

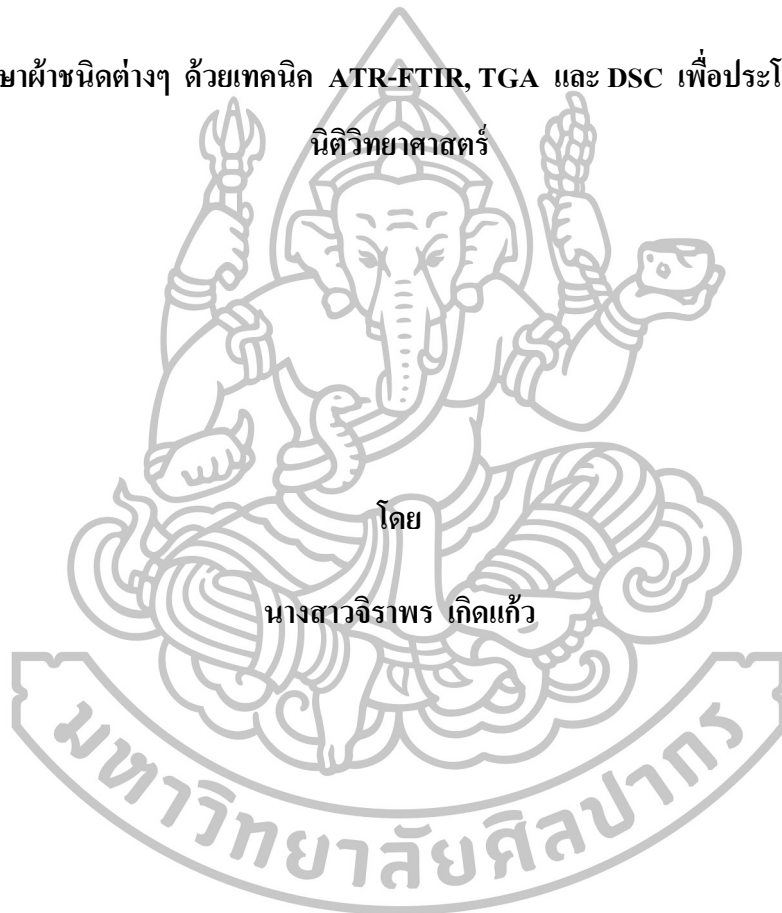


การศึกษาผ่านชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC เพื่อประโยชน์ทาง

นิติวิทยาศาสตร์

โดย

นางสาวจิราพร เกิดแก้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาผ้าชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC เพื่อประโยชน์ทาง
นิติวิทยาศาสตร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**FORENSIC EXAMINATION OF FABRICS BY ATR – FTIR, TGA AND DSC
TECHNIQUES**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Science Program in Forensic Science, Graduate School, Silpakorn University**

Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษา ฝ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC เพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ” เสนอโดย นางสาวจิราพร เกิดแก้ว เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....ปี.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

...../...../.....

กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชูภาพร สมีน้อย)

...../...../.....

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

...../...../.....



55312304: สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ :DSC, ATR-FTIR, TGA

นางสาวจิราพร เกิดแก้ว : การศึกษาผ้าชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC
เพื่อประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ : อ. ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. 103 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกตัวอย่างผ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวิเคราะห์ทางความร้อน (เทคนิค TGA และ DSC) ตัวอย่าง 21 ตัวอย่างถูกใช้ในการศึกษานี้ มีตัวอย่าง 8 ตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบของผ้าที่แน่นอน คือ ผ้าที่ทำมาจาก 100% polyamide 100% polyester 100% ฝ้ายธรรมชาติ 100% acrylic 70%bamboo ผสมกับ 30% ฝ้าย 65% polyester ผสมกับ 35% ไนลอน 40% ผ้าไหมผสมกับ 30% ฝ้ายและ 30% tolay veket จาก IR สเปกตรัมของตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบของเส้นใยผ้า แสดงพิกที่บ่งชี้ว่ามาจากหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นหมู่เดียวกับที่ปรากฏในตัวอย่าง เมื่อรวมกับผลการทดลองที่ได้จากเทคนิค IR และข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางความร้อน พบว่า สามารถระบุและแยกความแตกต่างของผ้าได้

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเทคนิค ATR-FTIR และเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อนที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้ เป็นเทคนิคที่สะดวกในการใช้บังคับและจำแนกผ้าต่างชนิดและอาจจะใช้ช่วยในการวิเคราะห์จำแนกผ้าและใช้ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

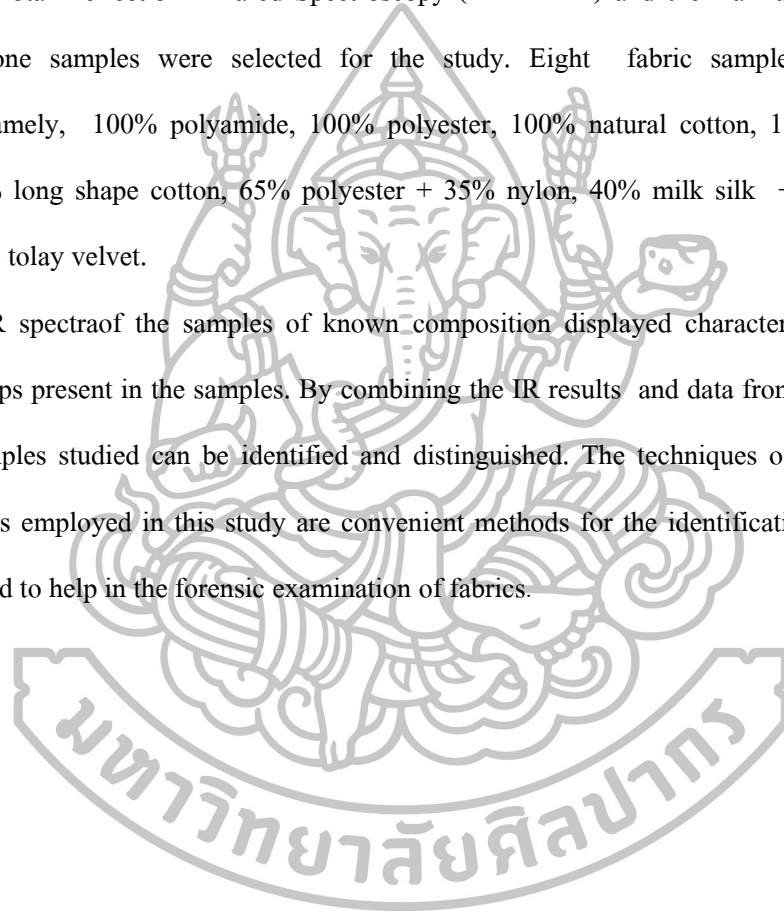
55312304 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEYWORD : DSC/ ATR-FTIR/ TGA

JIRAPORN KERDKAEW : FORENSIC EXAMINATION OF FABRICES BY ATR-FTIR,
TGA AND DSC TECHNIQUES. THESIS ADVISORS : SUPACHAI SUPALAKNARI, Ph.D. 103 pp.

The objective of this study is to identify and differentiate types of fabrics by the techniques of Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and thermal analysis (TGA and DSC). Twenty-one samples were selected for the study. Eight fabric samples were of known composition namely, 100% polyamide, 100% polyester, 100% natural cotton, 100% acrylic, 70% bamboo + 30% long shape cotton, 65% polyester + 35% nylon, 40% milk silk + 30% long staple cotton and 30% tolay velvet.

The IR spectra of the samples of known composition displayed characteristic peaks of the functional groups present in the samples. By combining the IR results and data from thermal analysis, 80.9 % of samples studied can be identified and distinguished. The techniques of ATR-FTIR and thermal analysis employed in this study are convenient methods for the identification of fabric types and may be used to help in the forensic examination of fabrics.



Program of Forensic Science

Graduate School, Silpakorn University

Student's signature..... Academic Year 2015

Thesis Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลืออย่างดีจาก อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียงอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยแนะนำให้คำปรึกษา ในทุกขั้นตอนของการวิจัย ตั้งแต่เริ่มต้นการเก็บตัวอย่างจนถึงการทดลองในห้องปฏิบัติการและ เป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยมีความกระตือรือร้นในการทดลองจนทำให้ประสบความสำเร็จ ตลอดจน ช่วยให้การแนะนำ แก่ ไข ตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์จนสำเร็จ ลุล่วงลงด้วยดี ผู้วิจัยมีความรู้สึกดีใจและซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างมากจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี ที่กรุณาสละเวลาในการ ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับรายละเอียดในการทดลองมาตั้งแต่เริ่มต้น, อาจารย์ ดร. युภาพร สมิน้อย ที่กรุณาสละเวลามาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ มหาลัยศิลปากร ที่คอยให้ความช่วยเหลือเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ทุกท่าน ที่สั่งสอนอบรมให้ความรู้และ ปลุกฝังให้เห็นคุณค่าของการศึกษา รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้เอื้อนามซึ่งมีส่วนช่วย ในวิทยานิพนธ์นี้มีความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ขั้นตอนการศึกษา.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ประวัติและวิวัฒนาการของผ้า.....	4
ความหมายของผ้า.....	5
ความหมายของเส้นใย.....	5
ประเภทของเส้นใย.....	6
สมบัติของเส้นใย.....	7
สมบัติทางกายภาพ.....	7
สมบัติทางเคมี.....	11
สมบัติทางชีวภาพ.....	13
วิธีตรวจจำแนกชนิดของเส้นใย.....	14
เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย.....	22
Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR).....	22

บทที่	หน้า
Thermal gravimetric Analysis(TGA).....	29
Differential Scanning Calorimeter(DSC).....	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	35
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
วิธีการทดลอง.....	42
 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการวิเคราะห์ฝ้าด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR).....	46
ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	57
Thermogravimetric Analysis (TGA).....	57
Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	61
 5 สรุปอภิปรายและข้อเสนอแนะ	
สรุปอภิปรายผล.....	65
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป.....	66
 รายการอ้างอิง.....	67
 ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก Infrared Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคATR-FTIR....	70
ภาคผนวก ข Thermogramที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA.....	79
ภาคผนวก ค Thermogram ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC.....	91
 ประวัติผู้วิจัย.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความทนต่อกรด - ด่าง สารทำลายอินทรีย์ สารฟอกขาวของเส้นใยบางชนิด.....	12
2	แสดงระดับความทนต่อแสงแดดของเส้นใยบางชนิด.....	13
3	แสดงลักษณะของเส้นใยบางชนิดที่บอกได้จากการสัมผัส.....	15
4	แสดงลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆที่ตรวจดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	16
5	แสดงลักษณะการติดไฟของเส้นใยชนิดต่างๆ.....	18
6	แสดงความหนาแน่นของเส้นใยชนิดต่างๆ.....	21
7	ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด.....	24
8	แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด.....	35
9	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
10	แสดงการตั้งค่าเครื่อง TGA.....	43
11	แสดงการตั้งค่าเครื่อง DSC.....	44
12	แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR.....	55
13	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค TGA.....	57
14	แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA.....	60
15	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค DSC.....	62
16	แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA และ DSC.....	63

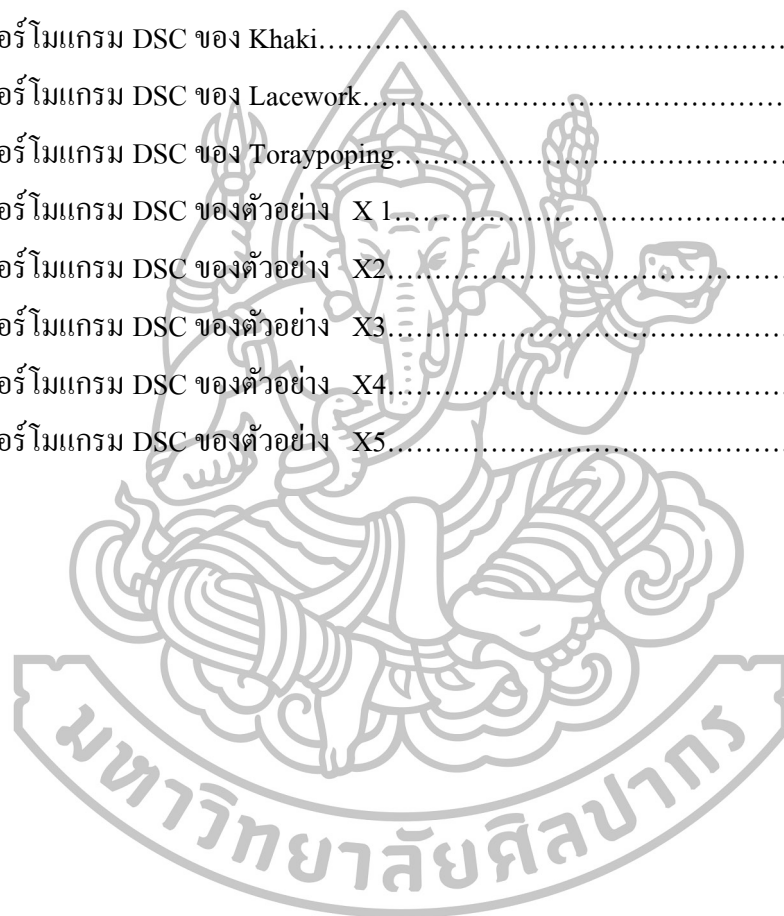
สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การจำแนกประเภทของเส้นใยตามแหล่งกำเนิด.....	6
2	แสดงรูปทรงตามภาคตัดขวางและสภาพผิวของเส้นใยชนิดต่าง ๆ.....	8
3	การสั้นของโมเลกุลในรูปแบบต่างๆ.....	23
4	ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด.....	27
5	ช่วงของการดูดกลืนของ infrared spectrum.....	28
6	Infrared spectrum ของ dodecane.....	29
7	เทอร์โมแกรมของเทคนิค DSC.....	31
8	แสดงการใส่ตัวอย่างเครื่อง IR.....	42
9	แสดง crucible สำหรับใส่ตัวอย่าง เครื่อง TGA.....	43
10	แสดง pan ใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC.....	44
11	Infrared spectrumของผ้าไหม.....	46
12	Infrared spectrumของ 100% polyamide.....	47
13	Infrared spectrumของ 100% polyester.....	47
14	Infrared spectrumของ 100% natural cotton.....	48
15	Infrared spectrumของ 100% acrylic.....	48
16	Infrared spectrumของ 70%bamboo ผสมกับ 30%long staple cotton.....	49
17	Infrared spectrumของ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon.....	49
18	Infrared spectrumของ 40% milk silk ผสมกับ 30%long staple cotton และ 30%telay vekvt.....	50
19	โครงสร้างทางเคมีของcellulose.....	50
20	โครงสร้างทางเคมีของpolyamide.....	51
21	โครงสร้างทางเคมีของpolyester.....	51
22	โครงสร้างทางเคมีของbamboo.....	51
23	โครงสร้างทางเคมีของ nylon.....	52
24	โครงสร้างทางเคมีของ acrylic.....	52
25	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ ผ้าไหม.....	52
26	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyamide.....	53
27	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyester.....	53

ภาพที่		หน้า
28	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Natural cotton.....	54
29	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ lacework.....	54
30	เทอร์โมแกรมจากเทคนิคTGA.....	56
31	thermogram ของ 100% Natural cotton.....	58
32	thermogram ของ ผ้าไหม.....	59
33	thermogram ของ Jeans.....	59
34	Thermogramจากเทคนิค DSC ของ 100% natural cotton.....	61
35	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyamide.....	71
36	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton.....	71
37	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Polyester.....	71
38	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 65% Polyester + 35% Nylon.....	72
39	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Natural cotton.....	72
40	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 40% Milk silk+30% Long staple cotton + 30% Toray velvet.....	72
41	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Acrylic.....	73
42	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ ไหม.....	73
43	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Japan silk.....	73
44	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ S'fare.....	74
45	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Chiffon.....	74
46	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Cotton.....	74
47	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Jeans.....	75
48	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Khaki.....	75
49	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Lacework.....	75
50	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Toraypoping.....	76
51	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 1.....	76
52	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X2.....	77
53	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 3.....	77
54	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 4.....	78
55	Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 5.....	78

ภาพที่		หน้า
56	เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% polyamide.....	80
57	เทอร์โมแกรม TGA ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton.....	80
58	เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Polyester.....	81
59	เทอร์โมแกรม TGA ของ 65% Polyester + 35% Nylon.....	81
60	เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Natural cotton.....	82
61	เทอร์โมแกรม TGA ของ 40% Milk silk+30% Long staple cotton + 30% Toray velvet.....	82
62	เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Acrylic.....	83
63	เทอร์โมแกรม TGA ของ ไหม.....	83
64	เทอร์โมแกรม TGA ของ Japan silk.....	84
65	เทอร์โมแกรม TGA ของ S'fare.....	84
66	เทอร์โมแกรม TGA ของ Chiffon.....	85
67	เทอร์โมแกรม TGA ของ Cotton.....	85
68	เทอร์โมแกรม TGA ของ Jeans.....	86
69	เทอร์โมแกรม TGA ของ Khaki.....	86
70	เทอร์โมแกรม TGA ของ Lacework.....	87
71	เทอร์โมแกรม TGA ของ Toraypopping.....	87
72	เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X1.....	88
73	เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X 2.....	88
74	เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X 3.....	89
75	เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X 4.....	89
76	เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X 5.....	90
77	เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% polyamide.....	92
78	เทอร์โมแกรม DSC ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton.....	92
79	เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Polyester.....	93
80	เทอร์โมแกรม DSC ของ 65% Polyester + 35% Nylon.....	93
81	เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Natural cotton.....	94
82	เทอร์โมแกรม DSCของ 40% Milk silk+30% Long staple cotton + 30% Toray velvet.....	94
83	เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Acrylic.....	95

ภาพที่		หน้า
84	เทอร์โมแกรม DSC ของ ไหม.....	95
85	เทอร์โมแกรม DSC ของ Japan silk.....	96
86	เทอร์โมแกรม DSC ของ S'fare.....	96
87	เทอร์โมแกรม DSC ของ Chiffon.....	97
88	เทอร์โมแกรม DSC ของ Cotton.....	97
89	เทอร์โมแกรม DSC ของ Jeans.....	98
90	เทอร์โมแกรม DSC ของ Khaki.....	98
91	เทอร์โมแกรม DSC ของ Lacework.....	99
92	เทอร์โมแกรม DSC ของ Toraypopping.....	99
93	เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X 1.....	100
94	เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X2.....	100
95	เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X3.....	101
96	เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X4.....	101
97	เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X5.....	102



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการพิจารณาคดีของศาลนั้น ศาลจะพิจารณาตามพยานหลักฐานที่ปรากฏต่อศาล โดยที่ศาลมิได้รู้เห็นกับเรื่องพิพาท แต่สามารถตัดสินคดีได้จากพยานหลักฐานที่ปรากฏตามท้องสำนวน และการนำสืบของคู่ความ เมื่อศาลพิจารณาพยานหลักฐานแล้วเห็นเป็นอย่างไร จึงพิพากษาไปตามพยานหลักฐาน จะเห็นได้ว่าพยานหลักฐานมีความสำคัญต่อการพิจารณาคดี ซึ่งสถานที่เกิดเหตุเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสืบสวนสอบสวน เพื่อให้ได้พยานหลักฐานที่จะนำไปพิสูจน์ว่ามีเหตุเกิดขึ้นจริง และใครเป็นผู้กระทำความผิด (สมภพ เอกสมบูรณ์, 2552 : 1) โดยทั่วไปแล้วผู้กระทำความผิดมักทิ้งร่องรอยหรือพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุ ตามหลักของ Locard Exchange Principle Theory "เมื่อวัตถุ 2 สิ่งมีการสัมผัสกันย่อมมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน" ซึ่งจะทำให้ผู้ไปตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ สามารถเก็บร่องรอยหรือพยานหลักฐานและอ่านสภาพของสถานที่เกิดเหตุได้ว่าใครเป็นผู้กระทำความผิด กระทำอย่างไร ด้วยวิธีการใด เมื่อเวลาใด และประสงค์ต่ออะไร (จิรศักดิ์ เจริญเจตจรูญ 2550 : 1) โดยพยานหลักฐานแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พยานบุคคล พยานเอกสาร และพยานวัตถุ ในอดีตการสืบสวนสอบสวนจะอาศัยประจักษ์พยานเป็นหลัก แต่บางครั้งประจักษ์พยานอาจให้การเป็นเท็จเนื่องจาก ถูกข่มขู่ ชักจูง รับสินบน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรูปคดี แต่ในปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาให้เจริญก้าวหน้ามากขึ้น จึงมีเครื่องมือ อุปกรณ์ และเทคนิคต่างๆ ที่ใช้เก็บและตรวจสอบพยานวัตถุ จึงทำให้พยานวัตถุเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ผ้า เป็นวัสดุที่มนุษย์ใช้สวมใส่มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อห่อหุ้มให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย เพื่อปกปิดและเพื่อความสวยงาม เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตมานับศตวรรษ ผ้าเกิดจากการถักทอ



ของเส้นใย (fiber) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เช่น ฝ้าย (cotton) ขนแกะ (wool) แฟร็กซ์ (flax) ปอกระเจา ป่านรามิ (ramie) เป็นต้น และเส้นใยประดิษฐ์ (man-made fiber) เช่น nylon-6 nylon-6,6 carbon fiber glass fiber เป็นต้น โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะมีลักษณะ คุณสมบัติต่างกัน ส่งผลให้ผ้าที่ถักทอจากเส้นใยต่างๆ มีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปด้วย ปัจจุบัน มีการนำมาผลิตเป็นของใช้ต่างๆ มากขึ้น เช่น ผ้า màn พรหม อุปกรณ์กีฬา รองเท้า กระเป๋า เป็นต้น

เราจึงพบพยานหลักฐานที่เป็นผ้าอยู่ในสถานที่เกิดเหตุหลายกรณี เช่น ในกรณีขโมยขึ้นบ้านอาจพบ เศษผ้าลักษณะตามริ้วหรือตามกึ่งไม้ ซึ่งอยู่ในสถานที่เกิดเหตุหรือสถานที่ใกล้เคียง เมื่อตำรวจพบผู้ต้องสงสัยว่าเป็นผู้ก่อเหตุหรือไม่ สามารถพิสูจน์โดยนำเศษผ้าเหล่านี้มาตรวจเปรียบเทียบว่าเป็นผ้า ชนิดเดียวกันหรือไม่ หากตรวจสอบว่าเป็นชนิดเดียวกันก็สามารถนำไปใช้เป็นพยานหลักฐาน ในการดำเนินคดีต่อไป เป็นต้น

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและจำแนกความแตกต่างของผ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR , TGA และ DSC และเพื่อทำเป็นฐานข้อมูลในการตรวจสอบให้กับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

3. สมมุติฐานของการศึกษา

1. ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยที่ต่างกัน จะมีโครงสร้างและคุณสมบัติของผ้าที่ต่างกัน
2. การใช้เทคนิค ATR-FTIR TGA และ DSC สามารถใช้วิเคราะห์และจำแนกชนิดของผ้าได้

4. ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษานิตของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยจำนวน 21 ตัวอย่าง คือ ไหม , polyamide, polyester, natural cotton, acrylic, bamboo + long staple cotton, polyester + nylon, milk silk + long staple cotton + tolay vevvt, และผ้าที่ไม่ทราบชนิด (unknow) จำนวน 13 ตัวอย่าง

5. ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
3. เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
4. เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลพร้อมข้อเสนอแนะ
6. นำเสนอผลการศึกษา

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เส้นใย คือ หน่วยของสสารที่แยกประเภทโดยความยืดหยุ่น (flexibility) ความละเอียด (fineness) และมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างสูงมาก (high ratio of length to thickness)

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นองค์ความรู้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับนิติวิทยาศาสตร์ ในการนำไปใช้ตรวจวิเคราะห์เปรียบเทียบหรือการเก็บพยานวัตถุ
2. เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการสืบสวนสอบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจ
3. เพื่อเป็นฐานข้อมูลจากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC และ TGA ของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประวัติและวิวัฒนาการของผ้า

มนุษย์รู้จักใช้ผ้าให้เกิดประโยชน์ตั้งแต่เมื่อไหร่ ในรูปลักษณะใดและมนุษย์กลุ่มใดเป็นผู้รู้จักใช้ผ้าเป็นกลุ่มแรก คำถามเหล่านี้ยังไม่มีผู้ใดให้คำตอบได้ มีเพียงหลักฐานที่นักโบราณคดีค้นพบตามสถานที่ที่ขุดพบโครงกระดูกหรือภาพเขียนตามผนังถ้ำแล้วนำมาเป็นข้อสันนิษฐานว่าคนเริ่มรู้จักตกแต่งกายด้วยสีฝุ่น ขนนกหรือขนสัตว์ เมื่อ 25,000 – 50,000 ปีมาแล้ว จากการขุดพบโครงกระดูกของมนุษย์ยุคนีโอลิทิก (Neolithic) พร้อมกับเศษผ้าลินินซึ่งมีอายุราวหนึ่งหมื่นปีที่ทะเลสาบในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงว่ามีการใช้ผ้ามาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์

ไม่มีหลักฐานที่จะสรุปได้แน่ชัดว่าอะไรเป็นเหตุให้มนุษย์ต้องใช้เครื่องแต่งกาย ผู้เชี่ยวชาญในสาขาเสื้อผ้าเครื่องแต่งกายได้ให้แนวคิดไว้ว่า อาจต้องการปกปิดร่างกายเพราะเกิดความอาย นอกจากนี้ ยังมีแนวคิดที่เกี่ยวกับการใช้เพื่อป้องกันร่างกายจากความหนาวเย็นของอากาศ ใช้ปกคลุมร่างกายเพื่อป้องกันแมลง หนามแหลม ขนหรือยางพืช ฯลฯ ที่ทำให้ร่างกายระคายเคือง อีกแนวคิดหนึ่งที่น่าจะเป็นเหตุผลสำคัญที่สุดคือ มนุษย์มีสัญชาตญาณที่จะสร้างสรรค์ความสวยงามให้แก่ตนเอง

นักโบราณคดีอาศัยหลักฐานต่างๆ สันนิษฐานว่าผ้ามีวิวัฒนาการมาจากการที่มนุษย์เริ่มรู้จักใช้หนังสัตว์ที่ตนฆ่าเพื่อนำมาเป็นอาหารแล้วตัดแปลงหนังให้เป็นสิ่งปกคลุมร่างกาย ต่อมาเมื่อรู้จักเลี้ยงสัตว์ พบว่า สัตว์เลี้ยงประเภทแพะ แกะ ให้ขนอ่อนนุ่ม และสังเกตเห็นว่าขนสัตว์เหล่านี้มีปริมาณมาก ถักดหรือทักกันนานๆ จะยึดติดกันเป็นแผ่นได้ จึงคิดทำให้แผ่นนั้นบางและมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นผืนผ้า ต่อมาเมื่อมนุษย์รู้จักพืชที่ให้เส้นใยที่แข็งแรงคล้ายขนสัตว์ และรู้จักเพาะปลูกพืชเป็นอาหารได้ จึงไม่ต้องเร่ร่อนเคลื่อนย้ายที่อยู่ แต่จะอาศัยอยู่บริเวณใกล้ๆ กันเป็นสังคม

มีระบบแลกเปลี่ยนซื้อขาย มีเวลาในการคิดสร้างสรรค์เครื่องปั่นด้าย เครื่องทอผ้าอย่างง่าย เพื่อเพิ่มผลผลิตจากระดับที่พอใช้ในครัวเรือนเป็นผลผลิตเพื่อขายในชุมชน และขยายเป็นระดับอุตสาหกรรม (smith and block, 1982 : 9-14)

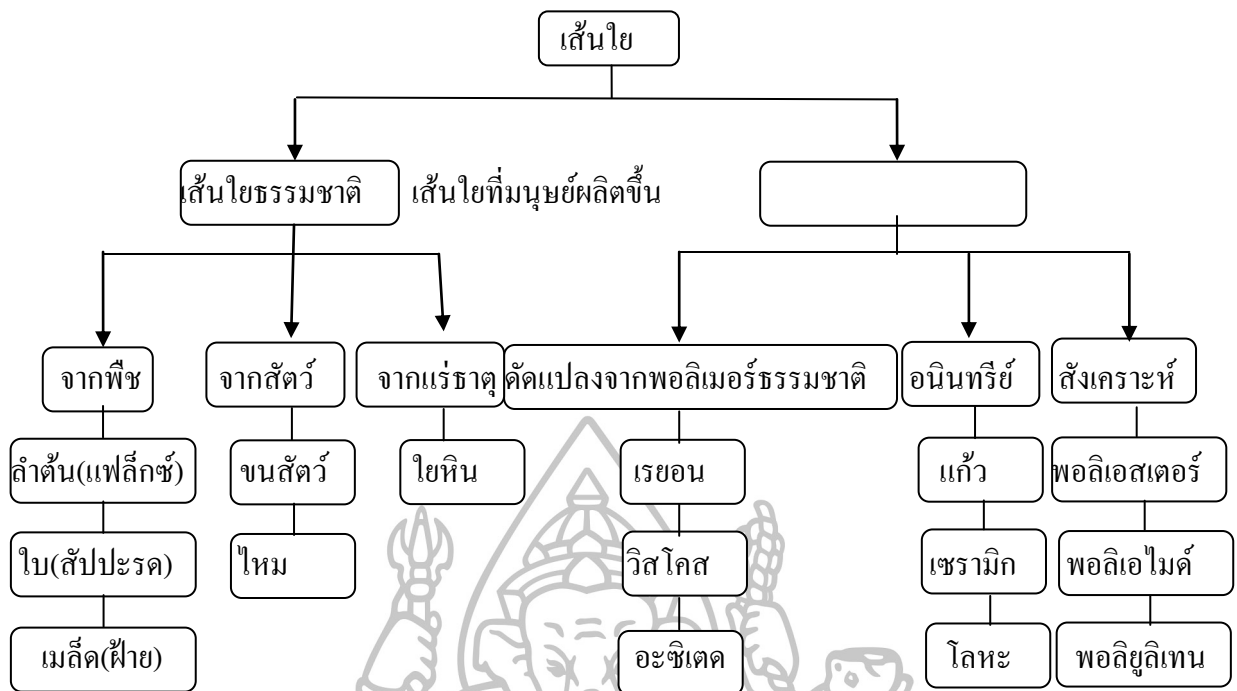
ในอดีตจนถึงระยะก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 นั้น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มที่ทำจากผ้าทอหรือถักด้วยเส้นใยธรรมชาติผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ จึงมีผู้คิดวิธีทำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นเซลลูโลส โดยทำเป็นสารที่สามารถอัดเป็นเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายไหมได้ใน พ .ศ. 2434 เรียกว่า เรยอน (rayon) ปี พ.ศ. 2423 ชาวฝรั่งเศสได้ค้นพบวิธีสังเคราะห์เส้นใยในลอนได้ ต่อมานักวิจัยของบริษัทดูปองท์สามารถสังเคราะห์โพลีเอไมด์หรือไนลอนได้ สามารถปรับปรุงทำเป็นเส้นใยผ้าและผลิตเป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกได้ ต่อมามีการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ อคริลิก และชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด

ความหมายของผ้า

ผ้า (fabric) หมายถึง สิ่งทอที่เป็นพื้น มีความกว้าง ความยาวและความหนาขนาดต่าง ๆ กัน มีโครงสร้างที่เกิดจากการนำเส้นด้ายมาทอ ถัก หรือวิธีอื่นๆ อาจเกิดจากการใช้เส้นใยมาอัด หรืออัดโพลีเมอร์เหลวให้เป็นพื้นผ้าขึ้น

ความหมายของเส้นใย

เส้นใย หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของวัสดุสิ่งทอ โดยปกติมักถูกจำแนกโดยความอ่อนตัว ความละเอียดและอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความหนาสูงๆ โดยปกติเส้นใยส่วนใหญ่เป็นสารโพลีเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ มีออกซิเจนและไนโตรเจนบ้างเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากและโมเลกุลมีลักษณะเป็นโซ่ยาว โดยแต่ละห่วงมีโครงสร้างเหมือนกัน ดังนั้น บางครั้งจึงเรียกว่า โซ่โมเลกุล (molecular chain)



ภาพที่ 1 การจำแนกประเภทของเส้นใยตามแหล่งกำเนิด

ประเภทของเส้นใย

เส้นใยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เส้นใยธรรมชาติ (natural fibres)

1.1 เส้นใยที่ได้จากพืช (vegetable fibres) ซึ่งรวมถึงเส้นใยฝ้าย (cotton) แฟล็กซ์ (flax) ป่าน (hemp) ปอ (jute) รามี (ramie) ลินิน (linen) นุ่น (kapok) และพืชชนิดอื่นๆ เช่น สับปะรด ผักตบชวา กัญชง เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส (cellulose)

1.2 เส้นใยที่ได้จากสัตว์ (animal fibres) เป็นเส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ (wool) เช่น แกะ แพะ หม (hair) หรือไหม (silk) เป็นต้น ซึ่งเส้นใยเหล่านี้ จะมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนต่างๆ ประกอบเป็น โปรตีน (protein)

1.3 เส้นใยที่ได้มาจากแร่ธาตุ (mineral fibres) ไม่ค่อยนิยมใช้ในงานสิ่งทอปกติ แต่จะนิยมใช้กับงานด้านทนไฟและทนความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยหิน (asbestos)

2. เส้นใยที่มนุษย์ผลิตขึ้น (man-made fibres)

2.1 เส้นใยที่ดัดแปลงมาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymer fibres) เนื่องจากเซลลูโลสมีจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นฝ้ายหรือลำต้นของต้นไม้ก็ตาม ดังนั้น มนุษย์สามารถนำมาดัดแปลงทำเป็นเส้นใยที่ต้องการ เช่น เรยอน (rayon) ไลโอเซลล์ (lyocell) วิสโคสหรืออะซิเตต (acetate) เป็นต้น

2.2 เส้นใยอนินทรีย์ (inorganic fibres) เป็นเส้นใยที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น ใยแก้ว (glass) เซรามิก (ceramic) กราไฟต์ (graphite) หรือโลหะ (metallic) เป็นต้น

2.3 เส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fiber) เป็นเส้นใยที่ส่วนมากจะได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น พอลิเอสเตอร์ (polyester) พอลิเอไมด์ (polyamide) โอลิฟิน (olefin) ไนลอน (nylon) อะคริลิก (acrylic) เป็นต้น

สมบัติของเส้นใย (fiber properties)

การศึกษาสมบัติของเส้นใยจะทำให้เข้าใจว่าควรนำเส้นใยชนิดใดไปทำผลิตภัณฑ์สิ่งทออะไร อย่างไร สำหรับผู้บริโภคที่มีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของเส้นใยก็จะเลือกใช้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เหมาะสมกับประโยชน์ที่ต้องการ รวมถึงการเลือกใช้สารและวิธีการทำความสะอาดได้อย่างถูกต้อง ทำให้สามารถรักษาสภาพการใช้งานตามอายุของสิ่งทอนั้น สมบัติของเส้นใยที่ควรศึกษามี 3 ประการ คือ

1. สมบัติทางกายภาพ (physical properties)

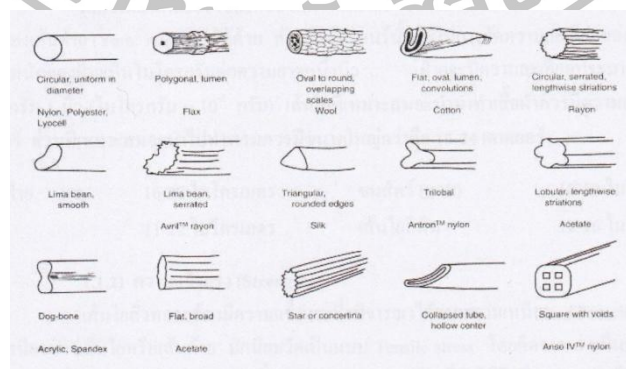
โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางสัณฐาน (morphology) ของเส้นใย สามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึงความยาว ขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่างภาคตัดขวาง (cross-sectional shape) รูปร่างของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใย เป็นต้น

1.1 ความยาวของเส้นใย (fiber length) เส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีความยาวที่ค่อนข้างแตกต่างกันมาก เนื่องจากอิทธิพลจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นสภาพของดิน ฟ้า อากาศ น้ำหรืออาหารในดิน เส้นในสั้น (staple fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีขนาดความยาวสั้นๆ ระดับนี้ฟูต เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดยกเว้นไหมล้วนเป็นเส้นใยสั้นทั้งสิ้น เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นจะเป็นเส้นใยยาวแล้วนำมาตัดให้สั้นตามการใช้งาน เส้นใยยาว(filament) เป็นเส้นใยที่มีความยาวมากๆ ในธรรมชาติมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่เป็นเส้นใยยาว โดยมีความยาวในระดับกิโลเมตร

1.2 ความละเอียดของเส้นใย (fiber fineness) ขนาดของเส้นใยมีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดการใช้งานและผิวสัมผัส โดยเส้นใยหายามีลักษณะกระด้าง ในขณะที่เส้นใยละเอียดมีความอ่อนนุ่ม ผิวสัมผัสดี ทิ้งตัวดี คุณภาพของเส้นใยมีผลต่อราคาและการใช้งานนั้นมักจะมองที่ความละเอียดของเส้นใยเป็นหลัก

1.3 รูปทรงตามภาคตัดขวางของเส้นใย (cross-sectional shape) มีผลต่อความมันวาว ความฟู ความละเอียดอ่อน ลักษณะเนื้อผ้าและสมบัติต่อผิวสัมผัส เส้นใยมีรูปร่างหน้าตัดที่หลากหลาย เช่น วงกลม สามเหลี่ยม ทรงคล้ายกระดูก (dog bone) ทรงรูปถั่ว (bean-shaped) เป็นต้น

ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติเกิดจากลักษณะการสร้างเซลล์ในขณะที่ยังเจริญเติบโต เช่น ในเส้นใยฝ้าย หรือกระบวนการสร้างโปรตีนในสัตว์ เช่น ขนสัตว์ หรือรูปร่างของช่อง (orifice) ในตัวไหมที่ทำหน้าที่ฉีดเส้นใยออกมา สำหรับเส้นใยสังเคราะห์รูปร่างหน้าตัดของเส้นใยขึ้นอยู่กับรูปร่างของรูในหัวฉีด



ภาพที่ 2 แสดงรูปทรงตามภาคตัดขวางและสภาพผิวของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

1.4 ความหยิกบนเส้นใย (fiber crimp) อาจเกิดจากการจัดเรียงตัวของลูกโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะหยิกไปตามโครงสร้างของโมเลกุลหรืออาจเกิดจากการกระทำดัดแปลงรูปร่างของเส้นใยในกระบวนการผลิต ลักษณะการหยิกอาจเป็นคลื่น เป็นเกลียว คดงอ เป็นต้น ซึ่งช่วยให้เส้นใยมีการเกาะเกี่ยวเหนียวแน่นเมื่อบั่นเป็นเส้นด้าย ช่วยให้สามารถคืนตัวได้สูงทนทานต่อการขูดขีด เบาและอบอุ่น และเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ สบายเมื่อสัมผัสผิว ขณะเดียวกันทำให้ความมันลดลง

1.5 ความแข็งแรงของเส้นด้าย (fiber strength) เส้นใยที่สามารถนำมาใช้งานได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย และทอเป็นผืนผ้าโดยไม่ขาดจากกัน ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละชนิดจะมีค่าต่างกันหรือแม้กระทั่งภายในเส้นใยเส้นเดียวกันก็ตาม

ความแข็งแรงของเส้นใยหาได้จากการวัดปริมาณแรงดึงคงที่ ที่ทำให้เส้นใยขาดจากกัน ในทางปฏิบัติสามารถวัดจากแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบการวัดความทนแรงดึง

1.6 ความสามารถในการรับการคดงอได้ (flexibility) สมบัติของเส้นใยในข้อนี้อาจนิยามเป็นสมบัติของเส้นใยที่ยอมให้คดงอโดยไม่แตกหัก แม้จะผ่านการคดงอมาหลายครั้งแล้วก็ตาม ดังนั้น จึงเป็นคุณภาพของเส้นใยที่ส่งผลโดยตรงต่อความทนทานของเสื้อผ้า เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ในการทำจีบถาวร และยังมีผลต่อความสวยงามของผ้า

1.7 ความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย (spinnability) โดยธรรมชาติจะมีเส้นใยอยู่มากมายหลายชนิด แต่มีเพียงเส้นใยบางชนิดเท่านั้นที่เหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวต้องมีสมบัติที่สามารถนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายได้ดีจึงจะมีคุณค่าในเชิงการค้า สมบัติข้อนี้อาจกำหนดให้เป็นความสามารถของเส้นใยในการเกาะเกี่ยวซึ่งกันและกันในรูปของเส้นด้าย เป็นสมบัติที่ขึ้นกับโครงสร้างผิวและโครงสร้างภายในของเส้นใย เช่น การบิดของเกลียวฝ้ายและการหยิกงอที่สร้างขึ้นบนเส้นใยประดิษฐ์ เป็นต้น

1.8 ความสม่ำเสมอ (uniformity) เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดจะมีความสม่ำเสมอไม่ดี อันสืบเนื่องจากการได้รับอาหาร อากาศ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในระหว่างเจริญเติบโต ความสม่ำเสมอนี้รวมความไปถึงความยาวของเส้นใย เช่น เส้นใยฝ้าย ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดสมบัติเพื่อการซื้อขาย เส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปมีกระบวนการปรับปรุงเพื่อลดความไม่สม่ำเสมอลง ที่มักกระทำกันคือการปรับปรุงที่กระบวนการผลิต เช่น การผสมเส้นใย กระบวนการสาวใย เป็นต้น

1.9 ความหนาแน่น (density) ซึ่งก็คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุมักใช้หน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นใยสิ่งทอทุกชนิดมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ยกเว้นเส้นใยประดิษฐ์ในกลุ่มของโอเลฟินที่ลอยบนน้ำได้ เส้นใยแก้วมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอนมีความหนาแน่นต่ำ เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อผืนผ้า เช่น เส้นใยที่มีความหนาแน่นยิ่งต่ำ ก็จะสามารถในการคืนตัวดี ด้วยเหตุผลที่ว่าภายใต้น้ำหนักของเส้นใยคงที่ เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำมีปริมาณมากกว่าเส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง ดังนั้น ด้วยจำนวนของเส้นใยที่มากกว่า จึงช่วยเสริมให้เกิดแรงในการคืนตัวกลับที่มากกว่า นอกจากนั้นแล้วสมบัติข้อนี้ยังมีผลโดยตรงต่อน้ำหนักของผ้าด้วย สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ความอบอุ่นด้วยน้ำหนักที่เบา ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนถึงสมบัติที่ดี คือ เส้นใยอะคริลิกที่มีสมบัติต่างๆ คล้ายขนสัตว์เป็นอย่างมาก แต่มีน้ำหนักที่เบากว่า ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผ้าห่มและเสื้อ sweater เป็นต้น

1.10 ความมัน (luster) คือ ปริมาณของแสงที่สะท้อนออกจากผิวของเส้นใยคู่สายตาของผู้มอง อาจวัดได้จากระดับความสว่างหรือความทึบ เส้นใยธรรมชาติ เช่น ไหม และ โม่แฮร์ มีความมันสูง ในขณะที่ฝ้ายและขนสัตว์มีความมันต่ำกว่า ในกรณีของเส้นใยประดิษฐ์ความมันของเส้นใยสามารถที่จะควบคุมได้อย่างแม่นยำ โดยการควบคุมปริมาณสีที่ผสมหรือการเติมสารลดความมัน (delustering agent) เช่น ไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

1.11 ความสามารถในการดูดซับความชื้น (moisture reagent) โดยธรรมชาติแล้วเส้นใยสิ่งทอจะดูดซับความชื้นได้ดี และสามารถระบายเหงื่อออกสู่อากาศได้ดีด้วย เส้นใยที่ชอบน้ำ ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติทั้งพืช สัตว์ รวมไปถึงเส้นใยประดิษฐ์พวก เรยอนและแอซิเทค ส่วนเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิด ยกเว้น เรยอนและแอซิเทค

1.12 สภาพยืดหยุ่น การคืนตัวจากแรงยืด การยืดตัว (elasticity, elastic recovery, elongation) สภาพยืดหยุ่น(elasticity) เป็นสมบัติของเส้นใยที่จะสามารถยืดออกและกลับคืนสู่ขนาดเดิมภายหลังจากที่ได้รับแรงยืดดึงแล้วเส้นใยแต่ละชนิดจะมีสมบัติข้อนี้แตกต่างกันออกไปอย่างมากตัวอย่างเช่น เส้นใยสแปนเดกซ์ สภาพยืดหยุ่นสูงและมีการคืนตัวจากแรงยืดสูงด้วย เช่นเดียวกับขนสัตว์และไหม ในขณะที่ลินินและปอมีสภาพยืดหยุ่นต่ำ ค่าการคืนตัวจากแรงยืดวัดได้จากอัตราส่วนของความยาวของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับความยาวเดิมก่อนถูกยืดออก 2%

การยืดตัว (elongation) เป็นระยะของการยืดออกในทิศทางที่ได้รับแรงดึง ระยะที่ยืดออกนี้อาจวัด ณ แรงกระทำใด ที่ต้องการ หรือวัด ณ จุดขาดก็ได้ มักนิยมเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่ยืดออกเมื่อเทียบกับความยาวเดิมของเส้นใยเส้นด้ายหรือผืนผ้า

ค่าสภาพการยืดหยุ่นและการยืดตัว เป็นค่าพื้นฐานที่ใช้ในการพิจารณาออกแบบผ้ายืดสำหรับชุดกีฬา ชุดชั้นในและถุงน่อง เป็นต้น มีความสำคัญต่อความสบายในการใช้งาน ความแข็งแรงของผ้า ความแข็งแรงของตะเข็บป้องกันการยืดตัวบริเวณเข้า ข้อศอก การใช้งานของผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาทั้งค่าสภาพยืดหยุ่นและการยืดตัวควบคู่กันไป

1.13 การคืนตัวจากแรงอัดและความสามารถในการรับแรงอัด (resiliency and compressibility) Compressibility คือ ความสามารถในการรับแรง เส้นใยที่มีความอ่อนนุ่มมากมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดี ในขณะที่เส้นใยแข็งกระด้างมีความสามารถในการรับแรงอัดต่ำ ภายหลังจากการอัดแล้วเส้นใยจะมีการคืนตัวในระดับหนึ่งซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้งานบางประเภท เช่น เส้นใยที่ใช้ในการทำเป็นหมอน เป็นต้น

2 สมบัติทางเคมี

เส้นใยชนิดต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกสารเคมี แสงแดด สารเคมีที่ผู้ซื้อควรทราบว่าจะมีผลต่อเส้นใยอย่างไร ได้แก่ กรด ด่าง สารฟอกขาว สารทำลายอินทรีย์บางชนิด เช่น สารทำลายซากแห้ง อะซิโตน ครีซอล เมตะครีซอล ฟีนอล ทั้งนี้เพื่อจะได้นำความรู้ไปใช้ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดเส้นใย การเลือกสารเคมีตกแต่งผ้าให้มีสมบัติเหมาะสมแก่ประโยชน์ใช้สอย รั้งสี อัลตราไวโอเลตในแสงแดดจะทำให้พันธะเคมีของเส้นใยหลุดออกจากกันได้ เพราะเกิดกระบวนการ photochemical oxidation เช่น ไนลอนจะช่วยให้พันธะไดซัลไฟด์หลุดออก ทำให้เส้นใยลดความเหนียวทนต่อแสง เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการทนต่อแสงต่างกัน ดังตาราง

ตารางที่ 1 แสดงความทนต่อกรด - ด่าง สารทำละลายอินทรีย์ สารฟอกขาวของเส้นใยบางชนิด

ชนิดเส้นใย	กรด-ด่าง (acids-alkalies)	สารทำละลายอินทรีย์ (organic solvents)	สารฟอกขาว (bleaches)
ฝ้าย	ทนต่อด่างได้ดีกว่ากรด	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์	ทนต่อสารฟอกขาว
ลินิน	ละลายได้ในกรดแก่ เข้มข้น 60% ขึ้นไป	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์	ทนต่อสารฟอกขาว
ไหม	ทนต่อกรดได้ดีกว่าด่าง	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์	ละลายได้ในโซเดียม ไฮโปคลอไรท์ 20%
ขนแกะ	ละลายในโซดาไฟ 5%	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์	ทนต่อสารฟอกขาว
เรยอน	ทนต่อด่างได้ดีกว่ากรด ละลายในกรดแก่เข้มข้น 60% ขึ้นไป	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์	ทนต่อสารฟอกขาว
อะซิเตท	ไม่ทนต่อกรดและด่าง ละลายได้ในกรดอะ ซิติกและกรดแก่เข้มข้น	ละลายในกรดอะซิโตน , เมตะครีซอล, ฟีนอล	ทนต่อสารฟอกขาว
ไนลอน	ทนต่อด่างได้ดีกว่ากรด	ละลายได้ในครีซอล, ฟีนอล	ทนต่อสารฟอกขาว
อะคริลิก	ทนต่อกรดและด่าง	ทนต่อสารละลายอินทรีย์ ละลายได้เฉพาะใน ไคเมริล ฟอร์มามิด	ทนต่อสารฟอกขาว
โพลีเอสเตอร์	ทนต่อกรดและด่าง	ละลายในครีซอล, ฟีนอล	ทนต่อสารฟอกขาว
สแปนเดกซ์	ทนต่อกรดและด่าง	ละลายได้ในครีซอล, ฟีนอล ไคเมริลฟอร์มามิด	ทนต่อสารฟอกขาว

ตารางที่ 2 แสดงระดับความทนต่อแสงแดดของเส้นใยบางชนิด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความทนต่อแสงแดด (level of sunlight resistance)
ใยแก้ว	สูง ↓ ต่ำ
อะคริลิก	
โมดะคริลิก	
โพลีเอสเตอร์	
ลินิน	
ฝ้าย	
เรยอน	
ไทรอะซีเตท	
อะซีเตท	
โอลิฟิน	
ไนลอน	
ขนแกะ	
ไหม	

3 สมบัติทางชีวภาพ

สมบัติทางชีวภาพของเส้นใยจะแสดงออกและเปลี่ยนแปลงเมื่อเส้นใยสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ เช่น รา เห็ด แบคทีเรีย ในสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านั้นหรือเส้นใยดึงดูดให้แมลงมากัดกิน เส้นใยต่างชนิดจะมีลักษณะทางชีวภาพต่างกัน โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีความต้านทานต่อเห็ด รา แบคทีเรียและแมลงเท่ากับเส้นใยสังเคราะห์ สมบัติทางชีวภาพมีผลต่อการยืดอายุการใช้งานของเส้นใย เพราะหากทราบจุดอ่อนของเส้นใยที่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์และแมลงต่ำจะสามารถเลือกวิธีการดูแลรักษาได้ถูกต้อง

วิธีตรวจจำแนกชนิดของเส้นใย

ความสำคัญของการตรวจแยกชนิดเส้นใย

การตรวจชนิดเส้นใยเป็นวิธีการศึกษาให้ทราบว่าตัวอย่างนั้นเป็นเส้นใยชนิดใดถ้าตัวอย่างเป็นเส้นใยทดสอบตามวิธีการว่าเป็นเส้นใยอะไรได้เลยแต่ถ้าตัวอย่างที่ต้องการตรวจเป็นผ้าหรือเส้นด้ายวิธีการตรวจจะต้องเริ่มจากการแยกโครงสร้างผ้าเส้นด้ายหรือหาคำตอบว่าผ้าหรือเส้นด้ายนั้นมาจากเส้นใยชนิดเดียวกันหรือไม่แล้วจึงนำไปทดสอบว่าเป็นเส้นใยชนิดใด

การตรวจแยกชนิดเส้นใยที่นิยมทำในห้องปฏิบัติการเป็นการตรวจแบบไม่ยุ่งยากใช้อุปกรณ์เครื่องมือสารเคมีที่มีราคาไม่แพงหาได้ง่ายใช้ได้ง่ายการตรวจชนิดของเส้นใยให้ได้ผลผู้ตรวจจะต้องมีประสบการณ์การตรวจวิเคราะห์และใช้วิธีการตรวจสอบหลายๆวิธีประกอบกันเมื่อได้ผลจึงสรุปว่าเป็นเส้นใยชนิดใด

วิธีตรวจจำแนกชนิดของเส้นใยมีหลายวิธี คือ

1 การตรวจจำแนกโดยสัมผัส (identification by touch)

การตรวจโดยการสัมผัสเป็นวิธีการตรวจที่ง่ายที่สุดจะบอกได้คร่าวๆ ว่าผ้าตัวอย่างนั้นมีเส้นใยชนิดใดเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างผ้า การสัมผัสโดยใช้หัวแม่มือและนิ้วชี้จะทำให้รู้สึกถึงความเย็นหรืออุ่น ความเรียบหรือขรุขระ อ่อนนุ่มหรือกระด้าง แห้งหรือเหนอะหนะ นอกจากนี้การดึงหรือบีบขยี้ จะทำให้รู้ว่าผ้ามีความยืดหยุ่นหรือไม่ ยับหรือไม่ยับ อย่างไรก็ตาม การบอกชนิดจากความรู้สึกก็อาจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากผ้ามีสารตกแต่ง หรือเนื่องจากลักษณะการทอที่มีผลต่อลักษณะผิวของผ้า ตัวอย่างในตาราง 3 เป็นเส้นใยบางชนิดที่พอจะสรุปจากความรู้สึกที่สัมผัสผ้าทอเรียกว่าเป็นเส้นใยชนิดใด

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะของเส้นใยผ้าบางชนิดที่บอกได้จากการสัมผัส

ลักษณะ ชนิดเส้นใย	เย็น (1) อบอุ่น (2)	ยืดหยุ่น (1) ไม่ยืดหยุ่น (2)	เรียบ (1) ขรุขระ (2)	อ่อนนุ่ม (1) กระด้าง (2)	แห้ง (1) เหนอะหนะ(2)	ยับ (1) ไม่ยับ (2)
ลินิน	1	2	1	2	1	1
ไหม	2	2	1	2	1	1
ขนแกะ	2	1	2	1	2	1
อะคริลิก	1	1	1	1	2	1
ไนลอน	1	1	1	1	2	2
โพลีเอสเตอร์	1	1	1	1	2	2

2 การตรวจลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscopic test)

การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์จะทำให้ทราบลักษณะภายนอกและภาคตัดขวางของเส้นใย ก่อนการตรวจเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ ควรตรวจสอบสภาพตัวอย่างทั่วไป เช่น ความยาว ความสม่ำเสมอ สี เพื่อคว่าตัวอย่างที่จะตรวจเป็นเส้นใยที่มีความแตกต่างกันหรือไม่ ในความยาว ความสม่ำเสมอของเส้นใย ถ้าเป็นผืนผ้าจะต้องแกะเส้นด้ายออกแล้วแยกเป็นเส้นใย นำไปตรวจลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีกำลังขยาย 100-500 เท่า วิธีการเตรียมสไลด์ตัวอย่างที่จะตรวจลักษณะภายนอกเส้นใย และด้านภาคตัดขวางมีรายละเอียดในภาคผนวกเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จนเห็นลักษณะภายนอกและภาคตัดขวางแล้วควรบันทึกลักษณะที่เห็นพร้อมทั้งกำลังขยายของกล้อง นำผลเทียบกับลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆ เพื่อสรุปว่าตัวอย่างนั้นเป็นเส้นใยชนิดใด

การสังเกตลักษณะภายนอกเส้นใยจะต้องดูลักษณะว่าเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอตลอดหรือบิดเกรียว มีรอยขีดตามขวางหรือตามยาวของเส้นใยหรือไม่ มีเกล็ดที่ผิว หรือมีจุดเล็กๆ กระจายอยู่ภายในตลอดเส้นหรือไม่ ทางด้านภาคตัดขวางนอกจากดูลักษณะรูปร่างแล้วควรสังเกตว่ามีช่องกลางหรือมีจุดเล็กๆ กระจายอยู่ข้างในหรือไม่ โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ ไหม ฝ้าย ลินิน จะมีลักษณะเฉพาะตัวที่ตรวจดูแล้วบอกชนิดได้เลย ส่วนเส้นใยสังเคราะห์หลายชนิดจะมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก จนบอกไม่ได้ว่าเป็นชนิดใดจะต้องใช้การทดสอบด้วยวิธีอื่นๆ ตรวจว่าตัวอย่างนั้น ๆ เป็นเส้นใยชนิดใด ลักษณะของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่ตรวจดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ตรวจดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ชนิดเส้นใย	ลักษณะเส้นใย	
	ตลอดเส้น	ตัดขวาง
<i>เส้นใยธรรมชาติ</i>		
ฝ้าย	ไม่กลมค่อนข้างแบนบิดตัวบาง	เป็นหลอดที่ยุบตัวเว้าข้างใดข้าง
ลินิน	ช่วงเกลียวบิดในทางที่ต่างกัน	หนึ่งมีช่องตรงกลาง
ไหม	ตรงคล้ายกระบองไม้ไม่มีรอยขีด	รูปหลายเหลี่ยมหรือกลมหรือรี
ขนแกะ	ตามขวางมีลักษณะคล้ายข้อเป็น	ส่วนใหญ่รูปคล้ายสามเหลี่ยมมุม
	ระยะ	โค้งมน
	เป็นเส้นตรงไม่กลมผิวเรียบมีลาย	กลมหรือค่อนข้างกลม
	แตกตามยาว	
	เส้นหยิกเป็นคลื่นผิวไม่เรียบมี	
	เกล็ดซ้อนกัน	
<i>เส้นใยประดิษฐ์</i>		
วิสโคสเรยอน		
ชนิดปกติ	เป็นเส้นตรงมีรอยตามความยาว	ไม่กลมขอบเป็นหยักคล้ายฟัน
	ของเส้น	ปลา
ชนิดคิวแพรม โมนีเยม	เป็นเส้นตรงคล้ายแท่งแก้วผิว	
อะซิเตท	เรียบ	กลมหรือค่อนข้างกลม
โมดะคริลิก	เป็นเส้นไม่กลมมีรอยตามยาว	ไม่กลมขอบหยักเป็นคลื่น
อะคริลิก	ของเส้น	คล้ายกระดูกสุนัข
Creslan, Zefran Orlon	เป็นเส้นไม่กลมมีรอยตามยาว	กลมหรือค่อนข้างกลม
ไนลอน 6	ของเส้น	คล้ายกระดูกสุนัข

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะของเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ตรวจดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ไนลอน 66	เป็นเส้นกลมผิวเรียบ เป็นเส้นไม่กลมมีรอยตามยาว ของเส้น	กลมหรือค่อนข้างกลม รูปคล้ายสามเหลี่ยมมุมโค้ง
โพลีเอสเตอร์	เป็นเส้นกลมตรงผิวเรียบมีจุด เล็กๆกระจาย	กลมหรือค่อนข้างกลม
สเปนเดกซ์	เป็นเส้นตรงไม่กลมมีรอย ตามยาวของเส้น	คล้ายกระดูกสุนัขมีรอยตามยาว กลม
แก้ว	เป็นเส้นกลมตรงผิวเรียบ เป็นเส้นตรงที่มีความกว้างมาก เป็นเส้นกลมตรงผิวเรียบ	

3 การตรวจด้วยวิธีเผาไหม้ (burning test)

การทดสอบด้วยวิธีเผาไหม้จะให้ผลที่สรุปได้ว่าเส้นใยนั้นๆเป็นเส้นใยเซลลูโลส โปรตีน หรือสังเคราะห์ แต่จะระบุชนิดลงไปไม่ได้จะต้องอาศัยผลการทดลองอื่นๆ ตรวจสอบเพื่อให้ได้ข้อมูล ยืนยันได้ว่าเป็นเส้นใยชนิดใด นอกจากนี้ผลการทดสอบด้วยวิธีเผาไหม้ยังอาจคลาดเคลื่อนได้ ถ้าตัวอย่าง ที่นำมาทดสอบเป็นเส้นด้ายหรือผ้าที่ทำจากเส้นใยผสมมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป หรือผ้าชิ้นนั้นได้รับการ ตกแต่งหรือย้อมสี ผู้ที่จะวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องมีประสบการณ์ในเรื่องกลิ่นเฉพาะตัวของเส้นใยที่ ลุกไหม้ จึงจะสรุปผลได้ถูกต้อง การทดลองด้วยวิธีเผาไหม้ เป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องระมัดระวังอันตรายที่จะ เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ถ้าตัวอย่างที่จะตรวจสอบเป็นผ้าทอ ให้แยกด้วยเข็ชออกจากเส้นด้ายพุ่ง แต่ถ้าเป็นเส้นด้ายที่ไม่ ทอก็ตัดออกเป็นชิ้นเล็กๆ
2. คลายเกลียวเส้นด้ายยัด ด้ายพุ่ง ให้เส้นใยกระจายตัว

3. ใช้เหล็กปากคีบจับเส้นด้ายพุ่งหรือด้ายยัด หรือเศษผ้าเข้าไปข้างๆ เปลวไฟ สังเกตว่าเส้นใยติดไฟทันทีหรือหลุดออกจากเปลวไฟ สังเกตว่าลูกไหม้ต่อไปหรือค่อยๆดับเอง
4. เลื่อนตัวอย่างเข้าไปในเปลวไฟ 1-2 วินาที สังเกตว่าเส้นใยไหม้ไฟหรือเมื่อติดไฟแล้วดึงออกจากเปลวไฟ สังเกตว่าลูกไหม้ต่อไปหรือค่อยๆดับเอง
5. ถ้าเส้นใยหรือตัวอย่างยังลูกไหม้ต่อไปอีก ให้เป่าไฟให้ดับ คมกลิ้งควัน โดยใช้มือ โบกควันมาใกล้จมูกผู้ทดสอบ อย่าสูดดมจากตัวอย่างโดยตรง
6. สังเกตสีและลักษณะของเถ้าขณะเย็นตัวลง
7. ทดสอบซ้ำกับเส้นด้ายอีกกลุ่มที่แยกไว้ นำผลที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับตารางสรุปผลการเผาไหม้ของเส้นใย

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะการติดไฟของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

เส้นใย	จ่อริมเปลวไฟ	ในเปลวไฟ	เอาออกจากเปลวไฟ	กลิ่น	ขี้เถ้า
<u>เส้นใยธรรมชาติ</u> จากพืช ฝ้ายและลินิน	ไม่หด ติดไฟทันที	ลูกไหม้อย่างรวดเร็ว	ยังลูกไหม้ต่อไป เป็นโพลง	เหมือนกระดาษไหม้	เบา นุ่ม มีสีเทา
<u>ใยเซลลูโลสสังเคราะห์</u> เรยอน อะซิเตท	ไม่หดหนีไฟติดไฟทันที หดหนีไฟ หลอมละลายติดไฟทันที	ลูกไหม้อย่างรวดเร็ว ลูกไหม้อย่างรวดเร็ว	ยังลูกไหม้ต่อไป เป็นโพลง ไหม้ต่อไปอย่างรวดเร็ว	กลิ่นคล้ายกระดาษไหม้ กลิ่นจุนคล้ายน้ำส้มสายชู	เบาเป็นปุยมีจำนวนน้อย เป็นเม็ด ขนาดต่างๆ สีดาแข็ง

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะการตีไฟของเส้นใยชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

<u>โปรตีน</u> <u>ธรรมชาติ</u> ขนสัตว์ ไหม	ม้วนหดตัวหนีไฟได้เอง ม้วนหดตัวหนีไฟ	ลูกไหมซ่าๆ ลูกไหมซ่าๆ เปลวแตก ประทุ	เปลวไฟมอดดับได้เอง เปลวไฟมอดดับได้เอง	คล้ายผมไหม คล้ายผมไหม	เป็นเม็ดแข็ง สีดาบิบบแตก ได้ เม็ดกลมดา บิบบแตกได้ถ้า ไหมเพิ่มน้ำ หนักเต้าจะ คงรูป
<u>แร่ธรรมชาติ</u> ใยหิน	ไม่หลอมตัว	คุแคงถ้าถูก ความร้อนสูง	กลับคืนสู่สภาพเดิม	ไม่มีกลิ่น	รูปร่างไม่ เปลี่ยนแปลง
<u>แร่ประดิษฐ์</u> แก้ว	ไม่ไหมไฟ	อ่อนตัวร้อน แดงหรือมีสี ส้ม	แข็งตัว	ไม่มีกลิ่น	เม็ดสีขาว แข็งตัว
<u>สังเคราะห์</u> อะคริลิก โมดะคริลิก ไนลอน	หลอมละลาย หดตัวจากไฟ และติดไฟ หดตัวจากไฟ หลอมละลาย หดตัวจาก เปลวไฟ	ลูกไหม รวดเร็วเปลว ไฟแตกประ ทุ ลูกไหมซ่าๆ ไม่ค่อยมี เปลว ลูกไหมซ่าๆ หลอม ละลายหยด เป็นเม็ดเล็ก	ลูกไหมต่อไป หลอมละลายและ หยดขณะลูกไหม เปลวไฟมอดดับ ได้เอง เปลวไฟมอดดับ ได้เอง	กลิ่นฉุน กลิ่นฉุนของ สารเคมี กลิ่นคล้าย ผักคื่นไฉ่ (Celery)	

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะการติดไฟของเส้นใยชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

โพลีเอสเตอร์	หลอมละลาย หดตัวจาก เปลวไฟ	ลูกไหม้ช้าๆ หลอมละลาย หยดเป็นเม็ด เล็ก	เปลวไฟมอดดับ ได้เอง	กลั่นสารเคมี	เม็ดกลมแข็ง สีเทาหรือสี น้ำตาล
สเปนเดกซ์	หลอมละลาย หดตัวจาก เปลวไฟ	ลูกไหม้และ หลอมละลาย ลูกไหม้	ลูกไหม้และ หลอมละลาย	กลั่นสารเคมี	อ่อนตัว
ยาง	หดตัวจาก เปลวไฟ	ราวเร็วและ หลอมละลาย	ลูกไหม้ต่อไป	กลั่นกมะถัน หรือสารเคมี	อ่อนตัวสีดำ

4 การทดสอบการละลายด้วยสารเคมี (solubility test)

การละลายของเส้นใยเกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของโมเลกุลในตัวทาละลายเฉพาะชนิด เมื่อมีความเข้มข้นและอุณหภูมิเหมาะสมจึงสามารถใช้สมบัติของการละลายมาทดสอบหาชนิดเส้นใยจากตัวอย่างที่เป็นเส้นใยชนิดเดียวหรือเส้นใยผสมความรู้เกี่ยวกับการละลายของเส้นใยมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ เช่น ใช้พิจารณาการใช้สารกำจัดรอยเปื้อนผงซักฟอกสารซักฟอกอื่นๆ หรือสารเคมีที่ใช้ในบ้าน

ในการทดสอบจะต้องมีตัวทาละลายเส้นใยที่มีความเข้มข้นเฉพาะที่จะละลายได้และต้องทำในสถานที่และใช้อุปกรณ์ที่ช่วยให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ทดสอบเช่น ฐู้ควันถุงมือผ้ากันเปื้อนและแว่นตา (goggles) สำหรับการละลายที่อุณหภูมิ 20°C ให้วางตัวอย่างทดสอบบนกระจกนาฬิกาหลอดแก้วทดลองหรือบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตรแล้วเทตัวทาละลายให้ท่วมตัวอย่างโดยใช้สารเคมี 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 10 มิลลิกรัมการทดสอบที่จุดเดือดของตัวทาละลายต้องต้มตัวทาละลายให้เดือดบนเตาไฟฟ้าชนิดเป็นเหล็กในฐู้ควันใส่ตัวอย่างลงในตัวทาละลายที่เดือดถ้าต้องการทดสอบที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งให้นำหลอดแก้วทดลองบรรจุตัวอย่างพร้อมตัวทาละลายต้มในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำต้มควบคุมอุณหภูมิตามต้องการสังเกตผลการละลายว่าตัวอย่างที่ทดสอบละลายหรือไม่ละลายในสารเคมีชนิดใดถ้าละลายสังเกตว่าหมดขึ้นตัวอย่างหรือไม่ถ้าละลายไม่หมดให้นำชิ้นตัวอย่างที่เหลื่อล้างน้ำให้สะอาดแล้วนำไปละลายใน

สารเคมีชนิดอื่นต่อไปนอกจากนี้ควรสังเกตลักษณะของตัวอย่างที่ไม่ละลายว่าคงสภาพเดิมหรือฟองตัวหรืออ่อนตัวคล้ายพลาสติกที่หลอมตัว

5 การทดสอบหาความหนาแน่น (density test)

การหาความหนาแน่นเป็นอีกวิธีที่ใช้ทดสอบเพื่อแยกชนิดเส้นใยและใช้ยืนยันผลการทดสอบที่ได้จากวิธีอื่นๆ (วิธีทดสอบสิ่งทอ-ชนิดเส้นใย, 2524: 12) การทดสอบเพื่อหาความหนาแน่นจะต้องเตรียมหลอดแก้วก้นตันสำหรับหาความหนาแน่นชนิดต่างๆ (Density gradient column) เทตตระคลอโรเอทิลีน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงไปหลอดแก้วแล้วเตรียมสารผสมของเตตระคลอโรเอทิลีนกับไซลีนเรียงลำดับร้อยละของส่วนผสมโดยปริมาตรทั้งสองชนิดคือ 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80 และ 10/90 เติมน้ำผสมดังกล่าวแต่ละชนิดอย่างละ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงข้างๆหลอดหาความหนาแน่นตามลำดับสุดท้ายเติมไซลีน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงไปของเหลวที่อยู่ในหลอดแต่ละชั้นของหลอดแก้วจะมีความหนาแน่นต่างจากกันน้ำเส้นใยชนิดต่างๆที่ทราบความหนาแน่นแล้วไปย้อมสีต่างๆกันแล้วนำเส้นใยแต่ละชนิดช่วงสั้นๆผูกเป็นปมแล้วนำเส้นใยไปต้มในไซลีน 2 นาทีเพื่อไล่อากาศความชื้นหย่อนปมเส้นใยทั้งหมดที่เตรียมไว้ลงในหลอดหาความหนาแน่นประมาณครึ่งชั่วโมงปมแต่ละปมจะเคลื่อนไปอยู่ที่ระดับของเหลวที่มีความหนาแน่นเท่ากับกับเส้นใยนั้นๆหาเครื่องหมายตำแหน่งความหนาแน่นต่างๆที่หลอดแก้วเตรียมตัวอย่างเส้นใยที่ต้องการทราบชนิดตามวิธีการเดิมใส่ลงในหลอดหาความหนาแน่นหลังจากครึ่งชั่วโมงแล้วสังเกตว่าปมเส้นใยนั้นลอยอยู่ที่ของเหลวที่มีความหนาแน่นระดับใดเทียบหาชนิดของเส้นใยในตาราง

ตารางที่ 6 แสดงความหนาแน่นของเส้นใยชนิดต่างๆ

ชนิดเส้นใย	ความหนาแน่น กรัม/ ลูกบาศก์เซนติเมตร
เส้นใยธรรมชาติ	
เซลลูโลส	1.51
ไหม	1.32 – 1.34
ขนแกะ	1.15 – 1.30
ใยหิน	2.1 – 2.8

ตารางที่ 6 แสดงความหนาแน่นของเส้นใยชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

เส้นใยประดิษฐ์	
เรยอน	1.51
อะซิเตท	1.32
อะคริลิก	1.12 – 1.19
โมดะคริลิก	1.30 หรือ 1.36
ไนลอน 6, ไนลอน 66	1.12 – 1.15
โพลีเอสเตอร์	1.38 หรือ 1.23
ยาง	0.96 – 1.06
แก้ว	2.4 – 2.6

6 การทดสอบโดยวิธีการย้อมสี (staining test)

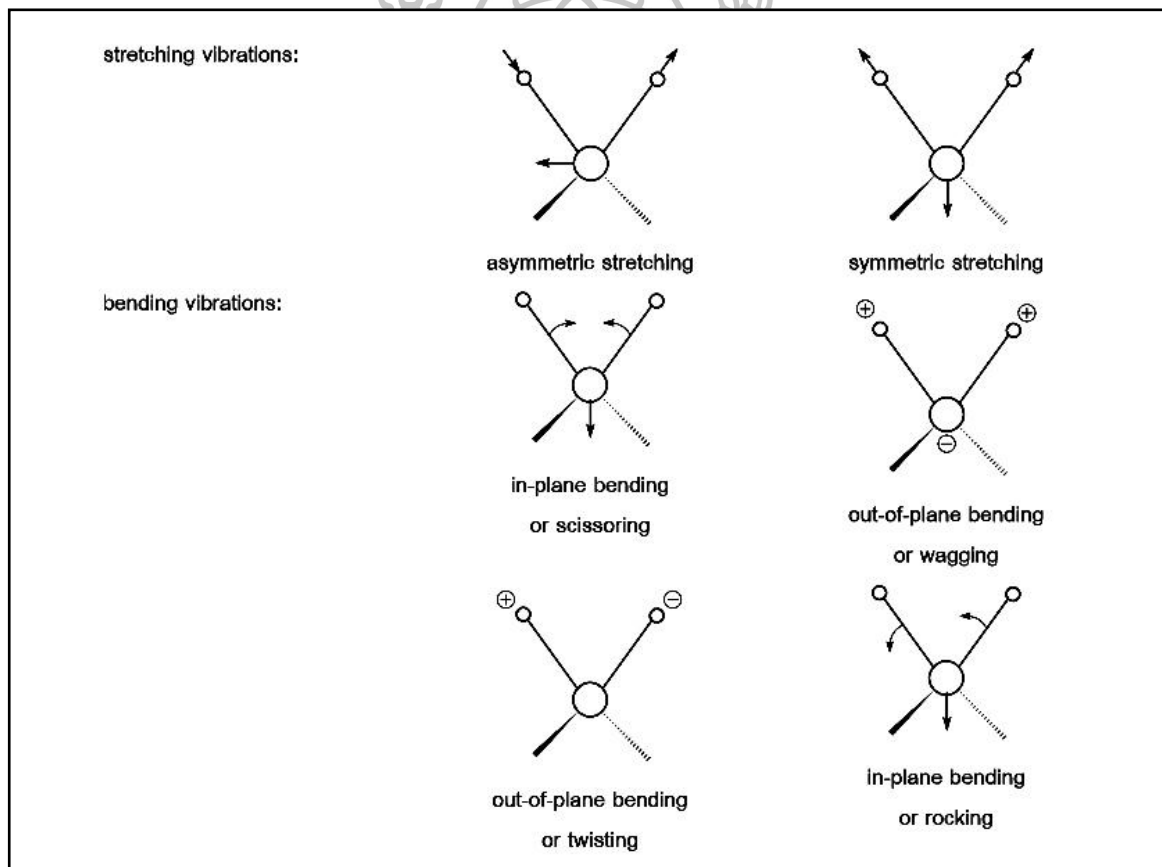
ผลการทดสอบด้วยวิธีการย้อมสีนั้นใช้ยืนยันผลการทดสอบด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อสรุปว่าตัวอย่างที่ตรวจสอบเป็นเส้นใยอะไร การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับเส้นใยที่ยังไม่ได้ย้อมสีหรือมีสีอ่อนมาก ควรเป็นเส้นใยชนิดเดียว เพราะการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ใช้ได้จากเส้นใยผสมด้วยการย้อมสีทำได้ยาก เนื่องจากเมื่อย้อมแล้วตัวอย่างที่เป็นเส้นใยต่างชนิดจะติดสีใกล้เคียงกันทำให้ตรวจดูได้ยาก

สีย้อมที่ใช้ในการตรวจสอบมีหลายชนิดแต่ละชนิดจะมีวิธีการปลดผลของสีที่ย้อมติดเส้นใยต่างๆ กำหนดมา ให้การทดสอบเส้นใยแต่ละตัวอย่างด้วยการย้อมสีหลายๆชนิดแล้วนำผลมาเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนว่าเป็นเส้นใยอะไร เช่น การตรวจสอบเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่งด้วยการย้อมด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ไอโอไดด์บนแผ่นสไลด์แล้วปิดด้วยแผ่นแก้วนำไปตรวจสีด้วยกล้องจุลทรรศน์เส้นใยป่านเฮมร์รามิและฝ้ายจะติดเป็นสีม่วงป่านลินินจะเป็นสีม่วงอมสีน้ำตาลไหมและเส้นใยอื่นๆ ส่วนมากจะเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลหรือนำไปทดสอบด้วยการย้อมสีมาตรฐานสำหรับตรวจสอบชนิดของเส้นใยของคูปองท์หมายเลข 4 (Du Pont Fiber Identification Stain No. 4) 0.1 % ย้อมโดยใช้สัดส่วนของสี : เส้นใย 20 : 1 โดยน้ำหนักนาน 1 นาทีล้างสีที่เกินให้หมดนำตัวอย่างที่ย้อมแล้วไปเปรียบเทียบว่าเป็นเส้นใยชนิดใดกับตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่ย้อมด้วยสีมาตรฐานนั้น

เทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

หลักการของเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสารได้ ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส โดยศึกษาแตรนซิชันของการสั่นหรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสารนั้นๆ โดยเทคนิคนี้เกิดจากกระบวนการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดของโมเลกุล จึงเป็นการวัดการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ทำให้เกิดการแตรนซิชันของการสั่นของโมเลกุลและมีผลต่อการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล เช่น เกิดการยืด-หดของพันธะ (stretching vibrations) หรือการโค้งงอของพันธะ (bending vibrations) ดังในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสั่นของโมเลกุลในรูปแบบต่างๆ

ที่มา : ชิริยุทธ วิไลวัลย์ และคณะ, อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี, เข้าถึงเมื่อ 19 เมษายน 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/ir-265.pdf

อินฟราเรดสเปกตรัมเป็นสเปกตรัมที่พล็อตระหว่างเลขคลื่น (wave number) ซึ่งมีหน่วยเป็น cm^{-1} กับค่าการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรด หรือ % T ในการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่าง การตรวจหาแถบการสั่นหรือพีกของหมู่ฟังก์ชันหลักในโครงสร้างของสารประกอบที่อาจปรากฏในสเปกตรัมเป็นสิ่งสำคัญที่สุด พันธะต่างชนิดกันจะเกิดการ stretching ในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ดังนั้น IR spectrum จะบ่งบอกถึงชนิดของพันธะที่มีอยู่ในโมเลกุล ตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึง stretching frequency ของพันธะต่าง ๆ ที่พบโดยทั่วไปในสารประกอบอินทรีย์

ตารางที่ 7 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด

Wave number (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน	รายละเอียด
3600-3400	O-H stretching	3650-3590 cm^{-1} (sh, w) แอลกอฮอล์อิสระ 3400-3200 cm^{-1} (b) แอลกอฮอล์ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน 3400-2400 cm^{-1} (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก
3500-3200	N-H stretching	3200-3400 cm^{-1} (m) 1 ^o เอมีนและเอมีดมี 2 แถบ 3200-3400 cm^{-1} (w) 2 ^o เอมีนและเอมีดมี 1 แถบ
3300 (vs)	=C-H stretching	3300 cm^{-1} อัลไคน์ที่มี =C-H ที่ปลายโซ่
3100-3000 (w, sh)	=C-H stretching	อัลคีนและเบนซีน (อาจมีหลายพีก)
3000-2800	C-H stretching	หมู่ CH_3 , CH_2 และ CH ของอัลเคน
2850-2780	C-H stretching	แอลดีไฮด์
2250-2225	C=N stretching	ไนทริล (m)
2260-2100	C=C stretching	อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้

ตารางที่ 7 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด (ต่อ)

1820-1760 (s)	C=O stretching	แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ
1800 (s)	C=O stretching	กรดคลอไรด์
1770 (s)	C=O stretching	แกมมา-แลกโตน
1735 (s)	C=O stretching	เอสเทอร์
1725 (s)	C=O stretching	แอลดีไฮด์
1715 (s)	C=O stretching	คีโตน
1710 (s)	C=O stretching	กรดคาร์บอกซิลิก
1690-1650 (s)	C=O stretching	เอไมด์
1650-1600 (w)	C=C stretching	อัลคีน
1650-1590 (s-m)	N-H bending	1° เอมีน
1650-1550 (w)	N-H bending	2° เอมีน
1620-1590 (s)	N-H bending	1° เอมีด
1550-1510 (s)	N-H bending	2° เอมีด
1600, 1580, 1500 และ 1450	C=C stretching	เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ความเข้มข้น แน่นอนอาจมี 2, 3 หรือมีทั้ง 4 แถบ
1520 (s) และ 1350 (s)	NO ₂ bending	สารประกอบไนโตร
1465-1450	C-H bending	หมู่ CH ₂

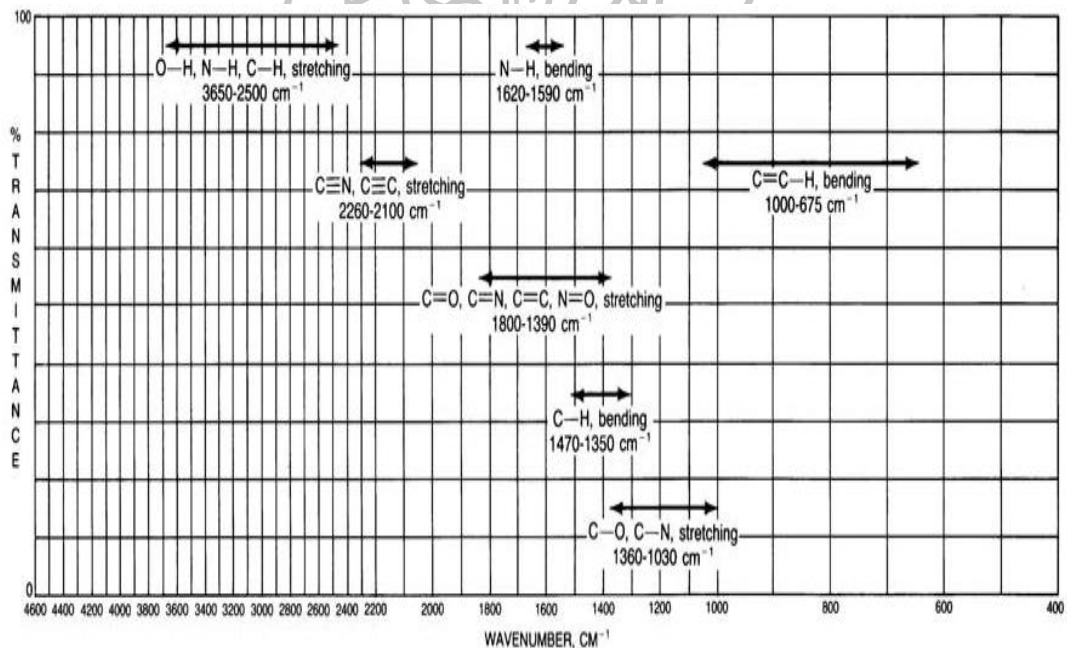
ตารางที่ 7 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด (ต่อ)

1450-1375	C-H bending	หมู่ CH_3
1400-1000	C-F stretching	สารประกอบฟลูออไรด์
1300-1150	$\text{CH}_2\text{-X}$	สารประกอบเฮโลเจน
1300-1000	C-O stretching	อีเธอร์และเอสเทอร์
1220	C-O stretching	ฟีนอล
1150	C-O stretching	3 ^o แอลกอฮอล์
1100	C-O stretching	2 ^o แอลกอฮอล์
1050	C-O stretching	1 ^o แอลกอฮอล์
990 และ 910	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่, $\text{RCH}=\text{CH}_2$)
970	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, trans)
890	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, $\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_2$)
815	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 3 หมู่, $\text{R}_2\text{C}=\text{CHR}$)
700-690	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, cis)
750 และ 690	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่)
750	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบอโท)
780 และ 700	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบเมตา)
825-800	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบพารา)

ตารางที่ 7 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด (ต่อ)

800-600	C–Cl	สารประกอบคลอไรด์
600-500	C–Br	สารประกอบโบรไมด์
~ 500	C–I	สารประกอบไอโอดีน

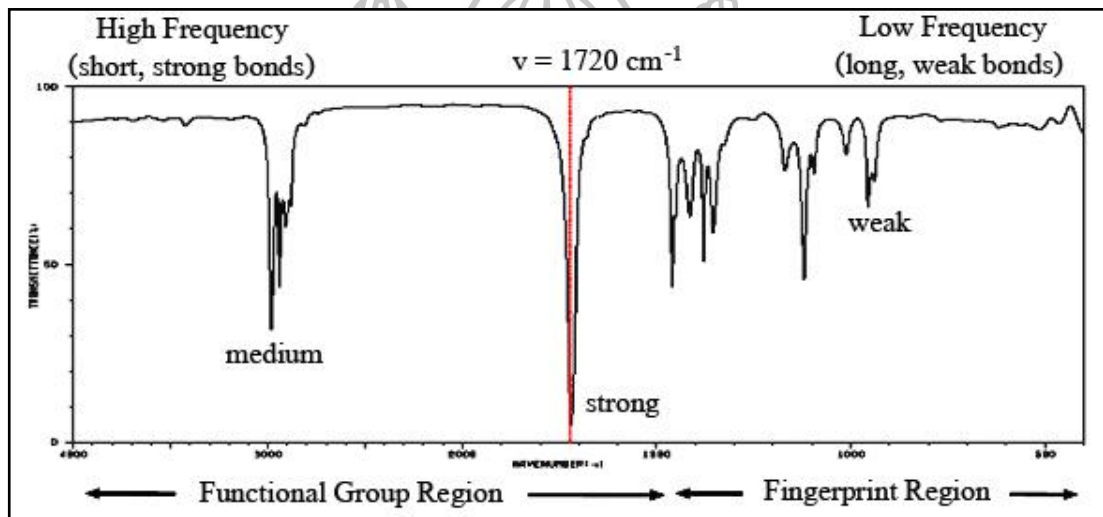
หมายเหตุ : s = ความเข้มสูง , vs = ความเข้มสูงมาก , m = ความเข้มปานกลาง , w = ความเข้มต่ำ , vw = ความเข้มต่ำมาก , Sh = แหลมคม , b = กว้าง , vb = กว้างมาก , OOP = out – of – plane (การสั่นออกนอกระนาบ) ที่มา : บัญชา พูล โภค, **ทฤษฎี IR เข้าถึงเมื่อ 19 เมษายน 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302265/Spectro.pdf



ภาพที่ 4 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด

ที่มา : ความถี่ย่านรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่, อ้างถึงใน วิชา วิศวกรรม, การประยุกต์สเปกโตรสโกปีในเคมีอินทรีย์(กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์นำอักษรการพิมพ์, 2526), 72

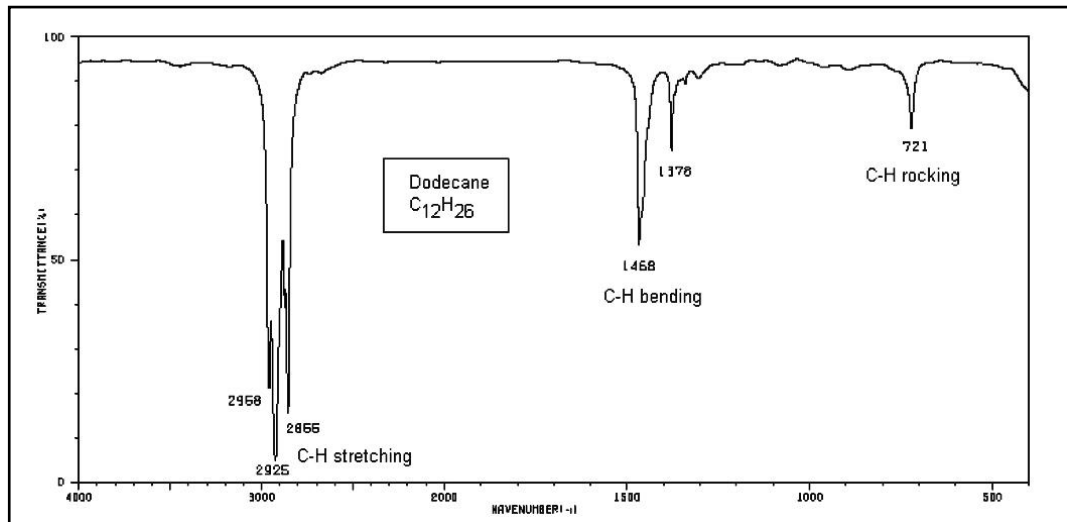
ช่วงการดูดกลืนที่สำคัญของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชันได้มีอยู่ 2 ช่วงคือช่วง $4000-1300\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเรียกว่าเป็นบริเวณหมู่ฟังก์ชัน (functional group region) ในช่วง functional group region นั้นจะมีพีการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันสำคัญๆอยู่หลายหมู่เช่น OH, NH และ C=O stretching เป็นต้นนอกจากนี้สเปกตรัมช่วง $900-650\text{ cm}^{-1}$ พอบอกให้ทราบได้ว่าสารที่สนใจมีหมู่อะโรมาติกอยู่หรือไม่ช่วงการดูดกลืนช่วงกลางของสเปกตรัมตั้งแต่ $1300-900\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งมักเรียกกันว่า เป็นบริเวณลายนิ้วมือ (fingerprint region) จะเป็นช่วงสเปกตรัมที่ดูซับซ้อนสเปกตรัมช่วงนี้จะมีประโยชน์มากเมื่อใช้ในการยืนยันโดยการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิงว่าสารที่สนใจเป็นสารเดียวกันกับสารอ้างอิงหรือไม่ (เปรียบเทียบเหมือนการเทียบลายนิ้วมือ) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ช่วงของการดูดกลืนของ infrared spectrum

ที่มา : **Infrared theory** , accessed 19 April 2014. Available from http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/

ตำแหน่งการดูดกลืนที่สำคัญและเป็นลักษณะเฉพาะของสารประกอบแอลเคนหรือสารประกอบที่มีหมู่แอลคิลได้แก่ C-H stretching และ C-H bending ส่วนสัญญาณ C-C stretching และ bending นั้นจะ weak จึงไม่ค่อยเป็นประโยชน์ในการบอกหมู่ฟังก์ชันนักสำหรับแอลเคนรวมถึงสารที่มี $\text{sp}^3\text{C-H}$ อื่น ๆ มักพบตำแหน่งดูดกลืนของ $\text{sp}^3\text{C-H}$ stretching ที่บริเวณ $3000-2840\text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้ยังพบสัญญาณ C-H bending ของ CH_3 ได้ที่ 1375 cm^{-1} (asymmetric stretching) และ 1450 cm^{-1} (symmetric stretching) ส่วนของหมู่ CH_2 นั้นพบได้ที่ 1465 cm^{-1} (scissoring), 720 cm^{-1} (rocking), $1350-1150\text{ cm}^{-1}$ (twisting และ wagging) ดังภาพที่ 6 เป็นสเปกตรัมของโดเดเคน (dodecane) ซึ่งเป็นตัวอย่างของแอลเคนโซ่ตรง



ภาพที่ 6 Infrared spectrum ของ dodecane

ที่มา : ชिरยุท วิไลวัลย์ และคณะ, อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี, เข้าถึงเมื่อ 19 เมษายน 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/ir-265.pdf

หลักการของเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

TGA เป็นวิธีเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความเสถียรของพอลิเมอร์ และสมบัติทางความร้อนของวัสดุ เมื่อได้รับความร้อนโดยใช้พื้นฐานการวัดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (thermo balance) ในระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติ หรือก๊าซเฉื่อย จะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็น เทอร์โมแกรม ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างและอุณหภูมิ การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์หรือที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลายแต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ เทคนิคนี้มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหยหรือสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติ ทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา ผลการวิเคราะห์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ สมบัติทางความร้อน เสถียรภาพต่อความร้อน เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลักษณะการผ่านกระบวนการทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่หายไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความร้อนที่วัสดุดูดหรือคาย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุขึ้นงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา

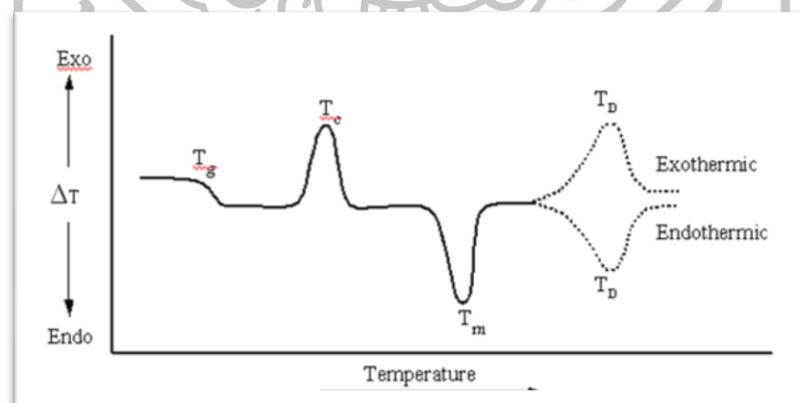
หลักการของเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่าเครื่อง DSC เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง (เช่น พอลิเมอร์) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุมหลักพื้นฐานของ DSC ก็คือ นำถาด 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้าง ๆ กัน เมื่อเริ่มการทดลอง Furnace จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือ เครื่อง DSC จะควบคุมให้ Furnace ทั้งสอง (Furnace ของ Sample Pan และของ Reference Pan) เพิ่มอุณหภูมิถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง สาเหตุที่ความร้อนของถาดทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันก็คือ ถาดทั้งสองมีความแตกต่างกัน นั่นคือ Sample Pan มีตัวอย่างพอลิเมอร์อยู่ข้างใน แต่ Reference Pan ไม่มี การมีสารตัวอย่างอยู่ข้างใน ทำให้ Sample Pan มีสารในปริมาณที่มากกว่า Reference Pan นั้นหมายความว่า Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าที่ให้ Reference Pan เพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน ดังนั้น Furnace ที่อยู่ใต้ Sample Pan จะต้องทำงานหนักกว่า Furnace ที่อยู่ใต้ Reference Pan ก็มันต้องให้ความร้อนมากกว่า และการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก Furnace ทั้งสองนี้ ก็คือหน้าที่หลักของเครื่อง DSC และเพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย เราจะสร้างกราฟ โดยมีแกน X เป็นค่าของอุณหภูมิ และแกน Y เป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของ Furnace ทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

โดยปกติแล้ว การทดสอบสารตัวอย่างทำโดยการเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิสารตัวอย่างด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่คงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที โดยเริ่มต้นที่ 25°C และสิ้นสุดการทดลองที่ 300°C) หรือการรักษาอุณหภูมิสารตัวอย่างไว้คงที่ (Isothermal) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 200°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) และสำหรับการทดลองส่วนใหญ่แล้ว บรรยากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อผลการทดลอง เช่นเดียวกับอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ โดยส่วนใหญ่แล้วบรรยากาศที่ใช้ในการทดลองมีสองแบบคือ บรรยากาศเฉื่อย (Inert Atmosphere เช่น แก๊สไนโตรเจน) และบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน (Oxidizing Atmosphere) เช่น แก๊สออกซิเจน หรืออากาศ ความร้อนที่ใส่สารตัวอย่าง (Heat Flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือ มิลลิจูลล์ (mJ) พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Endothermic

และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Exothermic เมื่อสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว (Melting) Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าที่ให้ Reference Pan เพื่อที่จะคุมอุณหภูมิของ Sample Pan และ Reference Pan ให้เท่ากัน ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยัง Sample Pan มากกว่าหรือน้อยกว่าที่ถูกส่งผ่านไปยัง Reference Pan นั้น ขึ้นอยู่กับว่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบ Exothermic หรือแบบ Endothermic

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC เช่น Melting Point (จุดหลอมเหลว) Glass Transition Temperature (Tg, อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว) Oxidation Stability (ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน) Reaction Kinetics (จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา) หรือ Purity (ความบริสุทธิ์) ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิด จะมีข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าเฉพาะตัว เช่น Low Density Polyethylene (LDPE) มี Melting Point อยู่ที่ประมาณ 110° C และเกิดการตกผลึก (Crystallization) ที่ประมาณ 293° C ในขณะที่ Polyethylene terephthalate (PET) มี Tg ที่ประมาณ 69° C และมี Melting Point อยู่ที่ประมาณ 256° C และเกิด Crystallization ที่ประมาณ 140° C ภาพด้านล่างแสดงตัวอย่างกราฟ DSC (DSC Thermogram) ของ PET ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตขวดน้ำอัดลม (เรียกกันว่าขวดเพด) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนถึง 3 ลักษณะ โดยที่ Glass Transition และ Melting เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่ Crystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic)



ภาพที่ 7 เทอร์โมแกรมของเทคนิค DSC

ที่มา : เทอร์โมแกรม , เข้าถึงเมื่อ 23 เมษายน 2558. เข้าถึงได้จาก

<http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5102/nkc5102t.html>

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2003 **Ping Zhu** และคณะ ได้ศึกษาไพโรไลซิสและผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสของผ้าฝ้ายทนไฟ วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC), Thermogravimetric analysis (TGA) และ pyrolysis-gas chromatography-mass spectroscopy (PY-GC-MS) ใช้ในการตรวจสอบกระบวนการสลายตัวและการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ทนไฟ (โดยใช้สารประกอบ organo-phosphorus) และเส้นใยฝ้ายดิบ การสลายตัวทางความร้อน การสูญเสียน้ำหนักรวมทั้งปฏิกิริยาไพโรไลซิส ผลการทดลองที่ได้เป็นประโยชน์ในการเข้าใจกลไกการทำงานของผ้าทนไฟ.

ปี 2013 **Ahmed G. Hassabo** ได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติการควบคุมความร้อนของผ้าเซลลูโลส เติรมวลผสมผ่านปฏิกิริยา Esterification โดยใช้กรดคาร์บอกซิและกรดไขมันที่แตกต่างกัน วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การทดลองครั้งนี้ประสบความสำเร็จ วัสดุ PCM ที่ใช้มีความจุในการจัดเก็บความร้อนสูงและอนุภาคของ PCM ไม่รั่วไหลเมื่อชกต่าง.

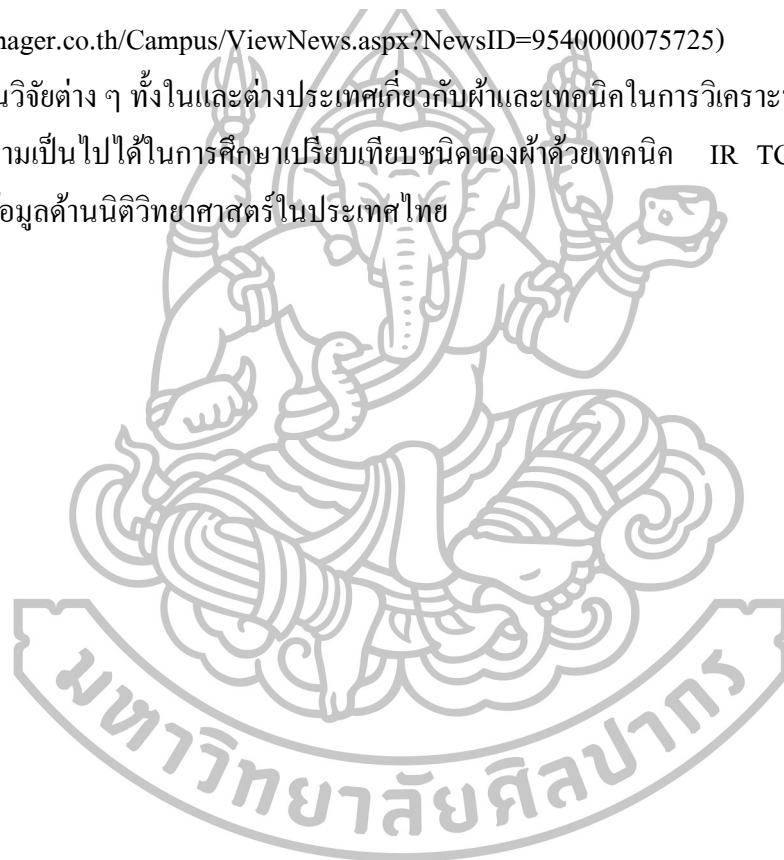
ปี 2007 **Sajwan** และคณะ ได้ศึกษาลักษณะของท่อ High Density Polyethylene (HDPE) จำนวน 28 ตัวอย่าง ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศอินเดีย 13 บริษัท ศึกษาเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลโดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) จากการศึกษาพบว่าพบที่สามารถจำแนกความแตกต่างของตัวอย่างท่อ HDPE ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่ผลิตจากต่างบริษัทกัน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวใช้เป็นบรรทัดฐานในการจำแนกท่อ HDPE ที่มีที่มาต่างกันได้.

ปี 2011 **นางสาวกิตติมา อรุณดิษฐ์รัตน์** ศึกษาพฤติกรรมสลายตัวทางความร้อนของโคพอลิเมอร์ยางกราฟท์พอลิสไตรีนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ Differential Thermal Analysis Thermogravimetric Analysis (DSC/DTA-TGA) และศึกษาว่า การสลายตัวของโคพอลิเมอร์นั้นเป็นแบบมีแรงกระทำระหว่างกันหรือไม่ ซึ่งได้พบว่าการสลายตัวของโคพอลิเมอร์มี 2 ชั้น คือ การสลายตัวของพอลิสไตรีนบริสุทธิ์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200 – 350 °C และ 400 - 450 °C และการสลายตัวของยางธรรมชาติบริสุทธิ์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 – 400 °C ตามสมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมากราฟท์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า DSC/DTA-TGA สามารถจำแนกช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติได้.

นายสมนึก สังข์หนู และ **นางปิยนุช จริงจิต** อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ศึกษาสมบัติและลักษณะทางกายภาพของใยแมงมุมพันธุ์ Nephila เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในงานสิ่งทอ โดยได้เก็บตัวอย่างจากพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งในการเก็บ จะเก็บจาก 2 แหล่งคือ การดึงเส้นใยจากตัวแมงมุมโดยตรง และการเก็บเส้นใยที่แมงมุมถักใยดักแมลงอยู่แล้วตามธรรมชาติ โดยใช้ Fourier Transform Infrared

Spectroscopy (FTIR), Differential Scanning Calorimeter (DSC) และ Thermogravimetric analysis (TGA) จากการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าว พบว่า เส้นใยแมงมุมมีส่วนประกอบหลักเป็น Spider Fibroin และยังไม่หลอมละลายด้วยความร้อน ส่วนลักษณะภาพตัดขวางของเส้นใยแมงมุมลัมพันธ์ Nephila เป็นวงกลม และภาพตามยาวเป็นทรงกระบอกผิวเรียบ เส้นใยมีสีเหลือง โปร่งแสง เมื่อนำมาเบอร์เส้นใยที่ดึงจากตัวแมงมุมมาวัดค่าในระบบเท็กซ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42 tex(3.78 Denier) เบอร์ของเส้นใยที่เก็บจากตาข่ายในระบบเท็กซ์มีค่าเฉลี่ย 0.81 Tex(7.29 Denier) และเส้นใยที่ดึงจากตัวแมงมุมมีค่า Tenacity เท่ากับ 18.80 cN/tex มีการยืดตัวเฉลี่ยที่จุดขาดร้อยละ 18.2 ในขณะที่เส้นใยที่เก็บจากตาข่าย มีค่า Tenacity เท่ากับ 10.15 cN/tex มีการยืดตัวเฉลี่ยที่จุดขาดร้อยละ 35.19. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ธ.ค. 2556 <http://www.manager.co.th/Campus/ViewNews.aspx?NewsID=9540000075725>)

จากงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศเกี่ยวกับผ้าและเทคนิคในการวิเคราะห์ทางความร้อน แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผ้าด้วยเทคนิค IR TGA และ DSC เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลด้านนิติวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย






บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดของเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาตัวอย่างผ้าจำนวน 21 ชนิด โดยแบ่งเป็น ผ้าที่ทราบส่วนประกอบจำนวน 8 ชนิด และผ้าที่ไม่ทราบส่วนประกอบจำนวน 13 ชนิด

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด

ชนิดของผ้า	รูปภาพ
ไหม	
100% polyamide	
100% polyester	

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด (ต่อ)

100% natural cotton	
100% acrylic	
70%bamboo ผสมกับ 30%long shaple cotton	


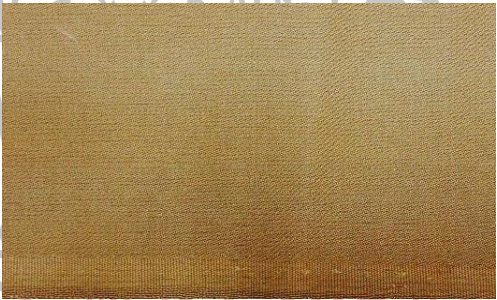


ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด (ต่อ)

<p>65% polyester ผสมกับ 35% nylon</p>	
<p>40% milk silk ผสมกับ 30% long staple cotton และ 30% tolay vekvt</p>	
<p>tolaypopping</p>	

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด (ต่อ)

japan silk	
s'fair	
Chiffon	
Cotton	




ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด (ต่อ)

jeans	
khaki	
lacework	
X1	

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างของผ้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 21 ชนิด (ต่อ)

X2	
X3	
X4	
X5	

ตารางที่ 9 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	รูปภาพ
<p>ชุดเครื่องมือ ATR-FTIR</p> <p>- เครื่อง Attenuated Total Reflectance (ATR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Universal ATR sampling accessory</p> <p>- เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 FT-IR</p>	
<p>ชุดเครื่องมือ TGA รุ่น Pyris1 TGA ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments</p>	
<p>ชุดเครื่องมือ DSC รุ่น Pyris Diamond DSC ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments</p>	

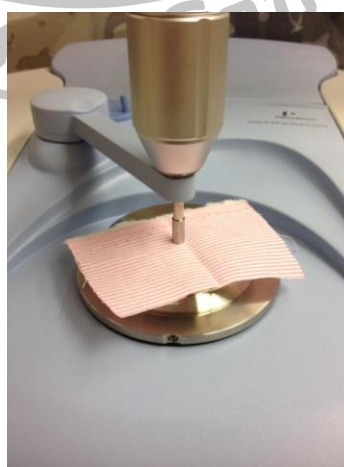
ตารางที่ 9 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

<p>เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Dragon 204</p>	
---	--

2 การทดลอง

2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR

เปิดเครื่อง IR ทิ้งไว้ 15 นาที ก่อนทำการวัดตัวอย่าง
เปิดโปรแกรม จากนั้น scan background
ทำการ set โปรแกรม โดยตั้งค่าการสแกนตั้งแต่ $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$ ที่ 4 scan
จากนั้นตั้ง resolution ที่ 4 cm^{-1} ระบุชื่อตัวอย่าง
เครื่องมือจะทำการวัดและบันทึกผล
ทำเช่นเดียวกันนี้ จนครบตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์
นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 8 แสดงการใส่ตัวอย่างเครื่อง IR

2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA

ชั่ง crucible เป่าด้วยเครื่อง TGA

นำ crucible เป่ามาชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วกดเซ็ทให้เป็นศูนย์

บรรจุเศษฝัสดลงใน crucible แล้วนำไปชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 10 mg

นำ crucible มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยตั้งค่าเครื่อง TGA ดังนี้

ตารางที่ 10 .แสดงการตั้งค่าเครื่อง TGA

หัวข้อ	รายละเอียด
อุณหภูมิเริ่มต้น	35.00 °C คงไว้ 1.0 min
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	10.00 °C /min
อุณหภูมิสุดท้าย	800.00 °C
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน	20 ml/min

นำ crucible ออก รอให้อุณหภูมิลดลง

ทำเช่นเดียวกันนี้ จนครบตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 9 แสดง crucible สำหรับใส่ตัวอย่าง เครื่อง TGA

2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค DSC

นำ pan เปล่าและ cover มาชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วกดเซ็ทให้เป็นศูนย์
บรรจุเศษผ้าลงใน pan แล้วนำไปชั่งโดยต้องชั่ง cover ด้วย ให้มีน้ำหนัก
ประมาณ 10-15 mg
บันทึกน้ำหนักที่อ่านได้แล้วนำไปอัด หลังจากอัดให้นำมาชั่งอีกครั้ง
บันทึกค่าที่ได้จากนั้นใส่ pan ลงในเซลล์โดยอีกเซลล์ให้ใส่ pan เปล่า แล้วนำมา
วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยตั้งค่าเครื่อง DSC ดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงการตั้งค่าเครื่อง DSC

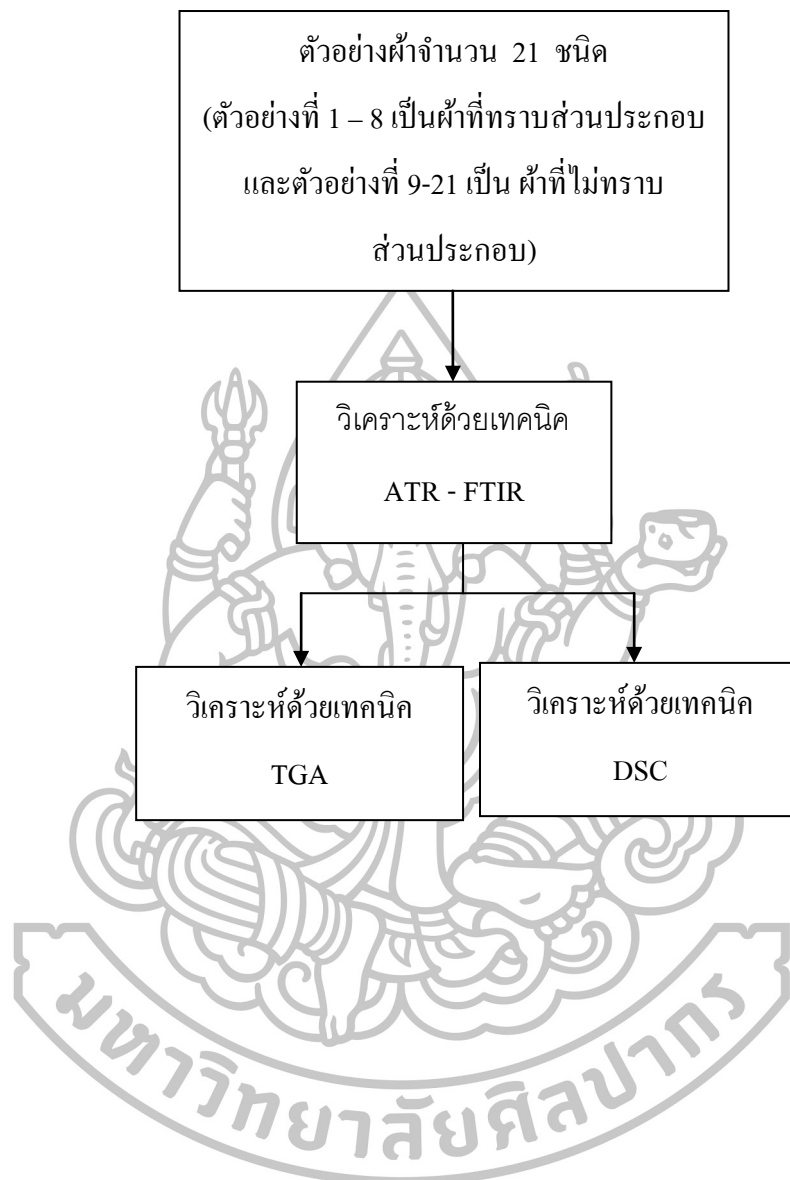
หัวข้อ	รายละเอียด
อุณหภูมิเริ่มต้น	50.00 °C คงไว้ 0.5 min
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	10.00 °C /min
อุณหภูมิสุดท้าย	480 °C คงไว้ 5 min
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน	20 ml/min

นำ pan ทั้งสองออกจากเซลล์ รอให้อุณหภูมิลดลงแล้วทำความสะอาดเซลล์
ทำเช่นเดียวกันนี้ จนครบตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์
นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 10 แสดง pan ใสตัวอย่างของเครื่อง DSC

แผนผังการทดลอง

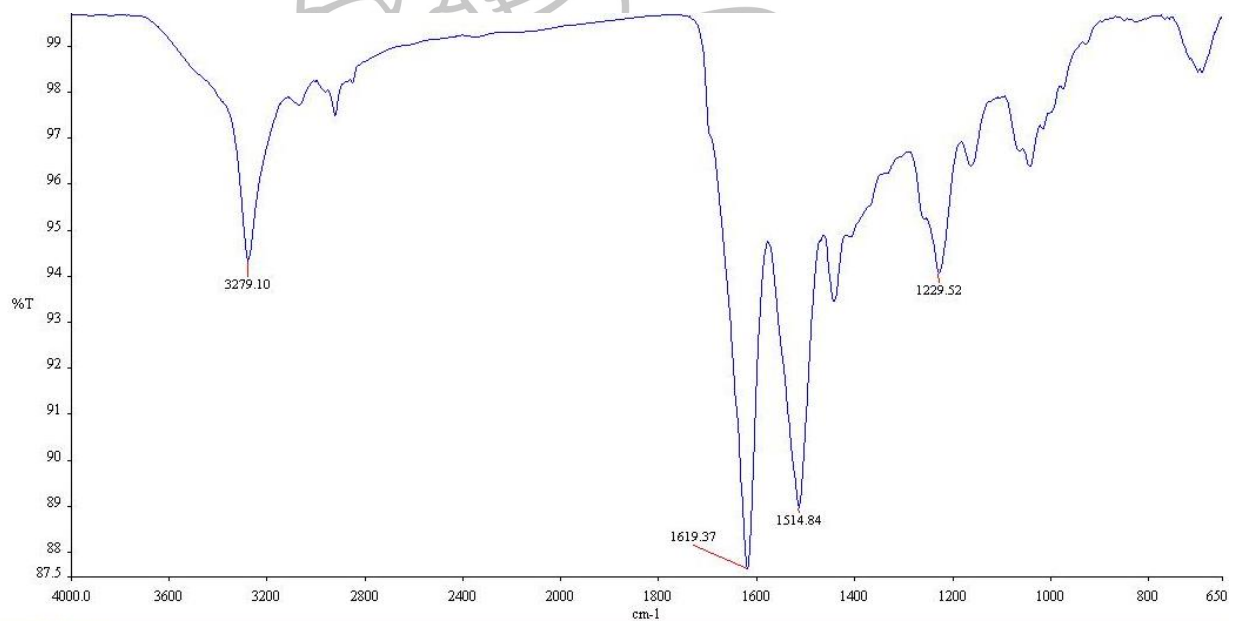


บทที่ 4

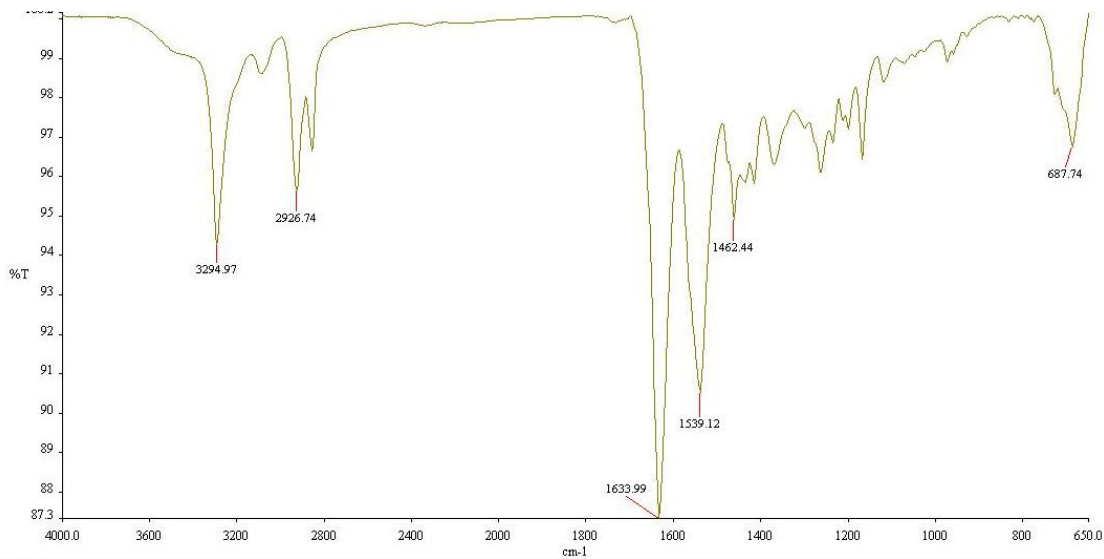
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR

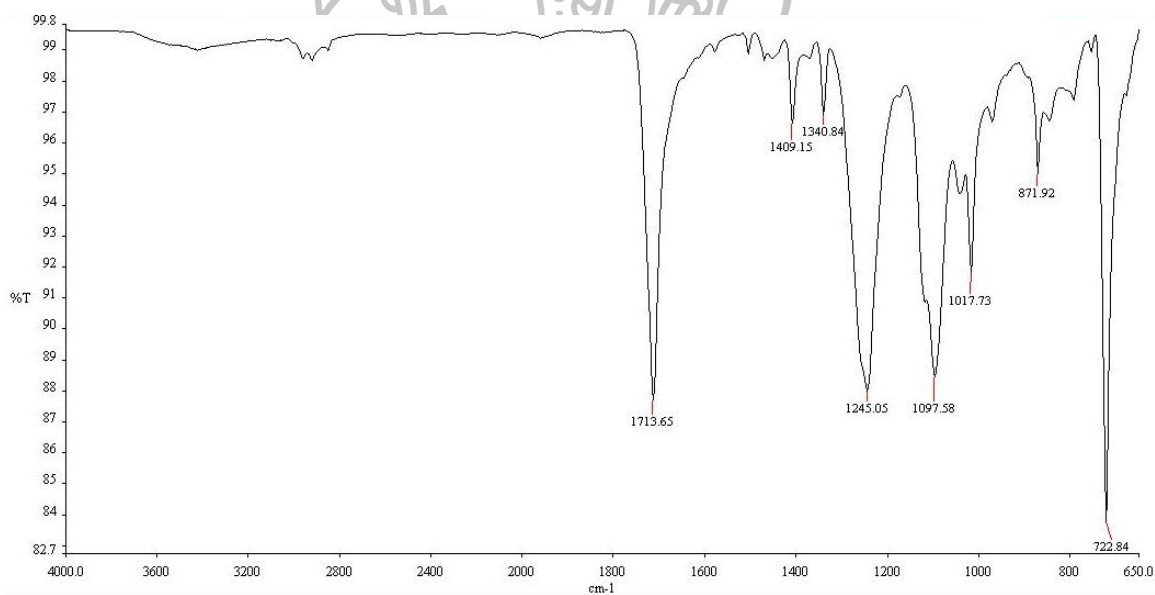
จากการนำตัวอย่างผ้าจำนวน 21 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นผ้าที่ทราบส่วนประกอบจำนวน 8 ชนิด จากนั้นนำผ้าที่ไม่ทราบส่วนประกอบจำนวน 13 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยใช้เลขคลื่น $4000-650\text{ cm}^{-1}$ ได้สเปกตรัม (spectrum) พล็อตระหว่าง % Transmittance กับ Wavenumber (cm^{-1}) ดังภาพที่ 11-18



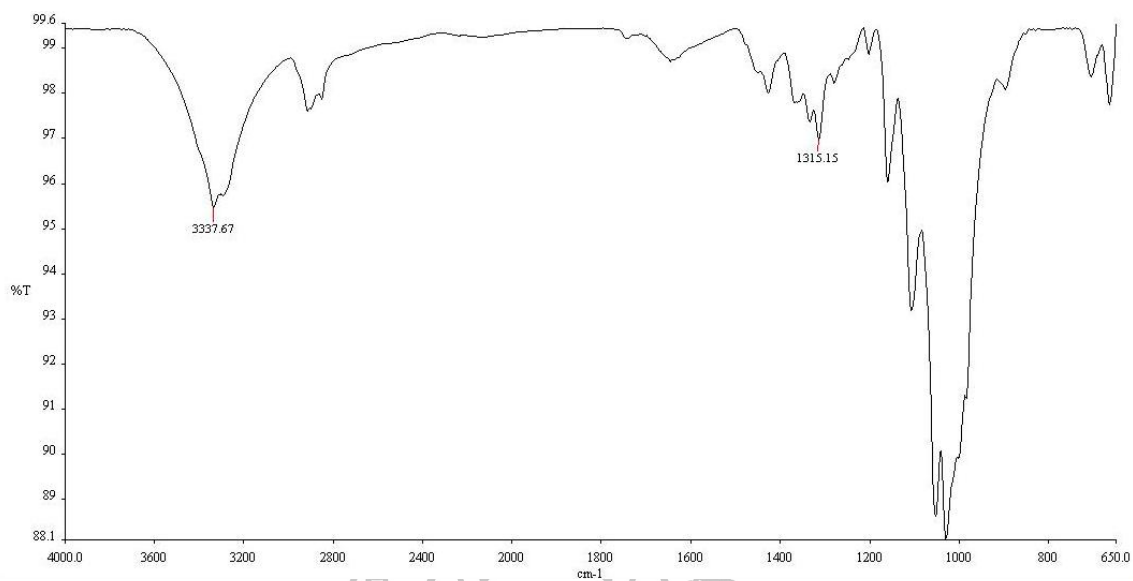
ภาพที่ 11 Infrared spectrum ของผ้าไหม



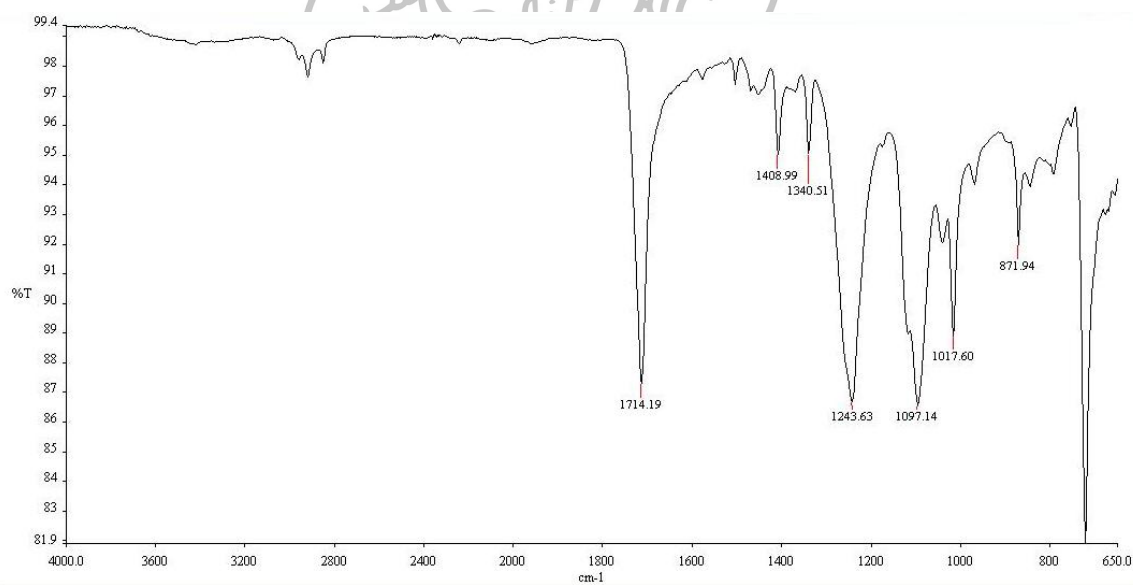
ภาพที่ 12 Infrared spectrum ของ 100% polyamide



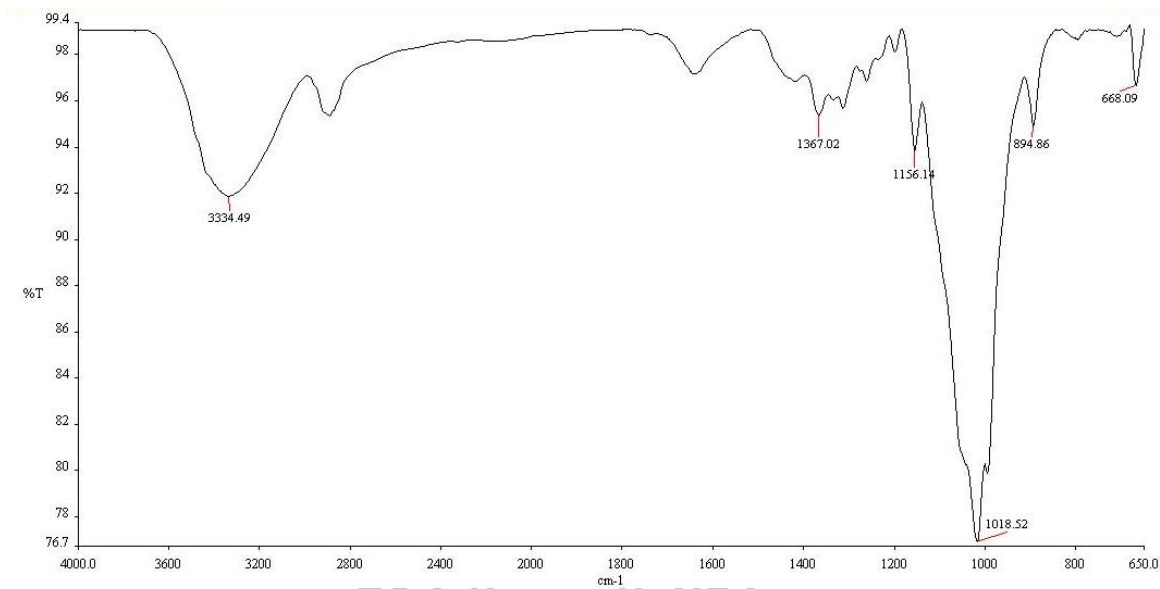
ภาพที่ 13 Infrared spectrum ของ 100% polyester



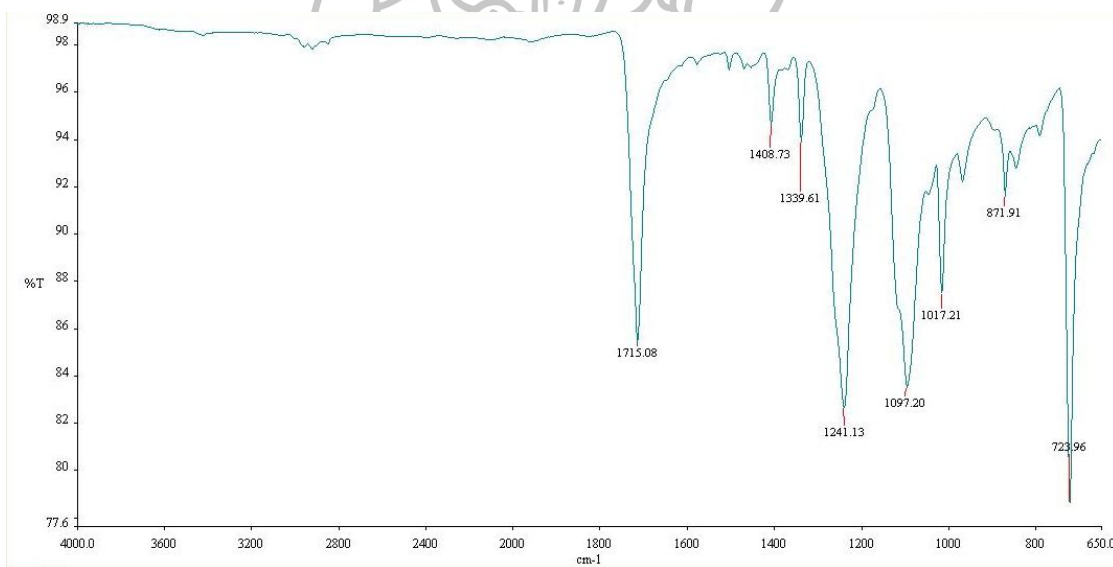
ภาพที่ 14 Infrared spectrum ของ 100% natural cotton



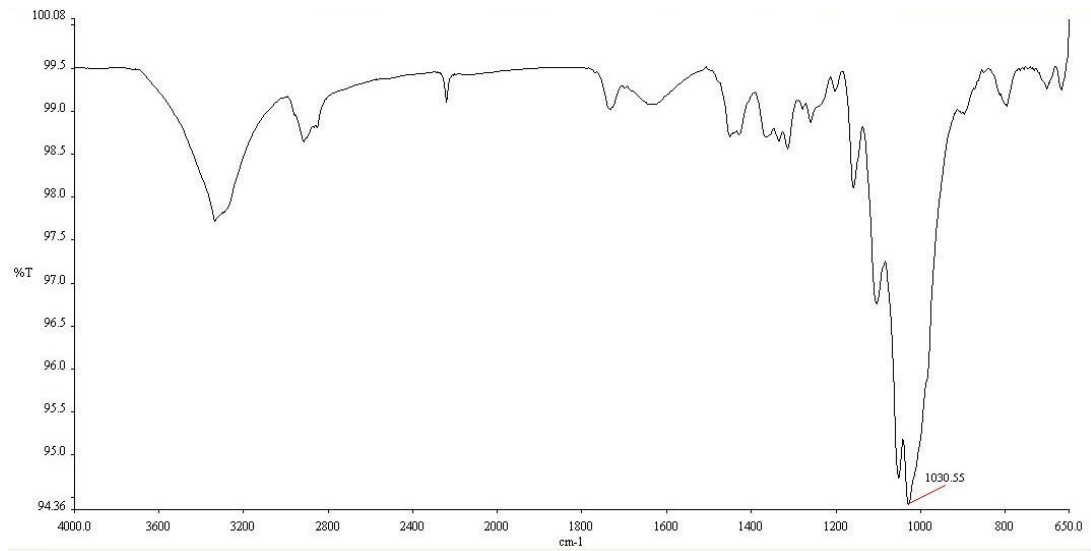
ภาพที่ 15 Infrared spectrum ของ 100% acrylic



ภาพที่ 16 Infrared spectrum ของ 70% bamboo ผสมกับ 30% long shape cotton



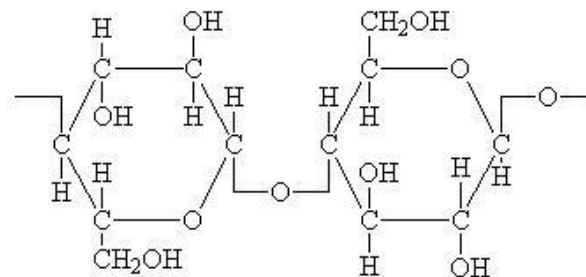
ภาพที่ 17 Infrared spectrum ของ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon



ภาพที่ 18 Infrared spectrum ของ 40% milk silk ผสมกับ 30% long staple cotton และ 30% tolay vekvt

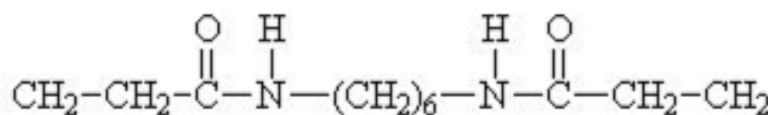
จากภาพที่ 11-18 สเปกตรัมของผ้าชนิดต่างๆ โดยภาพที่ 11 คือ ผ้าไหม, ภาพที่ 12 คือ 100% polyamide, ภาพที่ 13 คือ 100% polyester, ภาพที่ 14 คือ 100% natural cotton, ภาพที่ 15 คือ 100% acrylic, ภาพที่ 16 คือ 70% bamboo ผสมกับ 30% long staple cotton, ภาพที่ 17 คือ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon และภาพที่ 18 คือ 40% milk silk ผสมกับ 30% long staple cotton กับ 30% tolay vekvt

จากภาพที่ 11 เป็นสเปกตรัมของผ้าไหมซึ่งปรากฏพิคซ์ดเจนที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน -O-H stretching ของ hydrogen bonded alcohols ที่เลขคลื่น 1619 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ -C=O stretching และที่เลขคลื่น 1514 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน -N-H bending ผ้าไหมมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสแสดงในภาพที่ 19



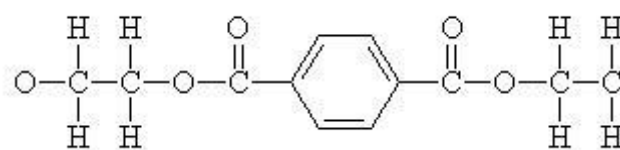
ภาพที่ 19 โครงสร้างทางเคมีของ cellulose

ในภาพที่ 12 เป็นสเปกตรัมของ 100% polyamide จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของผ้าไหม เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของผ้าไหมและ 100% polyamide พบว่าสเปกตรัมของ 100% polyamide ปรากฏพีกซ์ชันที่เลขคลื่น 2926 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน CH_3 , CH_2 ของอัลเคนเพิ่มขึ้นมา ซึ่งตรงกับโครงสร้างทางเคมีของ polyamide ในภาพที่ 20

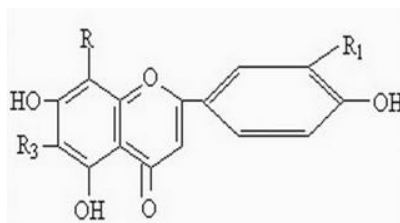


ภาพที่ 20 โครงสร้างทางเคมีของ polyamide

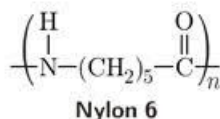
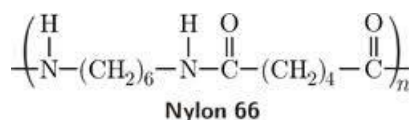
ในภาพที่ 13, 14 และ 17 เป็นสเปกตรัมของ 100% polyester, 100% acrylic และ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon ตามลำดับ สเปกตรัมปรากฏพีกซ์ชันที่เลขคลื่น 1713 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน $-\text{C}=\text{O}$ stretching ของ ester และที่เลขคลื่น 1245 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ $-\text{C}-\text{O}$ stretching ตรงกับโครงสร้างทางเคมีในภาพที่ 21, 23 และ 24 ในภาพที่ 14, 16 และ 18 เป็นสเปกตรัมของ 100% natural cotton, 70%bamboo ผสมกับ 35% nylon, 40%milk silk ผสมกับ 30% long staple cotton กับ 30% tolay vekvt ปรากฏพีกซ์ชันในช่วงเลขคลื่น $1000-1200\text{ cm}^{-1}$ คือ $-\text{C}-\text{O}$ stretching



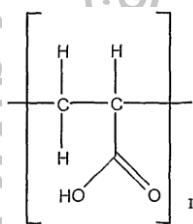
ภาพที่ 21 โครงสร้างทางเคมีของ polyester



ภาพที่ 22 โครงสร้างทางเคมีของ bamboo



ภาพที่ 23 โครงสร้างทางเคมีของ nylon



ภาพที่ 24 โครงสร้างทางเคมีของ acrylic

ภาพที่ 19-24 โครงสร้างทางเคมีของผ้าชนิดต่างๆ โดย 19 คือ cellulose, 20 คือ polyamide, 21 คือ polyester, 22 คือ bamboo, 23 คือ nylon และ 24 คือ acrylic

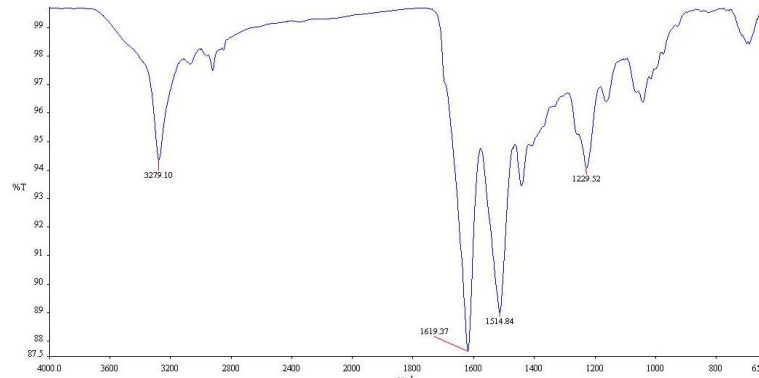
ที่มา **structure of fiber**, เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2558. เข้าถึงได้จาก

<http://dwb4.unl.edu/Chem/CHEM869E/CHEM869ELinks/qlink.queensu.ca/~6jrt/chem210/Page5.html>

เมื่อนำตัวอย่างผ้าที่ไม่ทราบส่วนประกอบจำนวน 13 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่าได้สเปกตรัม (spectrum) แสดงในภาคผนวก ก ตำแหน่งของพีคในสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันตามหมู่ functional group ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

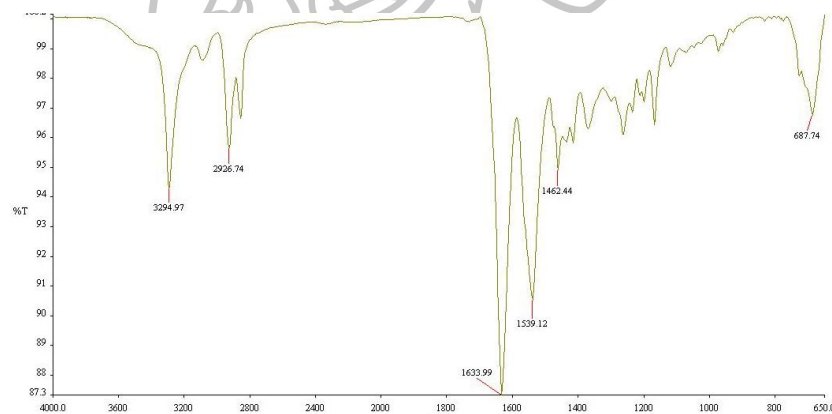
ผ้าที่ทราบส่วนประกอบพบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างผ้าออกเป็น 5 กลุ่ม ตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย 1 ตัวอย่าง คือ ผ้าไหมให้ผลสเปกตรัมดังภาพที่ 25



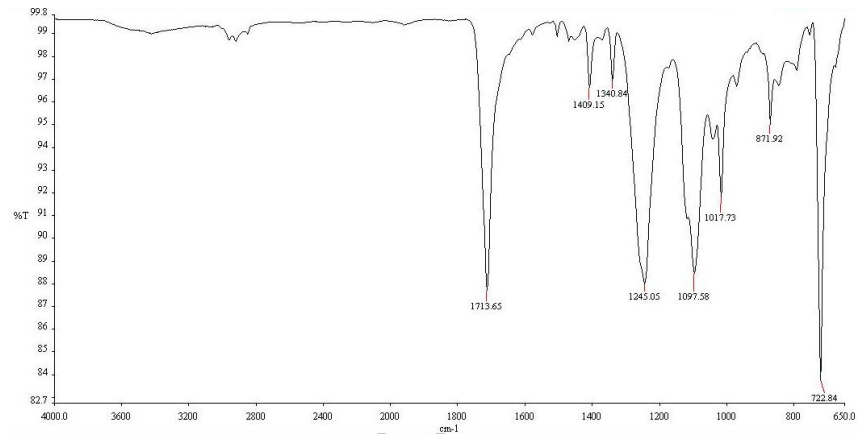
ภาพที่ 25 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ ผ้าไหม

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย 2 ตัวอย่าง คือ 100% polyamide และ toraypopping ให้ผลสเปกตรัมดังภาพที่ 26



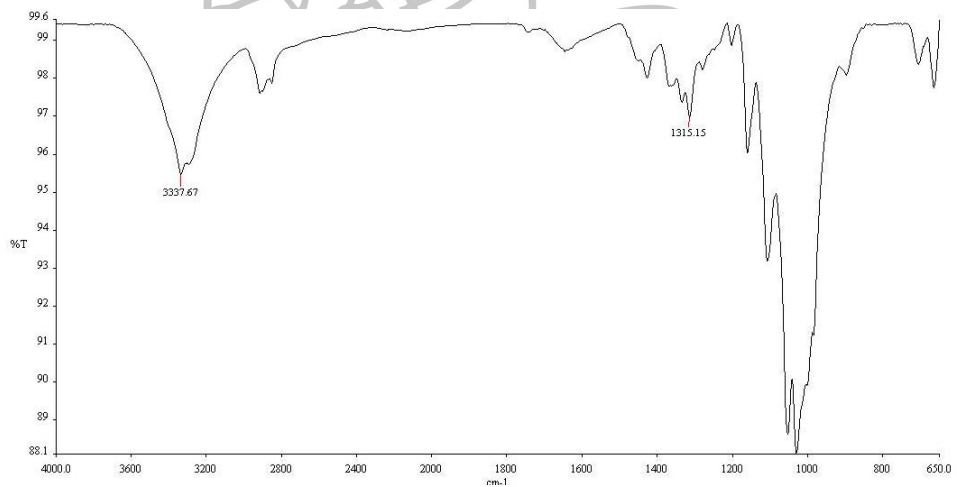
ภาพที่ 26 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyamide

กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย 8 ตัวอย่าง คือ 100% polyester, 100% acrylic, 65% polyester ผสมกับ 35% nylon, X1, X2, X3 และ X5 ให้ผลสเปกตรัมดังภาพที่ 27



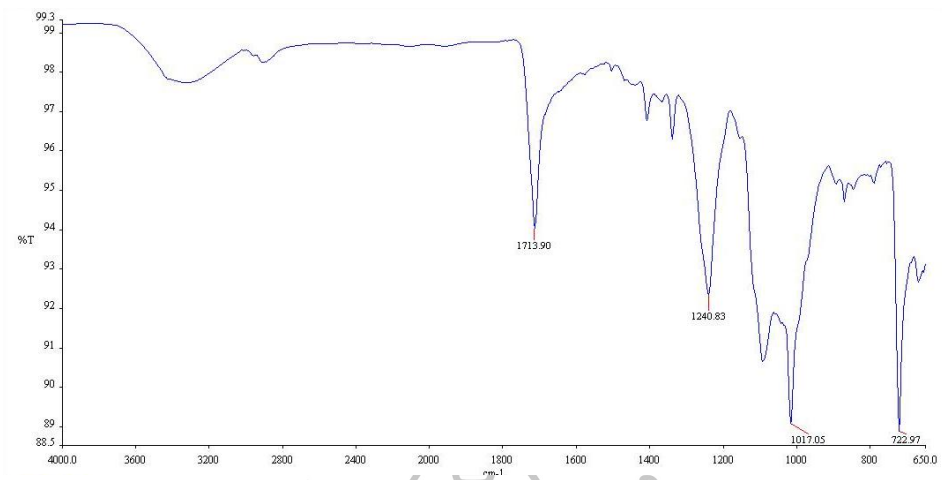
ภาพที่ 27 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyester

กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย 6 ตัวอย่าง คือ 100% natural cotton, 70% bamboo ผสมกับ 35% nylon, 40% milk silk ผสมกับ 30% long staple cotton กับ 30% tolay vekvt, jeans, cotton และ X4 ให้ผลสเปกตรัมดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Natural cotton

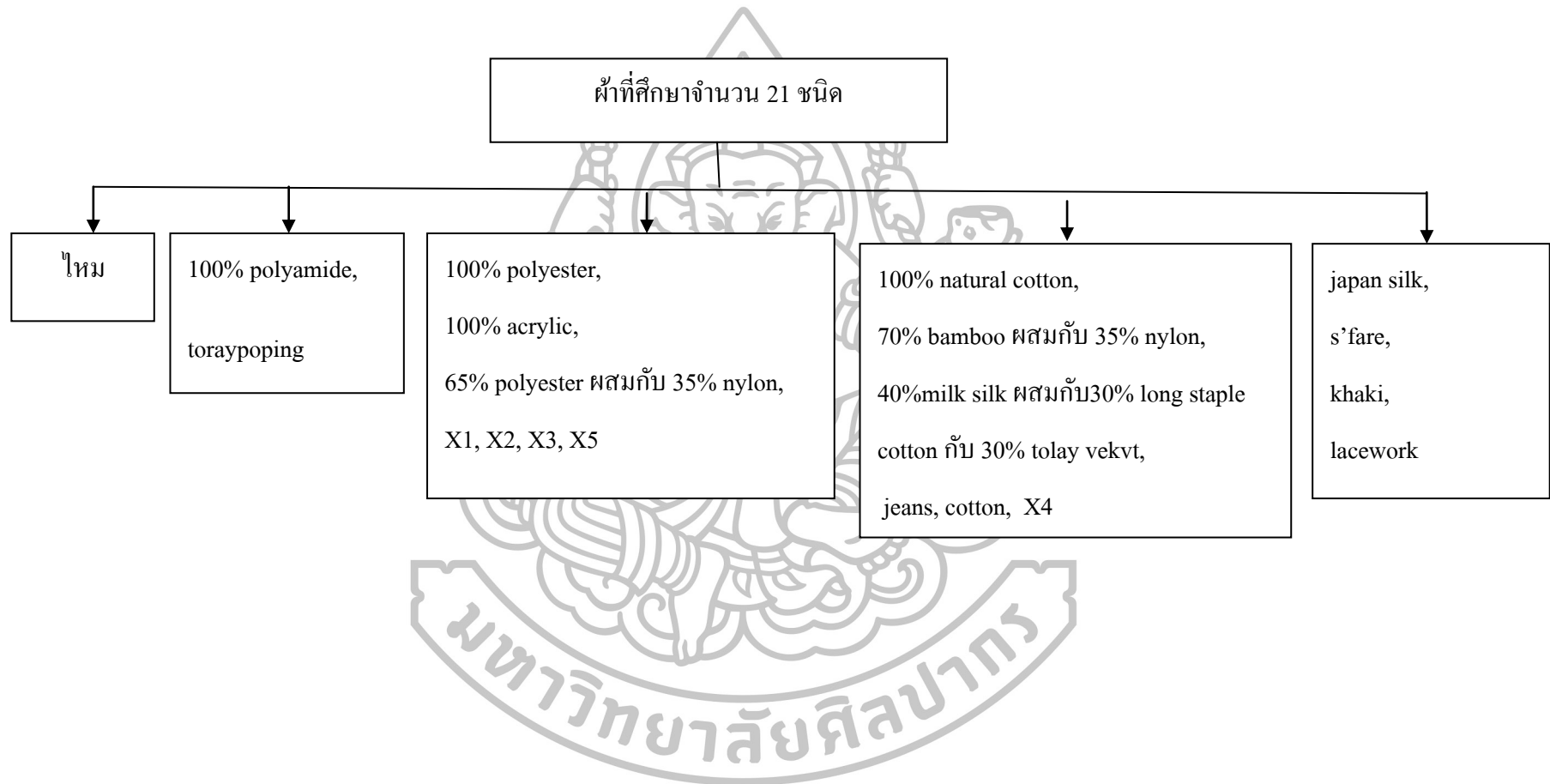
กลุ่มที่ 5 ประกอบด้วย 4 ตัวอย่าง คือ japan silk, s'fare, khaki และ lacework ให้ผลสเปกตรัมดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ lacework

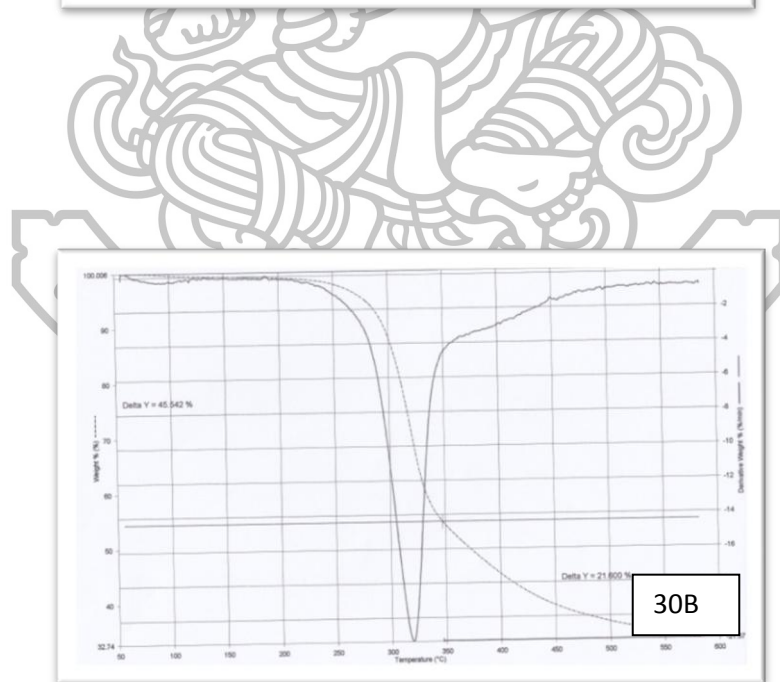
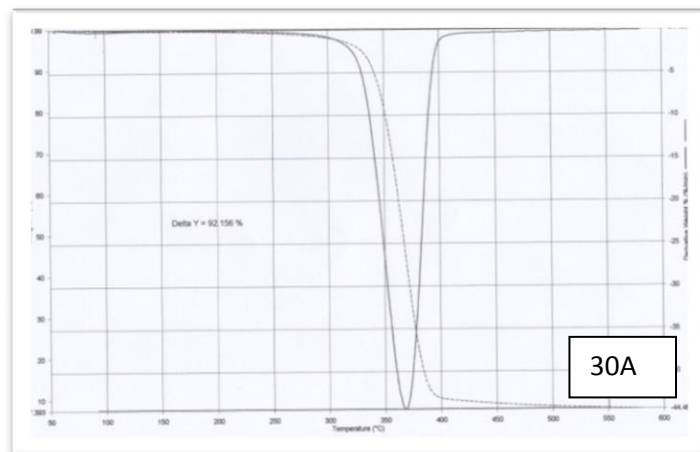


ตารางที่ 12 แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR



2. การศึกษาสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างผ้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) และ Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยการวิเคราะห์ห้ด้วยเทคนิค TGA ซึ่งเทอร์โมแกรมที่ได้จะพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป (%) กับอุณหภูมิ (°C) ในภาพที่ 18



ภาพที่ 30 เทอร์โมแกรมจากเทคนิค TGA โดย 30A คือ 100% Natural cotton, 30B คือ ผ้าไหม

จากภาพที่ 30A พบว่าเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค TGA ของ 100% Natural cotton มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1 ขั้นตอน โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 250 – 500 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 92.16 % สังเกตได้ว่าตัวอย่างผ้านี้มีน้ำหนักหายไปเกือบหมด ในภาพที่ 30B เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค TGA ของผ้าไหม มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 225 – 395 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 45.54 % และขั้นตอนที่สองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 395 – 550 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 21.60 %

เมื่อนำตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าได้เทอร์โมแกรม (thermogram) แสดงในภาคผนวก ข นำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์ผลของช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสีย น้ำหนัก ได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค TGA

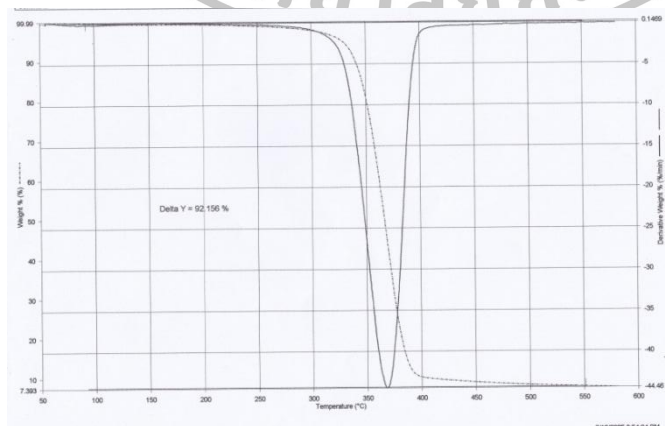
ตัวอย่าง	การลดของน้ำหนัก ครั้งที่ 1		การลดของน้ำหนัก ครั้งที่ 2		การลดของน้ำหนัก ครั้งที่ 3	
	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย (°C)	น้ำหนัก ที่หายไป (%)	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย (°C)	น้ำหนัก ที่หายไป (%)	อุณหภูมิ เริ่มต้น-สุดท้าย (°C)	น้ำหนัก ที่หายไป (%)
ไหม	225 - 395	45.542	395 - 550	21.600		
100% polyamide	350 – 500	99.221				
100% polyester	250 – 500	91.049				
100%natural cotton	250 – 500	92.156				
100% acrylic	300 - 475	70.525				
70%bamboo 30%longstaple cotton	300 - 500	83.134				
65% polyester 35%nylon	350 - 500	88.246				
40%milk silk 30%long staple cotton 30%tolay vekvt	200 - 350	31.572	350 - 450	36.919		
Toraypoping	300 - 390	35.320	390 - 500	52.719		
Japan skl k	275 - 375	24.321	375 - 500	61.400		

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค TGA (ต่อ)

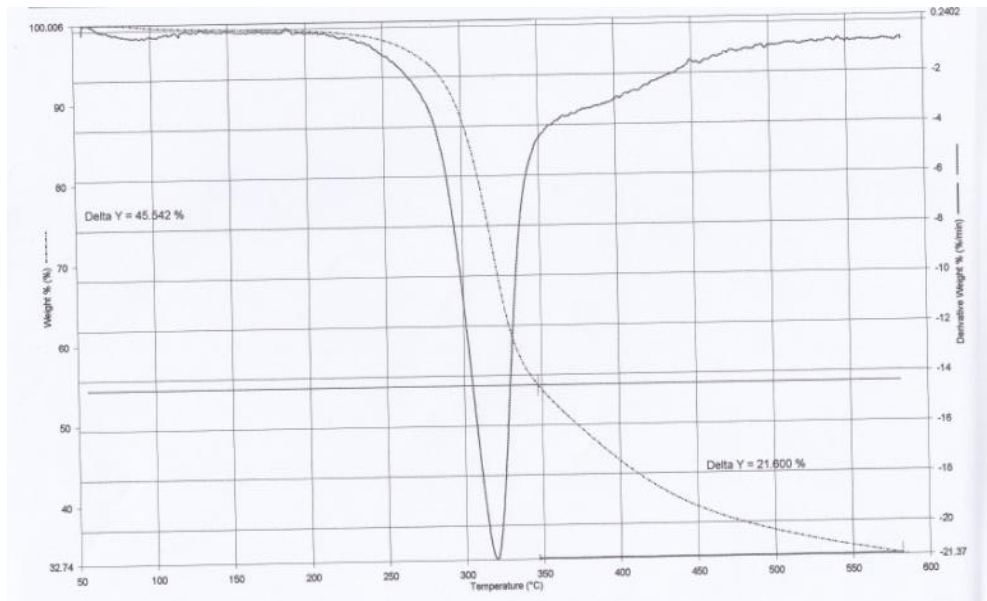
S'fare	350 - 500	86.742				
Chiffon	350 - 525	87.511				
Cotton	275 - 390	69.347	390 - 500	19.594		
Jeans	225 - 360	39.953	360 - 450	38.413	450 - 550	5.328
Khaki	300 - 380	19.970	380 - 500	68.695		
Lacework	350 - 475	98.895				
X1	350 - 500	84.520				
X2	350 - 500	87.199				
X3	350 - 500	86.093				
X4	275 - 390	49.876	390-550	39.364		
X5	350 - 500	83.069				

จากตารางที่ 13 พบว่า ผ้าส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1 ขั้นตอน ดังภาพที่ 31 บางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 2 ขั้นตอน ดังภาพที่ 32 และ 3 ขั้นตอน ดังภาพที่ 33

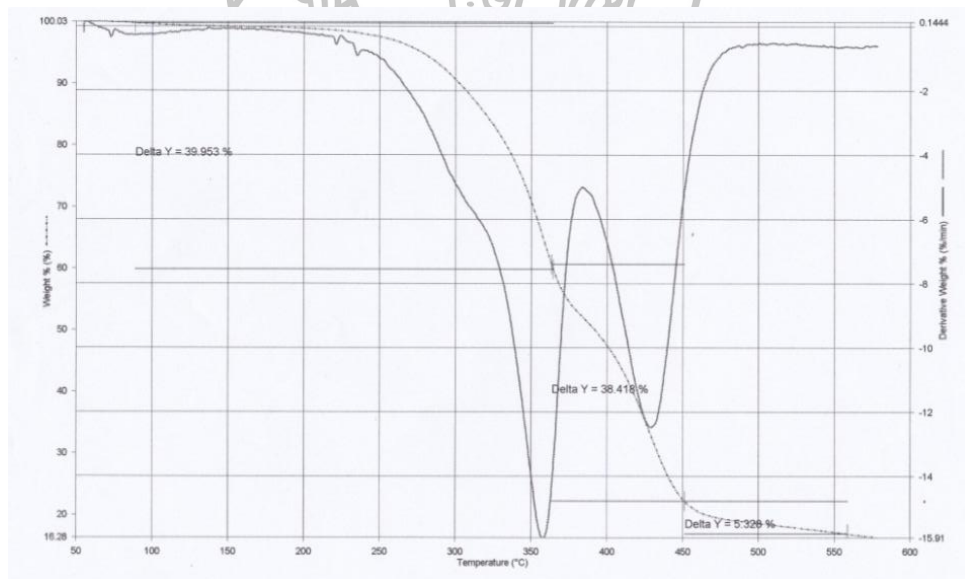
เมื่อเปรียบเทียบ 100% polyester และ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon ผ้าทั้งสองนี้มียอดประกอบของ ester แต่เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 500 °C และ 350 - 500 °C ซึ่งมีความแตกต่างกัน โดยผ้าที่มีส่วนประกอบมากกว่าหนึ่งชนิดจะใช้อุณหภูมิสูงกว่าผ้าที่มีส่วนประกอบชนิดเดียว ดังนั้นจึงเป็นข้อดีของเทคนิค TGA ที่สามารถบอกได้ว่าผ้าที่มีส่วนประกอบต่างกัน จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิต่างกัน



ภาพที่ 31 thermogram ของ 100% Natural cotton



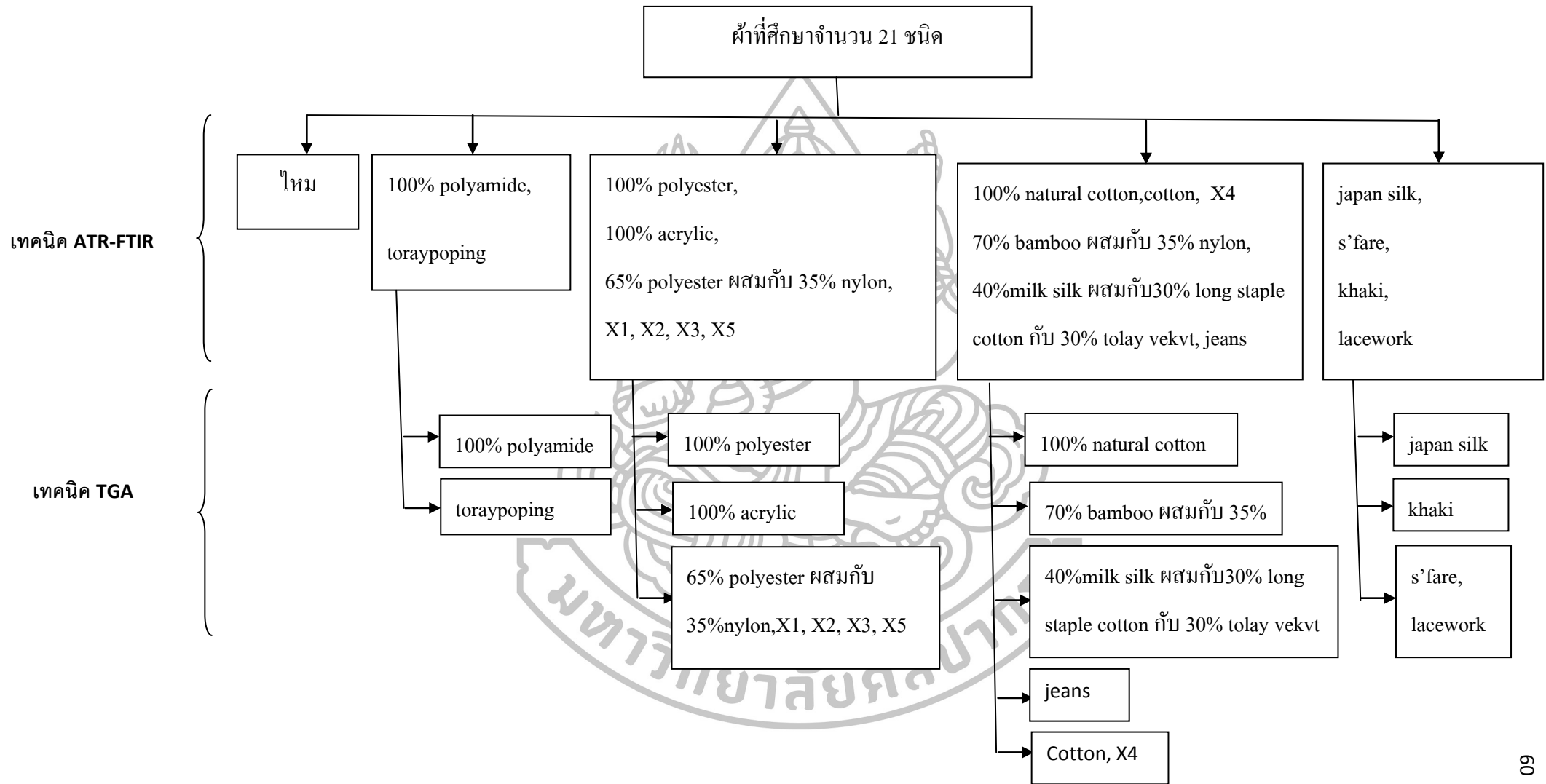
ภาพที่ 32 thermogram ของ ผ้าไหม



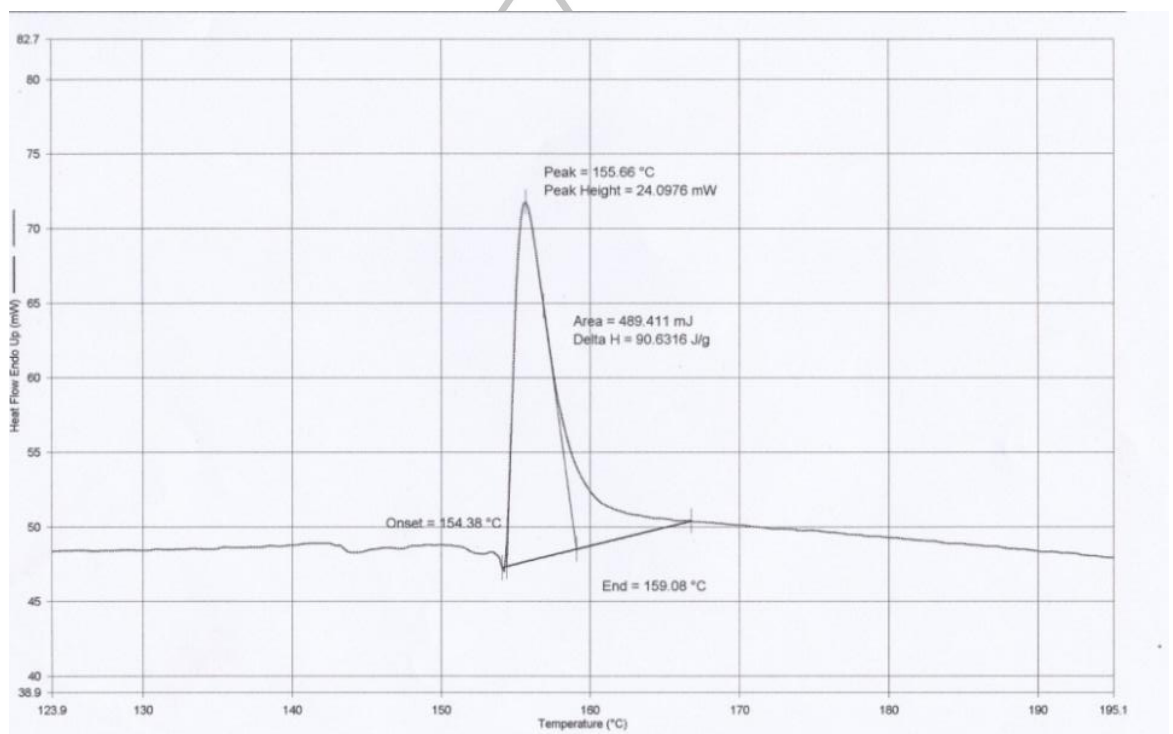
ภาพที่ 33 thermogram ของ Jeans

จากผลการจัดกลุ่มของเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ในตารางที่ 13 พบว่าเทคนิค TGA สามารถจำแนกผ้าส่วนใหญ่ได้ แต่ไม่สามารถจำแนก 65% polyester ผสมกับ 35% nylon, X1, X2, X3, X5 และ Cotton, X4 และ s'fare, lacework ได้

ตารางที่ 14 แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA



การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เทอร์โมแกรมที่ได้จะพล็อตระหว่างการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อน (mW) กับอุณหภูมิ (°C) และสามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นว่ามีการดูดหรือคายความร้อน ในการศึกษานี้เทอร์โมแกรมที่ได้จากตัวอย่างที่ใช้ศึกษาส่วนใหญ่เป็นเทอร์โมแกรมแบบดูดความร้อน (endothermic peak) มีเพียงหนึ่งชนิด คือ 40% Milk silk ผสมกับ 30% longstaplecotton และ 30% Torayvelvet ที่มีเทอร์โมแกรมแบบคายความร้อน (Exothermic) และการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ΔH (J/g) ของการเกิดฟีด แสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 Thermogram จากเทคนิค DSC ของ 100% natural cotton

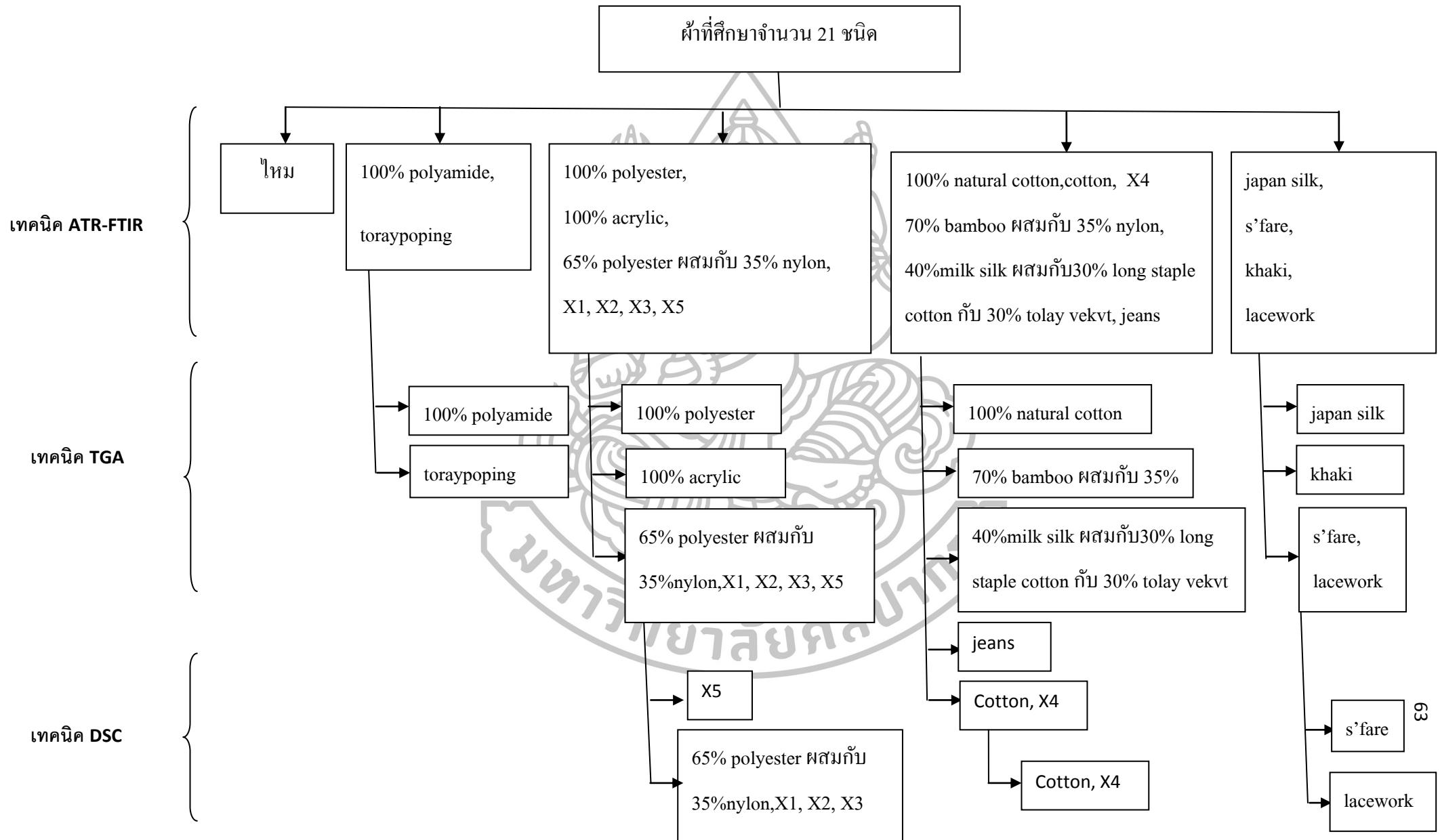
จากภาพที่ 34 เทอร์โมแกรมของ 100% natural cotton มีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน เกิดขึ้น 1 ฟีด มีอุณหภูมิของการเกิดฟีดอยู่ในช่วง 154.38-159.08 °C โดยที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ค่า 155.66 °C ปริมาณ ΔH มีค่าเป็น 90.6316 J/g

เมื่อนำตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าได้เทอร์โมแกรม (thermogram) แสดงในภาคผนวก ก เมื่อนำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์ ได้ผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค DSC

ตัวอย่างผ้า	การเปลี่ยนแปลงครั้งที่ 1	
	อุณหภูมิ (°C)	ΔH (J/g)
ไหม	160.50	132.11
100% polyamide	217.36	56.47
100% polyester	236.26	28.36
100% natural cotton	155.66	90.63
100% acrylic	241.30	17.87
70% bamboo 30% long staple cotton	163.35	151.32
65% polyester 35% nylon	255.02	52.43
40% milk silk 30% long staple cotton 30% tolay vekvt	312.25	221.99
Toray popping	226.38	62.68
Japan sklk	255.05	31.69
S' fare	249.57	4.81
Chiffon	249.61	19.95
Cotton	254.32	42.21
Jeans	254.24	8.97
Khaki	156.10	47.72
Lacework	251.91	23.49
X1	250.97	44.49
X2	254.53	44.64
X3	256.93	44.02
X4	254.00	20.68

ตารางที่ 16 แสดงผลการจำแนกผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA และ DSC



จากผลการจัดกลุ่มของเทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับผลการวิเคราะห์ ทางการความร้อน ด้วยเทคนิค TGA และเทคนิค DSC ในตารางที่ 16 พบว่าเทคนิค DSC สามารถจำแนกผ้าส่วนใหญ่ได้ แต่ไม่สามารถจำแนก 65% polyester ผสมกับ 35%nylon, X1, X2, X3 ได้



บทที่ 5

บทสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาผ้าจำนวน 21 ชนิด โดยแบ่งเป็นผ้าที่ทราบส่วนประกอบจำนวน 8 ชนิด และผ้าที่ไม่ทราบส่วนประกอบจำนวน 13 ชนิด โดยใช้เทคนิค คือ ATR-FTIR, TGA และ DSC สามารถสรุปและอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

เมื่อนำผ้าตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR จะแสดงพิกซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผ้าแต่ละชนิด จาก สเปกตรัมที่ได้สามารถจำแนกผ้าออกเป็น 5 กลุ่ม ตามลักษณะของพิกที่ปรากฏ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA และ DSC จากเทคนิค TGA พบว่า ตัวอย่างผ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1, 2 และ 3 ขั้นตอน ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่มีในผ้า นั้น เทอร์โมแกรม ที่ได้มีจำนวนขั้นของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ช่วงอุณหภูมิของเปลี่ยนแปลง น้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนักแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิค DSC พบว่า เทอร์โมแกรมส่วนใหญ่เป็นแบบดูดความร้อน (endothermic peak) มีผ้าเพียงหนึ่งชนิด คือ 40% Milk silk+30% longstaplecotton+30%Torayvelvet ที่มีเทอร์โมแกรมแบบคายความร้อน (Exothermic) เทอร์โมแกรมจะมีลักษณะพิก อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและปริมาณ ΔH แตกต่างกัน ตามชนิดและส่วนประกอบของผ้า

จากการวิเคราะห์และจำแนกผ้าโดยใช้ทั้งสามเทคนิคนี้ร่วมกัน พบว่า สามารถจำแนกผ้าได้ ร้อยละ 80.95 ยกเว้น 65% polyester ผสมกับ 35%nylon, X1, X2, X3 คิดเป็นร้อยละ 19.05 ซึ่งผ้าดังกล่าวอาจเป็นผ้าชนิดเดียวกัน หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดของผู้วิจัย ขอยังไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์และจำแนกที่ได้แสดงความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC ในการวิเคราะห์ จำแนกชนิดของผ้าและใช้ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์

2. ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มตัวอย่างผ้ามากกว่านี้ เพราะปัจจุบันผ้ามีหลากหลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อประโยชน์ เฉพาะอย่าง เช่น ผ้าที่ใช้ทำชุดกันความร้อน ผ้านาโน ผ้าจากขนสัตว์ชนิดต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ ทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไปในอนาคต



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ณรงค์ ไชยสุต, 2548. **วิธีการวิเคราะห์โดยอุปกรณ์**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- วิชัย รวีตระกูล และคณะ, 2526. **การประยุกต์สเปกโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์**. กรุงเทพมหานคร: ห้องเรียน
- ศุภชัย ไขเที่ยมวงศ์, 2552. **เคมีวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรถพล แซ่มรัมย์ และคณะ, 2546. **นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: บริษัทที่ซีจี พรินตติ้ง จำกัด.

การอ้างอิงจากฐานข้อมูลออนไลน์

- structure of acrylic fibre**. เข้าถึงเมื่อ 25 มกราคม 2558. เข้าถึงได้จาก
<http://chemistry.about.com/od/chemistryglossary/g/Acrylic-Fiber-Definition.htm>
- structure of Polyamide fiber**. เข้าถึงเมื่อ 26 มกราคม 2557. เข้าถึงได้จาก
<http://dwb4.unl.edu/Chem/CHEM869E/CHEM869ELinks/qlink.queensu.ca/~6jrt/chem210/Page5.html>
- structure of cotton fibre**. เข้าถึงเมื่อ 26 มกราคม 2557. เข้าถึงได้จาก
<http://www.engr.utk.edu/mse/pages/Textiles/Cotton%20fibers.htm>
- The Influence of Coagulation Variables on the Structure and Physical Properties of an Acrylic Fiber**. เข้าถึงเมื่อ 26 มกราคม 2557. เข้าถึงได้จาก
<http://chemistry.about.com/od/chemistryglossary/g/Acrylic-Fiber-Definition.htm>
- เส้นใยไนลอน**. เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2556. เข้าถึงได้จาก <http://www.golfmate.co.th/nylon.php>

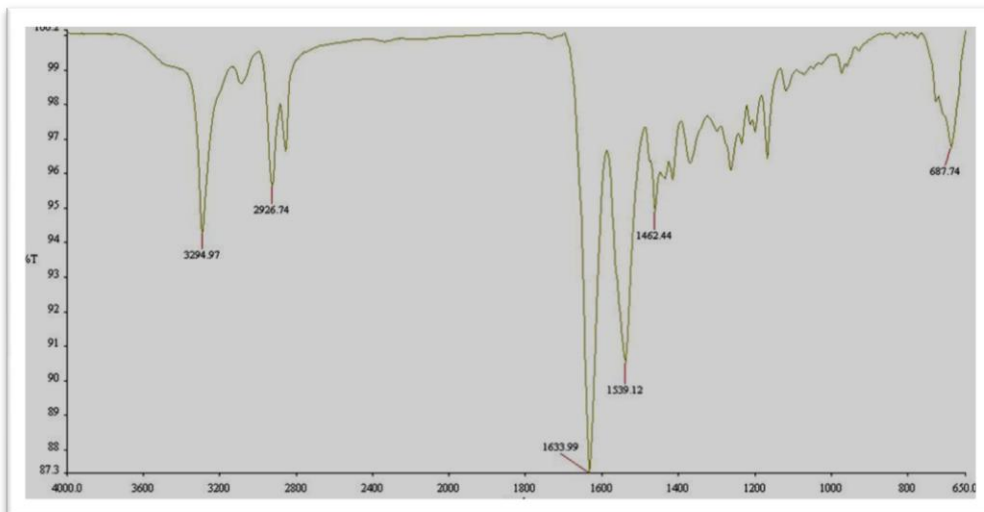
ภาษาอังกฤษ

- O.,Barcot, Blarin, M., Gamlim, O., D., Romac P., and Brnjis-Kraljevic, J. **“Investigation of Spermatozoa and Seminal Plasma by Fourier Transform Infrared Spectroscopy.”** Applied Spectroscopy 61 (November 2007)
- Sturt, H. James, and Jon J. Nordby,2005.**“Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques.3rd ed.”** United States of America: Taylor&Francis.
- VichanPeonim, et al, 2013.**“Comparison between prostate specific antigen and acid phosphatase for detection of semen in vaginal swabs from raped women.”**, Forensic and Legal Medicine ; 20: 578-581
- Willott GM, and Allard IE.1982, **“Spermatozoa their persistence after sexual intercourse.”** Forensic SciInt 19: 135-154
- Ping Zhu, et al, 2013. **“A study of pyrolysis and pyrolysis products of flame-retardant cotton fabrics by DSC, TGA, and PY-GC-MS”**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 645 – 655
- Ahmed G. Hassabo, 2014. **“ New approaches to improving thermal regulating property of cellulosic fabric”**. Carbohydrate Polymers. 912 – 919

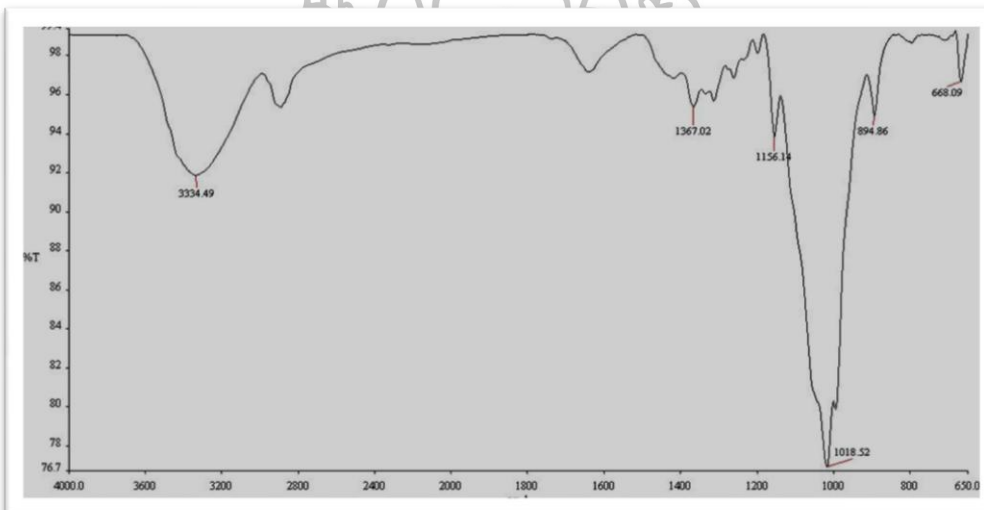


ภาคผนวก

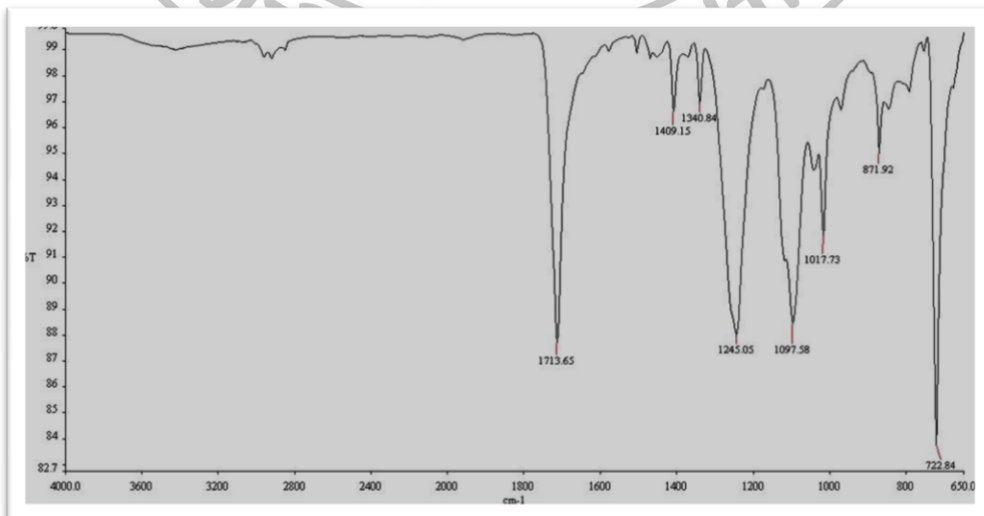




ภาพที่ 35 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% polyamide

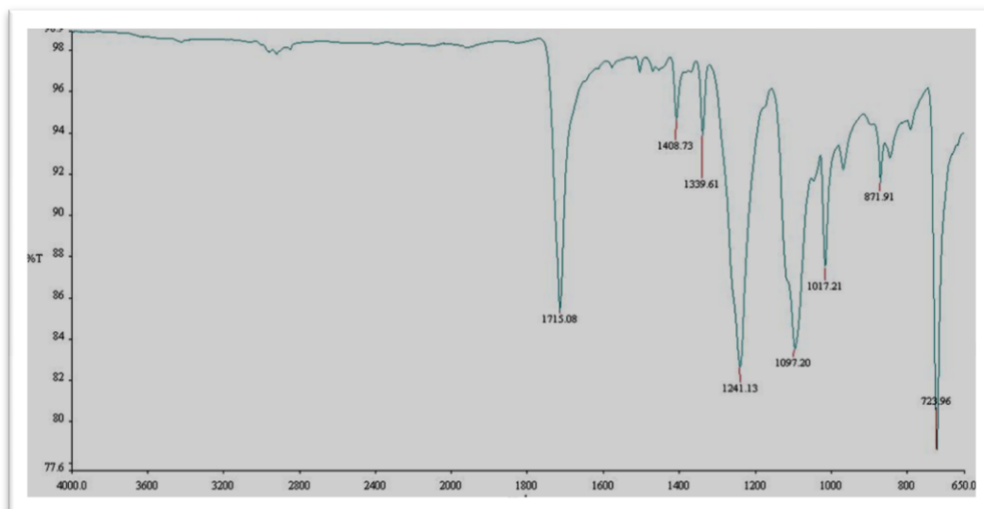


ภาพที่ 36 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton

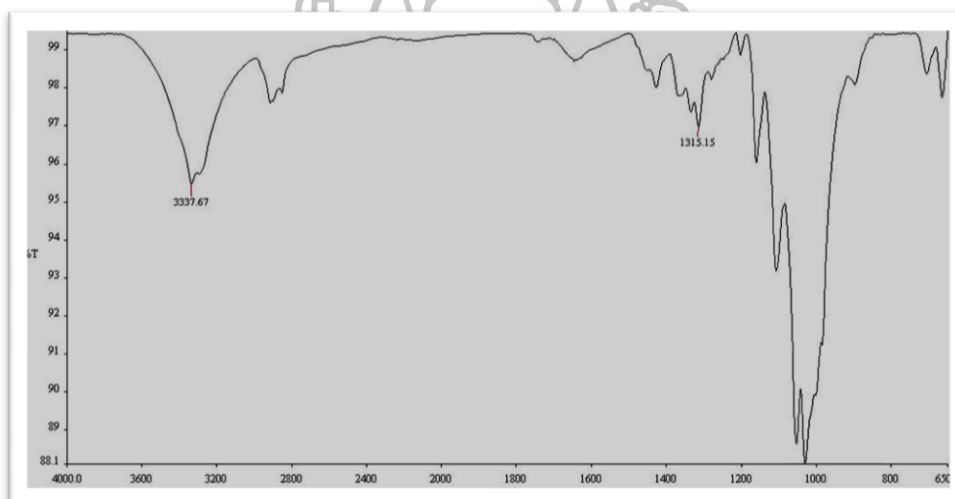


ภาพที่

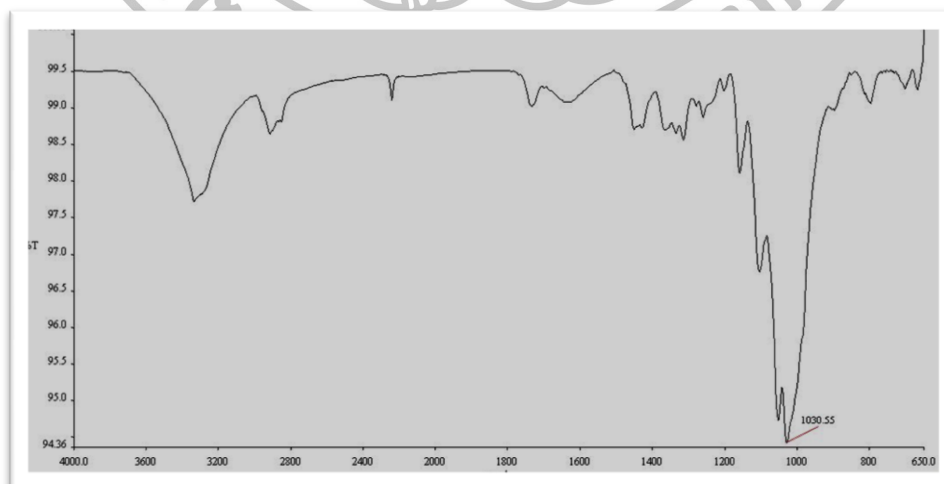
37 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Polyester



ภาพที่ 38 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 65% Polyester + 35% Nylon

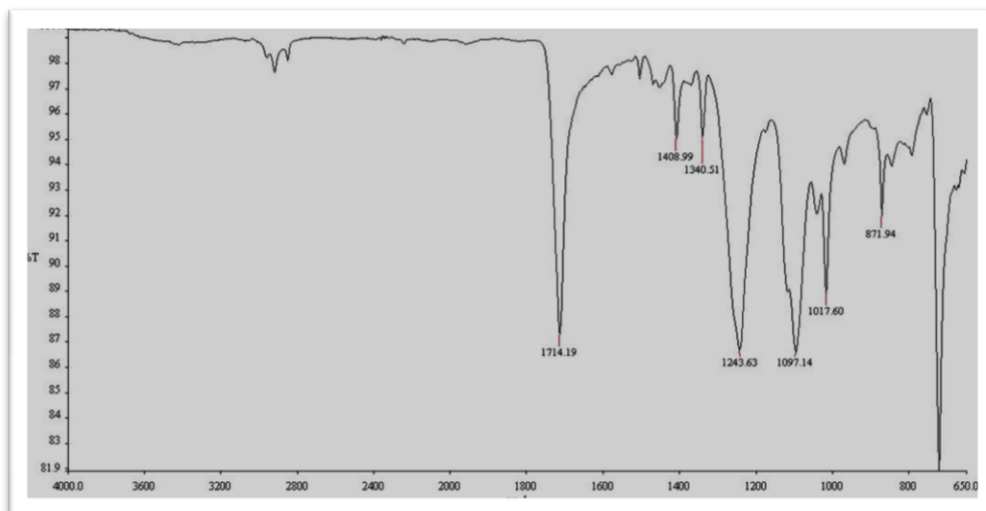


ภาพที่ 39 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Natural cotton

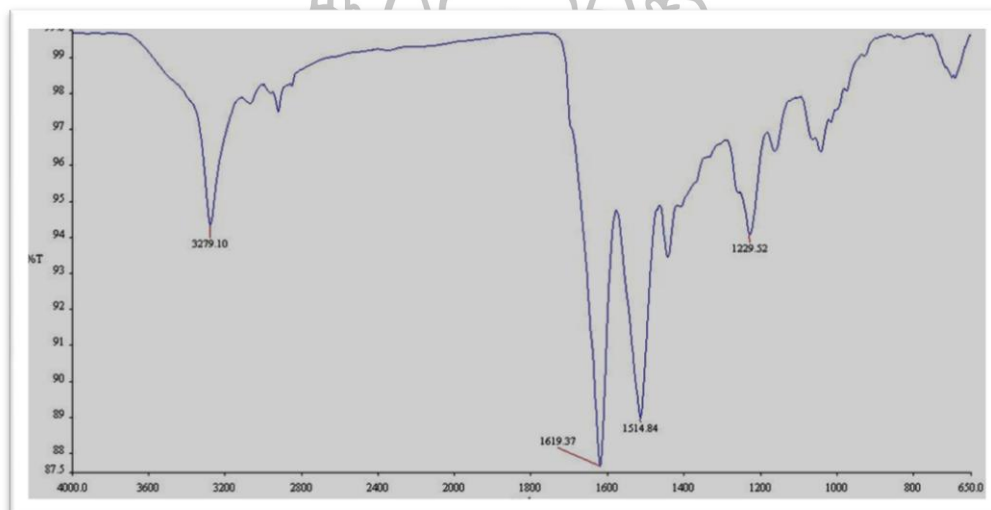


ภาพที่ 40 Infrared Spectrum ATR-FTIR

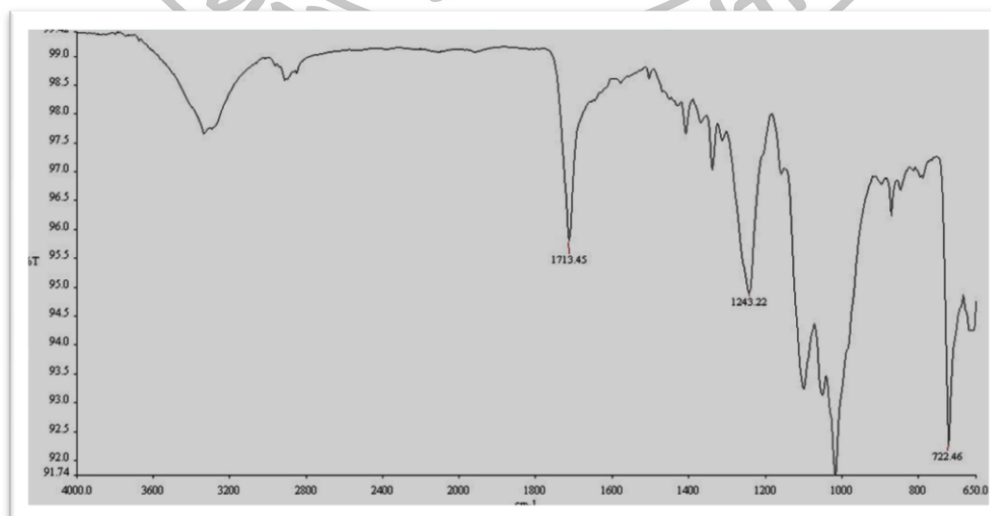
ของ 40% Milk silk + 30% Long staple cotton + 30% Toray velvet



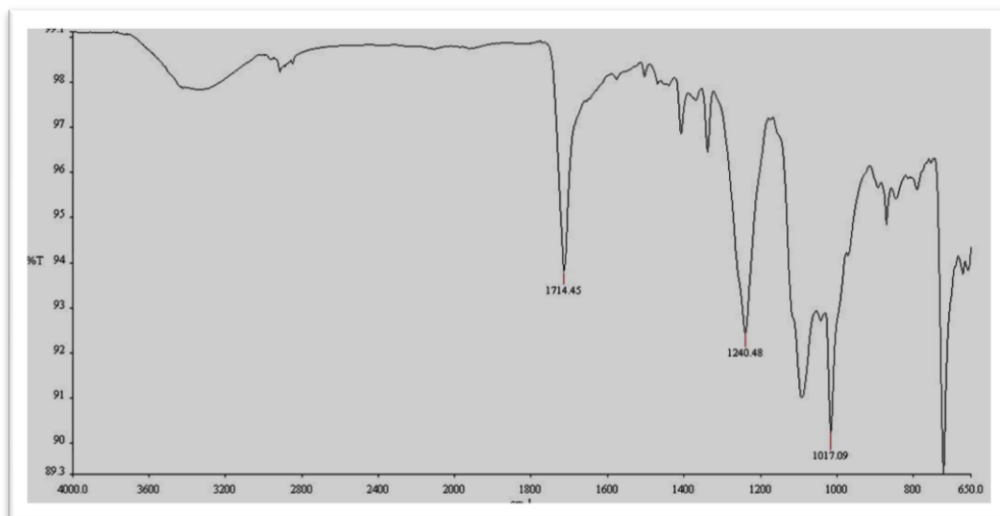
ภาพที่ 41 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ 100% Acrylic



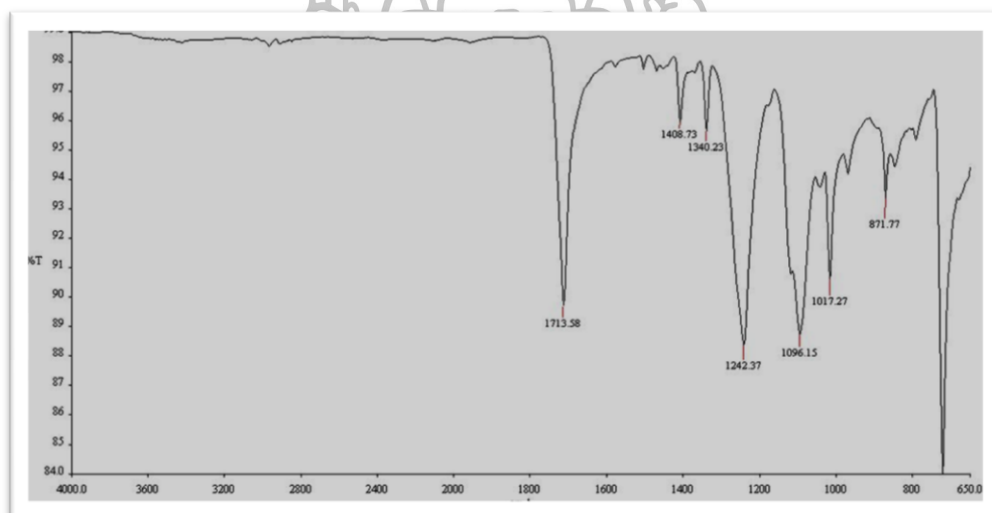
ภาพที่ 42 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของไหม



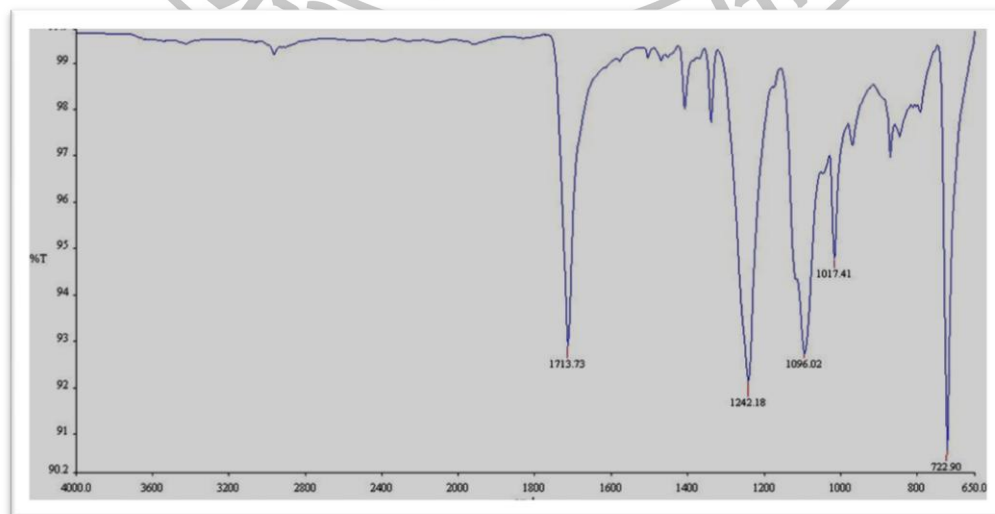
ภาพที่ 43 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Japan silk



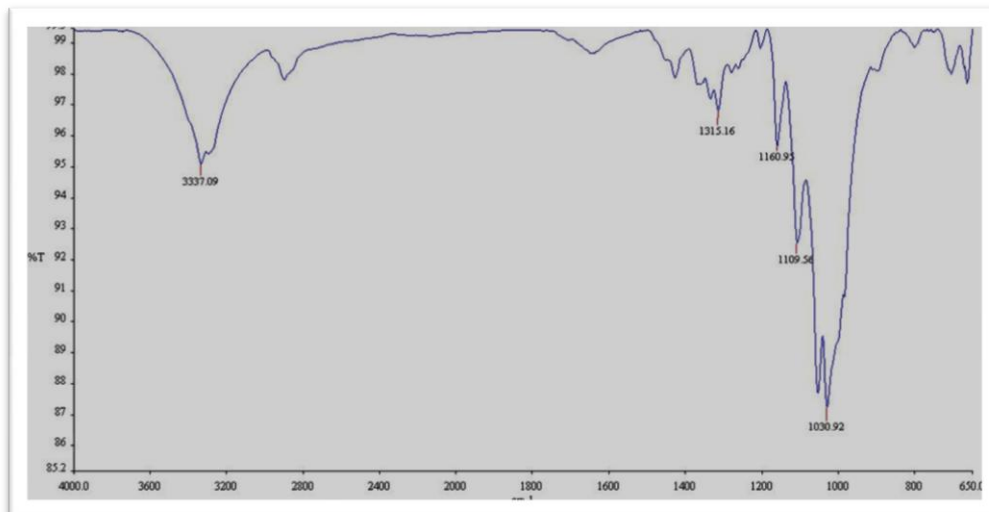
ภาพที่ 44 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ S'fare



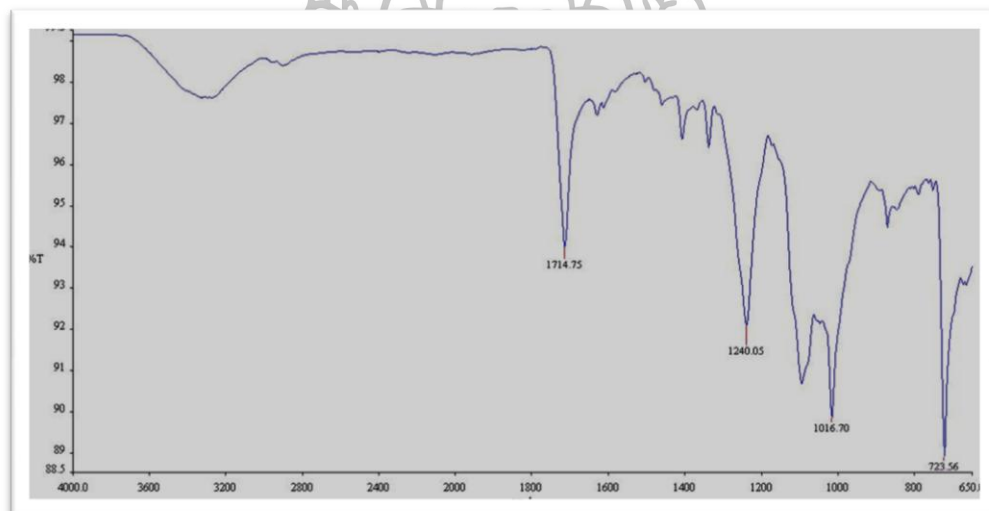
ภาพที่ 45 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Chiffon



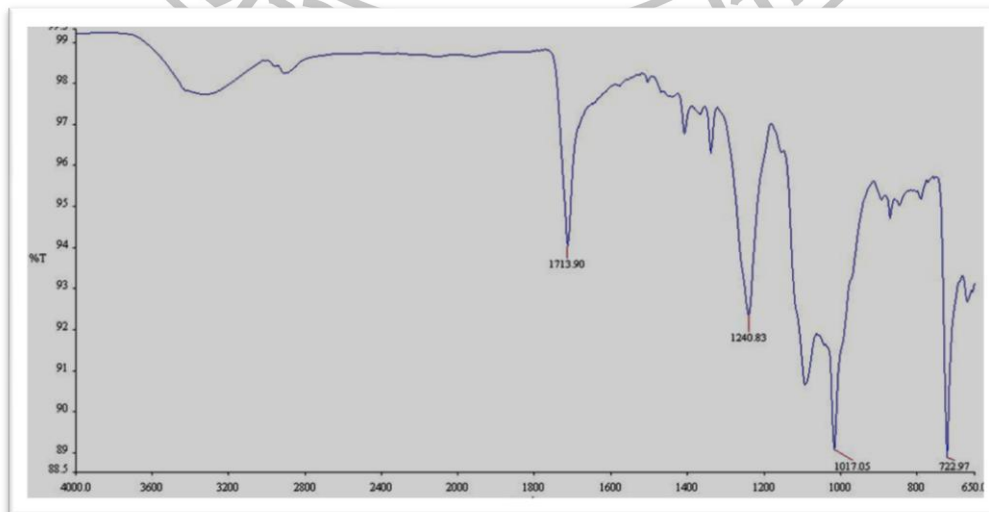
ภาพที่ 46 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Cotton



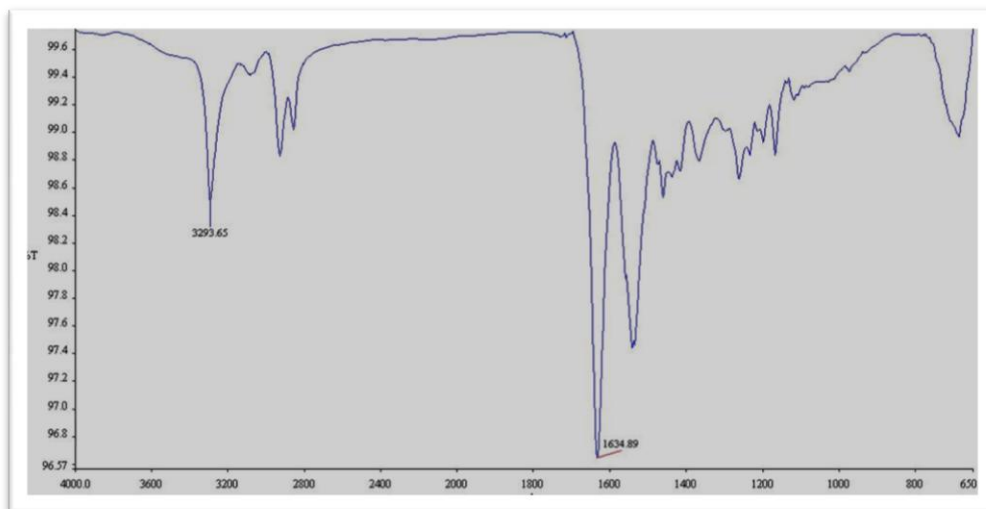
ภาพที่ 47 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Jeans



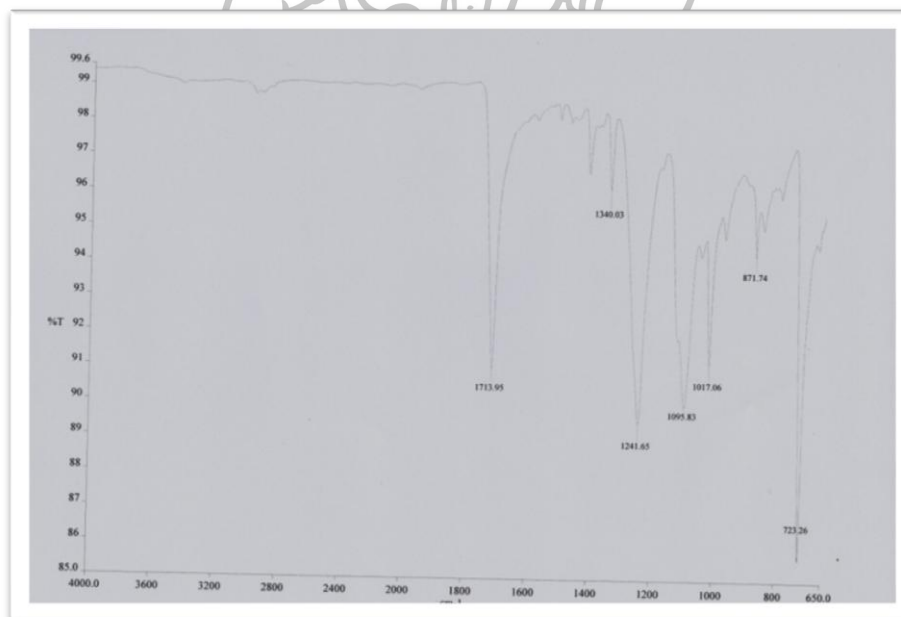
ภาพที่ 48 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Khaki



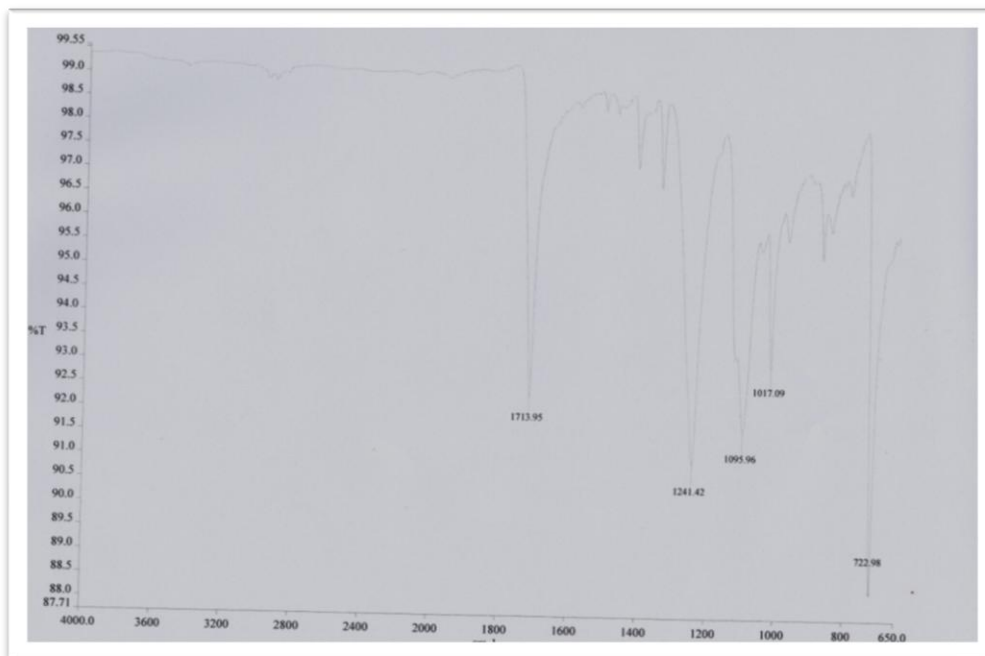
ภาพที่ 49 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Lacework



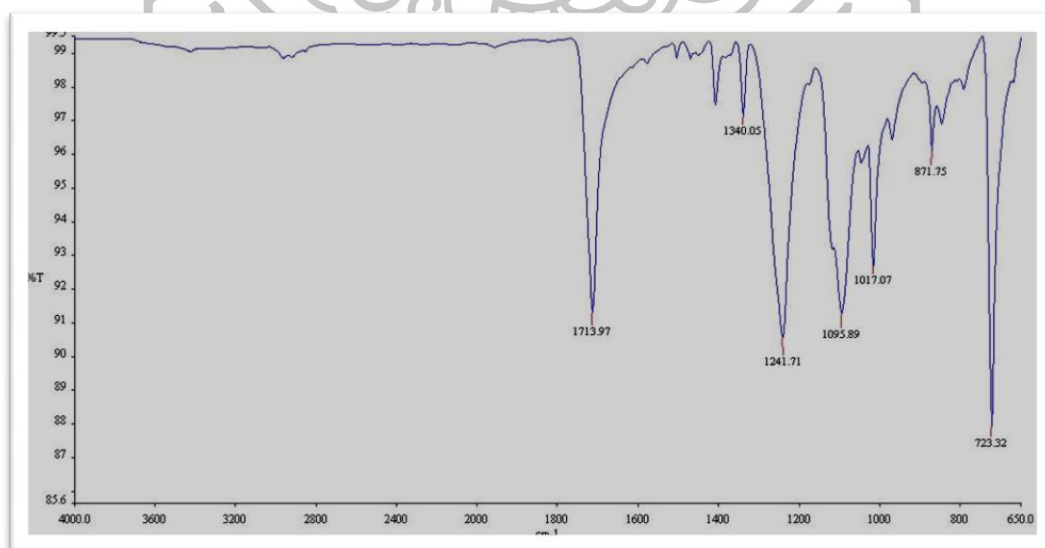
ภาพที่ 50 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของ Toraypopping



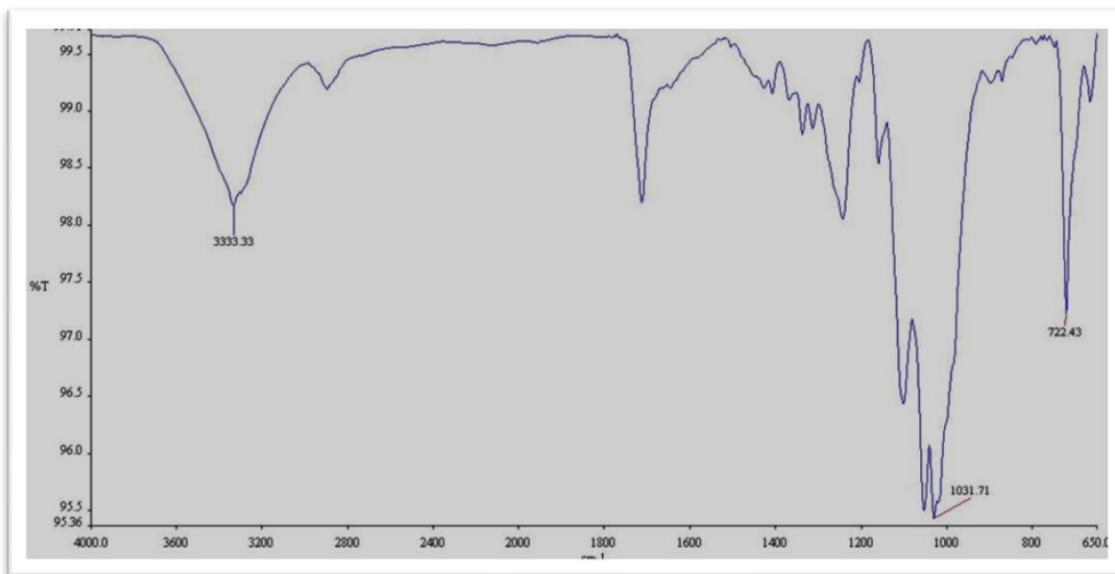
ภาพที่ 51 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 1



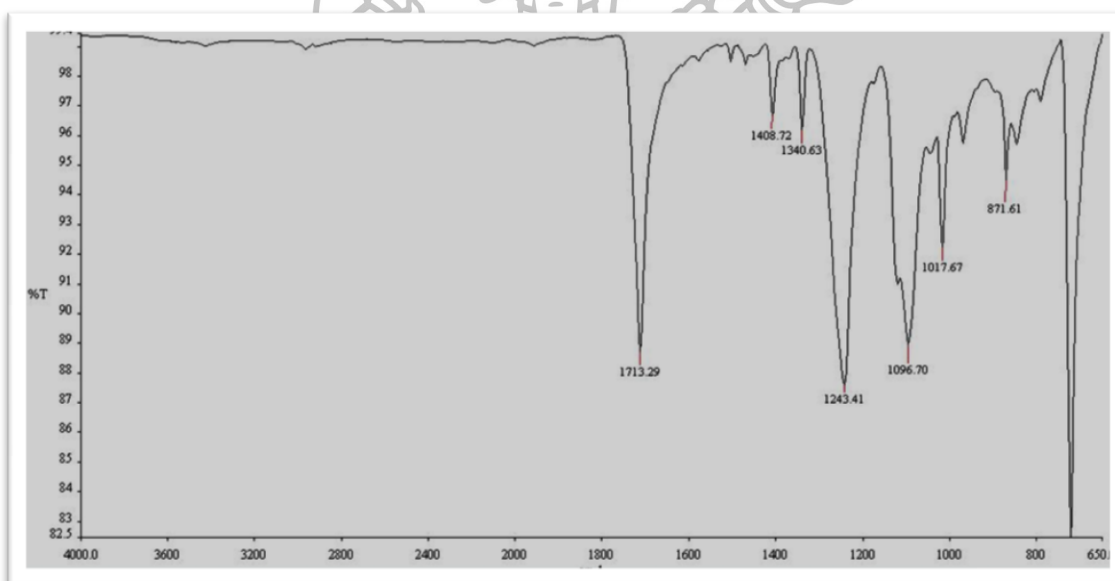
ภาพที่ 52 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X2



ภาพที่ 53 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 3

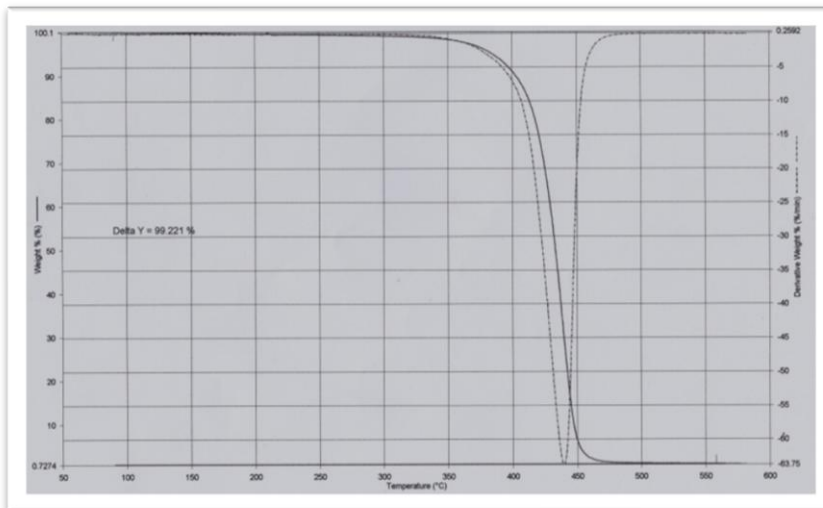


ภาพที่ 54 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 4

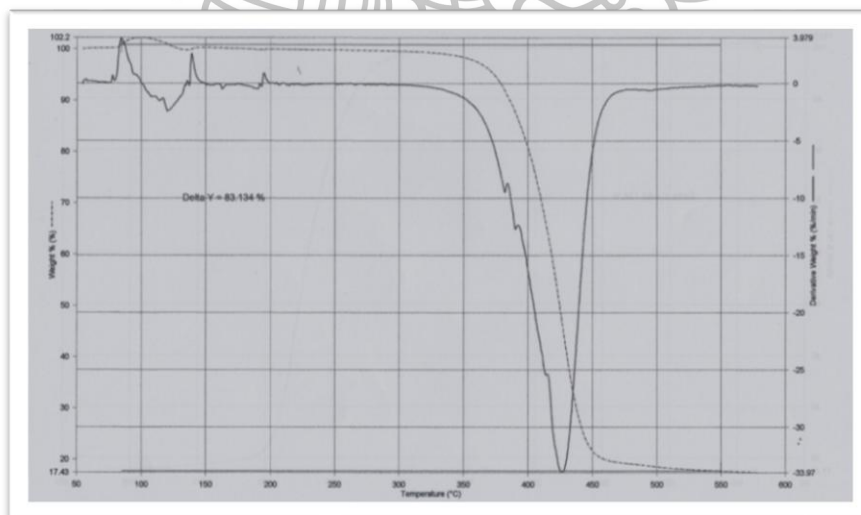


ภาพที่ 55 Infrared Spectrum ATR-FTIR ของตัวอย่าง X 5

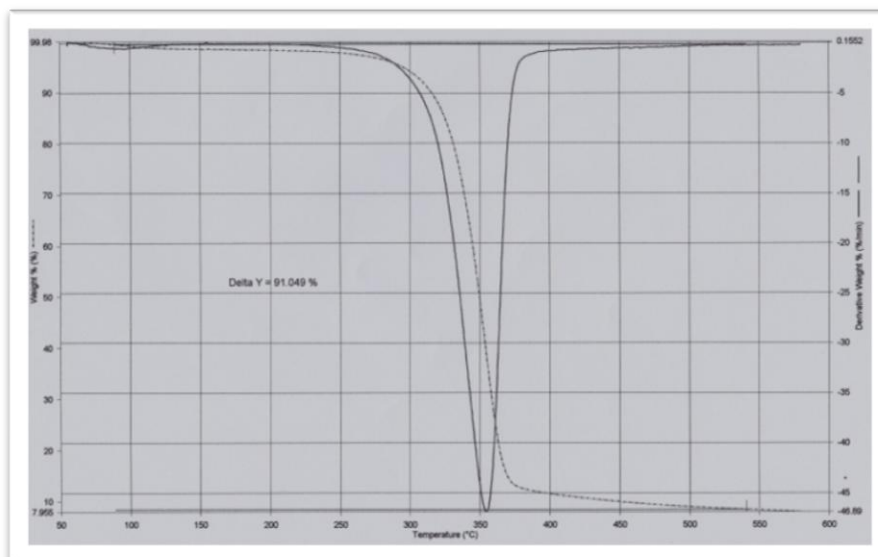




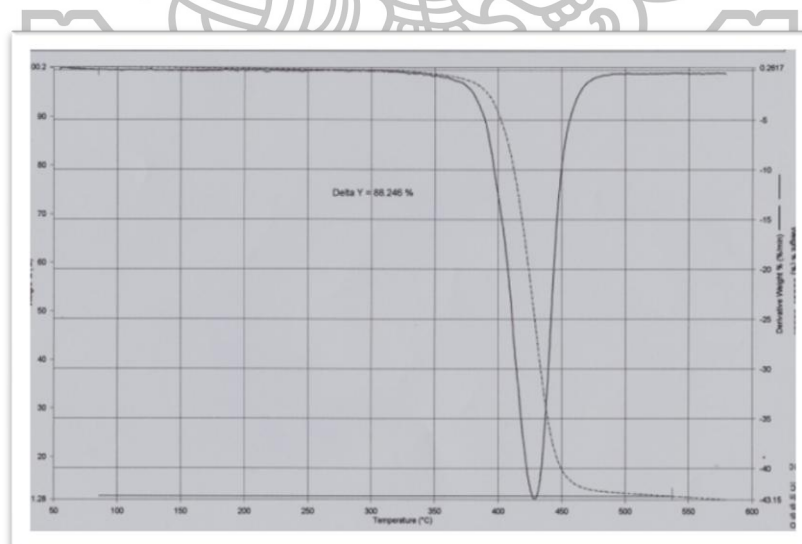
ภาพที่ 56 เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% polyamide



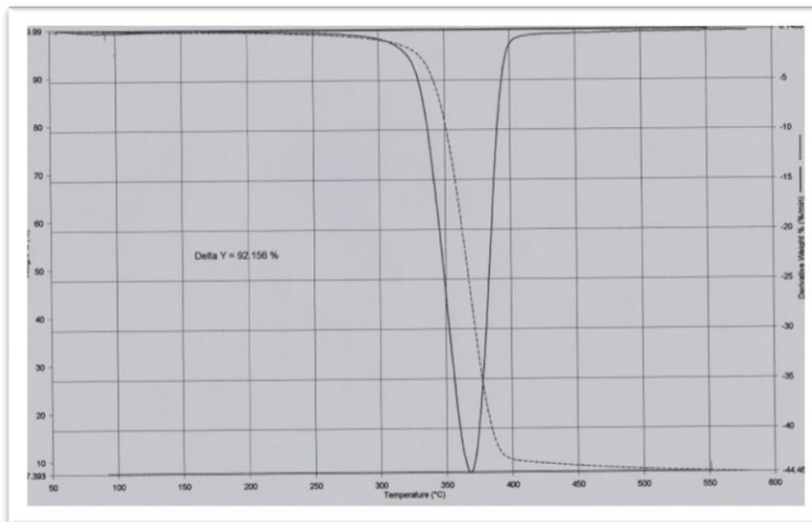
ภาพที่ 57 เทอร์โมแกรม TGA ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton



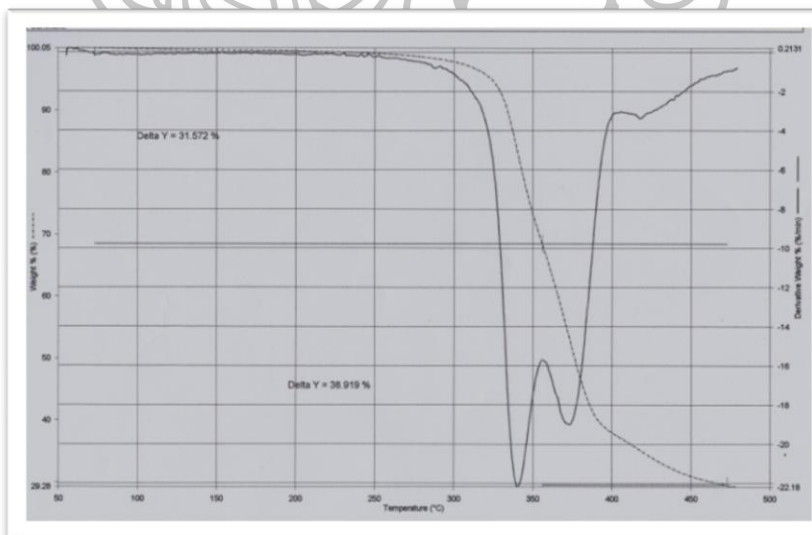
ภาพที่ 58 เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Polyester



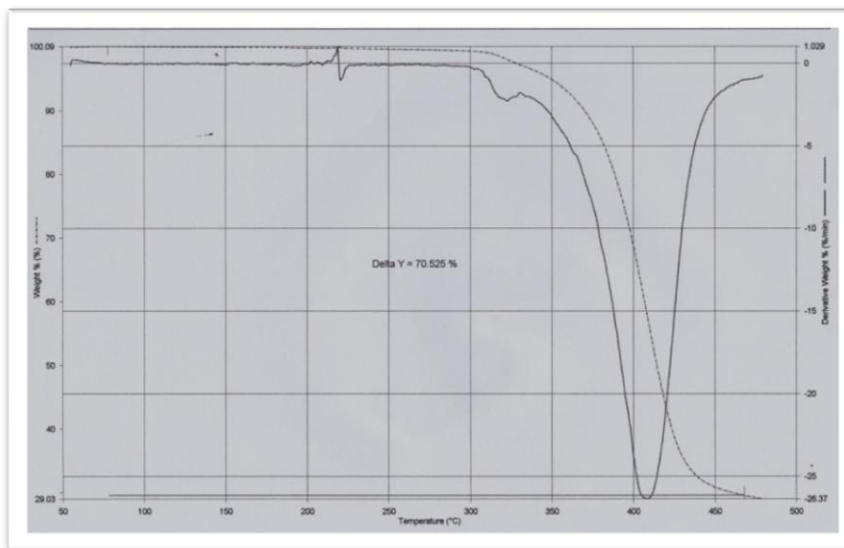
ภาพที่ 59 เทอร์โมแกรม TGA ของ 65% Polyester + 35% Nylon



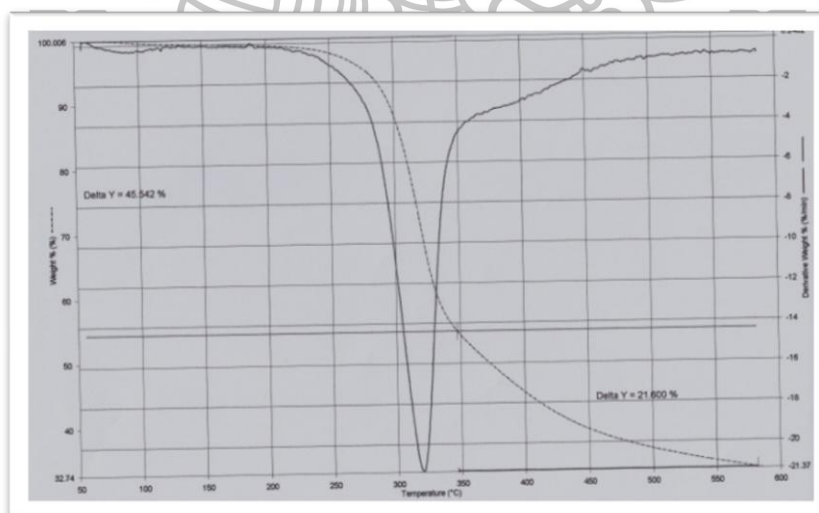
ภาพที่ 60 เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Natural cotton



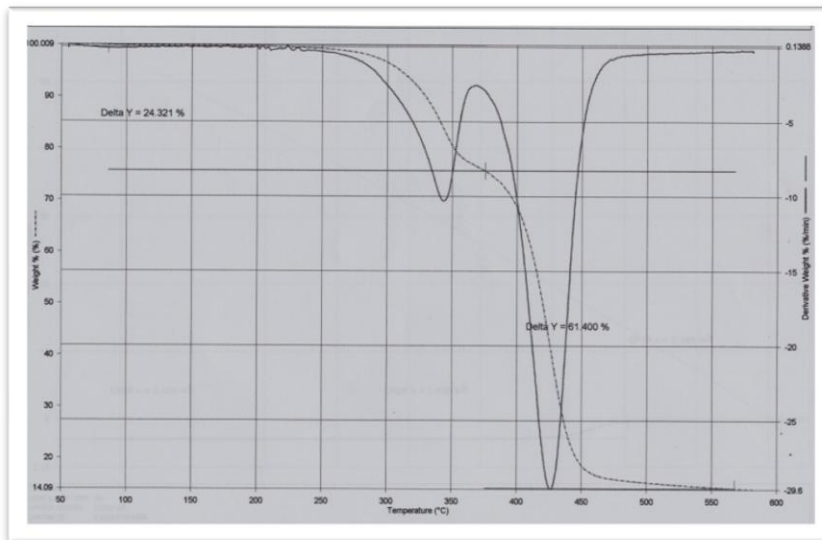
ภาพที่ 61 เทอร์โมแกรม TGA ของ 40% Milk silk+30% Long staple cotton + 30% Toray velvet



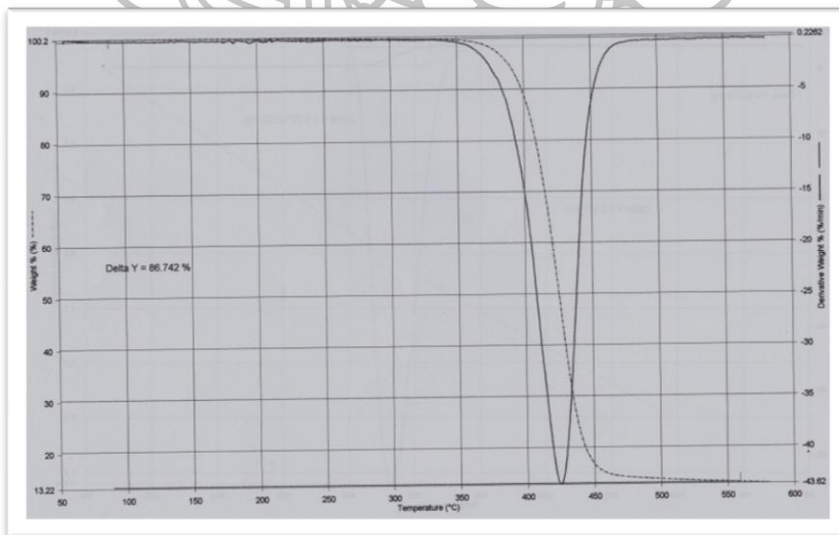
ภาพที่ 62 เทอร์โมแกรม TGA ของ 100% Acrylic



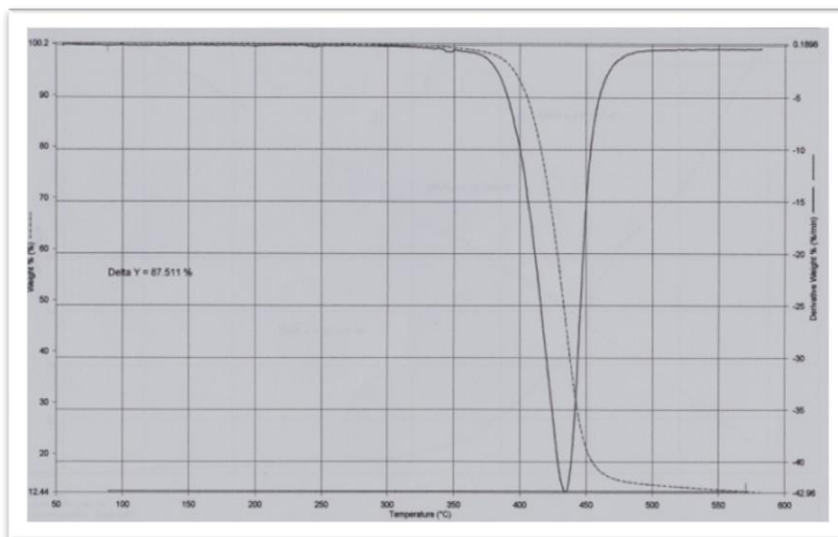
ภาพที่ 63 เทอร์โมแกรม TGA ของ ไหม



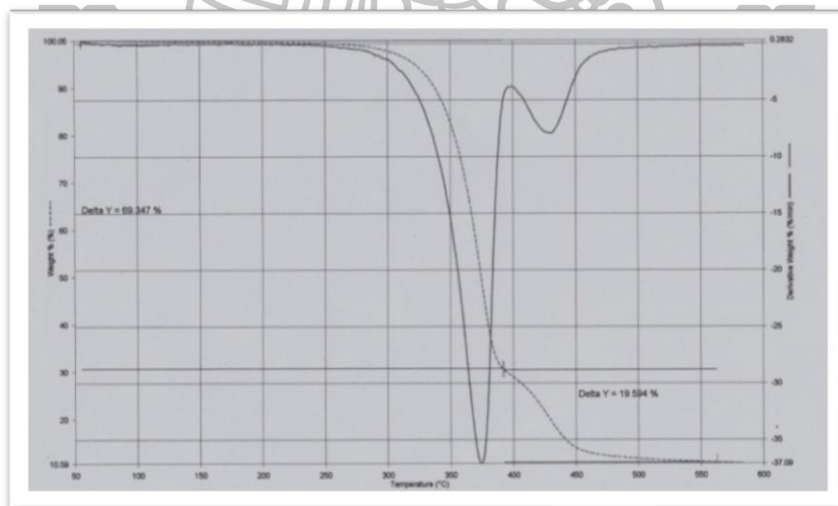
ภาพที่ 64 เทอร์โมแกรม TGA ของ Japan silk



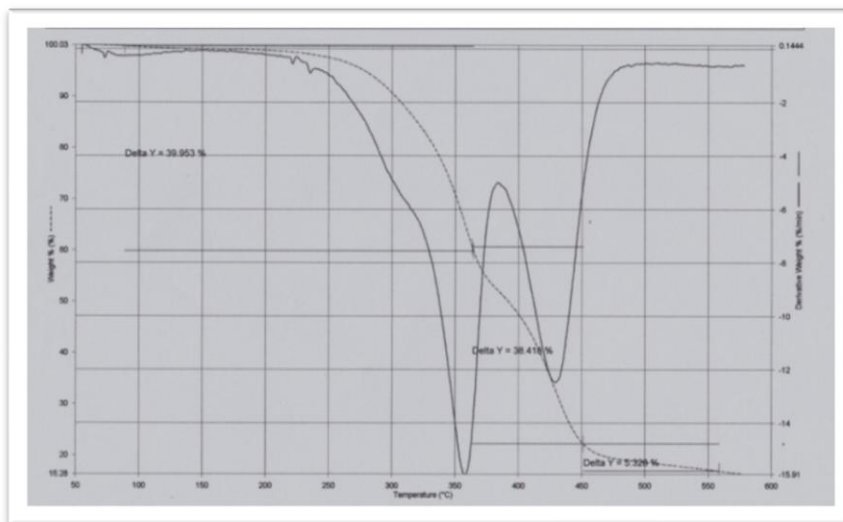
ภาพที่ 65 เทอร์โมแกรม TGA ของ S'fare



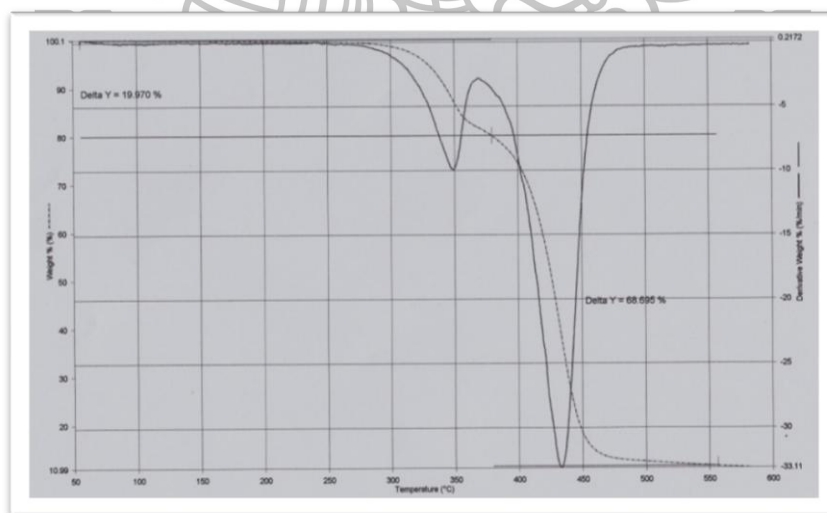
ภาพที่ 66 เทอร์โมแกรม TGA ของ Chiffon



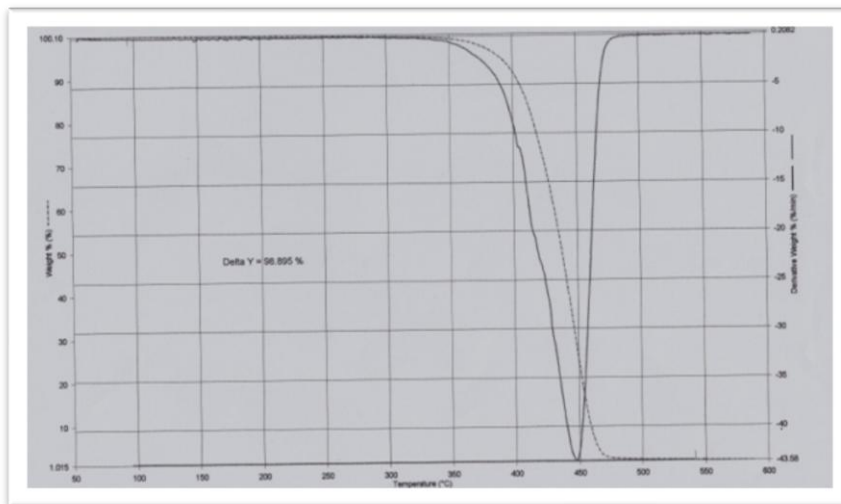
ภาพที่ 67 เทอร์โมแกรม TGA ของ Cotton



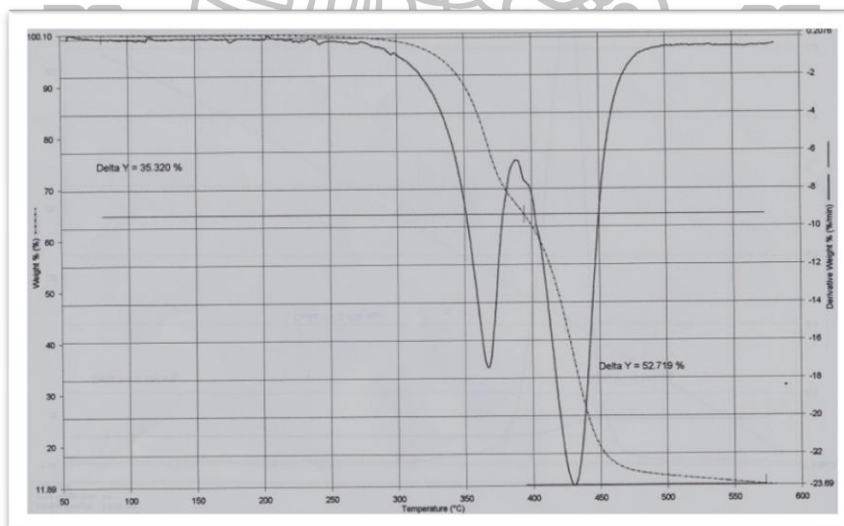
ภาพที่ 68 เทอร์โมแกรม TGA ของ Jeans



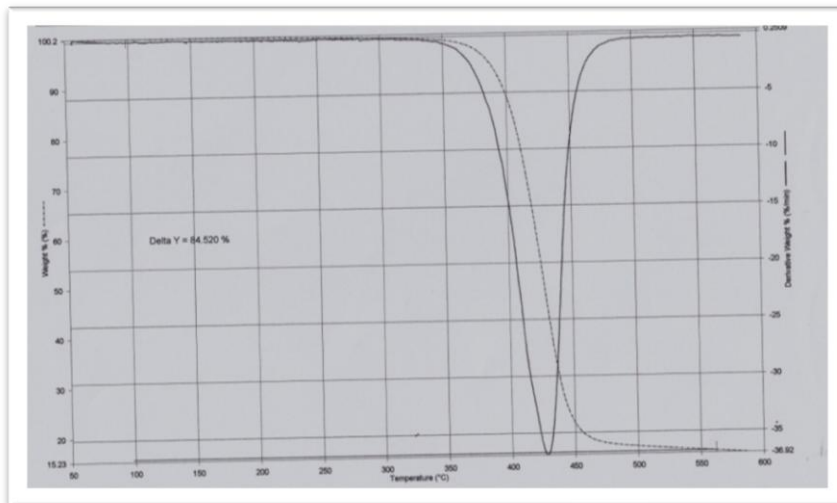
ภาพที่ 69 เทอร์โมแกรม TGA ของ Khaki



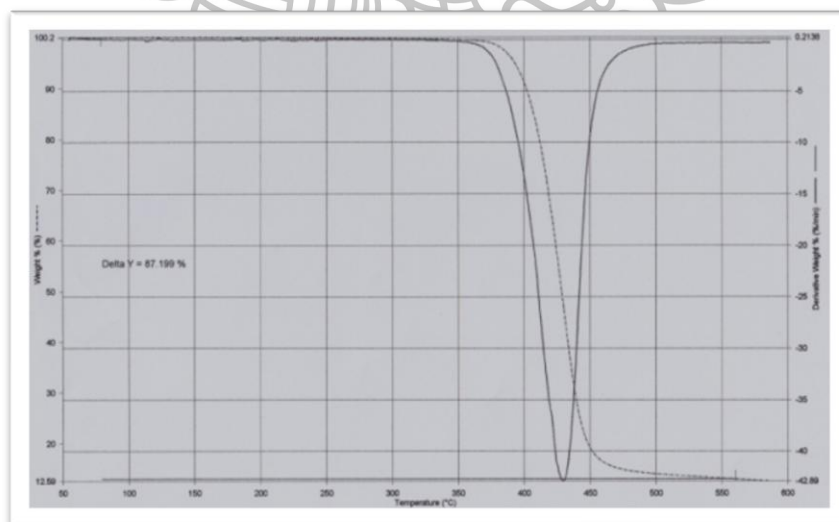
ภาพที่ 70 เทอร์โมแกรม TGA ของ Lacework



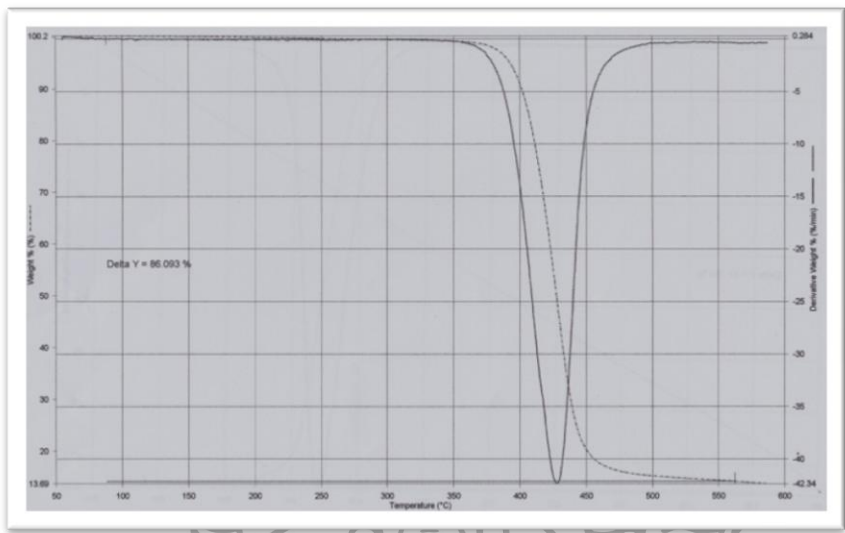
ภาพที่ 71 เทอร์โมแกรม TGA ของ Toraypopping



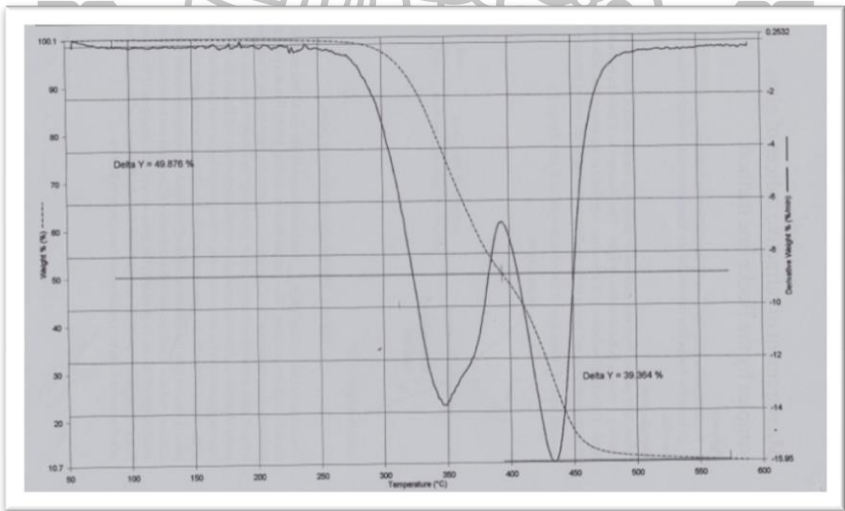
ภาพที่ 72 เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X1



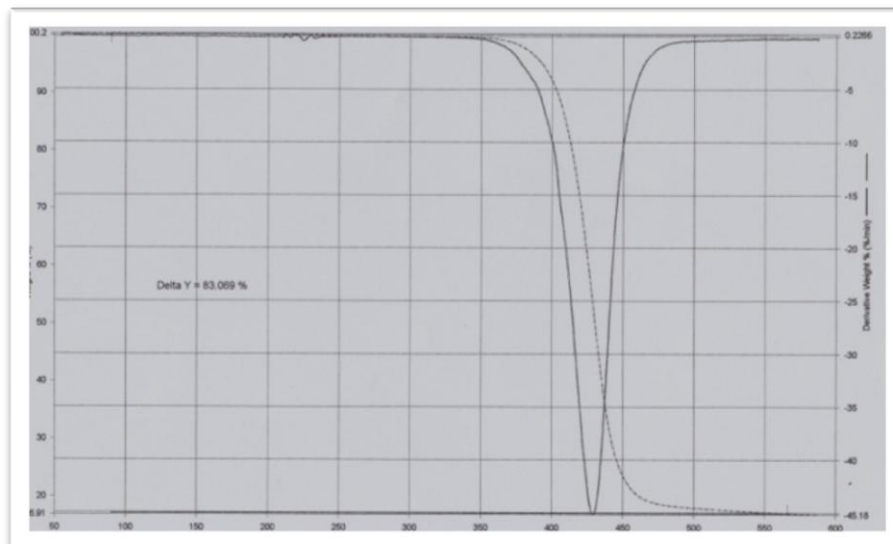
ภาพที่ 73 เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X2



ภาพที่ 74 เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X3



ภาพที่ 75 เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X4



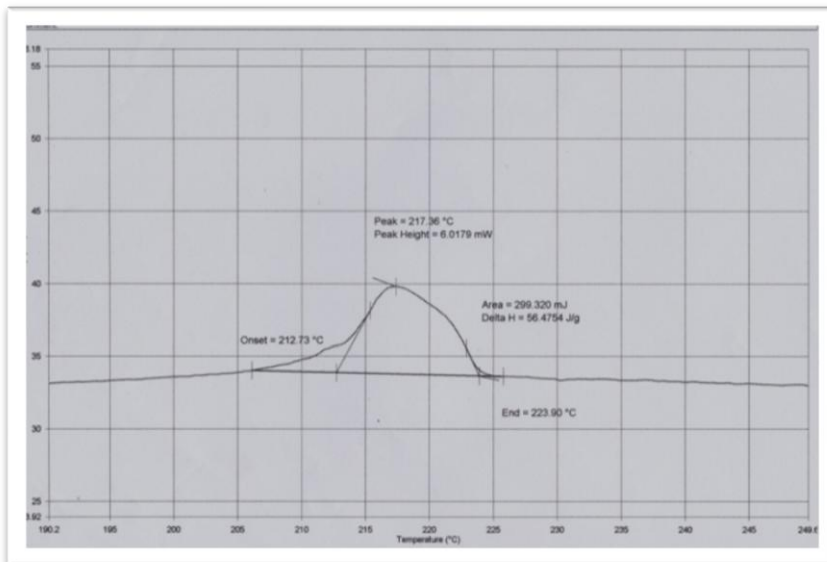
ภาพที่ 76 เทอร์โมแกรม TGA ของตัวอย่าง X 5



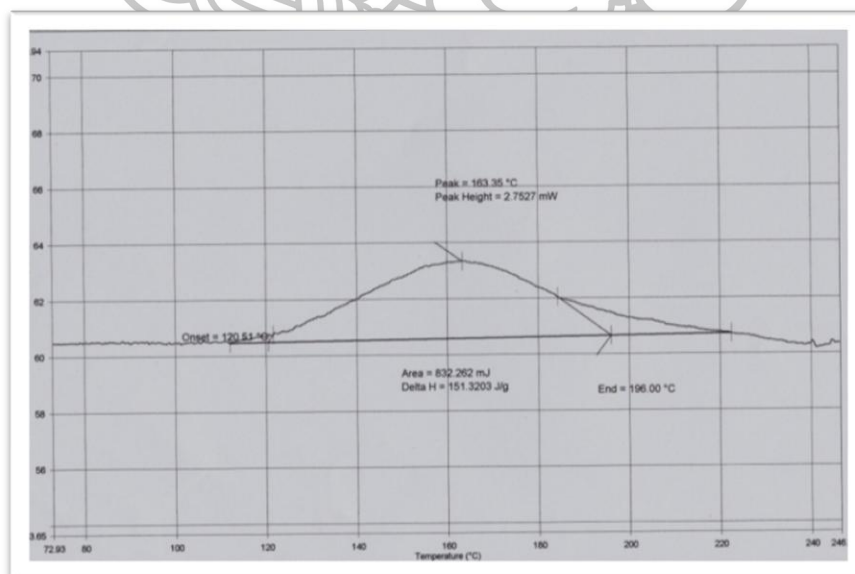


ภาคผนวก ค

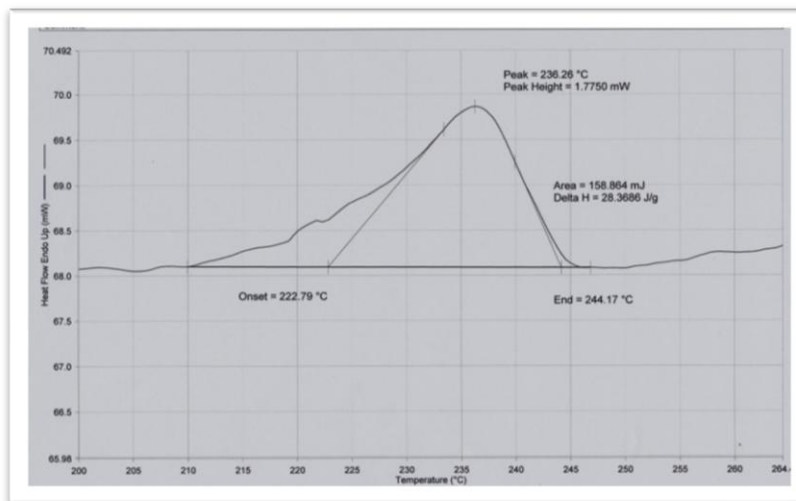
Thermogram ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC



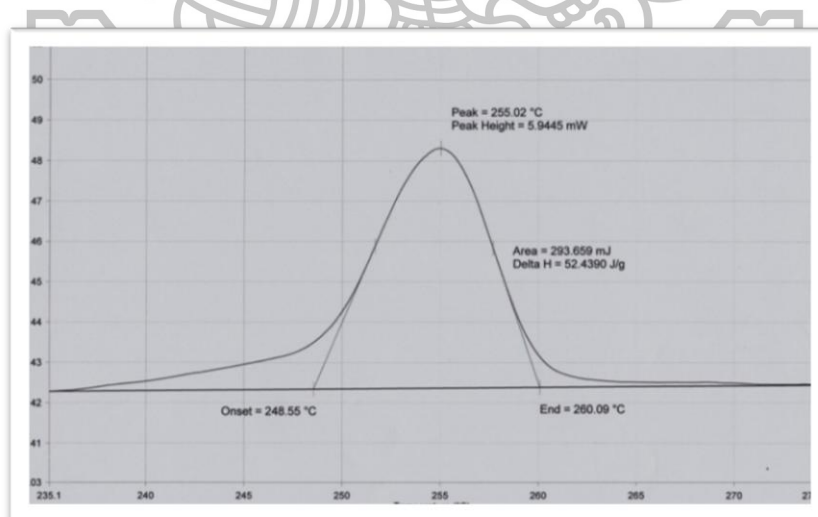
ภาพที่ 77 เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% polyamide



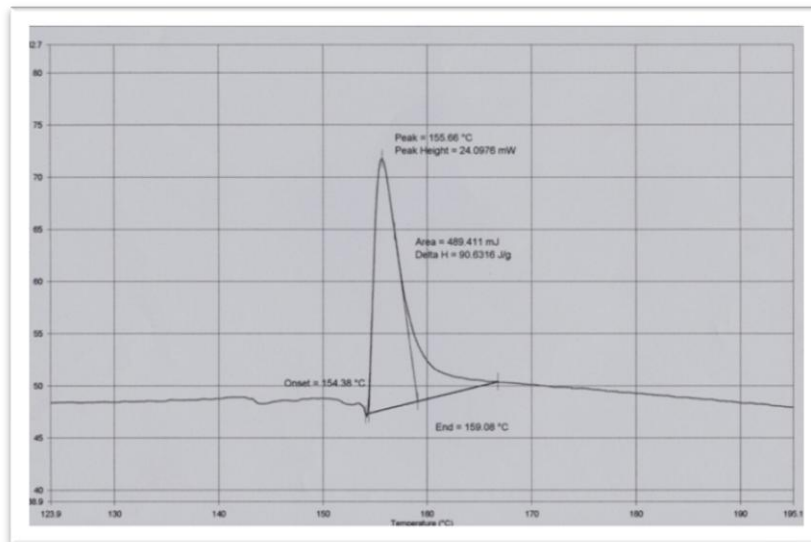
ภาพที่ 78 เทอร์โมแกรม DSC ของ 70% Bamboo + 30% Long staple cotton



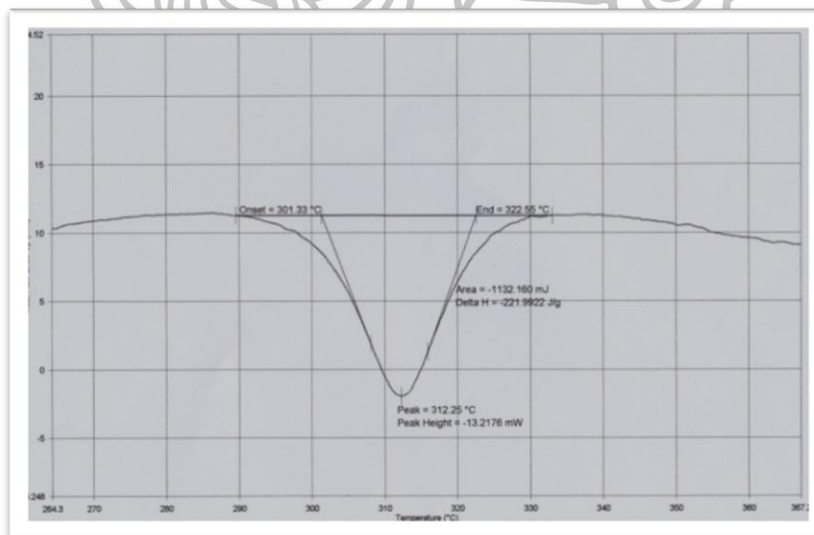
ภาพที่ 79 เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Polyester



ภาพที่ 80 เทอร์โมแกรม DSC ของ 65% Polyester + 35% Nylon

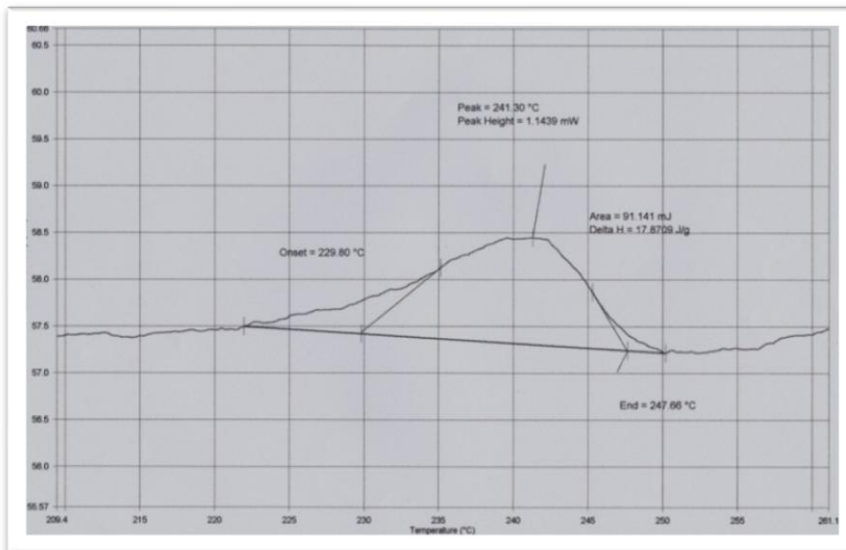


ภาพที่ 81 เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Natural cotton

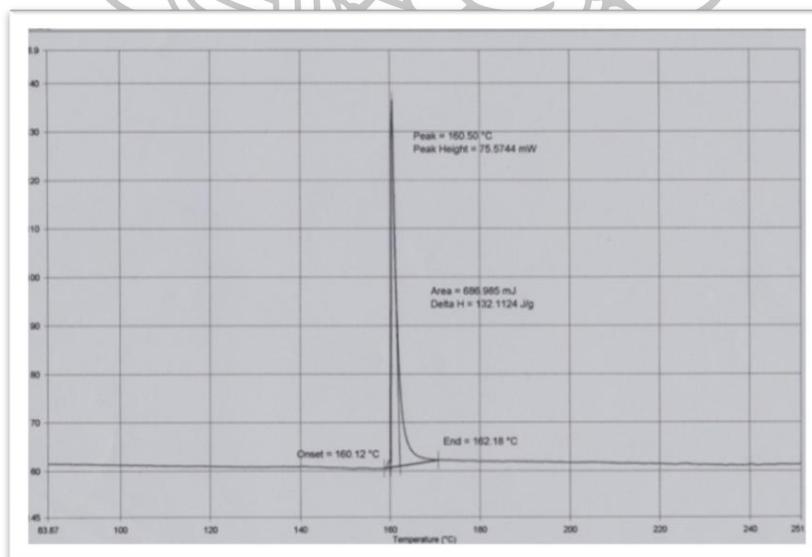


ภาพที่ 82 เทอร์โมแกรม DSC

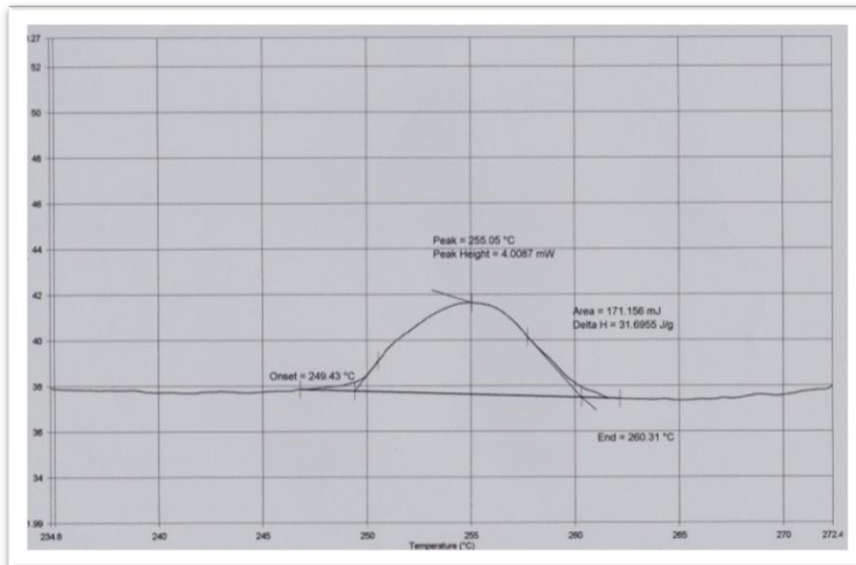
ของ 40% Milk silk+30% Long staple cotton + 30% Toray velvet



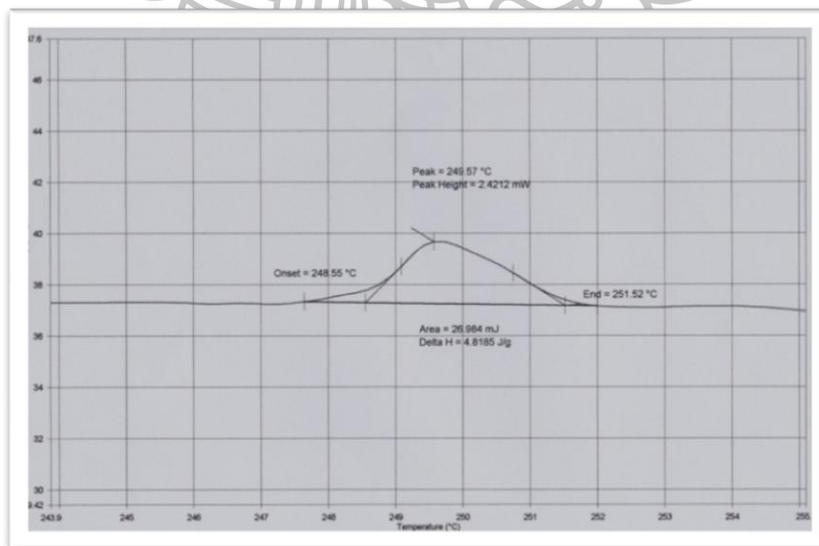
ภาพที่ 83 เทอร์โมแกรม DSC ของ 100% Acrylic



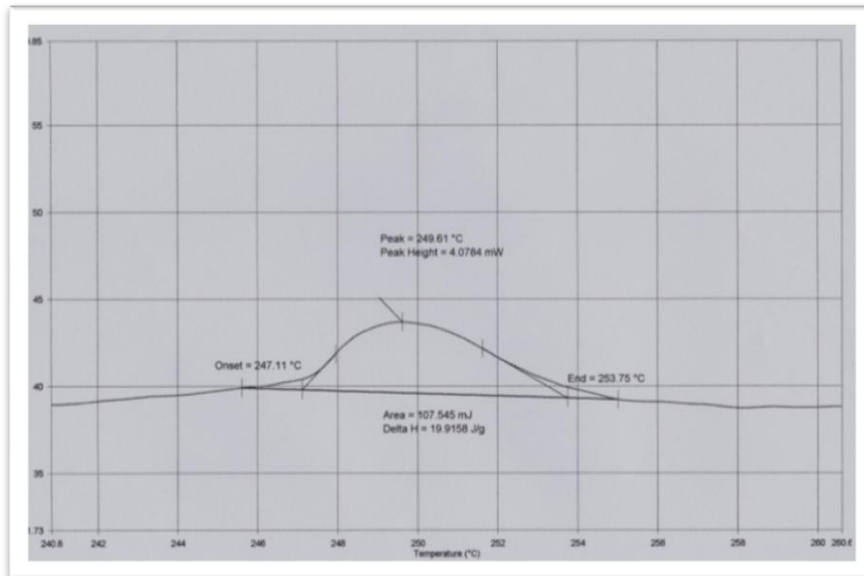
ภาพที่ 84 เทอร์โมแกรม DSC ของ ไนเม



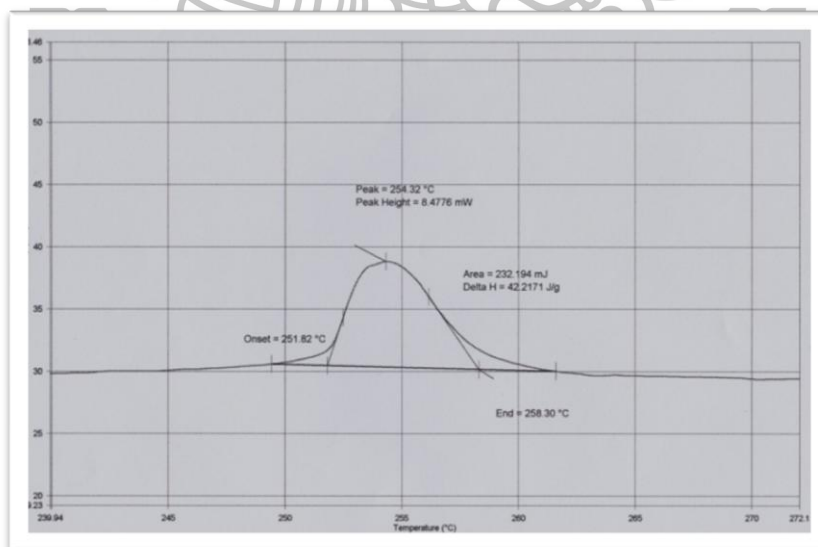
ภาพที่ 85 เทอร์โมแกรม DSC ของ Japan silk



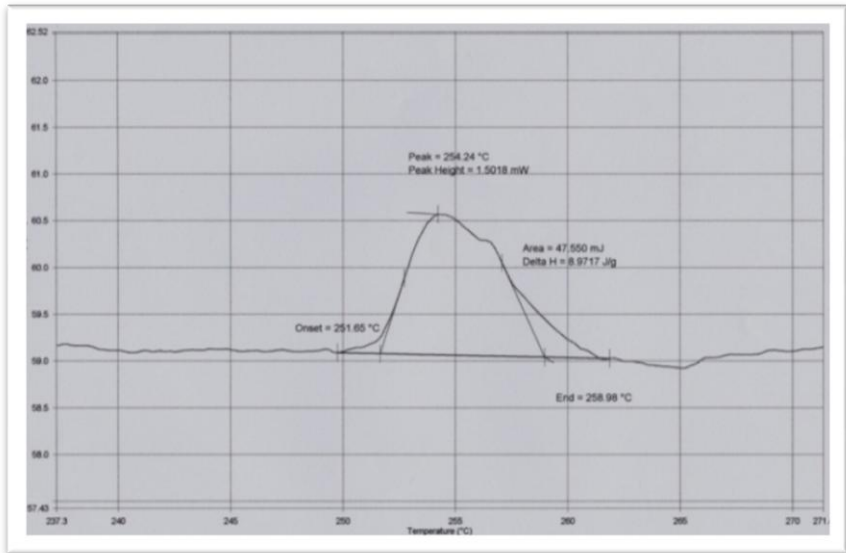
ภาพที่ 86 เทอร์โมแกรม DSC ของ S'fare



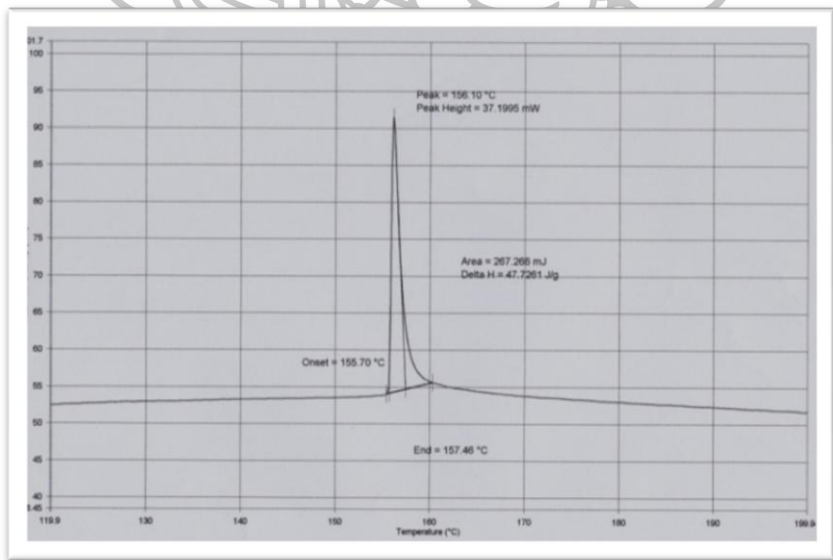
ภาพที่ 87 เทอร์โมแกรม DSC ของ Chiffon



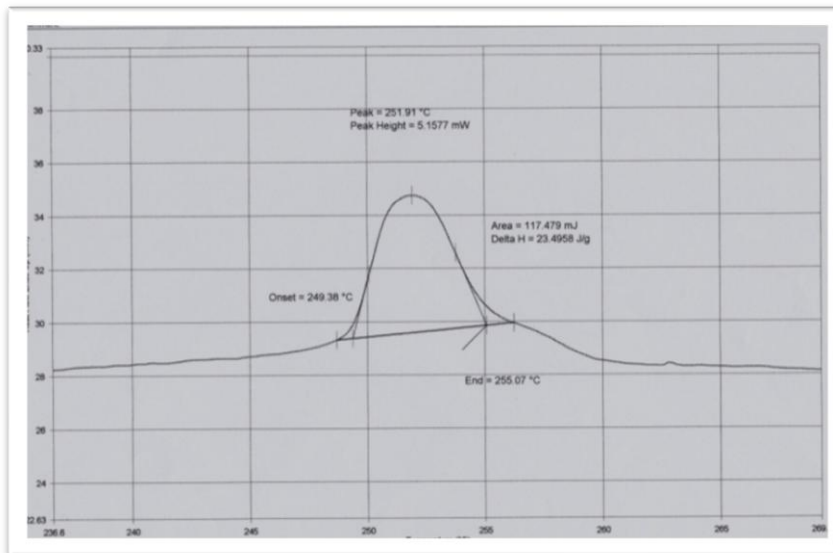
ภาพที่ 88 เทอร์โมแกรม DSC ของ Cotton



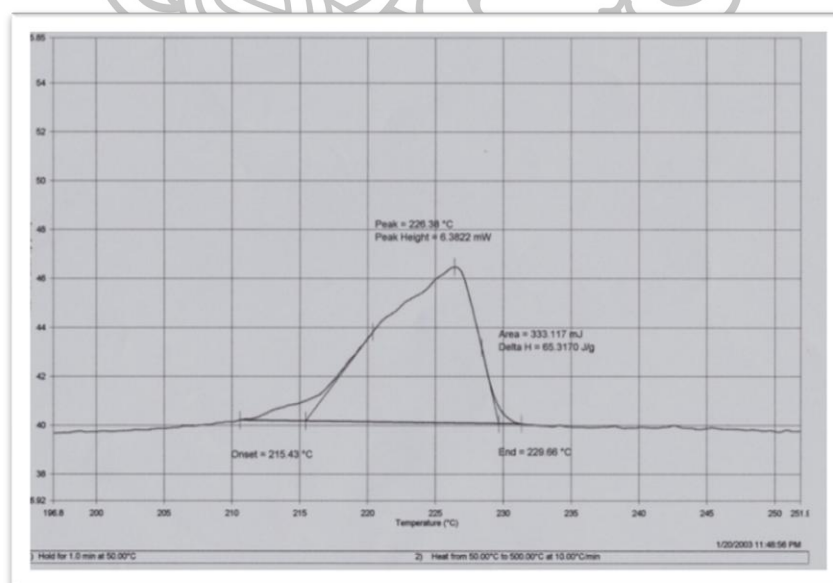
ภาพที่ 89 เทอร์โมแกรม DSC ของ Jeans



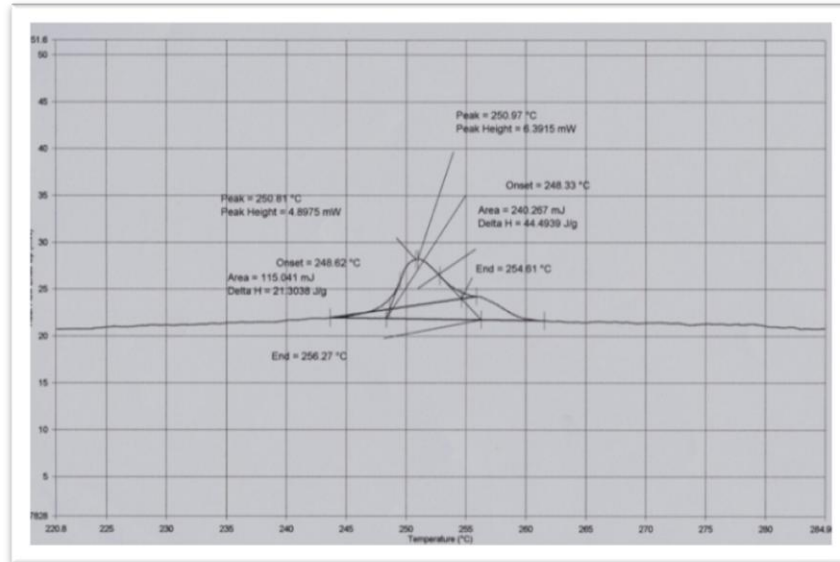
ภาพที่ 90 เทอร์โมแกรม DSC ของ Khaki



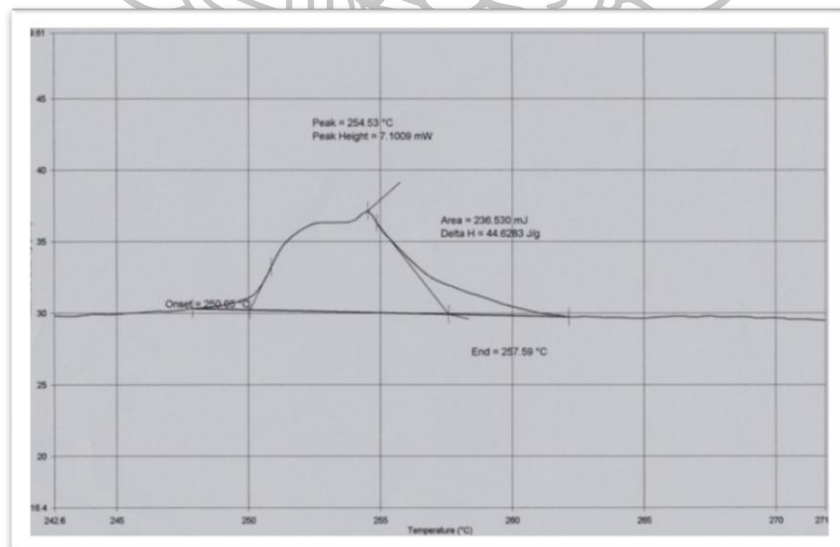
ภาพที่ 91 เทอร์โมแกรม DSC ของ Lacework



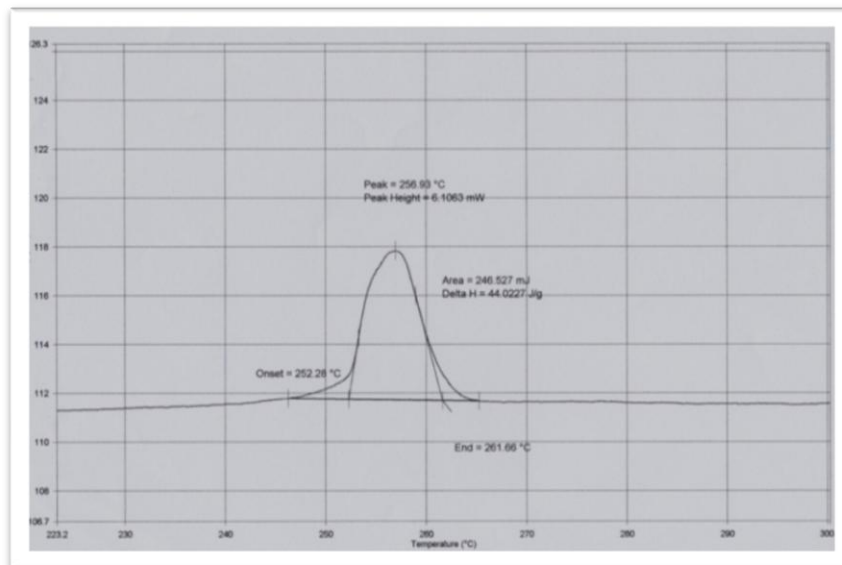
ภาพที่ 92 เทอร์โมแกรม DSC ของ Toraypopping



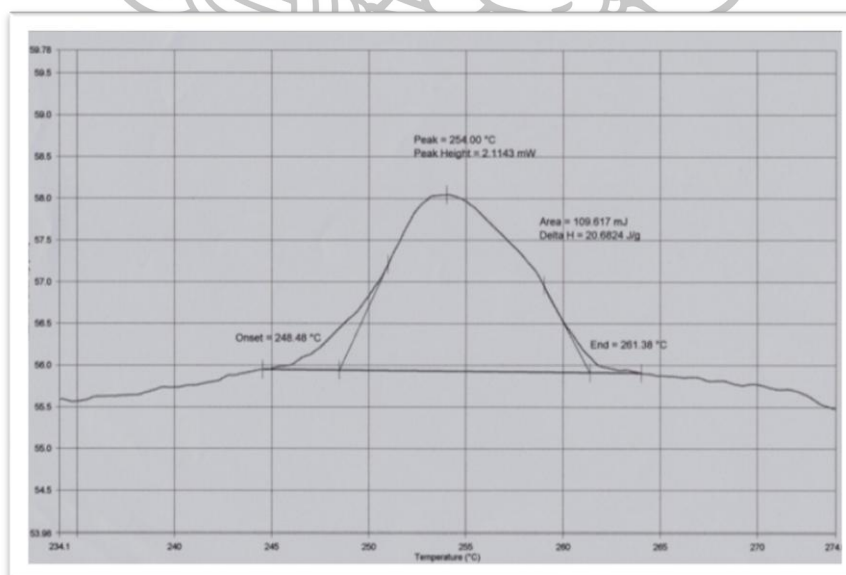
ภาพที่ 93 เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X 1



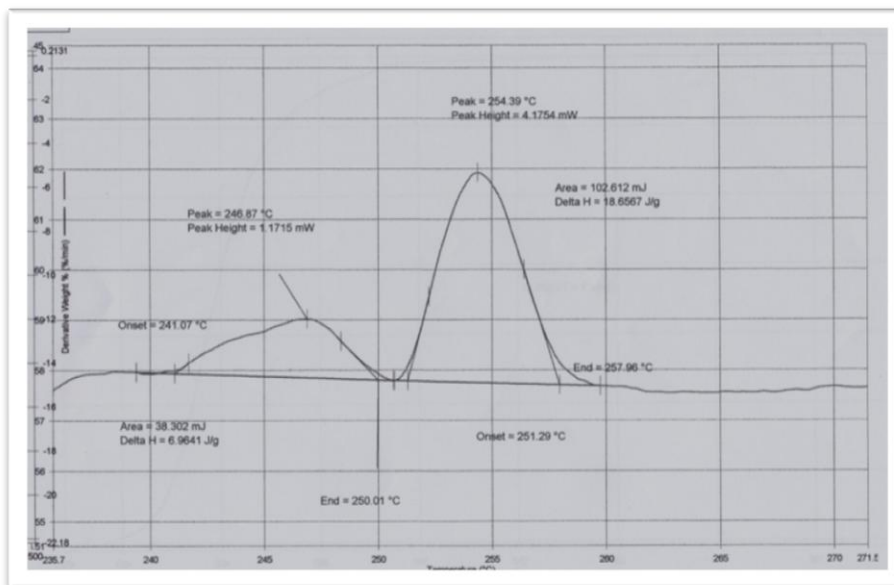
ภาพที่ 94 เทอร์โมแกรม DSC ของ X 2



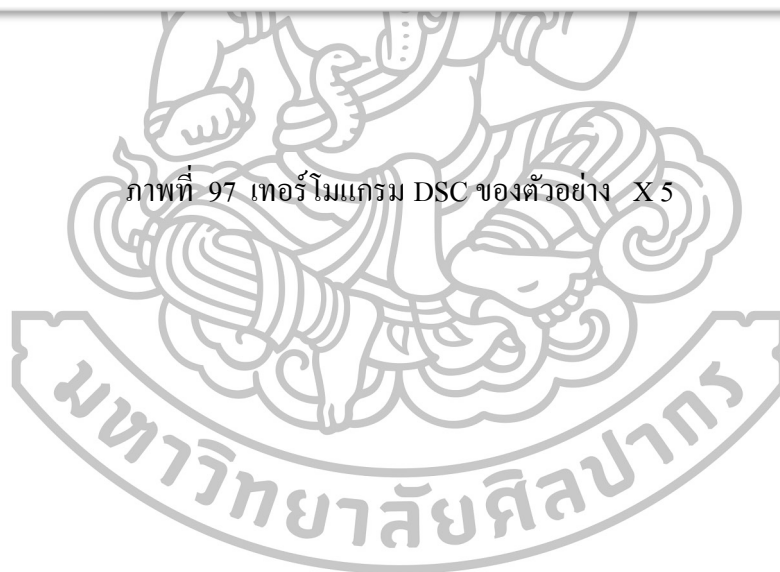
ภาพที่ 95 เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X 3



ภาพที่ 96 เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X 4



ภาพที่ 97 เทอร์โมแกรม DSC ของตัวอย่าง X 5



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล นางสาวจิราพร เกิดแก้ว

ที่อยู่ 161 หมู่ 7 ตำบลขุนซ่อง อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี 22160

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

พ.ศ. 2555 - ปัจจุบัน ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขา

นิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

