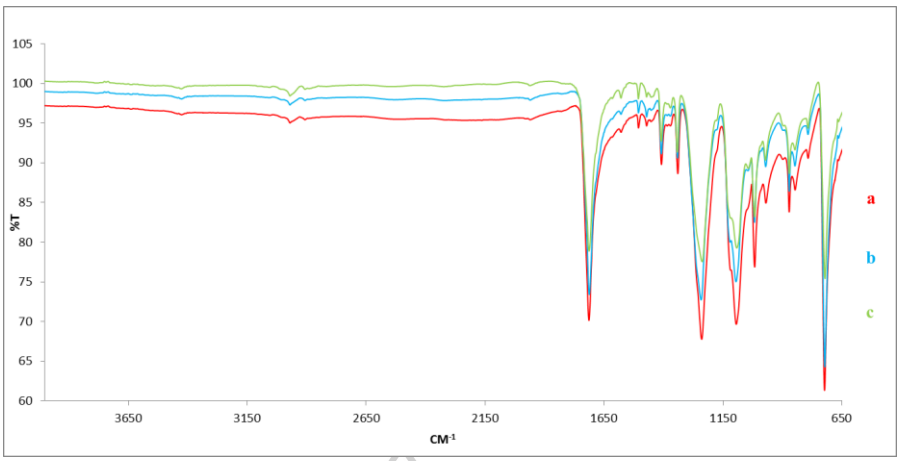


ภาพที่ 18 Infrared spectrum ของผ้าไหม (Silk)

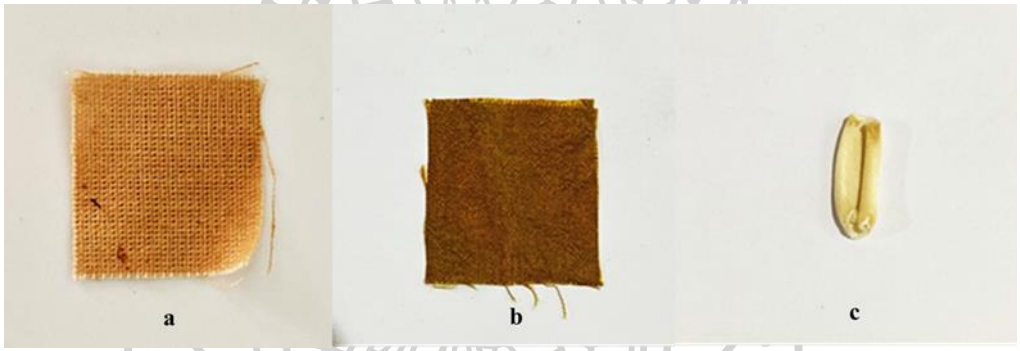
จากการวิเคราะห์ผ้าที่ถูกให้ความร้อนโดยแท่นให้ความร้อน (Hotplate) ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นเมื่อนำมาเปรียบกับผลการวิเคราะห์ในตารางที่6 ว่าไม่มีพีคในสเปกตรัมสลายไปจากการให้ความร้อนเพียง 200 - 300 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 10 นาที 20 นาที และ 30 นาที แต่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบางประการ คือ ทำให้ผ้าสีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเป็นสีขาวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลไหม้ ได้แก่ ผ้า cotton ผ้าขนหนู และผ้าไหมเดิมเป็นสีเขียวเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลไหม้ และทำให้เกิดความเปราะบางขึ้น ในส่วนของ ผ้าซาติน ผ้าใยบัวเกาหลี ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้ายืดโพลีเอสเตอร์ เมื่อมีการให้ความร้อนผ้ามีลักษณะการหดตัวของผ้า และเกิดลักษณะการหลอมละลาย ผ้ากำมะหยี่ ผ้าสักหลาด เส้นใยอะคริลิค ผ้าดิบ TC ผ้าผสม (65% polyester35% cotton)ผ้าเกิดการไหม้เกรียมไปเพียงบางส่วนแต่ไม่ได้เกิดลักษณะการลุกไหม้



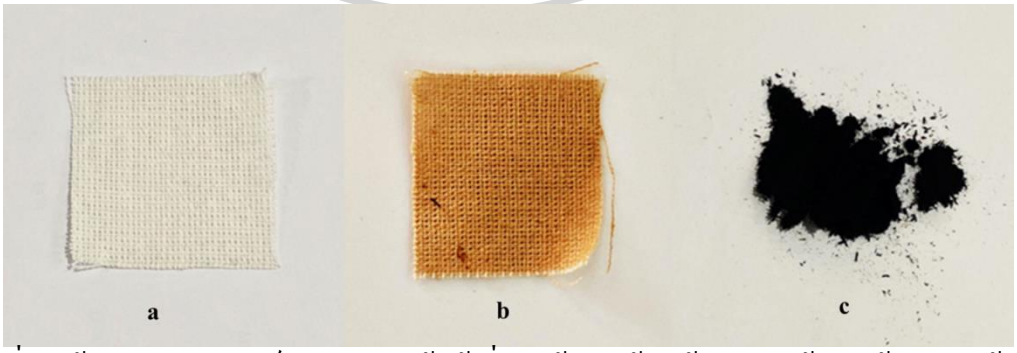
ภาพที่ 19 Infrared spectrum ของผ้าไหมที่ถูกให้ความร้อนจากแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 °c โดยที่ให้ความร้อนที่ 300 °c เวลา 10 นาที a.) ให้ความร้อนที่ 300 °c เวลา 20 นาที b.) ให้ความร้อนที่ 300 °c เวลา 30 นาที c.)



ภาพที่ 20 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ถูกให้ความร้อนจากแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °c โดยที่ ให้ความร้อนที่ 200 °c เวลา 10 นาที a.) ให้ความร้อนที่ 200 °c เวลา 20 นาที b.)ให้ความร้อนที่ 200 °c เวลา 30 นาที c.)



ภาพที่ 21 ผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย Hot plate อุณหภูมิ 200 °c เป็นเวลา 30 นาที ผ้า cotton a.) ผ้าไหม b.) ผ้าซาติน c.)

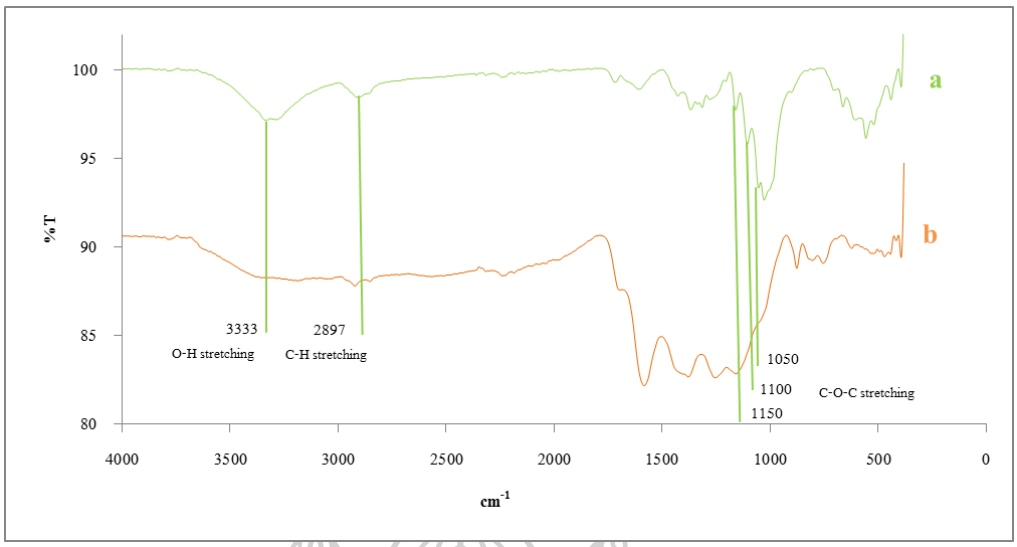


ภาพที่ 22 ผ้าสำหรับวิเคราะห์จำแนกชนิดผ้า ผ้าที่ถูกให้ความร้อนด้วยแท่นให้ความร้อน และผ้าที่ถูกเผาด้วยไฟ ผ้าฝ้ายขนาด ขนาด3x3เซนติเมตรสำหรับใช้วิเคราะห์จำแนกชนิดผ้า a.) ผ้าที่ฝ้ายถูกให้ความร้อน ให้ความร้อนที่ 200 °c เป็นเวลา 30นาที b.) ผ้าฝ้ายที่ถูกเผาด้วยไฟจากหัวพ่นแก๊ส c.)

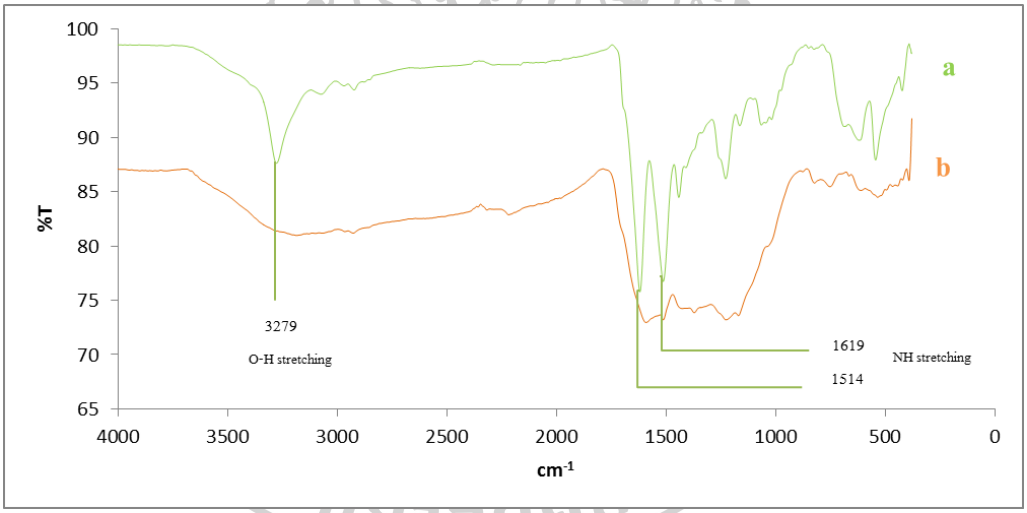
ผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ทำให้เสียสภาพโดยการเผาด้วยไฟจากหัวพ่นแก๊ส พบว่าผ้ากลุ่มที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติบางโครงสร้างถูกทำลายจากการถูกเผาด้วยไฟ ได้แก่ ผ้า Cotton (ภาพที่23) และจากตารางที่ 7 จะเห็นว่าหมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ที่เลขคลื่น 3333 cm^{-1}, C-O-C stretch ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1} ,1150 cm^{-1} ถูกทำลายลงจากการเผาไฟ และผ้าไหม (ภาพที่ 24) ตำแหน่งพีคในสเปกตรัมที่ถูกทำลายของผ้าไหม จะเห็นว่าหมู่ฟังก์ชั่นที่ถูกทำลายจากการเผาไฟ คือ หมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1}, เลขคลื่น 1619 cm^{-1} แต่ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ยังคงสภาพโครงสร้างเช่นเดิมตามหมู่ฟังก์ชั่นของผ้า ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ (ภาพที่ 26) ผ้ายืดโพลีเอสเตอร์ เส้นใย Acrylic ผ้าซาติน ผ้าใยบัวเกาหลี (ภาพที่ 25) ผ้ากำมะหยี่ผ้าสักหลาด และผ้าผสมที่มีส่วนประกอบระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยเคราะห์ พีคของหมู่ฟังก์ชั่นเส้นใยธรรม ชาติสลายไปจากการเผาไฟ แต่หมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นของหมู่เส้นใยสังเคราะห์ยังคงเดิม (ภาพที่ 27)

ตารางที่ 7 แสดงตำแหน่งพีคในสเปกตรัมที่ถูกทำลายของผ้าที่ถูกเผาไฟ

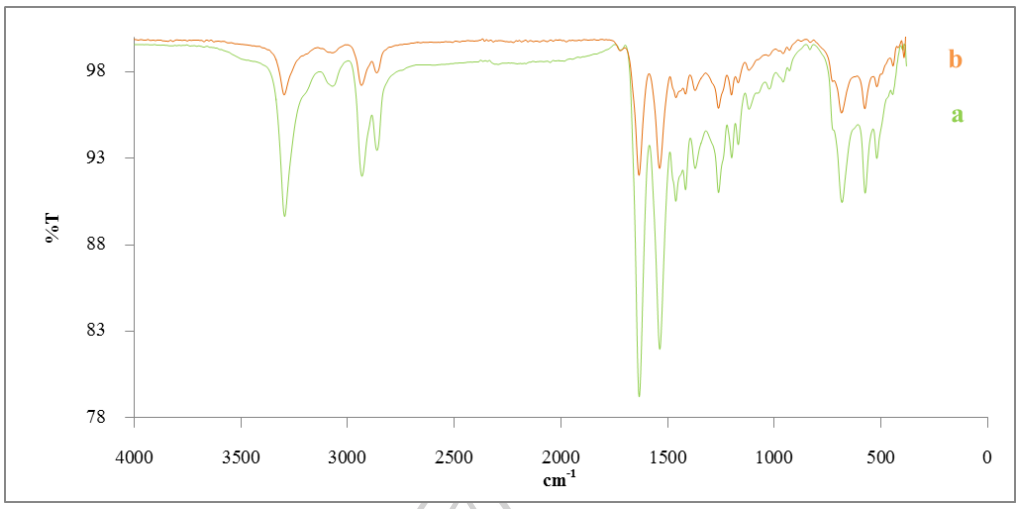
กลุ่ม	ผ้า	ตำแหน่งพีคในสเปกตรัมที่ถูกทำลาย
กลุ่มที่ 1ผ้า Cotton	ผ้า cotton 100% และผ้าขนหนู (Towel fabric)	หมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ที่เลขคลื่น 3333 cm^{-1}, C-O-C stretch ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1} ,1150 cm^{-1}
กลุ่มที่ 2 ผ้าไหม (Silk)	ผ้าไหม (Silk)	หมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1}, เลขคลื่น 1619 cm^{-1}



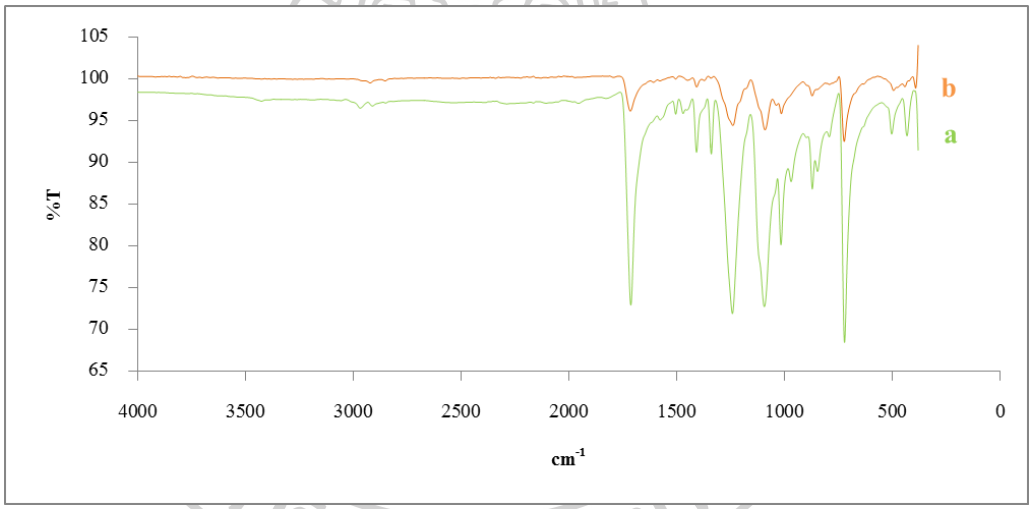
ภาพที่ 23 Infrared spectrum ของผ้า Cotton a.) และ ผ้า Cotton ที่ถูกเผาไฟ b.)



ภาพที่ 24 Infrared spectrum ของผ้า ไหม a.) และ ผ้า ไหม ที่ถูกเผาไฟ b.)

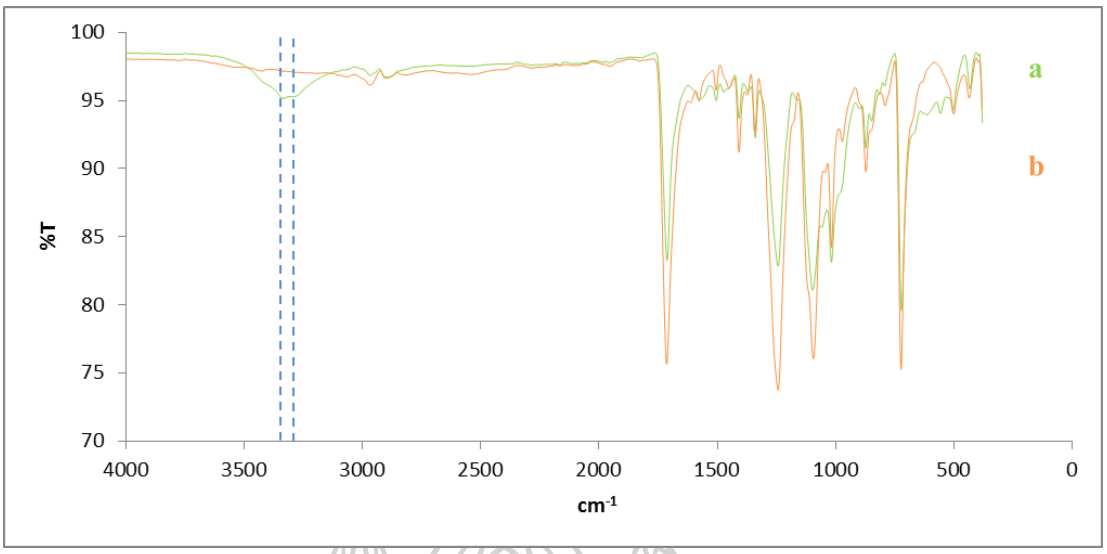


ภาพที่ 25 Infrared spectrum ของผ้าใยบัวเกาหลี a.) และ ผ้าใยบัวเกาหลีที่ถูกเผาไฟ b.)

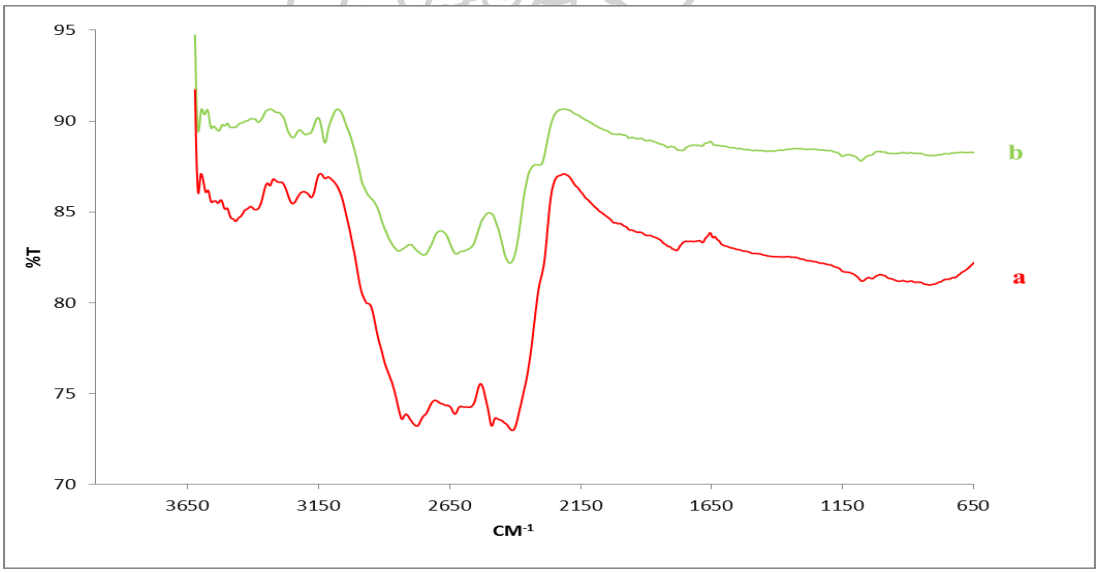


ภาพที่ 26 Infrared spectrum ของผ้าโพลีเอสเตอร์ a.) และ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ที่ถูกเผาไฟ b.)

จากภาพที่ 25 ผ้าใยบัวเกาหลี ภาพที่ 26 ผ้าโพลีเอสเตอร์ แสดง Infrared spectrum ของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ หลังจากผ้าถูกเผาไฟจนเสียสภาพความเป็นผ้าแล้ว พีคในสเปคตรัมของผ้าใยบัวเกาหลีและผ้าโพลิเอสเตอร์ยังคง แสดงให้เห็นในตำแหน่งเดิมเช่นเดียวกับผ้าที่ยังไม่ถูกเผา

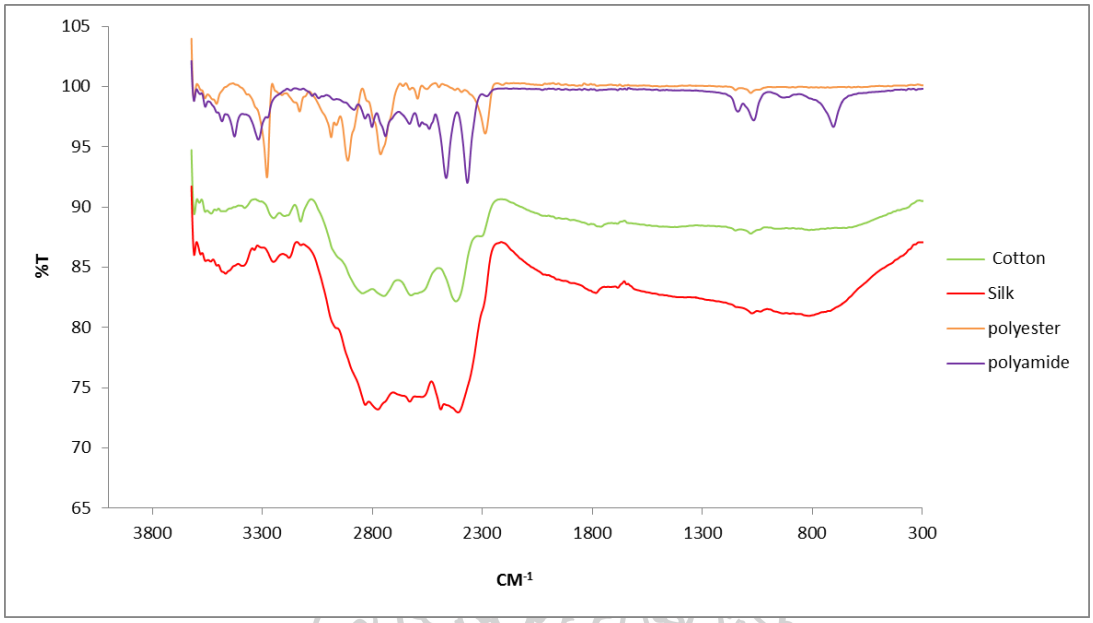


ภาพที่ 27 Infrared spectrum ของผ้าผสม65% polyester กับ 35% cotton a.) และผ้าผสม 65% polyester กับ 35% cotton ที่ถูกเผาไฟ b.) จากภาพจะเห็นว่าเมื่อถูกเผา พีคในสเปคตรัมของส่วนที่เป็นผ้า cotton ถูกทำลายจากการเผา แต่พีคในสเปคตรัมของส่วนที่เป็น polyester ยังคงสภาพเดิม



ภาพที่ 28 Infrared spectrum ของผ้าที่ถูกเผา ผ้าไหม a.) และผ้าฝ้าย b.)

จากภาพที่ 28 Infrared spectrum ผ้าที่ถูกเผาของผ้าไหมและผ้าฝ้าย จะเห็นว่าไม่สามารถจำแนกชนิดของผ้าจากสเปกตรัมที่ปรากฏได้เนื่องจากพีคที่สำคัญของผ้าฝ้ายและผ้าไหมได้ถูกทำลายจากการถูกเผาไฟซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 7



ภาพที่ 29 Infrared spectrum ของผ้าที่ถูกเผาของผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้าโพลิเอสเตอร์ ผ้าใยบัวเกาหลี

จากภาพที่ 29 เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ผ้าจากตารางที่ 6 และตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าหลังจากผ้าถูกเผาไฟจนเสียสภาพแล้วพีคในสเปคตรัมของผ้ากลุ่มที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ผ้าโพลิเอสเตอร์และใยบัวเกาหลียังคงแสดงให้เห็นในตำแหน่งเดิม เช่นเดียวกับผ้าที่ยังไม่ถูกเผาทำให้สามารถจำแนกชนิดผ้าผ้าแม้ถูกทำลายจากการถูกเผาไฟ แต่ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าไหม พีคที่สำคัญในสเปคตรัมถูกทำลายจึงไม่สามารถจำแนกชนิดผ้าหลังจากถูกทำลายด้วยไฟได้

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาการการจำแนกชนิดผ้าและศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของผ้าเมื่อถูกให้ความร้อน โดยเลือกใช้ผ้าจำนวน 12 ชนิด ที่ทราบชนิดหรือชื่อทางการค้าของผ้าชนิดต่างๆ คือ ผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้าซาติน ผ้าผสม (65% polyester35% cotton) ผ้าใยบัว เกาหลี ผ้ากำมะหยี่ ผ้าสักหลาด ผ้าขนหนู ผ้าโพลิเอสเตอร์ ผ้ายืดโพลิเอสเตอร์ ผ้าดิบ TC และ เส้นใยอะคริลิก โดยใช้วิธีวิเคราะห์เดียวกันคือเทคนิค ATR-FTIR โดยที่การศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของผ้าเมื่อถูกให้ความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ให้ความร้อนจากเครื่อง ให้ความร้อน Hot Plate กำหนดระยะเวลา 10 นาที 20 นาที และ30นาที ที่ความร้อน 200 และ300 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนจากไฟหัวพ่นแก๊สกระป๋องจนผ้าไหม้เสียสภาพ

จากการศึกษาการจำแนกผ้าจำนวน 12 ชนิด และศึกษาผ้าเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อน โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR สามารถสรุปได้ว่าเมื่อนำผ้ามาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR สามารถจำแนกตัวอย่างผ้าเป็นสองกลุ่มตามกลุ่มของเส้นใยที่ผลิตคือ เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ โดยผ้าชนิดที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ได้แก่ ผ้า Cotton ลักษณะทางกายภาพของฝ้ายเป็นสีขาว ครีม มีความเป็นรูพรุนระบายอากาศได้ดี ความแข็งแรงของผ้า ปานกลาง การยืดตัวค่อนข้างดี และเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ผ้าไหม ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของเส้นใยไหมจะมีลักษณะความมันวาว มีความยืดตัวดี การคืนตัวจากแรงอัดดี ทำให้ผ้าไม่ยับง่าย และเส้นใยสังเคราะห์ ลักษณะของเส้นใยชนิดนี้มีความแข็งแรง และทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ ผิวเส้นใยเรียบ แต่จุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ต้องระมัดระวังในการรีด ได้แก่ Polyester Nylon Polyamide เส้นใย Acrylic และยังตรวจเจอผ้าผสมชนิดที่ผลิตจากเส้นใยมากกว่าหนึ่งชนิด ได้แก่ ผ้าผสม (65% polyester กับ 35% cotton), ผ้าดิบ TC (Toray tetoron + cotton)

เมื่อนำมาจำแนกเส้นใยตามลักษณะหมู่ฟังก์ชั่นที่ปรากฏ สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะ ของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ คือ กลุ่มที่1 ผ้าฝ้าย Cotton ได้แก่ ผ้า cotton 100% และ ผ้าขนหนู (Towel fabric) ปรากฏหมู่ฟังชั่น O-H stretch ที่เลขคลื่น 3333 cm^{-1}, C-O-C stretch ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1},1150 cm^{-1} , C-H stretch ที่เลขคลื่น 2897 cm^{-1} กลุ่มที่ 2 ผ้าไหม (Silk) ปรากฏหมู่

ฟังชั่น O-H stretch ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1}, C-H stretch, C=O stretch ที่เลขคลื่น 1696 cm^{-1}, N-H bend ที่เลขคลื่น 1514 cm^{-1} และ ที่เลขคลื่น 1619 cm^{-1} กลุ่มที่ 3 Polyester ได้แก่ ผ้าโพลิเอสเตอร์ 100% ผ้ากำมะหยี่ (Velvet fabric) ผ้าสักหลาด (Felt fabric) ผ้าซาติน (Satin fabric) ปรากฏหมู่ฟังชั่น C=O stretch ที่เลขคลื่น 1713 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ ของ ester หมู่ฟังก์ชั่น C-O stretch ที่เลขคลื่น 1245 cm^{-1}และC-H bend กลุ่มที่ 4 Polyamide ได้แก่ผ้าใย บัวเกาหลี ปรากฏหมู่ฟังชั่น C-H stretch ที่เลขคลื่น 2932 cm^{-1}และ 2862 cm^{-1}ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน CH_3, CH_2 ของอัลเคน, N-H bend ที่เลขคลื่น 1632 cm^{-1}และ 1536 cm^{-1} C-O stretch ที่เลขคลื่น 1261 cm^{-1}, N-H stretch ที่เลขคลื่น 3294 cm^{-1} และกลุ่มที่ 5 Acrylic ได้แก่ เส้นใย Acrylic ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชั่น C=N stretch ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1}, C=O stretch ที่เลขคลื่น 1733cm^{-1}ของหมู่ ester, C=C stretch ที่เลขคลื่น 1645 cm^{-1}ของหมู่อัลคีน, C-H bend ที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1}

ผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ถูกให้ความร้อนจากเครื่องให้ความร้อน (Hotplate) ปรากฏว่าความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้พีคในสเปกตรัมเสียหายได้ และผลจากการวิเคราะห์ผ้าที่ผ่านความร้อนจากการถูกเผาด้วยไฟพบว่าสามารถทำให้ผ้า Cotton เสียสภาพและสามารถทำให้พีคของหมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ที่เลขคลื่น 3333 cm^{-1}, C-O-C stretch ที่เลขคลื่น 1050 cm^{-1}, 1100 cm^{-1},1150 cm^{-1} สลายไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hung Kim Nguyen และคณะ และผ้าไหมเมื่อผ่านความร้อนจากการถูกเผาด้วยไฟปรากฏว่ามีหมู่ฟังก์ชั่นที่ถูกทำลายจากการเผาไฟ คือ หมู่ฟังก์ชั่น O-H stretch ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1}, เลขคลื่น 1619 cm^{-1} ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของหมู่เอไมด์ ซึ่งเป็นโปรตีนในไหม (Nguyen, Sakai, & Nguyen, 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pilleriin Peet และคณะ ส่วนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ยังคงสภาพโครงสร้างเช่นเดิมแม้ว่าถูกทำให้เสียสภาพจากการเผาไฟ ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าใยบัวเกาหลี ผ้ากำมะหยี่ ผ้าซาติน ผ้าสักหลาด เส้นใย Acrylic และผ้าผสมที่มีส่วนประกอบระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยเคราะห์ พีคของหมู่ฟังก์ชั่นเส้นใยธรรมชาติสลายไปจากการเผาไฟ แต่หมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นของหมู่เส้นใยสังเคราะห์ยังคงเดิม (Peets et al., 2019)

จากผลการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสรุปได้ว่าสามารถใช้เทคนิค ATR-FTIR ในการจำแนกชนิดผ้าได้ สำหรับการวิเคราะห์ผ้าที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการเผาไฟด้วยหัวพ่นแก๊สได้เฉพาะผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์หลังจากถูกเผาไฟได้พีคในสเปกตรัมยังคงปรากฏหมู่ฟังก์ชันในตำแหน่งเดิมสำหรับผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติเมื่อถูกให้ความร้อนโดยการเผาด้วยไฟหัวพ่นแก๊ส

ไม่สามารถใช้เทคนิค ATR-FTIRในการจำแนกชนิดผ้าได้ ดังนั้นหากต้องการจัดจำแนกชนิดผ้าจากคดีเพลิงไหม้หรือเหตุอำพรางคดีโดยใช้การเผาทำลายวัตถุพยานที่เป็นวัสดุที่ทำมาจากผ้าอาจจะต้องใช้เทคนิคอื่นๆร่วมในการวิเคราะห์ตัวอย่างวัตถุพยานชนิดนั้นด้วย

รายการอ้างอิง

Badillo-Sanchez, D., Chelazzi, D., Giorgi, R., Cincinelli, A., & Baglioni, P. (2019). Understanding the structural degradation of South American historical silk: A Focal Plane Array (FPA) FTIR and multivariate analysis. *Scientific reports, 9*(1), 1-10.

Kvavadze, E., Bar-Yosef, O., Belfer-Cohen, A., Boaretto, E., Jakeli, N., Matskevich, Z., & Meshveliani, T. (2009). 30,000-year-old wild flax fibers. *Science, 325*(5946), 1359-1359.

Nguyen, H. K., Sakai, W., & Nguyen, C. (2020). Preparation of a Novel Flame Retardant Formulation for Cotton Fabric. *Materials, 13*(1), 54.

Peets, P., Kaupmees, K., Vahur, S., & Leito, I. (2019). Reflectance FT-IR spectroscopy as a viable option for textile fiber identification. *Heritage Science, 7*(1), 93.

จารุวรรณ อัมพฤกษ์. (2012). การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย *Fourler Trunsform Infrared Spectroscopy (FT-IR)*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

จิราพร เกิดแก้ว. (2015). การศึกษาผ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค *ATR-FTIR, TGA* และ *DSC* เพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

เชิดพงศ์ ชูกลิ่น. (2558). การวิเคราะห์กรณีศึกษา (Case study).

พล.ต.อ. อรรถพล แช่มสุวรรณวงศ์และคณะ. (2546). นิติวิทยาศาสตร์ *1* เพื่อการสืบสวนสอบสวน (*Forensic Science 1 for Crime Investigation)*. กรุงเทพฯ: บริษัท ทีซีจี พริ้นติ้ง จำกัด.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุธีรา ธรรมจง
วัน เดือน ปี เกิด	10 ตุลาคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
วุฒิการศึกษา	วท.บ.สาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	162 หมู่6 ต.บ้านเลือก อ.โพธาราม จ.ราชบุรี 70120