การตรวจผ้าชนิดต่าง ๆ ทางนิติวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC
FORENSIC EXAMINATION OF FABRICS BY ATR – FTIR, TGA AND DSC TECHNIQUES

จิราพร เกิดแก้ว[1*] ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี[2] และ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง[2]
Jiraporn Kerdkaew[1*], Supachai Supaluknari[2] and Sirirat Choosakoonkriang[2]
[1]*หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร*
[2]*ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*
[1]*Science program in Forensic Science, Graduate school, Silpakorn university*
[2]*Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อจำแนกตัวอย่างผ้าชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) และการวิเคราะห์ทางความร้อน เทคนิค Thermal Gravimetric Analysis(TGA) และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ผ้า 21 ตัวอย่างถูกใช้ในการศึกษานี้ มีผ้า 8 ตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบที่แน่นอน คือ ผ้าที่ทำมาจากไหม 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 สเปกตรัมของตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบของเส้นใยผ้าแสดงพีคที่บ่งชี้ว่ามาจากหมู่ฟังก์ชั่น ซึ่งเป็นหมู่เดียวกับที่ปรากฏในตัวอย่าง เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้จากเทคนิค IR ร่วมกับข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางความร้อน พบว่า สามารถระบุและแยกความแตกต่างของผ้าได้ จากผลการวิเคราะห์พบว่าเทคนิค ATR-FTIR และเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นเทคนิคที่สะดวกในการใช้บ่งชี้และจำแนกชนิดของผ้าและอาจจะใช้ช่วยในการวิเคราะห์จำแนกผ้าชนิดต่างๆ และใช้ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ : DSC ATR-FTIR TGA ผ้า

Abstract

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 know 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.

Keyword : DSC, ATR-FTIR , TGA , fabrics

***Corresponding author. E-mail** : boji.jiraporn@gmail.com

บทนำ

ในการพิจารณาคดี ศาลจะพิจารณาคดีตามพยานหลักฐานที่ปรากฏต่อศาล และตัดสินคดีได้จากพยานหลักฐานที่ปรากฏตามสำนวนและการนำสืบของคู่ความ ดังนั้น พยานหลักฐานมีความสำคัญต่อการพิจารณาคดีเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งพยานหลักฐานมีที่มาจากสถานที่เกิดเหตุซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสืบสวนสอบสวน เพื่อให้ได้พยานหลักฐานที่จะนำไปพิสูจน์ว่ามีเหตุเกิดขึ้นจริง และใครเป็นผู้กระทำผิด โดยทั่วไปแล้วผู้กระทำความผิดมักทิ้งร่องรอยหรือพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุ ตามหลักของ Locard Exchange Principle Theory นั่นคือ วัตถุมีการสัมผัสกันมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันทำให้สามารถเก็บร่องรอยหรือพยานหลักฐานและอ่านสภาพของสถานที่เกิดเหตุได้นำไปสู่การหาตัวผู้กระทำความผิด [1] กระทำอย่างไร ด้วยวิธีการใด เมื่อเวลาใด และมีเจตนาต่ออะไร โดยพยานหลักฐานแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พยานบุคคล พยานเอกสารและพยานวัตถุ ในอดีตการสืบสวนสอบสวนจะอาศัยประจักษ์พยานเป็นหลัก แต่บางครั้งประจักษ์พยานอาจให้การเป็นเท็จจากการถูกข่มขู่ ชักจูงรับสินบน ซึ่งส่งผลต่อรูปคดีโดยตรง แต่ในปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาให้เจริญก้าวหน้ามากขึ้น จึงมีเครื่องมือ อุปกรณ์และเทคนิคต่างๆ ที่ใช้เก็บและตรวจสอบพยานวัตถุ จึงทำให้พยานวัตถุเป็นที่ยอมรับในระดับสากล [2]

ผ้า เป็นวัสดุที่มนุษย์ใช้สวมใส่ เพื่อห่อหุ้มปกปิด ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกายและเพื่อความสวยงาม เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตมานานนับศตวรรษ ผ้าเกิดจากการถักทอของเส้นใย (fiber) ซึ่งเส้นใยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เช่น ฝ้าย(cotton) ขนแกะ (wool) แฟลกซ์ (flax) ปอกระเจา (jute) และป่านรามี (ramie) เป็นต้นและเส้นใยประดิษฐ์(man-made fiber) เช่น nylon-6 nylon-6,6 carbon fiber และ glass fiber เป็นต้น [3] โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะมีลักษณะคุณสมบัติต่างกัน ทำให้เส้นใยชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปด้วยในปัจจุบันมีการนำเส้นใยสังเคราะห์มาผลิตเป็นของใช้ต่างๆมากขึ้น เช่น ผ้าม่าน พรม อุปกรณ์กีฬาและกระเป๋า เป็นต้น มีการนำเอาเทคนิคต่างๆ มาวิเคราะห์วิจัยคุณสมบัติของผ้าชนิดต่างๆ

ในปี 2013 Ping Zhu และคณะ [4] ได้ศึกษาการไพโรไลซิสและผลิตภัณฑ์ของการไพโรไลซิสของผ้าฝ้ายและนำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC), Thermogravimetric analysis (TGA) และ pyrolysis–gas chromatography–mass spectroscopy (PY–GC–MS) ใช้ในการตรวจสอบกระบวนการสลายตัว การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ทนไฟและเส้นใยฝ้ายดิบ ผลจากการสลายตัวทางความร้อน และการศูนย์เสียน้ำหนักรวมทั้งปฏิกิริยาไพโรไลซิสพบว่า ผลการทดลองที่ได้เป็นประโยชน์ในการเข้าใจปฏิกิริยาที่ทำให้ผ้าทนไฟทนความร้อนได้ดี [4] ปี 2013 Ahmed G. Hassabo [5] ได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติการควบคุมความร้อนของผ้าเซลลูโลสเพื่อเพิ่มความอบอุ่นแก่ผู้สวมใส่ โดยเตรียมวัสดุ PCM ผ่านปฏิกิริยา Esterification นำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และDifferential Scanning Calorimeter (DSC) การศึกษา พบว่า วัสดุ PCM ที่ใช้มีความจุในการจัดเก็บความร้อนสูงและเมื่อนำผ้าเซลลูโลสไปซัก อนุภาคของวัสดุ PCM ไม่เกิดการรั่วไหล ปี 2007 Sajwan และคณะ [6] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของท่อ High Density Polyethylene (HDPE) จำนวน 28 ตัวอย่าง ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศอินเดีย 13 บริษัท ศึกษาเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลโดยใช้เทคนิค DSC จากการศึกษาพบว่าพบว่าสามารถจำแนกความแตกต่างของตัวอย่างท่อ HDPE ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่ผลิตจากต่างบริษัทกันได้ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวใช้เป็นบรรทัดฐานในการจำแนกท่อ HDPE ที่มีที่มาต่างกันได้ ปี 2011 นางสาวกิตติมา อรุณสิงครัตน์ [7] ศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของโคพอลิเมอร์ยางกร๊าฟท์พอลิสไตรีนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ Differential Thermal Analysis Thermogravimetric Analysis (DSC/DTA-TGA) และศึกษาว่า การสลายตัวของโคพอลิเมอร์นั้นเป็นแบบมีแรงกระทำระหว่างกันหรือไม่มี ซึ่งได้พบว่าการสลายตัวของโคพอลิเมอร์มี 2 ขั้น คือ การสลายตัวของพอลิสไตรีนบริสุทธิ์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200 – 350 °C และ 400 - 450 °C และการสลายตัวของยางธรรมชาติบริสุทธิ์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 – 400 °C ตามสมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมากร๊าฟท์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า DSC/

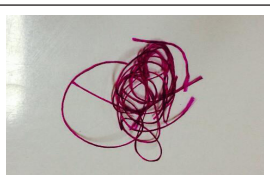
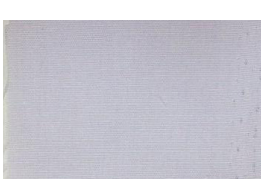
DTA-TGA สามารถจำแนกช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติได้ [7]

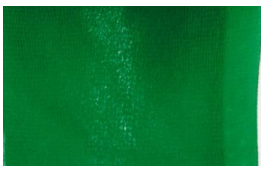
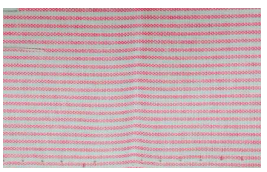
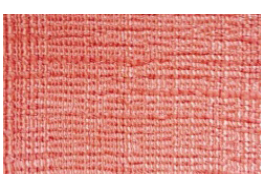
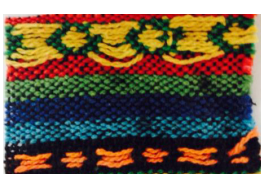
จากความสำคัญ ปัญหาและงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศเกี่ยวกับผ้าและเทคนิคในการวิเคราะห์ทางความร้อน ผู้วิจัยจึงสนใจและเล็งเห็นความเป็นไปได้ในการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผ้าโดยใช้เทคนิค IR TGA และ DSC ร่วมกัน ซึ่งเทคนิคทั้งสามเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย รวดเร็ว การเตรียมตัวอย่างไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน ใช้ตัวอย่างน้อยในระดับมิลลิกรัม ดังนั้นการนำเทคนิคทั้งสามมาวิเคราะห์และจำแนกความแตกต่างของผ้า สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และจำแนกความแตกต่างของผ้าชนิดต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR , TGA และ DSC ในการวิจัยใช้ผ้าจำนวน 21 ชนิด คือ ผ้าไหม ผ้าจากใยสังเคราะห์ ผ้าฝ้าย ผ้าที่ผลิตจากใยสังเคราะห์ร่วมกับไนลอนผ้าที่ผลิตจาก 100% polyamide , 100% acrylic, tolaypoping, 70%bamboo ร่วมกับ 30% long shaple cotton, 40 % milk silk ร่วมกับ 30% long staple cotton และ 30% tolayvekvt และผ้าอื่นๆ อีก 13 ชนิดที่เป็นตัวอย่างของผ้าที่ไม่ทราบชนิดของผ้า ดัง Tabel 1

Table 1. The sample of fabrics

The type of fabrics	Picture	The type of fabrics	Picture
silk		100% polyamide	
100% polyester		100% natural cotton	
100% acrylic		70% bamboo 30% long shaple cotton	
65% polyester 35% nylon		40%milk silk 30%long staple cotton 30%tolay vekvt	
tolaypoping		japan silk	

The type of fabrics	Picture	The type of fabrics	Picture
s'fair		Chiffon	
Cotton		Jeans	
Khaki		Lacework	
X1		X2	
X3		X4	
X5			

วัสดุอุปกรณ์

ชุดเครื่องมือ ATR-FTIR เครื่อง Attenuated Total Reflectance (ATR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Universal ATR sampling accessory เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 FT-IR ชุดเครื่องมือ TGA รุ่น Pyris1 TGA ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments ชุดเครื่องมือ DSC รุ่น Pyris Diamond DSC ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments และ เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Dragon 204

การวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC

วิเคราะห์ตัวอย่างผ้าโดยเทคนิค ATR-FTIR นำตัวอย่างผ้าทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ตั้งสภาวะของเครื่อง โดยตั้งค่าการสแกนตั้งแต่ 4000 - 650 cm^{-1} ที่ 4 scan ค่า resolution ที่ 4 cm^{-1} จากนั้น นำสเปกตรัมที่ได้มาประมวลผลต่อไป

วิเคราะห์ตัวอย่างผ้าโดยเทคนิค TGA

นำตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ชนิด มาทำการวิเคราะห์

ด้วยเทคนิค TGA โดยตัดผ้าเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบรรจุลงใน crucible มีน้ำหนักประมาณ 10 mg จากนั้นตั้งสภาวะของการทดลอง ดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	: 35.00 °C คงไว้ 1.0 min
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	: 10.00 °C /min
อุณหภูมิสุดท้าย	: 800.00 °C
ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน	: 20 ml/min

นำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวอย่างผ้าทุกชนิด

วิเคราะห์ตัวอย่างผ้าโดยเทคนิค DSC

นำตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ชนิด มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC โดยตัดผ้าเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีน้ำหนักประมาณ 10-15 mg แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยตั้งค่าเครื่อง DSC ดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	: 50.00 °C คงไว้ 0.5 min
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	: 10.00 °C /min
อุณหภูมิสุดท้าย	: 480 °C คงไว้ 5 min
ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน	: 20 ml/min

นำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวอย่างผ้าทุกชนิด

การวิเคราะห์ผ้าด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC

จากการนำตัวอย่างผ้าจำนวน 21 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยใช้เลขคลื่น 4000-650 cm^{-1} ได้สเปกตรัม (spectrum) ที่ระหว่าง % Transmittance กับเลขคลื่น (cm^{-1}) ดังตัวอย่าง Figure 1 และ Figure 2

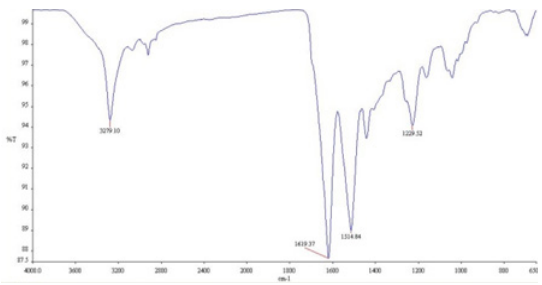


Figure 1. Infrared spectrum of silk

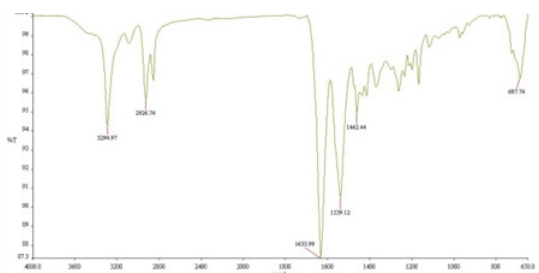


Figure 2. Infrared spectrum of 100% polyamide

Figure 1 คือ สเปกตรัมของผ้าไหมซึ่งปรากฏพีคชัดเจนที่เลขคลื่น 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 ใน Figure 2 คือ สเปกตรัมของผ้าที่ผลิตจาก 100% polyamide เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของผ้าไหมจะเห็นได้ว่ามีพีคที่เลขคลื่น 3294 cm-1 1633 cm-1และ 1539 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของผ้าไหมแต่ผ้าที่ผลิตจาก 100% polyamide จะปรากฏพีคที่เลขคลื่น 2926 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน CH_3, CH_2 ของอัลเคนเพิ่มขึ้นมา ซึ่งตรงกับโครงสร้างทางเคมีของ polyamide ใน Figure 3

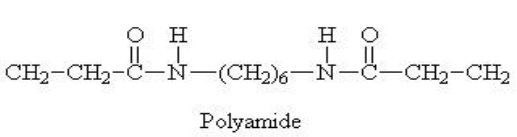


Figure 3. A chemical structure of polyamide

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ตัวอย่างด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่า ตำแหน่งของพีคในสเปกตรัมแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันตามหมู่ฟังก์ชั่น ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบแล้วพบว่าสามารถจำแนกตัวอย่างผ้าออกเป็น 5 กลุ่ม ตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ ดังนี้กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยหนึ่งตัวอย่าง คือ ผ้าไหม กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสองตัวอย่าง คือ 100% polyamide และ toraypoping กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยแปดตัวอย่าง คือ 100% polyester 100% acrylic 65% polyester ผสมกับ 35% nylon X1 X2 X3 และ X5 กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วยหกตัวอย่างคือของ 100% natural cotton 70%bamboo ผสมกับ 35% nylon 40%milk silk ผสมกับ 30%long staple cotton กับ 30% tolayvekvt jeans cotton และX4 กลุ่มที่ 5 ประกอบด้วยสี่ตัวอย่าง คือ japan silk s'fare khaki และ lacework

ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างผ้าด้วยเทคนิค TGA และ DSC การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA เทอร์โมแกรมที่ได้จะพล๊อตระหว่างเปอร์เซ็นของน้ำหนักที่หายไป (%) กับอุณหภูมิ (°C) ดังตัวอย่าง Figure 4 และ Figure 5

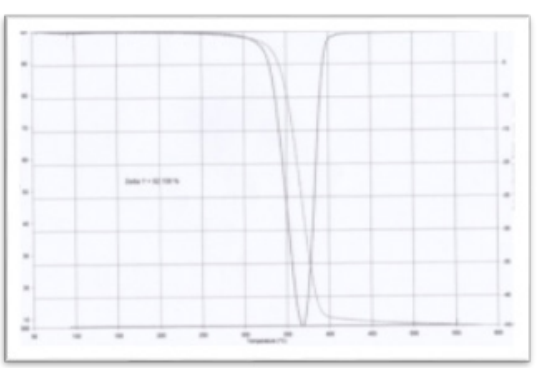


Figure 4. Thermogram of 100% Natural cotton

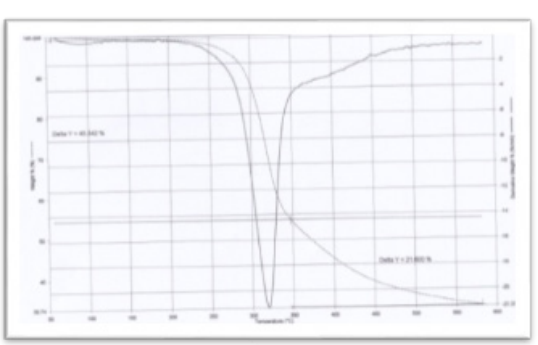


Figure 5. Thermogram of silk

Figure 4 คือ เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค TGA ของ 100 % Natural cotton พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1 ขั้นตอน โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 250 – 500 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 92.16 % สังเกตได้ว่าตัวอย่างผ้านี้มีน้ำหนักหายไปเกือบ100% ใน Figure 5 คือ เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค TGA ของผ้าไหม มี การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 225 – 395 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 45.54 % และขั้นตอนที่สองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 395 – 550 °C มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก คือ 21.60 % เมื่อนำตัวอย่างผ้าทั้ง 21 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่า ผ้าส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1 ขั้นตอน บางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 2 และ 3ขั้นตอน เมื่อนำเทอร์โมแกรมที่ได้มาวิเคราะห์ผลของช่วงอุณหภูมิที่มีเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนัก ได้ผลดัง Table 2

เมื่อเปรียบเทียบ 100% polyester และ 65% polyester ผสมกับ 35% nylon ผ้าทั้งสองนี้มีองค์ประกอบของ ester เหมือนกัน แต่เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 250 – 500 °C และ 350 – 500 °C ซึ่งมีความแตกต่างกัน จึงเป็นข้อดีของเทคนิค TGA ที่สามารถจำแนกความแตกต่างของผ้าได้ การวิเคราะห์และจำแนกผ้าโดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA พบว่า สามารถจำแนกผ้าส่วนใหญ่ได้ คิดเป็นร้อยละ 57.14 ยกเว้น 65% polyester ผสมกับ 35% nylon X1 X2 X3 X5 และ Cotton X4 และ s'fare lace-work ที่ไม่สามารถจำแนกได้ คิดเป็นร้อยละ 42.85 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เทอร์โมแกรมที่ได้จะพล๊อตระหว่างการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อน (mW) กับอุณหภูมิ (°C) และสามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นว่ามีการดูดหรือคายความร้อน ในการศึกษานี้เทอร์โมแกรมที่ได้จากตัวอย่างที่ใช้ศึกษาส่วนใหญ่เป็นเทอร์โมแกรมแบบดูดความร้อน (endothermic) มีเพียงหนึ่งชนิด คือ 40% Milk silk ผสมกับ 30% longstaplecotton และ 30% Torayvelvet ที่มีเทอร์โมแกรมแบบคายความร้อน (Exothermic) และการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ΔH (J/g) ของการเกิดพีคดังตัวอย่าง Figure 6

Table 2. The analysis of TGA technique

Sample	Reduction of weight No. 1		Reduction of weight No. 2		Reduction of weight No. 3	
	Tempera-ture $T_i - T_f$ (°C)	% Weight loss	Tempera-ture $T_i - T_f$ (°C)	% Weight loss	Tempera-ture $T_i - T_f$ (°C)	% Weight loss
silk	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 sklk	275 - 375	24.321	375 - 500	61.400		
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				

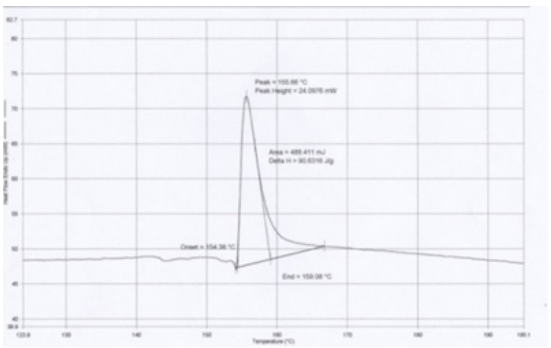


Figure 6 Thermogram of 100% natural cotton

Figure 6 แสดงเทอร์โมแกรมของ 100 % natural cotton มีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนเกิดขึ้น 1 พีค มีอุณหภูมิของการเกิดพีคอยู่ในช่วง 154.38-159.08 °C โดยที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ 155.66 °C ปริมาณ ΔH มีค่าเป็น 90.6316 J/g เมื่อนำเทอร์โมแกรมของผ้าทั้ง 21 ชนิดมาวิเคราะห์ได้ผลดัง Table 3

Table 3. The analysis of DSC technique

Sample	The effect of changes	
	Temperature (°C)	ΔH (J/g)
silk	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%longstaple 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
Toraypoping	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

Sample	The effect of changes	
	Temperature (°C)	Δ H (J/g)
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

การวิเคราะห์และจำแนกผ้าโดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ร่วมกับเทคนิค TGA และ DSC พบว่า สามารถจำแนกผ้าส่วนใหญ่ได้ คิดเป็นร้อยละ 80.95 ยกเว้น 65% polyester ผสมกับ 35% nylon X1 X2 X3 ซึ่งไม่สามารถจำแนกได้คิดเป็นร้อยละ 19.05

สรุปผลการวิจัย

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

เมื่อนำผ้าตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR จะแสดงพีคซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผ้าแต่ละชนิด จากสเปกตรัมที่ได้สามารถจำแนกผ้าออกเป็น 5 กลุ่ม ตามลักษณะของพีคที่ปรากฏ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA และ DSC จากเทคนิค TGA พบว่า ตัวอย่างผ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 1 2 และ 3 ขั้นตอน ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่มีในผ้านั้น เทอร์โมแกรมที่ได้มีจำนวนขั้นของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ช่วงอุณหภูมิของเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนักแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิค DSC พบว่า เทอร์โมแกรมส่วนใหญ่เป็นแบบดูดความร้อน (endothermic) มีผ้าเพียงหนึ่งชนิด คือ 40% Milk silk ผสมกับ 30% longstaple cotton และ 30% Toray-velvet ที่มีเทอร์โมแกรมแบบคายความร้อน (Exothermic) เทอร์โมแกรมจะมีลักษณะของพีค อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและปริมาณ ΔH แตกต่างกัน ตามชนิดและส่วนประกอบของผ้า

จากการวิเคราะห์และจำแนกผ้าโดยใช้ทั้งสามเทคนิคนี้ร่วมกัน พบว่า สามารถจำแนกผ้าได้ร้อยละ 80.95 ยกเว้น 65% polyester ผสมกับ 35% nylon X1 X2 X3 ซึ่งไม่สามารถจำแนกได้คิดเป็นร้อยละ 19.05 ผ้าดังกล่าวที่ไม่สามารถจำแนกได้อาจเป็นผ้าชนิดเดียวกันหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดของผู้วิจัย อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์และจำแนกที่ได้แสดงความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC ในการวิเคราะห์ จำแนกชนิดของผ้าและใช้ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร คณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้คำแนะนำตลอดการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. วาที อัศวุตมางกูร.2558. Forensic กับ ER. สถาบันนิติเวชวิทยา โรงพยาบาลตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ.
2. อรรถพล แช่มรัมย์ และคณะ. 2546. นิติวิทยาสาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 4.กรุงเทพมหานคร: บริษัทที่ซีจี พริ้นติ้ง จำกัด.
3. ดรรชนี พัทธวรากร.2557. เทคโนโลยีสิ่งทอ. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

4. Zhu, P., Sui, S., Wang, B., Sun, K., & Sun, G. 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.
5. Hassabo, A. G. 2014. New approaches to improving thermal regulating property of cellulosic fabric. *Carbohydrate Polymers*. 101. 912-919.
6. Sajwan, M., Aggarwal, S., & Singh, R. B. 2008. Forensic characterization of HDPE pipes by DSC. *Forensic science international*. 175(2): 130-133.
7. นางสาวกิตติมา อรุณสิงครัตน์.2554. การวิเคราะห์โคพอลิเมอร์ยางกร๊าฟท์พอลิสไตรีนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ.