

การเตรียมและสมบัติของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนอเคลย์

นางสาววาสนา อ้นหนองปลง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PREPARATION AND PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/CHITO-ORGANOCLAY COMPOSITE
FIBERS

Miss Wasana Onnongpong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile
Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและสมบัติของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ ไคโต-ออร์แกนอเคลย์
โดย	นางสาววาสนา อ้นหนองปลง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. ปราณี เลิศสุทธิวงค์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. ปราณี เลิศสุทธิวงค์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ไพพวรรณ สันติสุข)

วาทนา อันหนองปลง : การเตรียมและสมบัติของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโต-
ออร์แกนอเคลย์. (PREPARATION AND PROPERTIES OF POLYPROPYLENE
/CHITO-ORGANOCLAY COMPOSITE FIBERS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รศ.ดร. กาวี ศรีภูถัก, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.ปราณี เลิศสุทธิวงศ์,
109 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสมของฟิลเลอร์ที่มี
สมบัติพิเศษ โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1: เป็นการเตรียมฟิลเลอร์ที่มีส่วนผสม
ของไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์กับพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA)
ส่วนที่ 2: เป็นการเตรียมเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสมของไคโตซานดัดแปรและไค-
โต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์และตรวจสอบสมบัติ พบว่า จากการศึกษา
โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชัน และสัณฐานวิทยาของไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปร
ด้วยเทคนิค FT-IR, XRD, SEM และ TGA สามารถยืนยันได้ว่าไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอ-
เคลย์สามารถนำมาดัดแปรโดยทำปฏิกิริยากับ PP-g-MA และทำให้มีเสถียรภาพทางความร้อน
เพิ่มขึ้นและมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ไม่ผ่าน
การดัดแปร ทำการผสมไคโตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรกับพอลิโพรพิลีนใน
ปริมาณร้อยละ 2, 4, 6, และ 8 โดยน้ำหนัก และทำการขึ้นรูปเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นแบบ
หลอมเหลว พบว่า ขนาดอนุภาคของฟิลเลอร์มีขนาดใหญ่เป็นผลให้ปริมาณฟิลเลอร์ในเส้นใยเชิง-
ประกอบต่ำ (ประมาณ 1%) แต่ฟิลเลอร์ทั้งสองที่มีอยู่ในเส้นใยเชิงประกอบยังคงแสดงเสถียรภาพ
ทางความร้อนและค่าการต้านทานแรงดึงได้มากกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน เนื่องจาก อนุภาคของ
ฟิลเลอร์แสดงบทบาทเป็นสารหล่อลื่น ลดแรงเฉือนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ช่วยรักษา
น้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสม
ของไคโตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรมีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน UL-
94 HB (ไม่เกิน 76 มิลลิเมตร/นาทีก) และมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียอีกด้วย จึงกล่าวได้ว่าไค-
โตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรสามารถนำมาใช้เป็นฟิลเลอร์สำหรับเตรียมเส้นใย
เชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเพื่อให้มีสมบัติทนไฟ ต้านแรงดึงและต้านเชื้อ รวมถึงมีเสถียรภาพทาง
ที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีฟิลเลอร์เป็นส่วนประกอบ

ภาควิชา..... วัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2554..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5272533623 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : POLYPROPYLENE / CHITOSAN / POLYPROPYLENE-GRAFTD-MALAIC ANHYDRIDE / ORGANOCCLAY / COMPOSITES

WASANA ONNONGPONG : PREPARATION AND PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/CHITO-ORGANOCCLAY COMPOSITE FIBERS. ADVISOR : ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., CO-ADVISOR : PRANEE LERTSUTTHIWONG , Ph.D., 109 pp.

This research involved the preparation of polypropylene composite fibers containing functional fillers. The experiment was divided into 2 parts: the first part involved the preparation of functional fillers by modifying chitosan (CTS) and chito-organoclay (CTS-MMT) with polypropylene-g-maleic anhydride (PP-g-MA). The second part involved the preparation of polypropylene composite fibers containing modified chitosan (PP-g-CTS) and modified chito-organoclay (PP-g-CTS-MMT), characterizations and properties evaluation. The results from FT-IR, XRD, SEM and TGA confirmed that CTS and CTS-MMT were successfully modified with PP-g-MA. PP-g-CTS and PP-g-CTS-MMT themselves performed higher thermal stability and better antibacterial property when compared unmodified counterparts. The polypropylene mixing recipes loading with 2%, 4%, 6% and 8% PP-g-CTS (or PP-g-CTS-MMT) were spun into monofilament fibers using melt spinning process. Difficulty in spinning was experienced due to the problem of large particle sizes, resulting in significantly low filler content found in the spun fibers (about 1%). Fortunately, the results demonstrated that both PP/PP-g-CTS composite fibers and PP/PP-g-CTS-MMT composite fibers exhibited better thermal stability and higher tensile strength than PP fibers due to the lubricant effect of filler particles which prevented polypropylene degradation arising from shear force. For flammability property, it was found that these composite fibers performed flame retardancy property based on the standard test of UL-94 HB showing the spread rate ≤ 76 mm/min. In addition, antibacterial activity of composite fibers was also found. These finding led to conclude that PP-g-CTS and PP-g-CTS-MMT could be a promising candidate as functional fillers for the preparation of polypropylene processing in terms of following properties, thermal stabilizer (processing aid), flame retardancy, tensile strength property and antibacterial property.

Department : Materials Science..... Student's Signature

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile..... Advisor's Signature

Academic Year : 2011..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเชื่อเพื่อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1. รศ.ดร. กาวี ศรีภูลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร. ปราณี เลิศสุทธิวงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูงและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิโพรพิลีน	3
2.1.1 การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน.....	4
2.1.2 สมบัติของพอลิโพรพิลีนและการใช้ประโยชน์.....	4
2.2 เส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	5
2.2.1 สมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	5
2.3 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว.....	7
2.4 แร่ดินเหนียว (clay mineral).....	9
2.4.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite).....	10
2.4.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay).....	11
2.5 ไคตินและไคโตซาน.....	12
2.5.1 การใช้ไคโตซานเป็นเส้นใยและเส้นด้าย.....	14
2.6 การเผาไหม้ของวัสดุ.....	19
2.6.1 องค์ประกอบของการเผาไหม้.....	19

บทที่	หน้า
2.6.2 การเผาไหม้ของสิ่งทอ (Textile Combustion).....	19
2.7 สารหน่วงไฟ.....	20
2.7.1 กลไกการหน่วงไฟ.....	21
2.7.2 สารหน่วงไฟจำแนกประเภทจากองค์ประกอบ.....	22
2.8 Limiting Oxygen Index (LOI).....	24
2.9 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Anti-Microbial Finishes).....	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.3 วิธีการทดลอง.....	33
3.3.1 การเตรียมโคโต-ออร์แกนอเคลย์.....	33
3.3.2 ดัดแปรโคโตซานและโคโต-ออร์แกนอเคลย์ด้วยพอลิไพโรฟิลีน กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	35
3.3.3 การเตรียมเส้นใยพอลิไพโรฟิลีนคอมพอสิต.....	36
3.4 วิเคราะห์สมบัติ.....	38
3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของโคโตซานดัดแปรโคโต- ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร และเส้นใยพอลิไพโรฟิลีนคอมพอสิตด้วย เทคนิค XRD.....	38
3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโคโตซานดัดแปรและ โคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม- อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR).....	39
3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโคโตซานดัดแปรและ โคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรด้วยเทคนิค SEM.....	40
3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีนคอมพอสิต.....	40
3.4.4.1 ทดสอบด้วยเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA).....	40
3.4.5 การหาค่าดัชนีการไหม้ของพอลิไพโรฟิลีนคอมพอสิต.....	41

3.4.6 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยและเส้นผ่าศูนย์กลาง ของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope).....	42
3.4.7 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต.....	42
3.4.8 สมบัติการหน่วงไฟด้วยเทคนิค Limiting oxygen Index (LOI).....	43
3.4.9 ด้านการหลอมหยดด้วยเทคนิค UL-94.....	43
3.4.10 การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	45
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	46
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ด้วย เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR).....	46
4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	46
4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการ ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	49
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ ด้วยเทคนิค XRD.....	50
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	50
4.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการ ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	51
4.3 การศึกษาสัญญาณวิทยาของของไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ ด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	52
4.3.1 การศึกษาสัญญาณวิทยาของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	52
4.3.2 การศึกษาสัญญาณวิทยาของไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการ ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	53
4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA.....	55
4.4.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไคโตซานที่ผ่านการ ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	55

4.4.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไคโต-ออร์แกโนเคลย์ ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	56
4.5 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	58
4.5.1 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโตซานและ ไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิก- แอนไฮไดรด์.....	58
4.5.2 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโต- ออร์แกโนเคลย์ และไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปร ด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	59
4.6 การศึกษาดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟลิน/ไคโตซาน ดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และพอลิไพร์ฟลิน/ ไคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิก- แอนไฮไดรด์.....	60
4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยเชิงประกอบพอลิไพร์ฟลิน/ไคโตซาน ดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และพอลิไพร์ฟลิน/ ไคโตออร์-แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	61
4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิไพร์ฟลิน/ ไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และ พอลิไพร์ฟลิน/ไคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลินกราฟต์- มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	64
4.8.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบ พอลิไพร์ฟลิน/PP-g-CTS ด้วยเทคนิค TGA.....	64
4.8.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบ พอลิไพร์ฟลิน/ PP-g-CTS-MMT ด้วยเทคนิค TGA.....	66
4.9 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	67
4.9.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยเชิงประกอบพอลิไพร์ฟลิน/ PP-g-CTS และพอลิไพร์ฟลิน/ PP-g-CTS-MMT.....	67
4.10 การศึกษาสมบัติหน่วงไฟโดยเทคนิค Limiting Oxygen Index (LOI).....	70

บทที่	หน้า
4.11 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและ เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS PP/PP-g-CTS-MMT.....	71
4.12 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT.....	72
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	81
ภาคผนวก ค.....	84
ภาคผนวก ง.....	91
ภาคผนวก จ.....	92
ภาคผนวก ฉ.....	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงสมบัติที่โดดเด่น และหน้าที่ของโคโตซานต่อการประยุกต์ใช้.....	16
2.2	คุณหมุมิตติไฟของเส้นใยต่างๆ.....	25
3.1	สูตรของผสมที่ใช้ในการเตรียมคอมพอลสิตของพอลิโพรพิลีน/โคโตซานดัดแปร และพอลิโพรพิลีน/โคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร.....	37
4.1	สมบัติทางความร้อนของโคโตซาน พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์และโคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA.....	55
4.2	สมบัติทางความร้อนของโคโต-ออร์แกนอเคลย์และโคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA.....	58
4.3	ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของโคโตซานและโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	59
4.4	ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของโคโตออร์แกนอเคลย์ และโคโต-ออร์แกนอเคลย์ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ในปริมาณต่างๆ.....	60
4.5	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT.....	63
4.6	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS.....	65
4.7	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT.....	67
4.8	ค่า LOI ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT.....	70
4.9	ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT.....	72

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration)..	3
2.2	แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	6
2.3	กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว.....	8
2.4	โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	10
2.5	แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์.....	10
2.6	ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์.....	11
2.7	ชนิดของออร์กาโนเคลย์.....	12
2.8	โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	12
2.9	Fire Triangle.....	19
2.10	วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ.....	20
3.1	ขั้นตอนการเตรียมไคโต-ออร์แกนิกเคลย์.....	34
3.2	ขั้นตอนการดัดแปรไคโตซานและไคโต-ออร์แกนิกเคลย์.....	35
3.3	เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิด Single Screw.....	36
3.4	ชุดม้วนเก็บเส้นใย.....	36
3.5	ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต.....	38
3.6	เครื่อง X-ray Diffractometer	39
3.7	เครื่อง FT-IR spectrometer.....	39
3.8	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	40
3.9	เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA).....	41
3.10	เครื่อง Melt flow index.....	41
3.11	กล้อง Optical microscope.....	42
3.12	เครื่อง Universal testing machine.....	42
3.13	เครื่องวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัดของ Stanton Redcroft	43
3.14	อุปกรณ์ในการทดสอบสมบัติห่วงโซ่ไฟของเส้นใยเชิงประกอบของ พอลิโพรพิลีนตามมาตรฐาน UL-94.....	44

ภาพที่	หน้า
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของ CTS, PP-g-MA และ PP-g-CTS..... 47
4.2	ปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานกับพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์..... 48
4.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของ CTS-MMT, PP-g-MA และ PP-g-CTS-MMT..... 49
4.4	ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไคโตซานกับออร์แกโนเคลย์..... 50
4.5	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์..... 51
4.6	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์..... 52
4.7	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาค CTS และ อนุภาคของ PP-g-CTS..... 53
4.8	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาค CTS-MMT และ PP-g-CTS-MMT..... 54
4.9	TGA เทอร์โมแกรมของไคโตซาน พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิก- แอนไฮไดรด์และไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.. 56
4.10	TGA เทอร์โมแกรมของไคโต-ออร์แกโนเคลย์และไคโต-ออร์แกโนเคลย์ ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์..... 57
4.11	ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและPP/PP-g-CTS และ PP/PP-g-CTS-MMT..... 61
4.12	ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS ที่ปริมาณต่างๆ..... 62
4.13	ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMTที่ปริมาณต่างๆ..... 63
4.14	TGA เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 350-550 °C ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS draw ratio เท่ากับ 50 รอบ/นาที ที่ปริมาณ PP-g-CTS ต่างกัน..... 65
4.15	TGA เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 350-550 °C ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT draw ratio เท่ากับ 50 รอบ/นาที ที่ปริมาณ PP-g-CTS-MMT ต่างกัน..... 66

ภาพที่	หน้า
4.16	ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใย PP, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT..... 68
4.17	ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใย PP, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT..... 69
4.18	ค่ามอดุลัสของเส้นใย PP, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTSและ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT..... 69
4.19	อัตราการลามไฟของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT ที่ความเข้มข้นของสารตัวเติมต่างกัน..... 71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการนำเส้นใยพอลิโพรพิลีนมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ สิ่งทอโยธา สิ่งทอที่ใช้สำหรับตกแต่งบ้าน รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ส่งผลให้เส้นใยพอลิโพรพิลีนได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามพอลิโพรพิลีนประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจึงทำให้เส้นใยพอลิโพรพิลีนติดไฟได้ง่ายและเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว โดยให้เปลวไฟที่ไม่มีเขม่าควัน ปราศจากเก้าอี้ถ่าน และแผ่ขยายลุกลามได้ง่าย นอกจากนี้พอลิโพรพิลีนสามารถเกิดการหลอมและหยุดได้ง่ายในขณะที่เผาไหม้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นข้อจำกัดและทำให้เส้นใยพอลิโพรพิลีนไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานในสถานที่ที่อาจเกิดอัคคีภัยได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เส้นใยพอลิโพรพิลีนจะต้องได้รับการพัฒนา

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีนโดยการเติมสารหน่วงไฟลงในเส้นใยซึ่งสารหน่วงไฟที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ฟอสฟอรัส แอนติโมนีคลอไรด์ แอนติโมนี โบรไมด์ โบรอน และสารประกอบไนโตรเจน โดยสารประกอบที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง สารประกอบทั้งสองชนิดนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟสูงแต่ก็เป็นอันตรายสูงหากสูดดมเข้าไปในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงเส้นใยพอลิโพรพิลีนโดยการเติมสารเติมแต่งต่างๆ ได้แก่ ผงสี (pigment) เพื่อให้ได้สีตามต้องการ สารแอนติออกซิแดนต์ (antioxidant) เพื่อลดการแตกสลายเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารก่อผลึก (nucleating agent) เพื่อให้พอลิโพรพิลีนไม่แข็งเปราะ หรือคลาริไฟเออร์ (clarifier) เพื่อช่วยทำให้พอลิโพรพิลีนมีลักษณะใส การปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนยังสามารถทำได้โดยการเติมฟิลเลอร์จากธรรมชาติ เช่น แร่ดิน (clay) แคลเซียมคาร์บอเนต พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส ลิกนิน ไคโตซาน โดยการเติมฟิลเลอร์จำพวกนี้มีความน่าสนใจ คือ จะทำให้เกิดชั้นซาร์ที่ทนต่อความร้อนปกคลุมพื้นผิววัสดุ ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน อีกทั้งควันเขม่ามีความเป็นพิษต่ำกว่าสารหน่วงไฟที่นิยมใช้กันอีกด้วย ซึ่งในโครงการวิจัยนี้สนใจการพัฒนาเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตผสมเคลย์/ไคโตซาน โดยมีความคาดหวังว่าจะได้เส้นใยพอลิโพรพิลีนที่มีสมบัติด้านการหน่วงไฟ การต้านการหลอมหยุดและสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมฟิลเลอร์จากไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ และเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนอเคลย์
2. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติต้านทานการหลอมหยด สมบัติหน่วงไฟ และสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมฟิลเลอร์ที่มีส่วนผสมของไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ที่เรียกว่า “ไคโต-ออร์แกนอเคลย์”
2. ดัดแปรไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์
3. ศึกษาสมบัติของอนุภาคไคโตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร ได้แก่ โครงสร้าง สัณฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชันทางเคมี สมบัติทางความร้อน และการต้านเชื้อแบคทีเรีย
4. ขึ้นรูปเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานดัดแปรและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปร ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว และศึกษาผลของปริมาณไคโตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรที่มีต่อสมบัติของพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต
5. ศึกษาสมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล ต้านการหลอมหยด การหน่วงไฟ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

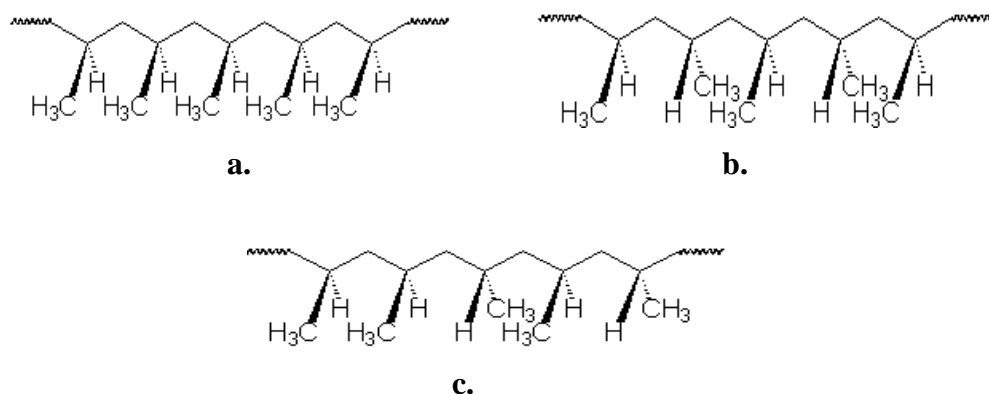
ได้เส้นใยพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนอเคลย์คอมพอสิตที่มีสมบัติหน่วงไฟและต้านการหลอมหยดและสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิโพรพิลีน [1]

ในปี พ.ศ. 2493 พอลิเมอร์ประเภทพอลิโอเลฟินที่จำหน่ายในท้องตลาดมีเพียง พอลิเอทิลีน พอลิโอไซบิวทิลีน และพอลิโอไซบิวทิลีน-ไอโซพรีน โคพอลิเมอร์ เท่านั้น ซึ่งความพยายามที่จะเตรียมพอลิโอเลฟินตัวอื่นๆ ยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเกินไป จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2497 ศาสตราจารย์กิลิโอ แนตตา (Prof. Giulio Natta) ชาวอิตาลีได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมัน ค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิโพรพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงแตกต่างกันไปและส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกันไปด้วย โดยสามารถแบ่งชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration) ได้สามแบบ คือ ไอโซแทกติก (isotactic) ซินดีโอแทกติก (syndiotactic) และ อะแทกติก (atactic) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งโครงสร้างทั้งสามแบบนี้มีความเป็นระเบียบที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกัน โดยไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนจะมีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและมีความแข็งแรงกว่าแบบอื่นๆ ซึ่งมีส่วนของอสัณฐานทำให้ความแข็งแรงลดลง และในปี พ.ศ.2500 บริษัทที่ผลิตไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเพื่อการค้าคือบริษัท Montecatini (Moplen) และต่อมาพอลิโพรพิลีนกลายเป็นพอลิเมอร์สำคัญอีกชนิดหนึ่ง



ภาพที่ 2.1 ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration):
a.) ไอโซแทกติก(isotactic), b.) ซินดีโอแทกติก(syndiotactic) และ c.) อะแทกติก(atactic) [2]

2.1.1 การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน

การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีนเริ่มจากการนำโพรพิลีนมอนอเมอร์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา” ที่นิยมใช้คือ ไทเทเนียมไตรคลอไรด์กับอะลูมิเนียมไตรเอทิล อะลูมิเนียมไตริวทิลหรืออะลูมิเนียมไตรเอทิลโมโนคลอไรด์ในแนพธา ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โดยอาจใช้ตัวเร่งร้อยละ 10 และร้อยละ 90 ผ่านเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอร์ประมาณร้อยละ 80-85

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันมักใช้แบบแขวนลอยมากกว่าแบบสารละลาย การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวย่ำสายโซ่ หรืออาจปรับเปลี่ยนสัดส่วนของตัวเร่ง อุณหภูมิ ความดันหรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวัสดุที่อยู่ในของผสมหลังปฏิกิริยามีดังนี้

1. ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน
2. อะแทกติกพอลิโพรพิลีน
3. ตัวทำละลาย
4. มอนอเมอร์
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการแยกไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนออกจากของผสมสามารถทำได้โดยผ่านของผสมที่ได้จากเตาปฏิกรณ์ไปยัง flash drum เพื่อแยกมอนอเมอร์ที่เหลือออกไปแล้วผ่านไปเครื่องเซนตริฟิวจ์เพื่อแยกตัวทำละลายซึ่งละลายอะแทกติกพอลิเมอร์อยู่ด้วยออกไป จากนั้นแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกด้วยเมธานอลผสมกรดเกลือเล็กน้อย แล้วผ่านขบวนการเซนตริฟิวจ์อีกครั้งเพื่อแยกเมธานอล พอลิเมอร์ที่ได้นำไปล้างให้สะอาด และทำให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส

2.1.2 สมบัติของพอลิโพรพิลีนและการใช้ประโยชน์

พอลิโพรพิลีนที่เตรียมได้โดยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 มีความหนาแน่นประมาณ 0.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) 164-170 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติก และคลอริเนตไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป มีความทนแรงดึง ความแข็งดึง และความแข็งที่สูงมาก มีความมัน (gloss) ที่ดี มีความเฉื่อยต่อสารเคมีและความชื้น แต่มีเสถียรภาพทางความร้อน แสงและการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำทำให้พอลิโพรพิลีนที่ใช้ทางการค้ามักผสมสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอน ไยแก้ว ยาง และสารแอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติที่ดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน พอลิโพรพิลีนมักใช้ทำวัสดุ

ของใช้ในครัว แผ่นฟิล์มสำหรับห่อ ถุงพลาสติกใสของร้อน เชือกปอพลาสติก กล่องแบตเตอรี่ กระเป่า ถังขยะ ถังน้ำ ท่อน้ำ ชิ้นส่วนตู้เย็น เส้นใยสิ่งทอทั้งแบบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว

2.2 เส้นใยพอลิโพรพิลีน

เส้นใยพอลิโพรพิลีนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีความแข็งแรงสูง ราคาถูก โดยมีการเพิ่มปริมาณการใช้ถึงร้อยละ 5 ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา โดยในปีพ.ศ. 2542 ทั่วโลกได้มีการบริโภคเส้นใยพอลิโอเลฟินมากกว่า 5.5 ล้านตัน หรือคิดเป็นปริมาณร้อยละ 18 ของการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ทั่วโลก [3]

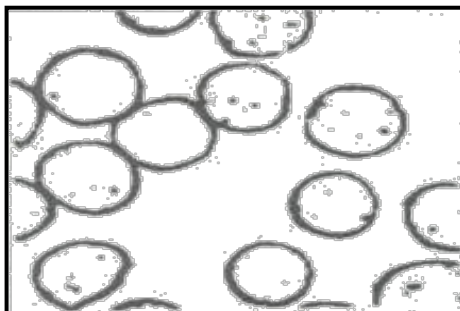
ในยุคแรกรูปแบบของเส้นใยพอลิโพรพิลีนยังมีจำกัดเนื่องจากเหตุผลทางด้านลิขสิทธิ์จึงสามารถผลิตได้เพียงรูปแบบของสายเทปและเส้นใยยาว จนกระทั่งในช่วงต้นของปีพ.ศ.2503 จึงได้มีการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนในรูปแบบของเส้นใยสั้นออกมาสู่ตลาดและในช่วงต้นของปีพ.ศ. 2513 เป็นยุคเริ่มแรกของการนำกระบวนการอัดรีดมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มซึ่งนำไปสู่การผลิตเส้นใยในรูปแบบที่หลากหลายขึ้น [4] ในปัจจุบันการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนทำได้โดยนำเม็ดพอลิโพรพิลีนเรซินเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวผ่านหัวรีดได้เส้นใยออกมา จากนั้นนำเส้นใยยาวเข้าสู่กระบวนการดัดยัดให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบและเกิดผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะของเส้นใยที่พบมีหลากหลายรูปแบบทั้งขนาด รูปทรง ความมัน และสมบัติเฉพาะด้าน โดยขึ้นกับการใช้งานที่ต้องการ [5]

เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถนำมาใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น เชือก อวน พรหมปูพื้น สนามหญ้าเทียม ฝ้าคลุมดิน วัสดุทางการแพทย์ วัสดุยานยนต์ วัสดุการเกษตร ผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้าน และเครื่องนุ่งห่ม นอกจากนี้เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เพื่อทำเป็นเสื้อกันกีฬา เสื้อโค้ท หรือ ผ้าห่มเป็นต้น [3,5,6]

2.2.1 สมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [5,6]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยพ่นที่หน้าตัดกลม และเป็นแท่งยาวใส มีความมันหลายระดับตั้งแต่ทึบ กึ่งทึบ สว่าง และพบทั้งชนิดของเส้นใยยาว และเส้นใยสั้น (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยโพลีโพรพิลีน [6]

ความแข็งแรง เส้นใยโพลีโพรพิลีนมีความแข็งแรงดีมาก โดยขึ้นกับระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์หรือน้ำหนักโมเลกุล สำหรับการใช้งานด้านสิ่งทอทั่วไปจะมีค่าความแข็งแรง (Tenacity) ระหว่าง 4.5 ถึง 6.0 กรัม/ดีเนียร์ หากนำไปใช้งานเพื่อทำเป็นเชือกจะมีความแข็งแรงประมาณ 9.0 กรัม/ดีเนียร์ขึ้นไป หรือใช้ในลักษณะงานพิเศษๆ ค่าความแข็งแรงของเส้นใยอาจมีค่าถึง 13 กรัม/ดีเนียร์

สภาพยืดหยุ่น ค่อนข้างดี ใกล้เคียงกับไนลอน และถ้าได้รับแรงยืดคงที่เป็นเวลานานติดต่อกัน จะเกิดผลอันเนื่องมาจากเวลาที่รับแรงทำให้เกิดการยืดตัวถาวรขึ้น

การคืนตัวจากแรงอัด เป็นสมบัติเด่นประการหนึ่งของโพลีโพรพิลีน ทำให้เหมาะกับการทำเป็นพรม

สมบัติด้านความยืดตัว เส้นใยยาวเดี่ยวของโพลีโพรพิลีนเชิงพาณิชย์จะมีค่าความยืดตัวที่จุดขาดในขอบเขตร้อยละ 15 ถึง 25 เส้นด้ายใยยาวหลายๆ เส้นจะมีค่าร้อยละ 20-30 ส่วนใยสั้นจะมีค่าร้อยละ 20-35

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น โพลีโพรพิลีนเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนจึงไม่ดูดซึมน้ำ และน้ำก็ไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงและสมบัติเชิงกลอื่นๆ ของเส้นใย ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำจึงสามารถถ่ายเทความชื้นได้ดี ทำให้เหมาะสมต่อการทำผ้าอ้อมสำหรับเด็ก

สมบัติด้านความหดตัว การหดตัวของเส้นใยโพลีโพรพิลีนนั้น ขึ้นอยู่กับเส้นใยจะได้รับจากการกระทำของกระบวนการผลิตมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่เส้นใยต้มในน้ำเดือด เส้นใยยาวเดี่ยว (Mono filament) จะหดตัวมากที่สุด ประมาณร้อยละ 15 และหลังจากแช่ในน้ำเดือดนานถึง 20 นาที ส่วนของเส้นใยยาวและสั้น อาจจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0 ถึง 10

การนำความร้อน เส้นใยโพลีโพรพิลีนมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำกว่าเส้นใยชนิดอื่น จึงเหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าหรือผ้าห่มที่ให้ความอบอุ่น

ความถ่วงจำเพาะ เป็นเส้นใยที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ (0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) จึงเป็นเส้นใยที่ลอยน้ำได้

สมบัติทางเคมี

กรด พอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่ทนต่อกรดได้ดี ยกเว้นกรดไนตริกเข้มข้นที่อุณหภูมิสูง
ด่าง พอลิโพรพิลีนทนต่อด่างได้ดีมาก สามารถซักล้างด้วยสบู่ น้ำยาซักผ้า โดยไม่มีผลเสียและความแข็งแรงในขณะเปียกไม่เปลี่ยนแปลง

สารซักฟอก พอลิโพรพิลีนทนต่อสารซักฟอกทั่วไปได้ดีในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 150 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ถ้าสูงกว่านั้นจะมีผลเสียทำให้ความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการซักพอลิโพรพิลีนจึงไม่ควรซักด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินไป

ราและแมลง เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความต้านทานต่อการเกิดราและการถูกทำลายโดยแมลง

แสง ภายใต้อากาศปกติ หากได้รับแสงโดยตรงเป็นเวลาดูติดต่อกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง

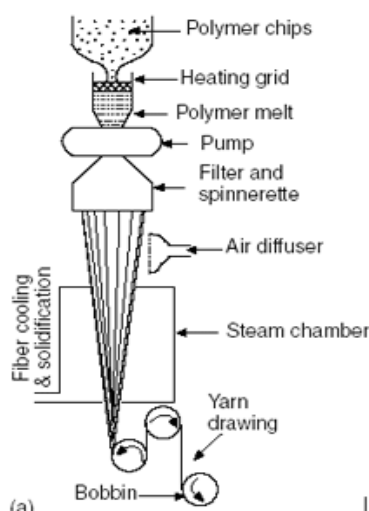
ข้อเสียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [6]

- 1) อุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำ ทำให้มีความไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์เสียรูปทรงได้ง่าย
- 2) ย้อมสีติดยาก
- 3) มีเสถียรภาพต่อรังสียูวีและเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ
- 4) ความสามารถในการคืนตัว (resilience) ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเตอร์หรือไนลอน
- 5) แรงแยัดเกาะกับกาวและเลเทกซ์ต่ำ
- 6) ติดไฟได้ง่าย จึงต้องการสารหน่วงไฟและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

2.3 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว

การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (melt spinning) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมารองรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ได้เป็นอย่างดี มีความเร็วในการผลิตสูง เป็นการปั่นเส้นใยโดยตรงด้วยการทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้แล้วมีสภาพเป็นของเหลวด้วยความร้อน โดยเส้นใยที่ถูกปั่นเป็นเส้นอยู่ในสภาพที่กระแสมผ่านเพื่อให้เกิดการเย็นตัวลง ได้เส้นใยที่มีความแข็งแรง โดยนับเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้สารเคมีหรือตัวทำละลาย อีกทั้งสามารถควบคุมพื้นที่ภาคตัดขวางได้อย่างแม่นยำ [7]

กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวอาจเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจนออกมาเป็นเส้นใยในสายการผลิตเดียวหรือเป็นกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องโดยเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันออกมาได้เป็นเม็ดพอลิเมอร์ (polymer chip) แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ไปฉีดเป็นเส้นใยอีกทอดหนึ่ง (ภาพที่ 2.3) สมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบหลอมเหลวได้ต้องสามารถทนต่อสภาวะที่ใช้ในการหลอมตัว มีการเปลี่ยนแปลงสภาพจากของแข็งเป็นของเหลว แล้วผ่านกระบวนการอัดรีดผ่านสปินเนอร์เรท (spinneret) จากนั้นเกิดการเย็นตัวเป็นเส้นใยได้ พร้อมทั้งมีการคงรูปในภาวะที่เป็นของเหลวได้ดี โดยความเร็วที่ใช้ในการผลิตมีตั้งแต่ 1,000 เมตรต่อนาที จนถึง 6,000 เมตรต่อนาที ในกรรมวิธีที่เสร็จในขั้นตอนเดียว (one step high speed spinning) และได้รับการพัฒนาให้ความเร็วในการผลิตสูงขึ้นดังเช่นในการผลิตแบบ melt-blow ซึ่งมีได้ถึง 10,000 เมตรต่อนาที แต่ปัจจุบันการผลิตให้เป็นเส้นยาว (filaments) ที่เป็นที่ยอมรับกันมากจะเป็นการผลิตเส้นใยที่เป็น POY (partially oriented yarn) และ FDY (fully draw yarn) การเติมสารเติมแต่งจะสามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ ให้กับเส้นใย การใช้สารเติมแต่งที่มักใช้กับงานพลาสติก ทั้งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (fillers) และสารเสริมแรง (reinforcements) เช่นการใช้ เส้นใยแก้ว ไมกา (mica) ทัลค์ (talc) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล อย่างไรก็ตามสารตัวเติมที่ใช้ อาทิ แคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อช่วยลดราคาต้นทุนการผลิตลง และเพิ่มสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง (stiffness) และ ความต้านทานต่อการแตกหัก (impact strength) ในปัจจุบันการนำอนุภาคนาโนมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยสังเคราะห์ กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากอนุภาคนาโนสามารถสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน [8]



ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว [9]

2.4 แร่ดินเหนียว (clay mineral) [10]

แร่ดินเหนียวเป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังของหิน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กระดับไมครอน มีธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของแร่ดินเหนียวคือสารประกอบแอนไฮดรัสอะลูมิโนซิลิเกต (anhydrous aluminosilicate) ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นเกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินา (alumina) และซิลิกา (silica) และระหว่างชั้นมีไอออนบวกของโลหะเช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมหรือเหล็กแทรกอยู่ จากโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวออกได้เป็น 5 ประเภทคือ

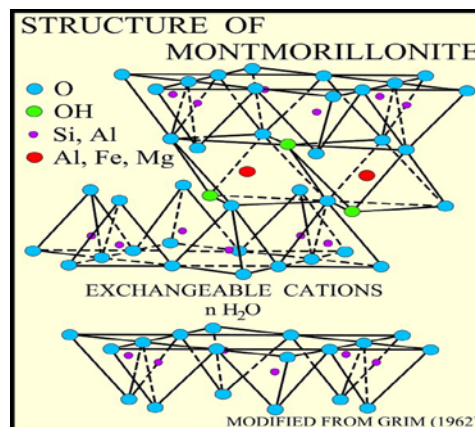
1. Kaolinite มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ มีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 1:1 ประกอบด้วยชั้นซิลิกาเรียงสลับกับชั้นอะลูมินา
2. Illite เป็นแร่ดินชนิด 2:1 ในหน่วยโครงสร้างจะมีชั้นซิลิกา 2 ชั้น ประกบชั้นอะลูมินาอยู่ และในแต่ละหน่วยมีไอออนของโพแทสเซียมแทรกอยู่ ทำให้ดินกลุ่มนี้ไม่สามารถพองตัวในน้ำได้
3. Smectite โครงสร้างเป็นชนิด 2:1 เหมือนกลุ่ม illite แต่ในชั้นโครงสร้างมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ และไอออนบวกส่วนใหญ่ที่พบเป็น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและโซเดียม แร่กลุ่มนี้มีความสามารถในการพองตัวในน้ำได้ดี
4. Vermiculite มีโครงสร้างเหมือน Smectite แต่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่า เมื่อเผาแล้วมีลักษณะคล้ายตัวหนอน
5. Palygorskite มีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่

แร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้ในงานส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม kaolinite และ smectite โดยกลุ่ม kaolinite นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้อง ถ้วยชาม และสุขภัณฑ์ เป็นต้น สำหรับกลุ่ม smectite ที่รู้จักกันดี คือ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (drilling mud) และเป็นสารหล่อลื่น เป็นต้น ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พยายามคิดค้นและสมบัติของแร่ดินเหนียวนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวของแร่ดินเหนียวให้มีความชอบสารอินทรีย์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น ใช้เป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี เป็นต้น

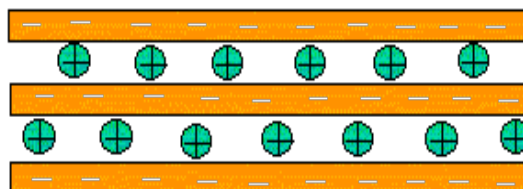
จุดเด่นของแร่ดินเหนียว คือ มีโครงสร้างผลึกที่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้ว ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางและนำไปสู่เทคโนโลยีของนาโนเคลย์ (nanoclay) และนาโนคอมพอสิต (nanocomposite)

2.4.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite)

มอนต์มอริลโลไนต์มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไป คือ $\text{SiO}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ จัดเป็นแร่ที่นิยมนำมาใช้เตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นซ้อนกันแบบ 2:1 กล่าวคือประกอบด้วยชั้นของซิลิกา 2 ชั้น ชั้นของอะลูมินา 1 ชั้น แทรกอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยแต่ละชั้นมีความหนาเพียง 0.7-1.0 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1,000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์ โดยมีช่องว่างระหว่างชั้นที่เรียกว่า gallery หรือ interlayer พื้นผิวของชั้นอะลูมินอสิลิเกตมีประจุลบซึ่งยึดเกาะกันด้วยประจุบวกของไอออนของโลหะภายในช่องแกลลอรี่ เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [11]

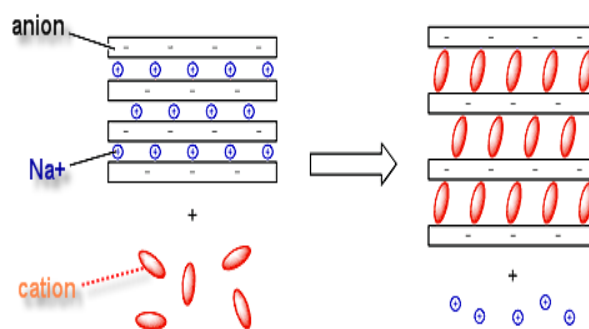


ภาพที่ 2.5 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตยที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์ [12]

เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติที่ชอบน้ำและดูดน้ำได้มาก ซึ่งโดยทั่วไปความหนาของชั้นผลึกขยายจนถึง 1.2 นาโนเมตร เมื่อมีความชื้นเนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ขยายตัวได้มากจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เคมีภัณฑ์ เครื่องสำอาง ปิโตรเลียม ตลอดจนในงานบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.4.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay)

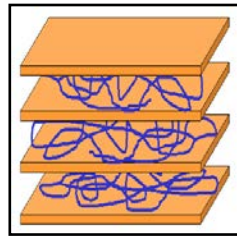
ในธรรมชาติมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงจำเป็นต้องปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) กับมอนต์มอริลโลไนต์ โดยเตรียมเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (modified montmorillonite) ก่อนที่จะนำไปผสมกับพอลิเมอร์ โดยวิธีที่ง่ายที่สุดในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ คือ การทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ระหว่างประจุบวกภายในช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์กับสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก (organic cation) เช่น เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) หรือเกลือฟอสโฟเนียม (phosphonium salt) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



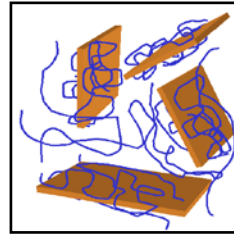
ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรแล้วจะเรียกว่า “ออร์แกโนเคลย์” หรือ “ออร์แกโนฟิลิกเคลย์” โดยปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกจะทำให้ ระยะห่างของช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์หรือแกลลลอรี่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เข้าไปแทนที่ ซึ่งจะเรียกออร์กาโนเคลย์ที่มีโครงสร้างเช่นนี้ว่า ออร์แกโนเคลย์แบบแทรกสอด (intercalated clay) แต่ถ้าช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์เกิดการขยายตัวมากจนทำให้แผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์แยกออกจากกันและกระจายกระจายอย่างไม่เป็น

ระเบียบ จะเรียกว่าออร์แกโนเคลย์แบบแยกจากกัน (exfoliated clay) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร



Intercalated clay

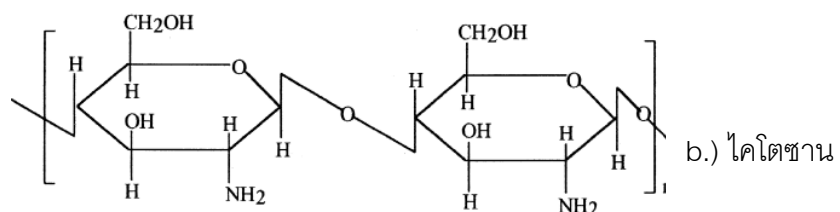
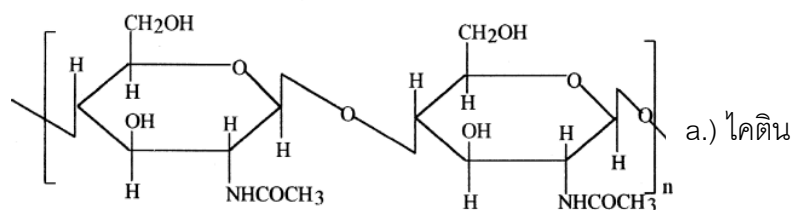


Exfoliated clay

ภาพที่ 2.7 ชนิดของออร์กาโนเคลย์ [13]

2.5 ไคตินและไคโตซาน [14]

ไคติน เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติ พบในเปลือกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจำพวกแมลง กุ้ง ปู ปลาหมึก และผนังเซลล์ของเห็ด รา เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อไม้ ไคตินเป็นโพลิเมอร์สายยาวที่ประกอบขึ้นจากน้ำตาลหน่วยย่อย คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucoamine มาเรียงต่อกันเป็นสาย (ภาพที่ 2.8) ลักษณะเป็นของแข็งละลายได้ในกรดอินทรีย์เข้มข้น เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ แต่ไม่ละลายในด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [15]

ไคตินที่ได้จากแต่ละแหล่ง มีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ คือ

1. แบบอัลฟา: เป็นการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกันอย่างเป็นระเบียบ มีความแข็งแรงสูงและมีความเสถียรมากที่สุดในธรรมชาติ ได้แก่ ไคตินจากเปลือกกุ้ง และกระดองปู

2. แบบเบตา: เป็นการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน จึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบอัลฟา ได้แก่ ไคตินจากแกนปลาหมึก

3. แบบแกมมา: เป็นการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับทิศทางเดียวกัน) มีความเสถียรน้อยที่สุดในธรรมชาติ ได้แก่ ไคตินจากเห็ด รา และพืชชั้นต่ำ

ในธรรมชาติไคตินมักอยู่รวมกับโปรตีนและเกลือแร่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดเกลือแร่ออก (deminalization) โดยใช้กรดเจ็จจาง และกำจัดโปรตีนออก (deproteinization) โดยใช้ด่างเจ็จจางจะได้ไคติน

ไคโตซาน คือ อนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิล ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ในไคติน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า deacetylation ไคโตซานที่ได้จะมีส่วนผสมของ น้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน โดยมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (หรือ degree of deacetylation) มากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลนี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความเหนียว เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายยาวและมีความเหนียวสูงกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล และน้ำหนักโมเลกุล จากสมบัติที่โดดเด่นของไคโตซาน ได้แก่ ความเป็นประจุบวกสูงในสภาวะกรดอ่อน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้ไคโตซานถูกนำมาใช้ในหลายๆด้าน ดังนี้

1. ด้านอาหาร: ไคโตซานมีสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด ไคโตซานมีความเป็นประจุบวกสูงจึงสามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

2. ด้านอาหารเสริม: มีรายงานว่า ไคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอล และไขมันในเส้นเลือด

โดยโคโคซานไปจับกับคอเลสเทอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคโคซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้

3. ด้านการแพทย์: มีการวิจัยนำแผ่นโคโคซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่เป็นแผลเป็น โดยโคโคซานช่วยลดการ contraction ของ fibroblast ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น นอกจากนี้ ยังมีรายงานการนำ glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่า ข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ proteoglycan และ matrix ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น

4. ด้านเภสัชกรรม: มีรายงานการใช้โคโคซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

5. ด้านการเกษตร: เนื่องจากโคโคซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

6. ด้านการปศุสัตว์: โคโคซานถูกนำมาผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

7. ด้านการบำบัดน้ำเสีย: โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมักมีสารแขวนลอยสูง โคโคซานซึ่งมีประจุบวกสูง สามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี โดยโปรตีนที่ได้สามารถแยกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป นอกจากนี้ โคโคซานยังสามารถดูดซับสีของโลหะหนัก และจับสี (dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

8. ด้านสิ่งทอ: โคโคซานสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอรวมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น

2.5.1 การใช้โคโคซานเป็นเส้นใยและเส้นด้าย [15]

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โคโคซานทางด้านเส้นใยและสิ่งทอ พบว่า สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย

เส้นใยไคตินและไคโตซานสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ฝ้านอนวูฟเวน (nonwoven) ฝ้ายปิดแผลไหมละลาย เป็นต้น ในขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูปใช้วิธีละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงปั่น (spin) เส้นใยผ่านหัวรีดที่มีรูเล็กๆ ที่เรียกว่า spinneret ลงในอ่างสารเคมีที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (coagulation bath) ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การปั่นเส้นใยแบบเปียก (wet spinning)

ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (Textile finishing agent)

รายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไคโตซานมาใช้ในการตกแต่งผ้าเพื่อปรับปรุงสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มีอยู่มากมายและยังได้พัฒนาสารตกแต่งเพื่อป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความไวและสามารถสร้างพันธะที่แข็งแกร่งกับเส้นใย กลไกการทำงานของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแน่ชัด แต่มีการตั้งสมมติฐานของกลไกการทำงานไว้ว่า อาจเกิดจากการที่ประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเข้าไปจับกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แล้วทำให้เกิดช่องหรือโพรงทำให้ผนังเซลล์รั่วและตายลงในที่สุด นอกจากนี้ไคโตซานสามารถนำมาใช้ตกแต่งผ้าฝ้ายเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี อาทิ ค่าองศาการคืนตัวจากรอยยับขณะแห้งและเปียก (dry-wet wrinkle recovery angle) และความทนแรงดึง เป็นต้น

ใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ (Textile Auxiliaries)

บทบาทของไคโตซานที่ถูกนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ ได้แก่ การใช้ไคโตซานเป็นทั้งตัวประสาน (binder) และสารให้ความหนืดชั้นในแบ่งพิมพ์ (thickener) ในการพิมพ์ผ้า polyester ซึ่งพบว่า คุณภาพงานพิมพ์บนผืนผ้ามีความคมชัด และมีความสม่ำเสมอ คงทนต่อการซักได้ดี และสามารถทำความสะอาดสกรีนได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงผสมร่วมกับสารที่ใช้ในการตกแต่งกันยับคือ 4,5-dihydroxy-1,3-dimethyl-2-imidazolidinone (DHDMI) และตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลทำให้ผ้าฝ้ายสามารถดูดซับสีไดเร็กซ์และสีแอซิดได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถนำมาใช้เป็นเจลอุ้มน้ำหรือนำมาขึ้นรูปเป็นเม็ดปิดเส้นใย และแผ่นฟิล์มเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ยาและเครื่องสำอางตลอดจนนำมาใช้เป็นสารสำหรับตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารเคลือบดัดแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่โดดเด่น และหน้าที่ของโคโตซานต่อการประยุกต์ใช้ [17]

*สมบัติและหน้าที่	** การประยุกต์ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปใช้แล้ว
1. โพลีอีเล็กโตรไลต์และคีเลต (B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตัวรวมตะกอนและตัวตกตะกอน และการทำหน้าทีแคทออดอนิกสำหรับบำบัดน้ำเสีย 2. ตัวตกตะกอนโปรตีนที่เป็นกรด และตัวตกตะกอนเพื่อแยกยูเรเนียม และโลหะจำเพาะบางชนิด ตลอดจนโลหะกัมมันตภาพรังสี
2. การขึ้นรูปเป็นลักษณะต่างๆ (A, B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ขึ้นรูปเป็นเส้นใย สิ่งทอ 2. ขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อบาง เพื่อใช้ในการกรองแยก เช่น แยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ 3. ขึ้นรูปเป็นเม็ด เป็นแคปซูลเพื่อการเพาะเซลล์
3. การเป็นเจลที่อุ้มน้ำ (B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. การใช้หุ้มเซลล์ และหุ้มเอนไซม์ 2. เป็นตัวกลางสำหรับการแยกด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบเจล 3. การขึ้นรูปเป็นรูปพูนแบบฟองน้ำ 4. เซอโรเจล
4. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (A, B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 2. การทำวัสดุผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์
5. การย่อยสลายด้วยน้ำ (A, B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ผลิตภัณฑ์โคซามีน และโพลิโกเมอร์ของน้ำตาลต่างๆ (โดยทางเคมีและเอนไซม์)
6. สารเหนียวและอุ้มน้ำ (B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง สำหรับบำรุงรักษาผิวและผม

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่โดดเด่น และหน้าที่ของโคโตซานต่อการประยุกต์ใช้ (ต่อ)

*สมบัติและหน้าที่	**การประยุกต์ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปใช้แล้ว
7. การดูดซับโมเลกุลต่างๆ (A, B, C)	1. ใช้เป็นตัวกลางเพื่อทำโครมาโตกราฟีแบบต่างๆ เช่น แบบดูดซับและแบบแลกเปลี่ยน เพื่อแยกเลกติน, โคติเนส และไลโซไซม์
8. ปฏิิกิริยาเคมี (A, B)	1. การสร้างกลิ่น รส 2. การขจัดกลิ่นของฟอร์มาลดีไฮด์ 3. การสังเคราะห์สารอนุพันธ์ต่างๆ เป็นสารต่อเนื่อง
9. การนำไฟฟ้า (B)	1. การนำแผ่นเยื่อบางโคโตซานผสมลิเทียม ไตรเฟลท ที่ใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ ที่ปราศจากมลพิษ
10. การเคลือบ (B)	1. การทำสีในการพิมพ์ การย้อมและสารเติมแต่งต่างๆ 2. การทำสีทา 3. การทำล้าโพง ทำเครื่องดนตรี 4. เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมกระดาษ 5. เคลือบผิวผลไม้ ผัก เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา 6. เคลือบรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
11. ตัวดึงออกมา (A, B, C)	1. เป็นตัวเหนียวนำของโปรตีนที่ก่อให้เกิดโรคได้ 2. สารที่ใช้ในการเกษตร เช่น การเคลือบเมล็ด การพ่นเคลือบใบ
12. ตัวต้านจุลินทรีย์ (B)	ใช้ในการเก็บรักษาอาหารและผลไม้
13. ส่งเสริมพวกจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (A, B)	ช่วยในการปรับปรุงจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น 1. ในดินและในน้ำ 2. ในสัตว์และในลำไส้คน

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่โดดเด่น และหน้าที่ของโคโคซานต่อการประยุกต์ใช้ (ต่อ)

*สมบัติและหน้าที่	**การประยุกต์ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปใช้แล้ว
14. สารที่ปราศจากพิษ	เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิต จึงใช้ได้ทั่วไป
15. สร้างภูมิคุ้มกันต้านทานได้ (A, B, C)	1. เป็นตัวเหนียวนำไลโซไซม์ และ LPL activities ใน เนื้อเยื่อและในเลือด 2. ต่อด้านสารก่อมะเร็ง
16. สมานแผล (A, B, C)	1. ใช้เป็นตัวรักษาแผล โดยเฉพาะไฟไหม้ และแผลที่ ผิวหนังสำหรับคน สัตว์ และต้นไม้ (ทำ ผิวหนังเทียม) 2. รักษากระดูก เอ็น และข้อหมแฮมพวกเอ็นยึด อวัยวะต่างๆ
17. ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (A, B, C)	1. ทำไหมเย็บแผลที่ละลายได้ 2. สารปลดปล่อยยาอย่างช้าๆ 3. ควบคุมการย่อยสลายของเอ็นไซม์
18. ลดโคเลสเตอรอล (B)	1. ใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ และใช้เติมแต่งใน อาหาร สัตว์ 2. ลดความดันเลือด
19. ห้ามเลือดต่อต้านการเกิดลิ่มเลือด (C)	1. ทำยาห้ามเลือด 2. ใช้ทำเส้นเลือด ใช้ทำคอนแทคเลนซ์ตา
20. ใช้เป็นฟิล์มเคลือบผลไม้ (B)	1. ช่วยให้ผลไม้ และผักสดอยู่นาน
21. เข้ากันได้กับอวัยวะร่างกาย (A, B, C)	1. รักษาแผล 2. ไหมเย็บแผล

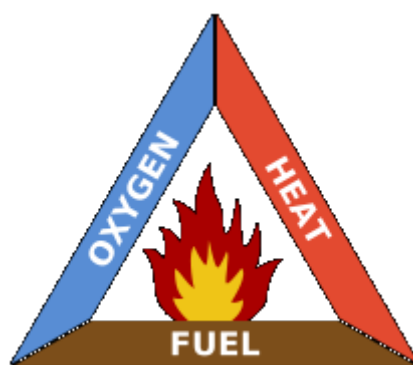
หมายเหตุ: * A คือ สารโคติน B คือ สารโคโคซาน C คือ อนุพันธ์ของสารโคตินและสารโคโคซาน

** ที่ขีดเส้นใต้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจำหน่ายแล้วในตลาด

2.6 การเผาไหม้ของวัสดุ [19, 20]

2.6.1 องค์ประกอบของการเผาไหม้

องค์ประกอบที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ มี 3 องค์ประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งหากขาดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง หรือ องค์ประกอบทั้ง 3 ชนิดผสมกันในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมแล้วการเผาไหม้ก็จะไม่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.9 Fire Triangle

1) เชื้อเพลิง แบ่งโดยใช้เกณฑ์ทางกายภาพได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

แก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ โพรเพน บิวเทน ไฮโดรเจน อะเซทิลีน คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันสน แอลกอฮอล์ เป็นต้น

เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน เสื้อผ้า ไม้ กระดาษ หนังสือดี พลาสติก เป็นต้น

2) สารออกซิไดซ์ ได้แก่ ออกซิเจน เป็นแก๊สที่ช่วยทำให้การเผาไหม้เกิดง่ายขึ้น

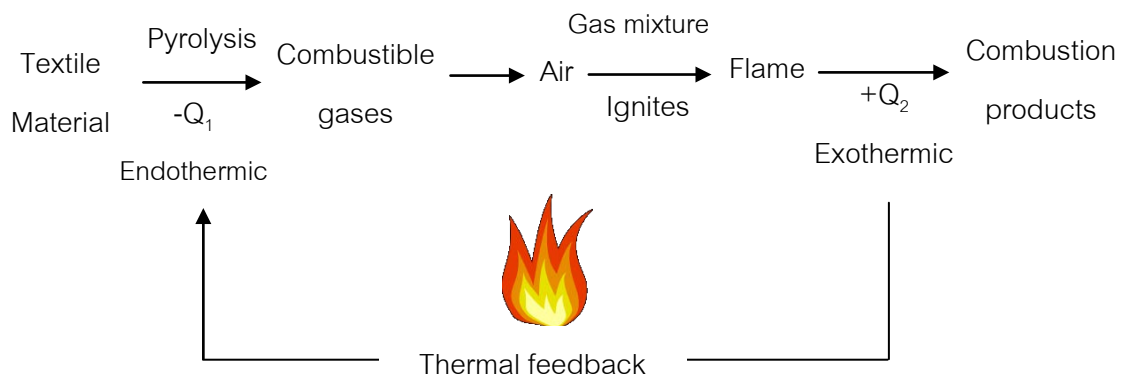
3) ความร้อน แหล่งให้ความร้อนต่างๆ ได้แก่ ความร้อนจากแสงแดด แผ่นโลหะร้อน ประกายไฟ เป็นต้น เป็นสิ่งที่ทำให้เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงจนถึงจุดติดไฟ

กลไกที่สำคัญในขณะกำลังเกิดการเผาไหม้ของวัสดุ นั่นคือ การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chemical chain reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เร่งขยายผลของการลุกไหม้ให้มีขนาดใหญ่และต่อเนื่อง

2.6.2 การเผาไหม้ของสิ่งทอ (Textile Combustion)

ลักษณะประการหนึ่งของสิ่งทอส่วนใหญ่เมื่อเจอเปลวไฟคือ มันจะถูกเผาไหม้ ก่อให้เกิดความร้อนและอาจเป็นตัวเชื้อไฟได้ ได้มีการประมาณการจากหน่วยงานดับเพลิงว่า ประมาณร้อยละ 60 ของเพลิงไหม้ในบ้านเรือน เกิดจากวัสดุสิ่งทอ ดังนั้น การแก้ไขปัญหาด้วย

การยับยั้งการติดไฟหรือหน่วงการติดไฟบนสิ่งทอ จึงเป็นเรื่องที่มีการศึกษาวิจัยมาตลอดหลายสิบปี ที่ผ่านมามากกว่าที่เราจะสรรหาหน่วงหรือต้านการติดไฟหรือการลุกไหม้ของวัสดุ สิ่งทอได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจวงจรการเผาไหม้ของวัสดุสิ่งทอเป็นอย่างดี วงจรการเผาไหม้ของวัสดุสิ่งทอแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ

เมื่อสิ่งทอได้รับความร้อนจะสลายตัว (decompose) กลายเป็นไอระเหยหรือแก๊สที่ติดไฟง่าย (flammable volatiles or flammable gases) เรียกกระบวนการดังกล่าวว่า กระบวนการ pyrolysis ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) จากนั้นไอระเหยหรือแก๊สที่ติดไฟดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดการติดไฟแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวซึ่งก็จะทำปฏิกิริยาขยายต่อของสายโซ่ (chain propagation) จนกระทั่งอนุมูลอิสระที่ว่องไวมีจำนวนมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้ โดยมีการคายความร้อน และเปล่งแสงออกมามองเห็นเป็น “เปลวไฟ” (Flame) เรียกกระบวนการดังกล่าวว่า กระบวนการ combustion ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) จากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำกลับไปทำให้สิ่งทอร้อนและเกิดการสลายตัวให้ไอหรือแก๊สที่ติดไฟง่าย ทำให้การเผาไหม้ดำเนินต่อไปเป็นวงจรเช่นเดิมอีก

2.7 สารหน่วงไฟ [19, 20]

สารหน่วงไฟเป็นสารที่ใช้กับเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซท สิ่งทอ และเครื่องนุ่งห่ม เพื่อยับยั้งหรือต้านการลามไฟวัสดุ

2.7.1 กลไกการหน่วงไฟ

กลไกการหน่วงไฟแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ กลไกการหน่วงไฟด้วยการขัดขวางทางกายภาพ และกลไกการหน่วงไฟด้วยการขัดขวางทางเคมี

1) การขัดขวางทางกายภาพ

การทำให้ระบบเย็นตัวลง มีกลไกการทำงาน คือ สารหน่วงไฟจะดูดความร้อนบางส่วนจากระบบเพื่อที่จะสลายตัวในรูปของการหลอมเหลวหรือการระเหิด ซึ่งมีผลทำให้วัสดุได้รับความร้อนน้อยลงจนระบบมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบลูกโซ่ได้ หรือเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แล้วระเหยน้ำออกมา ทำให้พื้นผิววัสดุเย็นลง

ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่หน่วงไฟโดยใช้กลไกนี้ เช่น อะลูมินาไตรไฮเดรต แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

การทำให้เกิดชั้นเคลือบบนพื้นผิววัสดุ มีกลไกการทำงาน คือ เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิการเผาไหม้จะทำให้สารหน่วงไฟเกิดการหลอมละลายมาปกคลุมบริเวณผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งชั้นเคลือบผิวดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันพอลิเมอริ์ให้ห่างจากเปลวไฟและกันไม่ให้ออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนการจุดติดไฟของวัสดุแพร่เข้าไปสัมผัสกับวัสดุซึ่งอยู่ด้านล่างได้ ทำให้วัสดุไม่เกิดการเผาไหม้

ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่หน่วงไฟโดยใช้กลไกนี้ รวมถึงเกลืออนินทรีย์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น บอริก-บอแรกซ์ ซิลิเกต ฟอสเฟต และพอลิฟอสเฟต

การปลดปล่อยแก๊สที่ไม่ติดไฟ มีกลไกการทำงาน คือ เมื่อสารหน่วงไฟติดไฟแล้วจะสลายตัวให้แก๊สที่ติดไฟยาก หรือไม่ติดไฟ เช่น แก๊สไนโตรเจน แก๊สแอมโมเนีย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สซิลเฟอรไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ และไอน้ำ เป็นต้น โดยแก๊สดังกล่าวจะไปเจือจางแก๊สที่ติดไฟง่ายจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอนซึ่งเกิดจากการสลายตัวของวัสดุ ทำให้การเผาไหม้ของวัสดุลดลง

ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่หน่วงไฟโดยใช้กลไกนี้ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมโบคาร์บอเนต แอมโมเนียมเฮไลด์ ซิงก์คลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต อะลูมิเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมซัลฟาเมต และฟอสเฟต เป็นต้น

2) การขัดขวางทางเคมี

วัฏภาคแก๊ส (gas phase หรือ vapor phase) มีกลไก คือ เมื่อโดนความร้อน สารหน่วงไฟจะสลายตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระซึ่งสามารถไปจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุได้ ได้แก่ $\text{OH}\cdot$ และ $\text{H}\cdot$ ทำให้การเผาไหม้ของวัสดุสิ้นสุดลง

ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่หน่วงไฟโดยใช้กลไกนี้ เช่น สารประกอบฮาโลเจน และการทำงานของสารหน่วงไฟที่เป็นสารประกอบฮาโลเจน และแอนติโมนีออกไซด์

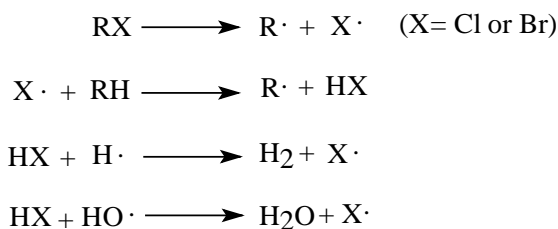
วัฏภาคของแข็ง (solid phase หรือ condensed phase) มีกลไก คือ สารหน่วงไฟทำหน้าที่เร่งให้วัสดุเกิดการสลายตัวเร็วขึ้นเกิดเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟหรือถ่านคาร์บอน (char) มาเคลือบผิววัสดุ เพื่อให้ส่วนที่มีการลุกติดไฟกับส่วนที่ยังไม่ลุกติดไฟแยกห่างออกจากกัน มากขึ้น และในที่สุดไฟก็ไม่สามารถลุกลามไปถึงส่วนนั้นได้ ดังนั้นผิวหน้าวัสดุจะไม่สัมผัสกับความร้อนจากเปลวไฟและแก๊สออกซิเจน

ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่หน่วงไฟโดยใช้กลไกนี้ เช่น สารประกอบ ฟอสฟอรัส และการทำงานของสารหน่วงไฟที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจน

2.7.2 สารหน่วงไฟจำแนกประเภทจากองค์ประกอบ

1) สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน (Halogen-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน ได้แก่ สารประกอบโบรมีน และ สารประกอบคลอรีน เป็นสารหน่วงไฟที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดีและมีความคงทนสูง มี กลไกการหน่วงไฟด้วยการขัดขวางทางเคมีในวัฏภาคแก๊ส โดยจะเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยา ของ $H\cdot$ และ $OH\cdot$ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระซึ่งมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ (pyrolysis) ของวัสดุ กลไกการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน แสดงได้ดังนี้



โดยทั่วไปมักใช้สารหน่วงไฟประเภทนี้ร่วมกับแอนติโมนีออกไซด์ เช่น Antimony trioxide (Sb_2O_3) และ Pentoxide (Sb_2O_5) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมการหน่วงไฟ (synergist)

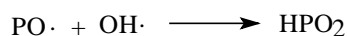
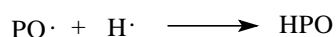
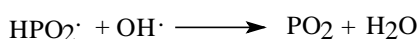
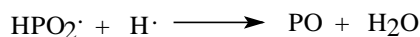
อย่างไรก็ตาม สารดังกล่าวเป็นสารก่อมะเร็งและเมื่อเกิดการเผาไหม้จะ เกิดแก๊สฮาโลเจน คือ กรดไฮโดรโบรมิก (hydrobromic acid, HBr) และกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) ซึ่งเป็นแก๊สพิษมีอันตรายหากสูดดมเข้าไปจะมีฤทธิ์ในการทำลายปอด และระบบทางเดินหายใจและหากได้รับแก๊สนี้ในปริมาณมากอาจถึงแก่ความตายได้ นอกจากนี้ยัง

มีรายงานวิจัยว่าสารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจนโดยเฉพาะโบรมีนเมื่อถูกเผาทำลายจะก่อให้เกิดสารไดออกซิน (dioxine) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์และเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สหภาพยุโรปได้ออกกฎข้อบังคับห้ามใช้สารหน่วงไฟที่มีสารประกอบฮาโลเจนบางชนิดเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เพนตะโบรมโอดีฟีนีลอีเทอร์ (penta bromodiphenyl ether, penta BDE) ออกตะโบรมโอดีฟีนีลอีเทอร์ (octa bromodiphenyl ether, octa BDE) สำหรับเดคะโบรมโอดีฟีนีลอีเทอร์ (deca bromodiphenyl ether, deca BDE) พบว่าไม่เป็นพิษต่อสุขภาพ มนุษย์และสิ่งแวดล้อม EU จึงยังไม่ได้มีการสั่งห้ามใช้ อย่างไรก็ตามตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2551 จะไม่มีผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ที่มีส่วนผสมของ Deca BDE วางขายในท้องตลาด

2) สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส (Phosphorus-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้หาได้ง่าย มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟกับวัสดุที่มีปริมาณออกซิเจนสูง เช่น เซลลูโลส และอนุพันธ์ของเซลลูโลส สารหน่วงไฟประเภทนี้มีกลไกควบคุมการหน่วงไฟด้วยการขัดขวางทางกายภาพ และทางเคมีในวัฏภาคแก๊สและวัฏภาคของแข็ง ดังกล่าวข้างต้น โดยทั่วไปถ้าใช้สารหน่วงไฟประเภทนี้ร่วมกับฮาโลเจน หรือไนโตรเจนจะเป็นการช่วยเสริมการหน่วงไฟ (synergism) ให้ดีขึ้น เมื่อได้รับความร้อนสารหน่วงไฟชนิดนี้จะสลายตัวกลายเป็นกรดฟอสฟอริก และกรดพอลิฟอสฟอริก ซึ่งจะก่อให้เกิดชั้นของของเหลวหนืดปกคลุมผิวของวัสดุ นอกจากนี้ กรดดังกล่าวยังไปเร่งให้เกิดการเผาไหม้บนผิวหน้าของวัสดุ เกิดชั้นของถ่านคาร์บอน (char) เคลือบผิววัสดุ ซึ่งช่วยป้องกันวัสดุจากความร้อน เปลวไฟและออกซิเจน ซึ่งจะเกิดพร้อมๆ กับการปลดปล่อยน้ำออกมา ทำให้ระบบมีอุณหภูมิลดลง

กลไกการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส แสดงได้ดังนี้



3) สารหน่วงไฟประเภทอนินทรีย์ (Inorganic flame retardants)

สารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟ หรือใช้เป็นองค์ประกอบร่วมในระบบหน่วงไฟกับสารประกอบโบรมีน สารประกอบฟอสฟอรัส หรือสารประกอบไนโตรเจน มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ แกร์ไฟต์ ซิลิกา โลหะ โลหะออกไซด์ และ อลูมิเนียมซิลิเกตเคลย์ เป็นต้น สารหน่วงไฟประเภทนี้นอกจากจะมีราคาสูง ไม่เป็นพิษ มีสมบัติในการหน่วงไฟแล้ว ยังมีสมบัติในการลดควันที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วย อย่างไรก็ตาม สารประเภทนี้จะมีความคงทนต่ำ

4) สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน (Nitrogen-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้ทำหน้าที่ในรูปของการเกิดอินทูเมสเซนต์ (intumescent) คือ เป็นลักษณะที่เกิดการพองตัวเป็นชั้นของชาร์ที่มีลักษณะคล้ายโฟม ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนและการสัมผัสกับออกซิเจนให้แก่วัสดุ สารประกอบไนโตรเจนหากนำมาใช้เพียงชนิดเดียว จะไม่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดี หรืออาจจะต้องใช้มากถึง 17% จึงจะช่วยให้เซลล์วัสดุมีความสามารถในการหน่วงไฟได้ปานกลาง สารหน่วงไฟประเภทนี้ ได้แก่ เมลามีน เมลามีนไฮยานูเรต เมทิลอลเมลามีน สารประกอบกัวนิติน ยูเรีย ไฮยานาไดเอไมด์ เป็นต้น

2.8 Limiting Oxygen Index (LOI) [20]

LOI (limiting oxygen index) คือ ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยที่สุด (minimum oxygen concentration) ในบรรยากาศที่มีการไหลของออกซิเจนและไนโตรเจนผสมกัน ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องได้

โดยปกติบรรยากาศมีออกซิเจนร้อยละ 21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น วัสดุที่มีค่า LOI ต่ำกว่า 21 จะลุกไหม้ได้ง่ายในบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น ฝ้ายที่มีค่า LOI เท่ากับ 18.4 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะติดไฟได้ง่ายกว่าขนสัตว์และมอดอะคริลิกที่มีค่า LOI เท่ากับ 25 และ 29-30 ตามลำดับ

เราสามารถแบ่งชนิดวัสดุสิ่งทอตามค่า LOI ดังนี้

LOI < 21 จัดอยู่ในพวกที่ติดไฟได้ (flammable)

LOI > 100 จัดอยู่พวกที่ไม่ติดไฟ (intrinsically non-flammable)

จากงานวิจัยหลายๆ ชิ้นที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าวัสดุสิ่งทอที่มีค่า LOI มากกว่า 28 ส่วนใหญ่สามารถดับไฟเองได้ (self-extinguishing) ส่วนพวกที่มี LOI อยู่ระหว่าง 21 และ 28 จัดอยู่ในพวกติดไฟได้ช้า (slow burning)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติติดไฟของเส้นใยต่างๆ

เส้นใย	$T_g, ^\circ\text{C}$ (soften)	$T_m, ^\circ\text{C}$ (melts)	$T_p, ^\circ\text{C}$ (pyrolysis)	$T_c, ^\circ\text{C}$ (ignition)	LOI, %
ฝ้าย			350	350	18.4
วิสโคสเรยอน			350	420	18.9
ขนสัตว์			245	600	25
พอลิเอสเตอร์	80 – 90	255	420 – 477	480	20 – 21
ไนลอน 6	50	215	431	450	20 – 21.5
ไนลอน 6,6	50	265	403	530	20 – 21.5
อะคริลิก	100	>220	290	450	18.2
(มีการสลายตัว)					
มอดอะคริลิก	<80	>240	273	690	29 - 30
นอเมกซ์	275	375	410	>500	29 - 30
เคฟลาร์	340	560	>550	>590	29

2.9 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Anti-Microbial Finishes) [21,22,23]

ปัจจุบันสิ่งทอที่สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดอย่างมาก โดยเฉพาะตลาดที่ผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการตกแต่งต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับสิ่งทอที่มีการใช้งานทางการแพทย์ เคหะสิ่งทอ และงานกลางแจ้ง เป็นต้น เพื่อปกป้องผู้บริโภคจากการสัมผัสเชื้อรา แบคทีเรียหรือจุลินทรีย์อื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจหรือเพื่อป้องกันสิ่งทอจากการเสื่อมสลาย การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ ซึ่งจะทำให้สิ่งทอเกิดการเน่าเปื่อย ผุพัง สูญเสียความแข็งแรงระหว่างการใช้งาน การเก็บรักษา การขนย้าย โดยเฉพาะในสภาวะที่ร้อนและมีความชื้น จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี การตกแต่งผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีสมบัติต้านต่อเชื้อราและแบคทีเรีย ไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่โดยพบว่า เมื่อ 4,000 ปีที่แล้ว ในยุคสมัยอียิปต์ที่มีการทำมัมมี่ ก็มีการเริ่มใช้สมุนไพรและพันธุ์ไม้มาตกแต่งลงบนผ้าที่นำมาใช้พันรอบตัวมัมมี่ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย ทำให้ศพไม่เกิดการเน่าเปื่อย

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเป็นสิ่งไม่พึงปรารถนา การซักด้วยน้ำร้อนและสารฆ่าเชื้อ ได้แก่ chlorine และ peroxygen bleaches สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ สารเคมีที่ใช้ป้องกันกาเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเรียกว่า สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) อาทิ quaternary ammonium surfactants และ antibiotics ทำหน้าที่เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนพวกต้านการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น chlorinated organic compounds, organometallic compounds ที่ประกอบด้วย copper , silver, iron, manganese, zinc ซึ่งสารเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่สูงกว่า และอาจจะต่อต้านการย่อยสลายในธรรมชาติเป็นเวลายาวนาน สารประกอบอินทรีย์คลอรีน (chlorinated organic compounds) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแมลงสำหรับเส้นใยธรรมชาติที่มีส่วนประกอบเป็นโปรตีนและเซลลูโลส

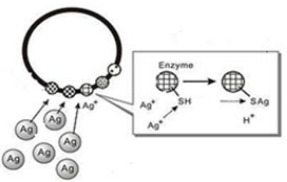
สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีกลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน คือต้านทานโดย attack ของเชื้อจุลินทรีย์ที่เซลล์เมมเบรน หรือในระหว่างกาเกิด metabolism หรือภายใน core substance เช่นสารออกซิไดส์ ได้แก่ อัลดีไฮด์ ฮาโลเจน และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เริ่มแรกจะ attack เมมเบรนเชื้อจุลินทรีย์ หรือเมื่อสารนี้ได้ซึมผ่าน cytoplasm ก็จะมีผลกระทบต่อระบบเอนไซม์ แอลกอฮอล์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสารช่วยตกตะกอน (coagulants) ที่ทำให้ธรรมชาติของโปรตีนของจุลินทรีย์เสื่อมสภาพหรือ denature สารประกอบอื่นๆ เช่น ฮาโลเจน isothiazones และสารประกอบเปอร์ออกไซด์จะทำหน้าที่เสมือนสารที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวสูงเนื่องสารเหล่านี้มีอิเล็กตรอนอิสระ สำหรับสารประกอบ quaternary ammonium, biguanide , amines และ glucoprotamine เป็นสาร polycationic ที่มีประจุบวก มีฤทธิ์รุนแรง และมีสมบัติดูดซับที่ดี เมื่อนำมาตกแต่งบนสิ่งทอ สารเหล่านี้สามารถติดบนเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ ที่ปนเปื้อนบนเส้นใย และทำลายโครงสร้างของ Lipopolysaccharide ส่งผลให้เมมเบรนเซลล์ถูกทำลาย ในส่วนของสารประกอบ silver ก็มีการนำมาใช้ต้านเชื้อจุลินทรีย์ เพราะสารประกอบนี้จะทำการยับยั้งกระบวนการ metabolism ของจุลินทรีย์ โคโตซานเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่านำมาใช้ต้านทานจุลินทรีย์เพราะ protonated amino group ที่มีประจุบวกจะยึดกับประจุลบของพื้นผิวจุลินทรีย์

กาเกิดราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์นั้น แม้ว่าเกิดได้ไม่ถายเหมือนเส้นใยธรรมชาติ แต่โอกาสที่จะเกิดเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์ก็มีความเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะเส้นใยสังเคราะห์มีสมบัติในการดูดซึ่มความชื้นต่ำ ทำให้การระบายออกของเหงื่อไม่ดี จึงเกิดการสะสมของเหงื่ออยู่ตามช่องว่างของเส้นใยหรือตามรอยตะเข็บของเสื้อผ้า เป็นสาเหตุให้เกิดการหมักหมมของเชื้อราและแบคทีเรีย แล้วพัฒนาเป็นกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา เส้นใยสังเคราะห์หลายชนิด เช่น ไนลอน นิยมนำมาทำเตนท์ ผ้าใบบังแดด ผ้าคลุมกะลาสี ผ้าใบชุบน้ำมัน และพรม เป็น

ต้น โอกาสที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสัมผัสกับเชื้อรา เช่น รา น้ำค้าง แบคทีเรีย หรือสิ่งเน่าเปื่อยที่มีอยู่ตามสภาพแวดล้อม ก็มีความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเกิดการติดเชื้อราและแบคทีเรียทำให้การใช้งานของผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนเดิม ฉะนั้นการตกแต่งสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยไนลอนหรือเส้นใยสังเคราะห์อื่นจึงมีความสำคัญเช่นกัน

กลไกการทำงานของสารต้านแบคทีเรีย [24]

สารต้านแบคทีเรีย เช่น ผลึกของซิลเวอร์นาโนหรืออนุภาคเงินขนาดจิ๋ว, ผลึกของซิงค์ออกไซด์ ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กมากสามารถเข้าไปสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้อย่างทั่วถึงเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาตอบโต้กับโปรตีนในเชื้อแบคทีเรียส่งผลให้ระบบเมทาโบลิซึมในเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียมีการยับยั้งการเจริญเติบโต นอกจากนี้สารต้านแบคทีเรียยังทำลายระบบหายใจ ระบบขนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการเมทาโบลิซึม และระบบขนย้ายซัสเตรทในเยื่อหุ้มเซลล์ ยิ่งไปกว่านั้นยังยับยั้งการเพิ่มจำนวน จึงทำให้วัสดุสิ่งทอที่ได้มีสมบัติในด้านการต้านการติดเชื้อ ไม่มีกลิ่นเหม็นลดอาการคัน และการเกิดแผลที่เกิดจากการติดเชื้อของแบคทีเรีย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สิ่งทอมีสมบัติในการกำจัดหรือยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Antimicrobial) โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสกับแบคทีเรียนั้น สาร Antimicrobial มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดี ข้อเสียและความเหมาะสมกับวัสดุสิ่งทอแตกต่างกันโดยตัวอย่างสารต้านแบคทีเรีย ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่

สารต้านแบคทีเรีย	รายละเอียด
1. สารนาโนซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver: AgO) 	อนุภาคซิลเวอร์นาโนหรือโลหะเงิน มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ทำให้ในปัจจุบันมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า มีการนำซิลเวอร์นาโนมาใช้กับการผลิตตู้เย็น เพราะสามารถช่วยรักษาความเย็น และอนุภาคซิลเวอร์นาโนยังช่วยยืดอายุของอาหารที่เก็บไว้ในตู้เย็น ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้าพันแผลปลอดเชื้อ เป็นต้น
2. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO ₂)	ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานที่เหมาะสม (ความยาวคลื่นสั้นกว่า 385 นาโนเมตร) จะทำให้อิเล็กตรอนในไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดสารอินทรีย์หรือเชื้อโรคที่เกาะอยู่บนอนุภาคได้ อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเล็กนั้นไม่พบว่ามีความเป็นพิษต่อเซลล์ ภายใต้สภาวะที่มีแสงหรือไม่มีแสงก็ตาม

<p>3. ซิงค์ออกไซด์</p> <p>(Zinc oxide : ZnO)</p>	<p>ซิงค์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายกรด ต่าง มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสมบัติในการต้านแบคทีเรียและป้องกันรังสียูวี</p>
<p>4. ไคโตซาน</p> <p>(Chitosan)</p>	<p>ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรตที่ผลิตมาจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู แกนปลาหมึก ฯลฯ โดยวัตถุดิบดังกล่าวเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง ไคโตซานสามารถนำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อให้มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ และที่สำคัญไคโตซานไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองกับผู้ใช้เนื่องจากเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ</p>

เทคโนโลยีนาโนในปัจจุบัน สามารถทำให้อนุภาคของสารมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของสารทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารดีขึ้นและทำให้สารสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในเส้นใยได้มากขึ้น

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.U. de la Orden และคณะ [25] ศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากันได้ต่อการเกิดความเหลืองของคอมพอสิตระหว่างเซลลูโลสและพอลิโพรพิลีน การเตรียมคอมพอสิตได้อาศัยวิธีการหลอม(melt-mixing) แบบสองขั้นตอน ได้แก่การผสมด้วยเทคนิค co-rotating จากนั้นทำการผสมคอมปาวด์โดยใช้เครื่องหลอมสกรูคู่(twin-screw extruder) โดยเลือกสารช่วยให้เข้ากันได้ 2 ตัวคือ maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) และpolyethylenimine (PEI) โดยใช้ปริมาณของสารช่วยให้เข้ากันได้ที่สัดส่วนร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักเทียบกับเซลลูโลส และสัดส่วนการเติมเซลลูโลสที่ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก และฉีดขึ้นรูปเป็น dog bone วิเคราะห์การ

เปลี่ยนแปลงของสีด้วยเครื่อง Diffuse Reflectance Ultraviolet Visible (DRUV) Spectroscopy และ Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared (DRIFT) Spectroscopy พบว่าทั้ง PEI และ MAPP มีผลต่อการเกิดความเสี่ยงทั้งคู่ แต่มีกลไกต่างกันโดย PEI สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเซลลูลอสแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นโครโมฟอร์ที่ให้สีเหลือง ในขณะที่ MAPP จะตรึงเซลลูลอสให้ยึดติดกับพอลิโพรพิลีนแมทริกซ์ ดังนั้นเมื่ออยู่ในเครื่องผสมแรงเสียดทานและความร้อนขณะทำการผสมจะส่งผลทำให้เซลลูลอสเกิดการสลายตัว เกิดเป็นความเสี่ยงขึ้น

Park และคณะ [26] ศึกษาการเตรียมพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิตโดยวิธีการหลอม(melt-mixing) แบบสองขั้นตอน ได้แก่ การผสมด้วยเทคนิค co-rotating จากนั้นทำการผสมคอมปาวด์โดยใช้เครื่องหลอมสกรูคู่(twin-screw extruder) และใช้ Maleic grafted polypropylene (PP-g-MA) เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ โดยใช้ปริมาณของสารช่วยเข้ากันได้ที่ร้อยละ 0.2, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก และทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเคลย์ ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) และวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) และทดสอบการไหลของพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิต พบว่า PP-g-MA compatibilizer ที่ใส่ลงไปที่สัดส่วนร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้เกิดการแทรกสอดเข้าไปยังชั้นซิลิเกตของชั้นเคลย์ทำให้เกิดการกระจายตัวของเคลย์ดีที่สุดและส่งผลต่อสมบัติความร้อนและการไหลของนาโนคอมพอสิตด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณของ PP-g-MA ที่มากกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้เคลย์จับตัวกันเป็นกลุ่มและส่งผลให้สมบัติทางความร้อนลดลง

Kim และคณะ [27] ศึกษาโครงสร้างสมบัติของพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตโดยวิธีการหลอม(melt-mixing) แบบสองขั้นตอน ได้แก่การผสมด้วยเทคนิค co-rotating จากนั้นทำการอัดรีดโดย twin screw และใช้ Maleic grafted polypropylene (PP-g-MA)ผสมกับ Montmorillonite (MMT) ที่ร้อยละ 0.5,1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณของ MMT คงที่ที่สัดส่วนร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MMT ด้วยเทคนิค transmission electron microscope และสมบัติการไหล พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ PP-g-MA ลงใน MMT มีผลทำให้เกิดการแยกชั้นซิลิเกตของ MMT (Exfoliated nanocomposite) ทำให้ได้นาโนคอมพอสิตที่เป็นเนื้อเดียวกัน การกระจายตัวของอนุภาค MMT ดีขึ้นไม่เกาะกลุ่มจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคและความหนาของอนุภาคเล็กลง มีสมบัติการไหลที่ดีขึ้น

Baoxian Du และคณะ[28] ศึกษาการนำออร์แกโนเคลย์-เบนโทไนด์ มาปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของพอลิโพรพิลีน ด้วยเทคนิค co-rotating จากนั้นทำการอัดรีดโดย twin-screw และใช้ Maleic grafted polypropylene(PP-g-MAH) เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ที่สัดส่วนร้อยละ 4

โดยน้ำหนัก และใช้ออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ที่สัดส่วนร้อยละ 1.8 และ 2.6 โดยน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD), วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค transmission electron microscope (SEM) วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) ทดสอบการไหมและค่า LOI ด้วยเทคนิค Limiting oxygen index (LOI) พบว่า PP-g-MAH ที่ใส่ลงไปมีผลทำให้เกิดการแยกชั้นซิลิเกตของ ออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ (Exfoliated nanocomposite) ทำให้ได้นาโนคอมพอสิตที่เป็นเนื้อเดียวกัน การกระจายตัวของอนุภาคของออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ ดีขึ้น ไม่เกาะกลุ่มจับตัวกันเป็นก้อน มีสมบัติความร้อนและการไหมของนาโนคอมพอสิตดีขึ้น และการเติมออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลให้ค่า LOI เพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงว่าติดไฟยากขึ้นเกิดควันน้อยลงและเมื่อผสมออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ที่สัดส่วนร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดีที่สุดเมื่อเทียบกับพอลิโพรพิลีนที่ไม่ผสมออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์ เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์มากกว่าร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้มีความแข็งแรงลดลงตามไปด้วย ออร์แกนอเคลย์-เบนโทไนต์จะสามารถเติมเข้าไปในพอลิโพรพิลีนได้เพียงค่าหนึ่งเท่านั้นหากมากหรือน้อยไปจะไม่ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

Husseinsyah และคณะ [29] ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานคอมพอสิต การเตรียมคอมพอสิตได้อาศัยวิธีการหลอม (melt-mixing) และทำการอัดขึ้นรูปให้เป็นแผ่น โดยจะไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยกรดอะคริลิกเทียบกับไคโตซานที่ไม่ได้ดัดแปร ทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค transmission electron microscope (SEM) วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) และทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าไคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยกรดอะคริลิกมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงและค่าความยืดที่จุดขาดลดลงแต่ค่ามอดูลัสของยังสูงขึ้นเมื่อปริมาณฟิลเลอร์เพิ่มขึ้น การดัดแปรทางเคมีของไคโตซานด้วยกรดอะคริลิกช่วยปรับปรุงความแข็งแรงและค่ามอดูลัสของยังแต่ค่าความยืดที่จุดขาดลดลง การดัดแปรไคโตซานทางเคมียังส่งผลให้การยึดเกาะกันระหว่าง interfacial ของไคโตซานและ PP เมทริกซ์ เนื่องจากพันธะโควาเลนต์ระหว่างไคโตซานและกรดอะคริลิกจึงช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อนและเป็นผลึกของวัสดุผสมดีขึ้น

Elsabee และคณะ [30] ศึกษาการนำสารละลายไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซาน ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน และคาร์บอกซีเมทิลไคติน มาเคลือบลงบนผิวของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวด้วยรังสีโคโรนา พบว่าอนุพันธ์ของไคโตซานทั้ง 2 ชนิดสามารถยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียได้ดีกว่าไคโตซาน และหากเคลือบผิวของฟิล์มพอลิโพรพิลีนดัดแปรด้วยไคโต-

ซานร่วมกับเพกตินเป็นชั้นฟิล์มบางหลายๆ ชั้น ที่เรียกว่า multilayers โดยทำเป็นชั้นๆ ประมาณ 15 ชั้นส่งผลให้ฟิล์มพอลิโพรพิลีนดัดแปรที่มีสมบัติต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้ดีกว่าการเคลือบด้วย ไคโตซานหรืออนุพันธ์เพียงอย่างเดียว

Yang และ Lin [31] ศึกษาการนำไคโตซานมาเคลือบผ้าพอลิโพรพิลีนนอนวูฟเวน โดยเริ่มจากการกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด (poly acrylic acid) ลงบนผิวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาเพื่อสร้างหมู่เปอร์แอซิด (peracid group) ให้เกิดขึ้นบนผิวของพอลิโพรพิลีน จากนั้นจึงกราฟต์ต่อด้วย N-isopropylacrylamide โดยวิธีการฉายแสงรังสียูวีก่อนนำมาแช่ในสารละลายไคโตซานและการทำแห้งเยือกแข็ง จากผลการทดลองพบว่า ผ้าพอลิโพรพิลีนนอนวูฟเวนที่เคลือบด้วยไคโตซานสามารถดูดซึมน้ำได้ดีที่สุดและสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ได้เกือบ 100 % เมื่อเทียบกับผ้าพอลิโพรพิลีนนอนวูฟเวนที่ยังไม่ได้ตกแต่งด้วยไคโตซาน

Charuchinda และคณะ [32] ศึกษาการตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติทนวงไฟโดยใช้สารประกอบโซเดียมพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซานโดยทำการจุ่มอัดผ้าฝ้ายด้วยสารประกอบโซเดียมพอลิฟอสเฟตซึ่งเป็นสารทนวงไฟและอบด้วยความร้อน จากนั้นนำไปจุ่มอัดอีกครั้งด้วยสารละลายไคโตซานก่อนทำการอบแห้ง และเมื่อนำผ้าฝ้ายไปผ่านการซักล้างและตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ชั้นฟิล์มไคโตซานที่เกิดขึ้นสามารถกักเก็บสารประกอบฟอสเฟตซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีให้ติดคงอยู่ภายในเส้นใยฝ้าย และเมื่อนำมาทดสอบหาค่า LOI เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลุกไหม้และหาอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา พบว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งทนวงไฟด้วยสารประกอบโซเดียมพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซานที่ผ่านการซักล้างแล้วยังคงมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาใกล้เคียงกับที่ไม่ได้ผ่านการซักล้าง และมีอัตราเร็วลดลงถึง 2.5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งทนวงไฟ

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า นอกจากออร์แกโนเคลย์และไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุได้หลากหลายประเภทแล้วยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการทนวงไฟ การต้านการหลอมหยดและและสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยที่เตรียมได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ ที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 72 meq/100 g clay สั่งซื้อจากบริษัท Southern Clay Product Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ไคโตซาน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 52,000 ดาลตัน และระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 92.38 ± 0.99 % สั่งซื้อจากบริษัท A. N. LAB Ltd. ประเทศไทย
3. พอลิโพรพิลีนชนิดผง ที่มีค่าดัชนีการไหล 25.8 กรัม/10 นาที สั่งซื้อจากบริษัท HMC Polymers และบดให้เป็นผงโดยบริษัท T. H. L Industry (Thailand) Ltd. ประเทศไทย
4. พอลิโพรพิลีน-กราฟต์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene-g-maleic anhydride, PP-g-MA) code TMFusabond®P MZ109D จากบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. โทลูอีน (Toluene) สั่งซื้อจากบริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี
6. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox® B 215 สั่งซื้อจากบริษัท Ciba Inc ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

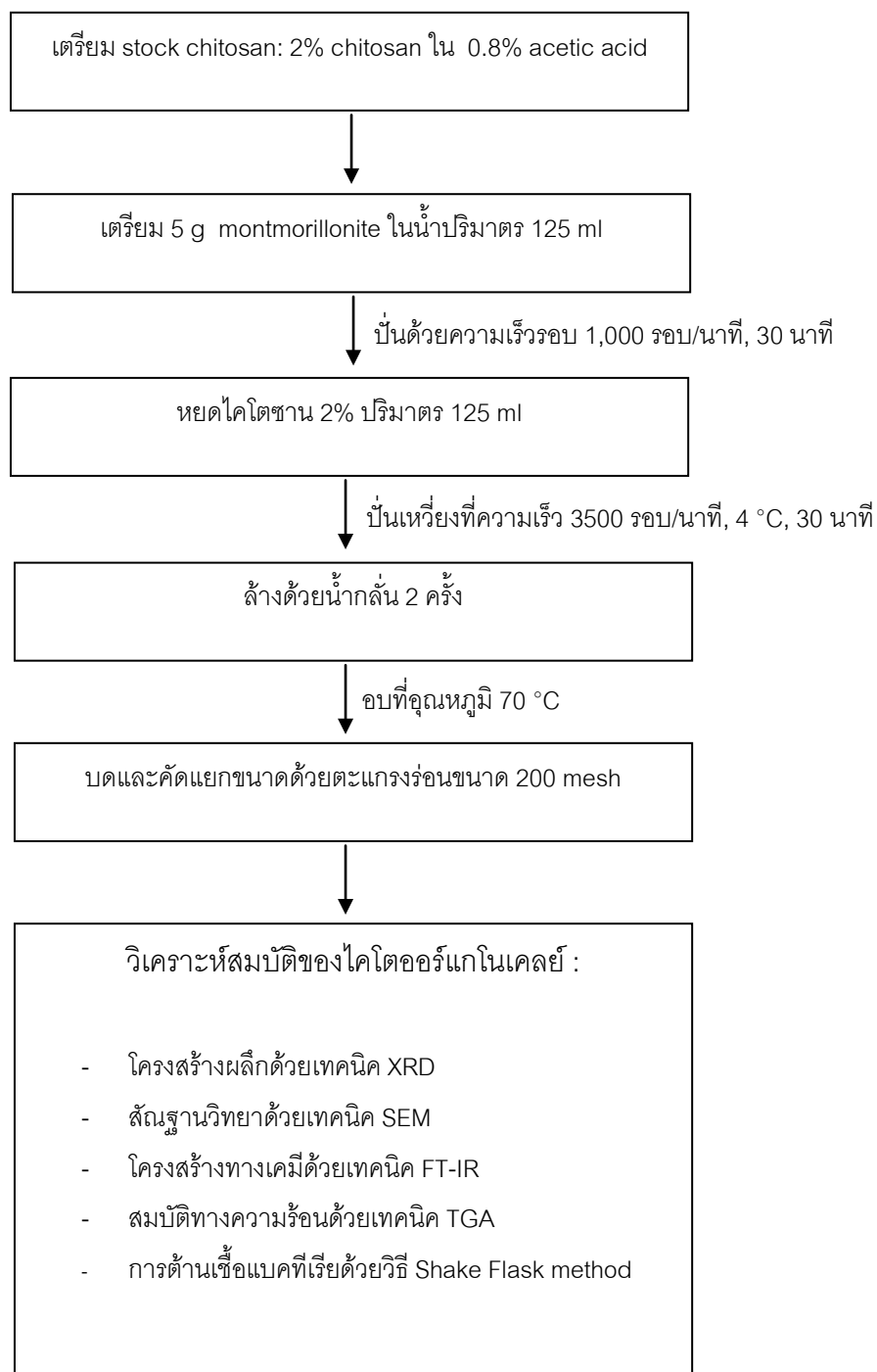
1. ปีกเกอร์
2. เครื่องแก้ว
3. เครื่องกวนสารละลายที่สามารถให้ความร้อนได้
4. เครื่องปั่นกวนเชิงกล ชนิดรอบความเร็วสูง
5. เครื่องกลั่นแบบไหลกลับ
6. ถังปฏิกรณ์แบบไหลกลับ ขนาด 3,000 มิลลิลิตร
7. ตู้ดูดควัน
8. โกรงบดยา
9. ตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช
10. ตะแกรงร่อนระบบสันสะเทือน บริษัท Retsch สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851 บริษัท Mettler ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. เครื่อง Scanning Electron Microscopy รุ่น XL 30 CP บริษัท Philips ประเทศเนเธอร์แลนด์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. เครื่อง X-ray Diffraction รุ่น X'Pert PW 3710 บริษัท Philips ประเทศเนเธอร์แลนด์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. เครื่องวัดดัชนีการหักเห รุ่น XRL-400 series บริษัท C.B.N.Engineering Ltd.,Part ประเทศจีน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15. เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวเดี่ยว รุ่น D76227 ของบริษัท ThermoHaake® PolyDrive จำกัด จากประเทศเยอรมัน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
16. เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น 5583 บริษัท Instron ประเทศสิงคโปร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
17. กล้อง Optical microscope รุ่น BX60 บริษัท Olympus ประเทศจีน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
18. เครื่องวิเคราะห์ดัชนีหักเหออกซิเจนจำกัดของ Stanton Redcroft รุ่น FTA
19. ชุดอุปกรณ์ทดสอบการติดไฟและการลามไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 HB

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมโคโตน-ออร์แกนอเคลย์

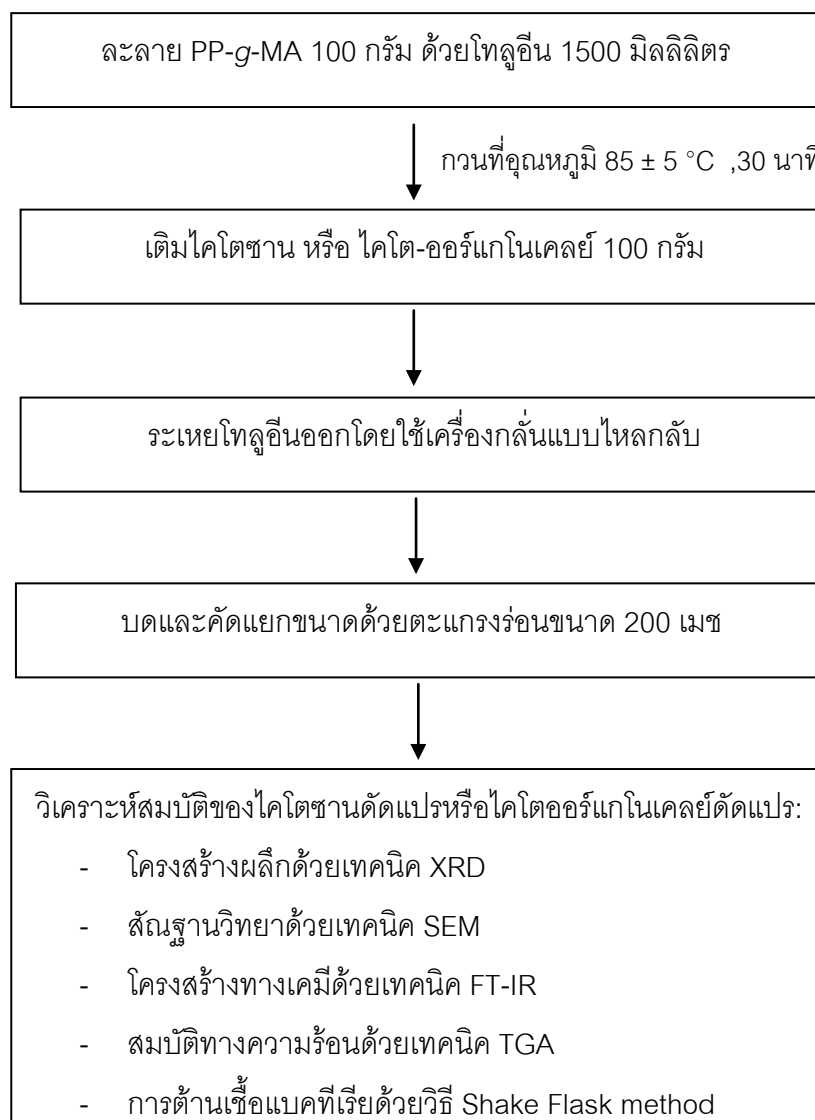
ซึ่งโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์มา 5 กรัม ใส่ในน้ำกลั่นปริมาตร 125 มิลลิลิตร และกวนด้วยอัตราเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ก่อนหยด 2% โคโตนาน ปริมาตร 125 มิลลิลิตรและกวนต่อไปอีก 30 นาที จากนั้นทำการแยกตะกอนที่ได้ออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และทำการล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งก่อนนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช ดังขั้นตอนแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งผมที่ได้เรียกว่า “โคโตน-ออร์แกนอเคลย์”



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมโคโต-ออร์แกนอเคลย์

3.3.2 ดัดแปรไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ละลายพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) ด้วยโทลูอีนในระบบปิดที่อุณหภูมิ 85 ± 5 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 30 นาที หรือจนกว่า PP-g-MA จะละลาย เมื่อละลายหมดแล้ว ค่อยๆ เติมผงไคโตซานหรือไคโต-ออร์แกโนเคลย์ลงไปและกวนต่ออีก 30 นาที จากนั้นระเหยโทลูอีนออกโดยใช้เครื่องกลั่นแบบไหลกลับ (rotary evaporator) นำผงที่ได้ทิ้งให้แห้งในตู้ดูดควัน และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมชก่อนนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD, ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ,ตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ,สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC และ TGA, และการต้านเชื้อแบคทีเรีย ดังขั้นตอนแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดัดแปรไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์

3.3.3 การเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต

นำพอลิโพรพิลีนชนิดผงผสมกับไคโตซานดัดแปรหรือไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรตามสูตรดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยในแต่ละสูตรใส่สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนเท่ากับ 0.5% ของน้ำหนักจากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวมาปั่นขึ้นรูปเป็นเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว โดยใช้เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิด Single Screw ยี่ห้อ Thermo Haake ดังภาพที่ 3.3 คุณสมบัติในการหลอมเหลวเม็ดพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตเป็นดังนี้:

TZ 1	180 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 2	190 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 3	200 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 4	210 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Connector
TZ 5	220 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Spinneret



ภาพที่ 3.3 เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิด Single Screw ยี่ห้อ Thermo Haake

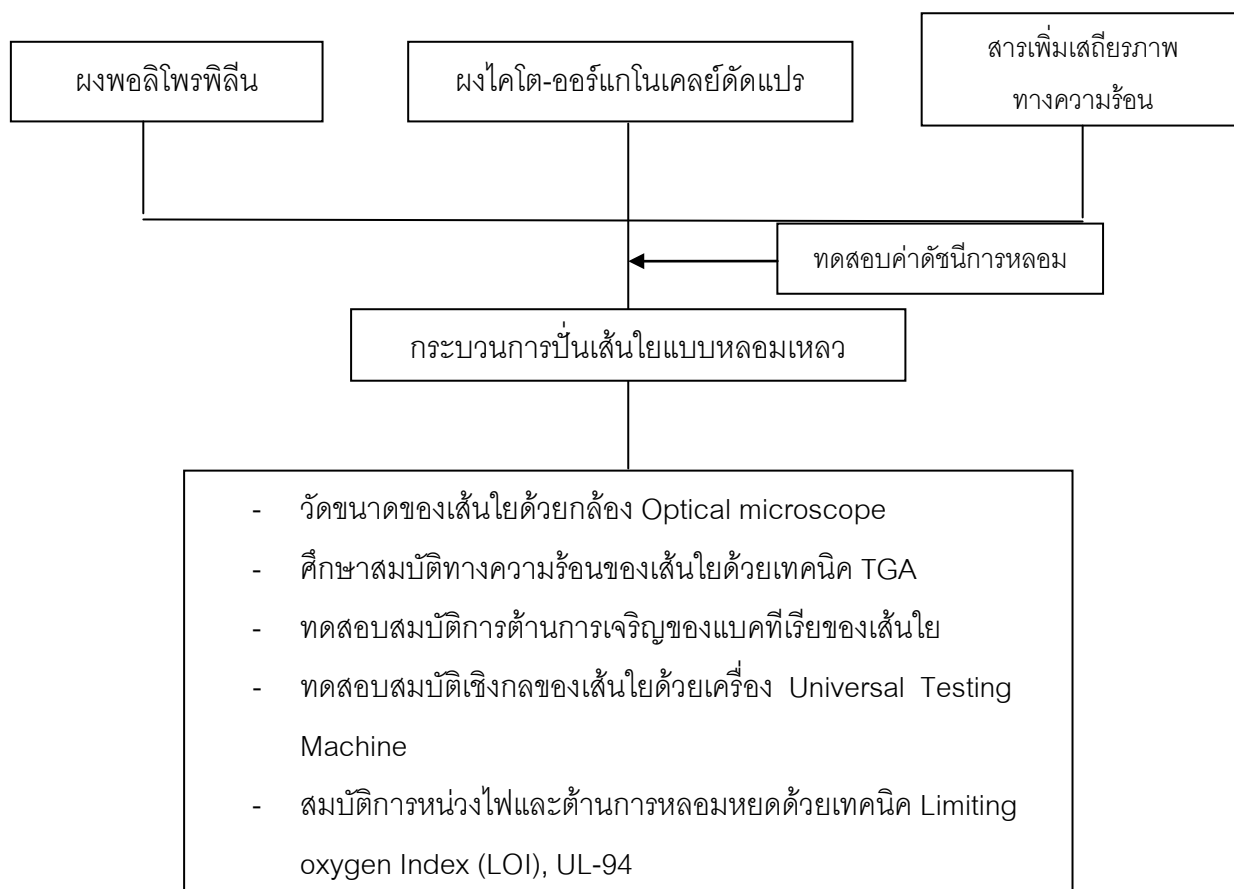


ภาพที่ 3.4 ชุดม้วนเก็บเส้นใย

ทำการม้วนเก็บเส้นใยด้วยชุดม้วนเก็บเส้นใยใช้ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 10 รอบ/นาที ความเร็วของลูกกึ่งตัวที่ 1 เท่ากับ 10 เมตร/นาที ความเร็วของลูกกึ่งตัวที่ 2 เท่ากับ 50 เมตร/นาที และความเร็วในการม้วนเก็บ เท่ากับ 50 เมตร/นาที (ภาพที่ 3.4) จากนั้นทำการวัดขนาดและศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยกล้องจุลทรรศน์ ศึกษาความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน คอมพอสิตด้วยเครื่อง Universal testing machine และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD และทดสอบสมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน คอมพอสิตด้วยวิธี Shake flask method ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยด้วยเทคนิค DSC และ TGA และ สมบัติการหน่วงไฟและต้านการหลอมหยดด้วยเทคนิค Limiting oxygen Index (LOI), UL-94 ดั้งชั้นตอนในภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 สูตรของผสมที่ใช้ในการเตรียมคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานตัดแปรและพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกโนเคลย์ตัดแปร

ความเข้มข้น (%)	ปริมาณสาร (กรัม)					รวม
	PP-g-CTS	PP-g-CTS- MMT	PP-g-MA	พอลิโพรพิ ลีนชนิดผง	สารเพิ่ม เสถียรภาพ ทางความร้อน	
1%	-	-	3	295.5	1.50	300
2%	-	-	6	292.5	1.50	300
3%	-	-	9	289.5	1.50	300
4%	-	-	12	286.5	1.50	300
2%	6	-	-	292.5	1.50	300
4%	12	-	-	286.5	1.50	300
6%	18	-	-	280.5	1.50	300
8%	24	-	-	274.5	1.50	300
2%	-	6	-	292.5	1.50	300
4%	-	12	-	286.5	1.50	300
6%	-	18	-	280.5	1.50	300
8%	-	24	-	274.5	1.50	300



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิไพร์โรฟิลีนคอมพอสิต

3.4 วิเคราะห์สมบัติ

3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคโตซานดัดแปร ไคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปร และเส้นใยพอลิไพร์โรฟิลีนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

นำผงตัวอย่างมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช และอัดขึ้นรูปก่อนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ดังแสดงในภาพที่ 3.6

โดยใช้สภาวะของการวิเคราะห์ดังนี้

หลอดรังสีเอกซ์: Cu

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์: $\text{CuK}\alpha$

โดยเครื่องเริ่มทำการวัดที่มุม 2θ ตั้งแต่ 3 องศา ถึง 40 องศา ด้วยอัตราความเร็ว 1.2 องศา/วินาที คำนวณระยะห่างระนาบระนาบ 001 (d_{001}) ของมอนต์มอริลโลไนต์จากสมการของแบรกก์ (Bragg's equation) ดังนี้

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

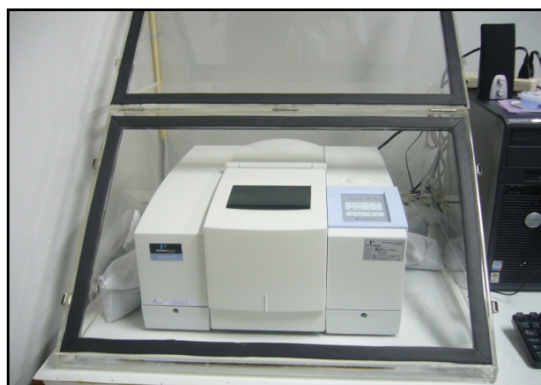
โดย	d	คือ	ระยะห่างของชั้นระหว่างผลึก
	n	คือ	ตัวเลขจำนวนเต็ม
	λ	คือ	ความยาวคลื่นของแสง ($\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$)
	θ	คือ	มุมที่รังสีเอกซ์ตกกระทบผิวของผลึก



ภาพที่ 3.6 เครื่อง X-ray Diffractometer รุ่น X'Pert PW 3710 บริษัท PHILIPS ประเทศไทย

3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโคโตซานดัดแปรและโคโต-ออร์แกนโนเคลย์ดัดแปร ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคโคโตซานดัดแปรและโคโต-ออร์แกนโนเคลย์ดัดแปร ด้วยเทคนิค (FT-IR) ดังแสดงในรูป 3.7 โดยการนำสารตัวอย่างมาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นชิ้นทดสอบ จากนั้นนำมาพิจารณาสเปกตรัมที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งสามารถบอกถึงโครงสร้างทางเคมีของสารได้



ภาพที่ 3.7 เครื่อง FT-IR spectrometer รุ่น Spectrum one FT-IR spectrometer
บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโคโตซานดัดแปรและโคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยเทคนิค SEM

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโคโตซานดัดแปรและโคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 5000, 10,000 และ 20,000 เท่า ใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น XL 30 CP
บริษัท PHILIPS ประเทศเนเธอร์แลนด์

3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต

3.4.4.1 ทดสอบด้วยเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA)

ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA โดยใช้เครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer ดังแสดงในรูป 3.9 โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม ใส่ในถาดอะลูมินาไปวิเคราะห์ที่อุณหภูมิช่วง 25-900 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน 20 มิลลิลิตร/นาที



ภาพที่ 3.9 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) รุ่น TGA/SDTA 851
บริษัท METTLER TOLEDO

3.4.5 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต

หาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต ตามมาตรฐาน ASTM D1230 โดยใช้คุณสมบัติในการหลอมเหลวเท่ากับ 230 องศาเซลเซียส และน้ำหนักไหลดเท่ากับ 2.15 กิโลกรัม โดยใช้เครื่อง Melt flow index รุ่น XRL-400 series สถานที่ทดสอบ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 เครื่อง Melt flow index รุ่น XRL-400 series
บริษัท C.B.N.Engineering Ltd.,Part ประเทศจีน

3.4.6 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)

ศึกษาลักษณะภายนอกและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 โดยใช้กำลังขยายเท่ากับ 10 เท่า



ภาพที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์ รุ่น BX60 บริษัท Olympus ประเทศจีน

3.4.7 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต

นำตัวอย่างเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตที่พัฒนาขึ้นมาป่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิตตามมาตรฐาน ASTM D3822 ดังแสดงในรูป 3.12 โดยใช้ความยาวเส้นด้ายทดสอบ (gauge length) เท่ากับ 25 มิลลิเมตร อัตราเร็วของการดึง (crosshead speed) เท่ากับ 250 มิลลิเมตร/นาที น้ำหนักที่ใช้ในการดึงเท่ากับ 5 กิโลนิวตัน



ภาพที่ 3.12 เครื่อง Universal testing machine รุ่น 5538 บริษัท Instron ประเทศสิงคโปร์

3.4.8 สมบัติการหน่วงไฟด้วยเทคนิค Limiting oxygen Index (LOI)

เทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index Analysis, LOI) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำที่สุด (minimum oxygen concentration) ในบรรยากาศที่มีการไหลของออกซิเจนและไนโตรเจนผสมกัน ที่สามารถทำให้วัสดุติดไฟและมีการลามไฟได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index Analyzer) ของ Stanton Redcroft รุ่น FTA (ภาพที่ 3.13) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 4589 โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ก

โดยปกติบรรยากาศมีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น วัสดุที่มีค่า LOI ต่ำกว่า 21 จะลุกไหม้ได้ง่ายในบรรยากาศ

เราสามารถแบ่งชนิดวัสดุสิ่งทอตามค่า LOI ดังนี้

LOI < 21 จัดอยู่ในพวกที่ติดไฟได้ (flammable)

LOI > 100 จัดอยู่พวกที่ไม่ติดไฟ (intrinsically non-flammable)

จากงานวิจัยหลายๆ ชิ้นที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าวัสดุสิ่งทอที่มีค่า LOI มากกว่า 28 ส่วนใหญ่สามารถดับไฟเองได้ (self-extinguishing) ส่วนพวกที่มี LOI อยู่ระหว่าง 21 และ 28 จัดอยู่ในพวกติดไฟได้ช้า (slow burning)



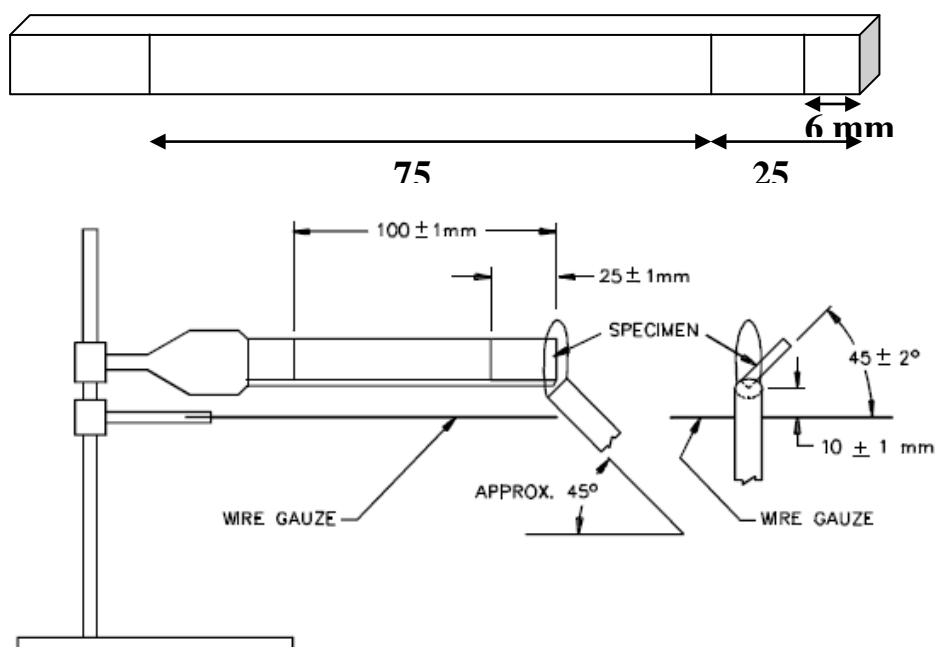
ภาพที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์ดัชนีออกซิเจนจำกัดของ Stanton Redcroft รุ่น FTA

3.4.9 ด้านการหลอมหยดด้วยเทคนิค UL-94

เทคนิคการทดสอบการลุกไหม้ในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 แบบ HB เป็นการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของเส้นใยเชิงประกอบของพอลิโพรพิลีนตามมาตรฐาน UL-94 สถานที่ทดสอบ: ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่สภาวะควบคุมความชื้น

สัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิขณะทดสอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะถูกตัดให้มีขนาด 130 x 13.5 มิลลิเมตรหนา 2.5 มิลลิเมตร ก่อนทำการทดสอบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบ 3 ชิ้น โดยกำหนดตำแหน่งในการทดสอบจากปลายด้านหนึ่งที่ระยะ 6 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตรและ 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.14
2. จับยึดชิ้นงานตรงด้านที่กำหนดระยะ 25 มิลลิเมตรและเอียงชิ้นงานทดสอบ 45 องศาตามแนวจับยึดแผ่นตะแกรงด้านล่างชิ้นงาน ห่างประมาณ 10 มิลลิเมตร
3. ปล่อยแก๊สมีเทนที่อัตราการไหล 0.105 ลิตร/นาที ความดันกลับไม่เกิน 0.39 นิ้วปรอท ปรับแต่งความสูงของเปลวไฟให้มีความสูงเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และมีเปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน
4. จากนั้นเลื่อนเปลวไฟเข้าใกล้ชิ้นงาน โดยให้ขอบซ้ายของเปลวไฟชิดกับระยะ 6 มิลลิเมตรที่กำหนดไว้ จับเวลา 30 วินาที หรือจนกว่าเปลวไฟจะลามไปถึงระยะ 25 มิลลิเมตรที่กำหนดไว้ หากเกินเวลา 30 วินาทีแล้วเปลวไฟยังไม่ถึงขีดกำหนดระยะที่ 25 มิลลิเมตร ให้รอจนกว่าเปลวไฟจะลามไปถึงขีดกำหนดระยะที่ 25 มิลลิเมตร จึงเลื่อนตะเกียงออกแล้วจับเวลา
5. จับเวลาที่เปลวไฟลามตั้งแต่ขีดกำหนดระยะที่ 25 มิลลิเมตร จนถึงระยะ 100 มิลลิเมตร แล้วบันทึกเวลาที่ได้ เพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการลามไฟ (Burning rate) ต่อไป



ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ในการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของเส้นใยเชิงประกอบของพอลิโพรพิลีนตาม

มาตรฐาน UL-94

3.4.10 การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Shake Flask Method นั้นอาศัยหลักการที่ว่าจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่เมื่อได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอจะสามารถเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนโคโลนี โดยแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เตรียม stock เชื้อ *S.aureus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการตัดตัวอย่างเส้นใยให้มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 1.00 กรัม ใส่ลงในขวดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว และดูดเชื้อที่ต้องการทดสอบที่เตรียมไว้มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดทดลองข้างต้นจากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 rpm ที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงก่อนดูดเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อมาเพาะในจานเพาะเชื้อด้วยวิธี spread plate โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นและคำนวณร้อยละการทดลองของเชื้อเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่ตัวอย่างเส้นใย

$$\% R = \frac{A-B}{A} * 100$$

โดย

R = ร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

A = จำนวนแบคทีเรียในขวดทดลองที่ไม่ใส่ตัวอย่างเส้นใย

B = จำนวนแบคทีเรียในขวดทดลองที่ใส่ตัวอย่างเส้นใยพอลิโพรพิลีนคอมพอสิต

บทที่ 4

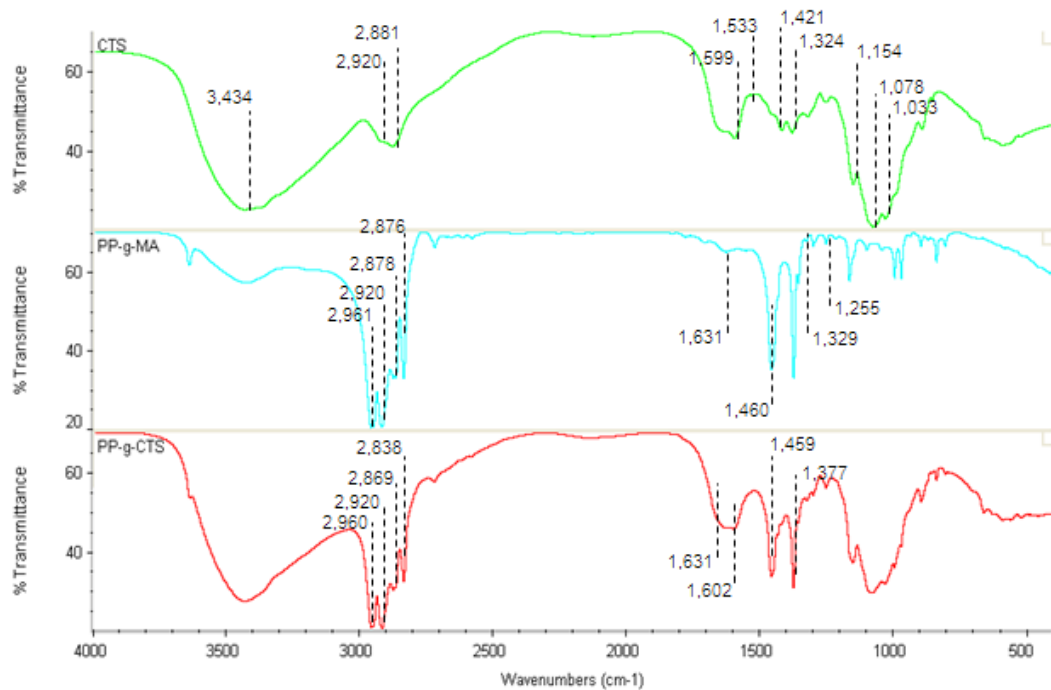
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานและโคโต-ออร์แกโนเคลย์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์-ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

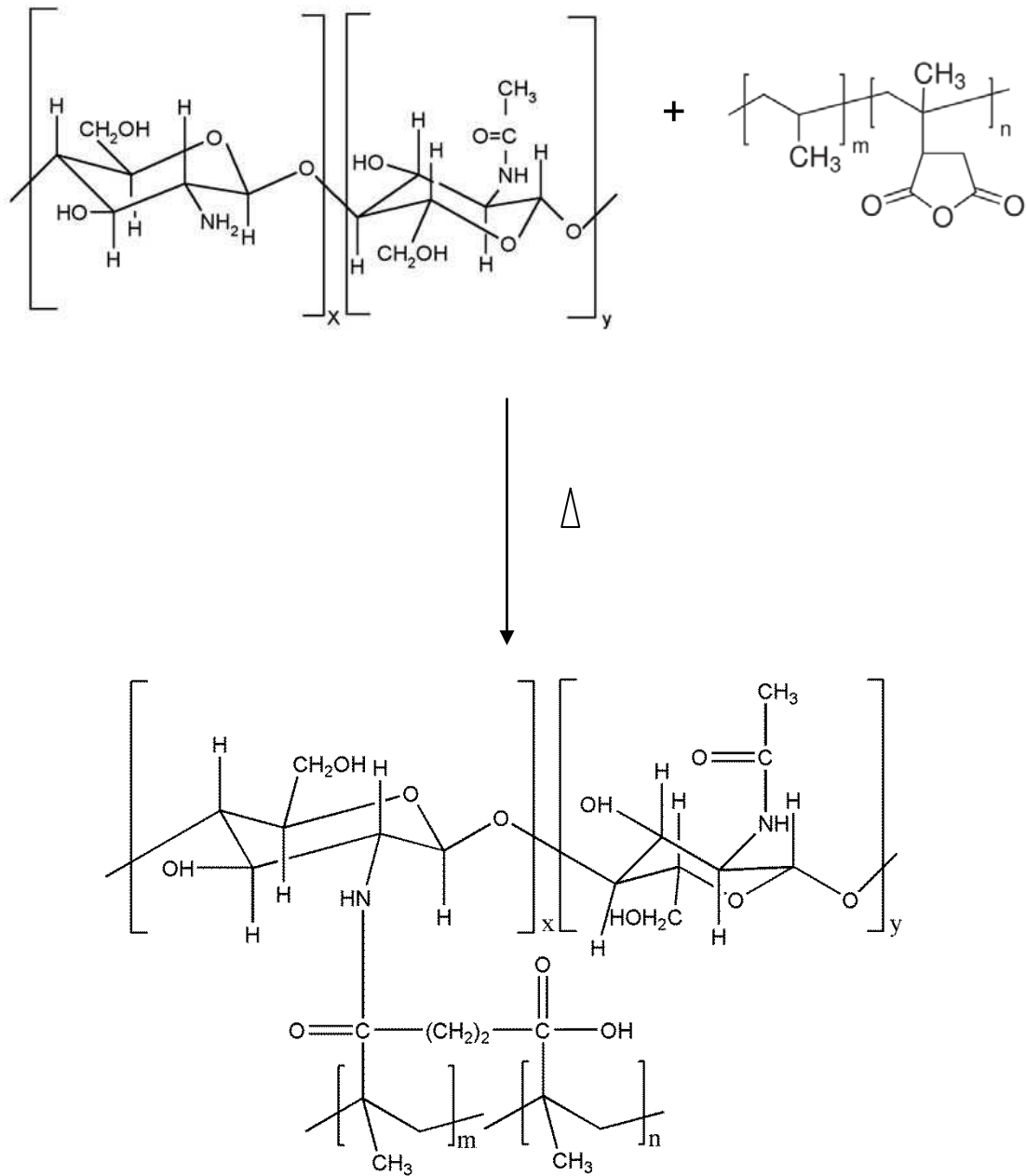
ภาพที่ 4.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (CTS) เปรียบเทียบกับโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-CTS) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าหมู่โครงสร้างของโคโตซานจะปรากฏพีกแสดงหมู่ -NH_2 ที่ตำแหน่ง 1,033, 1,078 และ $3,434 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ -NH ที่ตำแหน่ง 1,154 และ $1,533 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ -CH_2 ที่ตำแหน่ง 1,324, 1,421 และ $2,881 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ -CH_3 ที่ตำแหน่ง $2,920 \text{ cm}^{-1}$ แต่ทั้งนี้ไม่ปรากฏพีกของหมู่ -OH เนื่องจากถูกความเข้มพีกของหมู่ -NH_2 บดบัง นอกจากนี้ยังมีพีกปรากฏที่ตำแหน่ง 1599 cm^{-1} ซึ่งแสดงหมู่ C=O ในหมู่อะซิทิล (acetyl group) ด้วย

ส่วนพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) จะปรากฏพีกแสดงหมู่ C=O ที่ตำแหน่ง 1,255, 1,329, 1,460 และ $1,631 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ -CH_2 ที่ตำแหน่ง 2,878, 2868 และ $2,838 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ -CH_3 ที่ตำแหน่ง 2,920, 2,951 และ $2,961 \text{ cm}^{-1}$



ภาพที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของ CTS, PP-g-MA และ PP-g-CTS

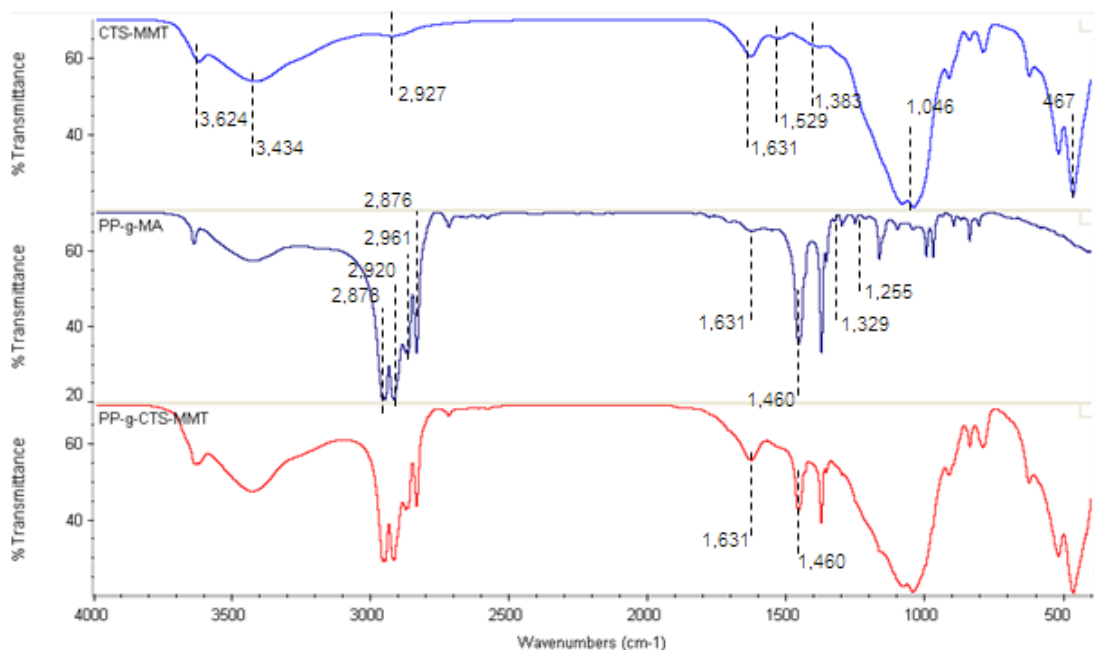
เมื่อตัดแปรรูปไคโตซานด้วย PP-g-MA ตามปฏิกิริยาแสดงในภาพที่ 4.2 และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ไคโตซานที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วย PP-g-MA จะเกิดหมู่ C=O ที่ตำแหน่ง 1,631 และ 1,602 cm^{-1} หมู่ $-\text{CH}_2$ ในตำแหน่ง 1,360, 1,459, 2,838, 2,878 และ 2,869 cm^{-1} หมู่ $-\text{CH}_3$ ในตำแหน่ง 2,920, 2,960 และ 2,952 cm^{-1} และ O=C-O ที่ตำแหน่ง 1,377 cm^{-1} ในโครงสร้างของ PP-g-CTS ซึ่งจะเห็นได้จากอินฟราเรดสเปกตรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.1



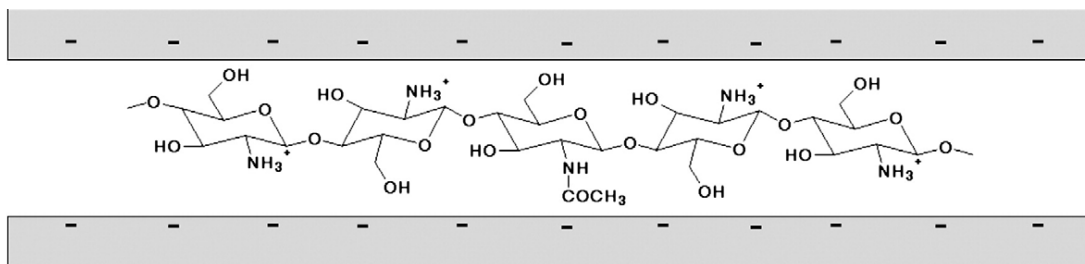
ภาพที่ 4.2 ปฏิกริยาระหว่างไคโตซานกับพอลิไพโรพิดีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโต-ออร์แกนโอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

จากการพิจารณาดูองค์ประกอบทางเคมีของโคโต-ออร์แกนโอเคลย์ (CTS-MMT) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าจากอินฟราเรดสเปกตรัมในภาพที่ 4.3 พบว่าโครงสร้างของออร์แกนโอเคลย์ (MMT) จะปรากฏที่ แสดงพันธะ Si-O ที่ตำแหน่ง 467, 520, 500, 626 และ 793 cm^{-1} แสดงพันธะ Si-O-Si ที่ตำแหน่ง 1,086 และ 1,042 cm^{-1} แสดงพันธะ Al-OH ที่ตำแหน่ง 916 cm^{-1} และพันธะ H-O-H, H-H และ O-H ของน้ำในชั้นของ MMT ที่ตำแหน่ง 1,634 และ 3,626 cm^{-1} และแสดงหมู่ $-\text{NH}_2$ ที่ตำแหน่ง 1,529 cm^{-1} แสดงหมู่ $\text{O}=\text{C}-\text{O}$ ที่ตำแหน่ง 1,383 cm^{-1} และแสดงหมู่ $-\text{CH}_2$ ที่ตำแหน่ง 2,927 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ของ CTS เพิ่มขึ้นเมื่อนำ CTS มาทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกับ MMT ก่อนนำมาดัดแปรด้วย PP-g-MA ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ CTS-MMT, PP-g-MA และ PP-g-CTS-MMT



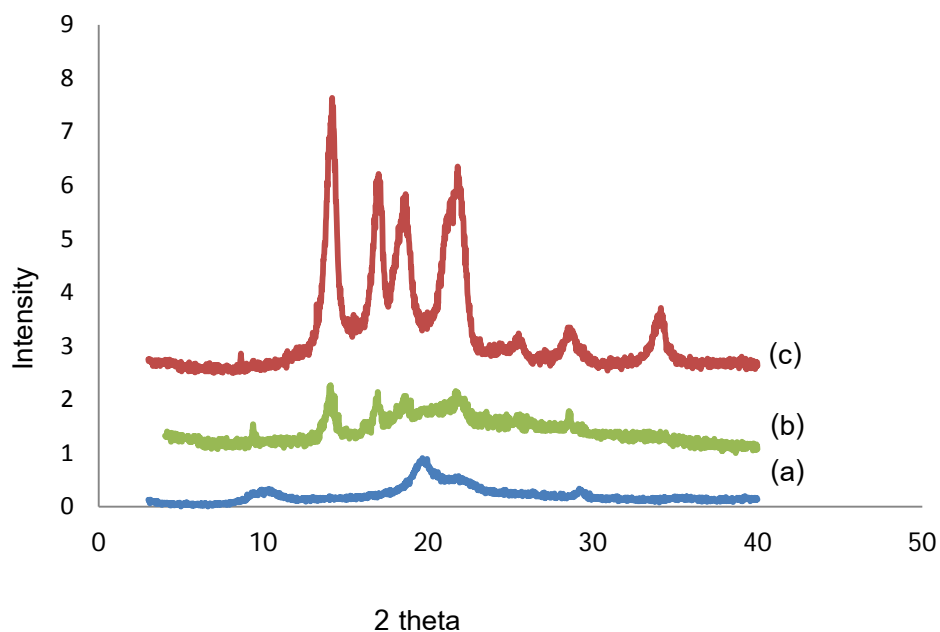
ภาพที่ 4.4 ปฏิกริยาแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไคโตซานกับออร์แกโนเคลย์

เมื่อพิจารณาไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิก-แอนไฮไดรด์ (PP-g-CTS-MMT) ที่ได้มาตรวจสอบโครงสร้างทางเคมี พบว่า อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จะปรากฏพีกต่างๆ เหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของ CTS-MMT และเมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะเห็นว่าบริเวณตำแหน่ง $1,631\text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ของ O=C ซึ่งเกิดการซ้อนทับกับของ H-O-H ในโครงสร้างของ MMT และแสดงหมู่ O=C-O ที่ตำแหน่ง $1,460\text{ cm}^{-1}$ ในลักษณะพีกฐานกว้าง และมีความเข้มของพีกมากขึ้น ซึ่งพีกในตำแหน่งดังกล่าวเป็นพีกของหมู่ O=C-O ใน PP-g-MA โดย PP-g-CTS-MMT ยังคงลักษณะเดิมในส่วนที่มีหมู่เอไมด์ (ภาพที่ 4.3)

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ด้วยเทคนิค XRD

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

จากการศึกษาโครงสร้างของไคโตซาน (CTS) ด้วยเทคนิค XRD พบว่าดิฟแฟรกโทแกรมของไคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรจะปรากฏพีก ณ ตำแหน่ง $2\theta = 10^\circ, 20^\circ$ และ 30° ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และเมื่อนำไคโตซานมาดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่ามีพีกเพิ่มเติมที่ตำแหน่ง $2\theta = 14.01^\circ, 17.01^\circ$ และ 18.53° ซึ่งเป็นพีกของ PP-g-MA แต่สังเกตเห็นได้ชัดเจนว่าพีกมีลักษณะฐานกว้างและไม่มีคมชัด แสดงว่า PP-g-MA ที่อยู่ในไคโตซานดัดแปรมีความเป็นผลึกลดลง เมื่อเทียบกับ PP-g-MA อันเป็นผลจากที่ไคโตซานทำปฏิกิริยากับ PP-g-MA ข้อมูลที่ได้สนับสนุนเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ทำให้ยืนยันได้ว่าเราสามารถสังเคราะห์ PP-g-CTS ได้จริง

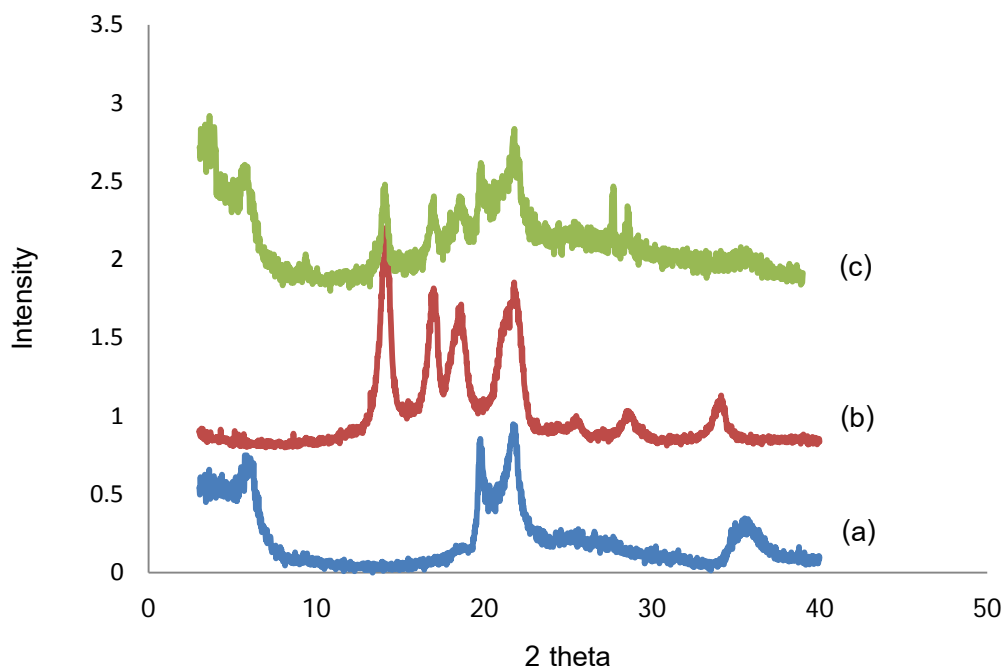


ภาพที่ 4.5 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย

พอลิไพร์ฟลิ้นกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ a.) CTS, b.) PP-g-CTS และ c.) PP-g-MA

4.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลิ้นกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ภาพที่ 4.6 แสดง XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (CTS-MMT) และไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพร์ฟลิ้นกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-CTS-MMT) โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง CTS-MMT:PP-g-MA เท่ากับ 1:1 พบว่า การดัดแปรไม่มีผลให้รูปแบบผลึกของ CTS-MMT เปลี่ยนแปลง แต่จะมีโครงสร้างผลึกของ CTS-MMT และ PP-g-MA เป็นองค์ประกอบ โดยที่สารทั้งสองนี้ยังคงโครงสร้างผลึกเหมือนเดิม ดังภาพที่ 4.6

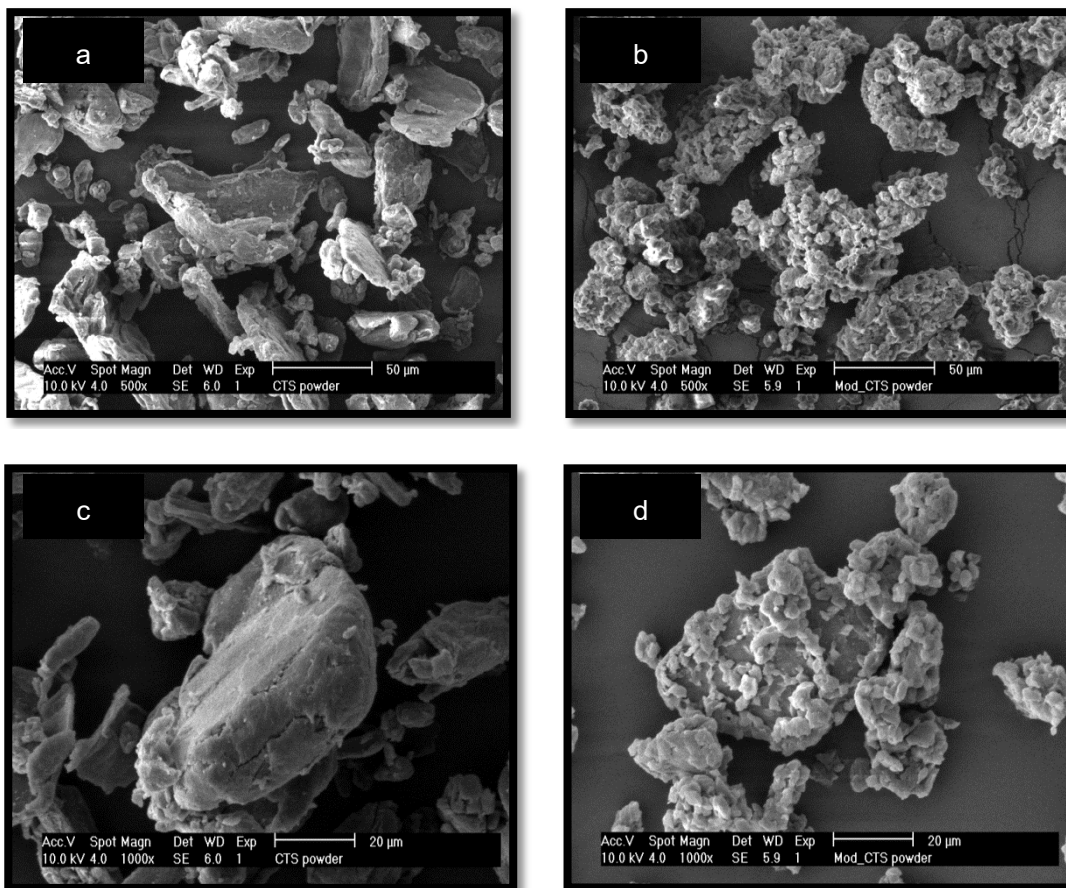


ภาพที่ 4.6 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของไคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีน-กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ a.) CTS-MMT, b.) PP-g-MA และ c.) PP-g- CTS-MMT

4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของของไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.3.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีน-กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของไคโตซานด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า อนุภาคไคโตซานมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีขนาดอนุภาคประมาณ 75 μm ดังแสดงในภาพที่ 4.7 (a) และ 4.7 (C) และเมื่อผ่านการดัดแปรด้วย PP-g-MA ทำให้พื้นผิวอนุภาคมีลักษณะขรุขระ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก PP-g-MA ที่ใช้ในการดัดแปรไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค CTS ดังรูป 4.7(b) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายมากขึ้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า PP-g-MA เกาะอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค CTS ดังรูป 4.7(d)

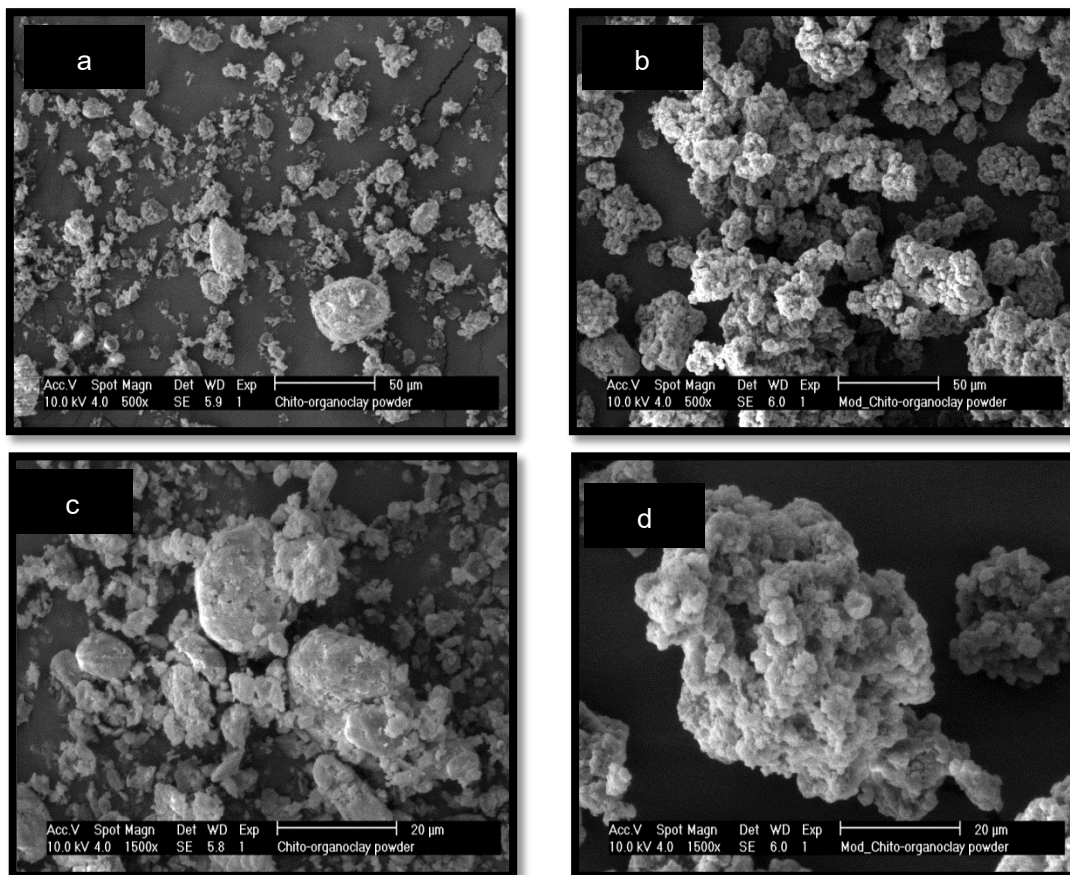


ภาพที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาค CTS และอนุภาคของ PP-g-CTS

a.) CTS กำลังขยาย 500 เท่า, b.) PP-g-CTS กำลังขยาย 500 เท่า, c.) CTS กำลังขยาย 1,000 เท่า และ d.) PP-g-CTS กำลังขยาย 1,000 เท่า

4.3.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของโคโต-ออร์แกนโอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ภาพที่ 4.8(a) และ 4.8(c) แสดงสัณฐานวิทยาของ CTS-MMT ด้วยกำลังขยายที่แตกต่างกัน พบว่า CTS-MMT มีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 25-75 μm และมีพื้นผิวขรุขระ เมื่อทำการดัดแปรด้วย PP-g-MA พบว่า พื้นผิวของ CTS_MMT ที่ผ่านการดัดแปรมีความขรุขระมากขึ้น และขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดจาก PP-g-MA บางส่วนเข้าไปแทรกสอดระหว่างชั้นของเคลย์ที่มีโคโตซานแทรกอยู่ก่อนแล้วและบางส่วนเกาะอยู่ที่ผิวทำให้อนุภาคของโคโต-ออร์แกนโอเคลย์ที่ได้ถูกห่อหุ้มจนทำให้ไม่เห็นลักษณะของชั้นเคลย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.8(b), 4.8(d)



ภาพที่ 4.8 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาค CTS-MMT และ PP-g-CTS-MMT

a.) CTS-MMT กำลังขยาย 500 เท่า b.) PP-g-CTS-MMT กำลังขยาย 500 เท่า

c.) CTS-MMT กำลังขยาย 1,500 เท่า d.) PP-g-CTS-MMT กำลังขยาย 1,500 เท่า

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ทั้งไคโตซานและไคโต-ออร์แกนอเคลย์สามารถดัดแปรโดยใช้ PP-g-MA ซึ่งเป็นสารช่วยให้เข้ากันได้กับพอลิโพรพิลีนที่จะนำมาทำเป็นเส้นใย โดยคาดหวังว่าทั้งไคโตซานดัดแปรและไคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรนี้จะสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิโพรพิลีน

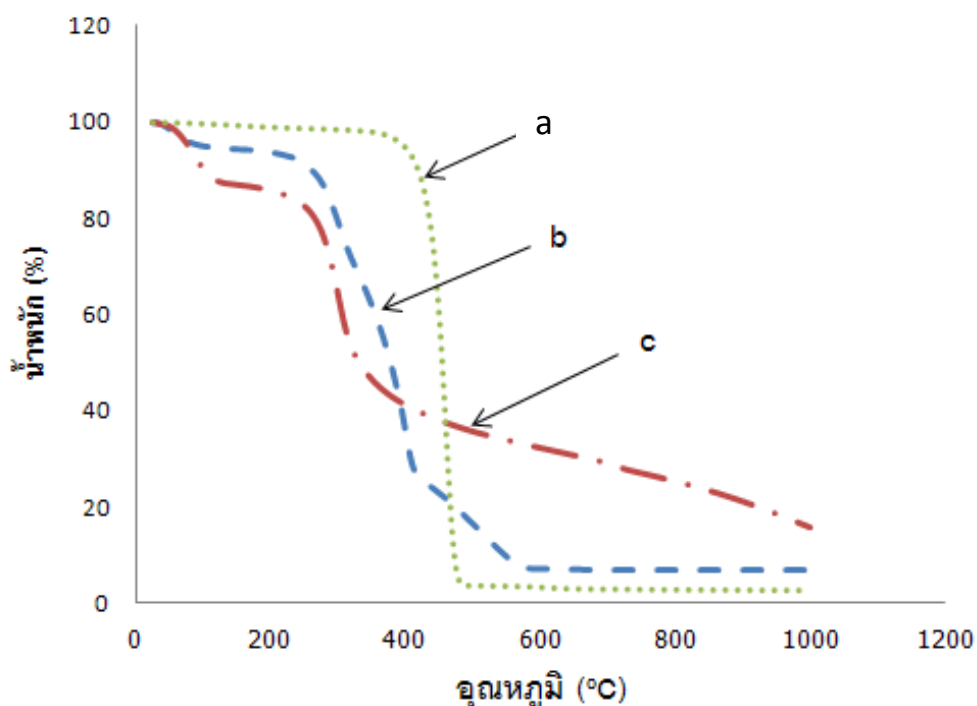
4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

4.4.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

สมบัติทางความร้อนของโคโตซาน (CTS), พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) และโคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-CTS) แสดงได้จากเทอร์โมแกรมดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.1 พบว่าโคโตซานสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าโคโตซานดัดแปร แต่น้ำหนักของเก้าถ่านที่เหลือจากการสลายตัวของโคโตซานนั้นมีปริมาณสูงกว่า และค่อนข้างคงที่แม้อุณหภูมิเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นไปถึง 1,000 °C โดยยังไม่มีการสลายตัว ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีในการนำโคโตซานนี้ไปใช้ประโยชน์เป็นสารหน่วงไฟ ทั้งนี้เนื่องจากเก้าถ่านที่เหลือจะช่วยปกคลุมผิวหน้าของชิ้นงานไม่ให้ไฟลุกลามต่อไปได้ อย่างไรก็ตามโคโตซานยังมีข้อด้อยบางประการที่ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ผสมกับพอลิโพรพิลีน เนื่องจากมีพื้นผิวเป็นไฮโดรฟิลิกอยู่จึงต้องทำการดัดแปรโคโตซานด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ก่อน เพื่อเพิ่มสมบัติความเข้ากันได้และการกระจายตัวของโคโตซานในพอลิโพรพิลีนก่อนการผสมในเครื่องอัดรีดด้วยความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปรโคโตซานด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ส่งผลให้โคโตซานดัดแปรมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวสูงกว่าโคโตซานดังแสดงในตารางที่ 4.1 จึงถือว่าการดัดแปรนี้ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้แก่โคโตซานได้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของโคโตซาน พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์และโคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว (T_{onset} , °C)		% เก้าถ่านที่เหลือที่ 1,000 °C
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	
CTS	225	-	15.58
PP-g-CTS	225	325	5.43
PP-g-MA	350	-	2.77

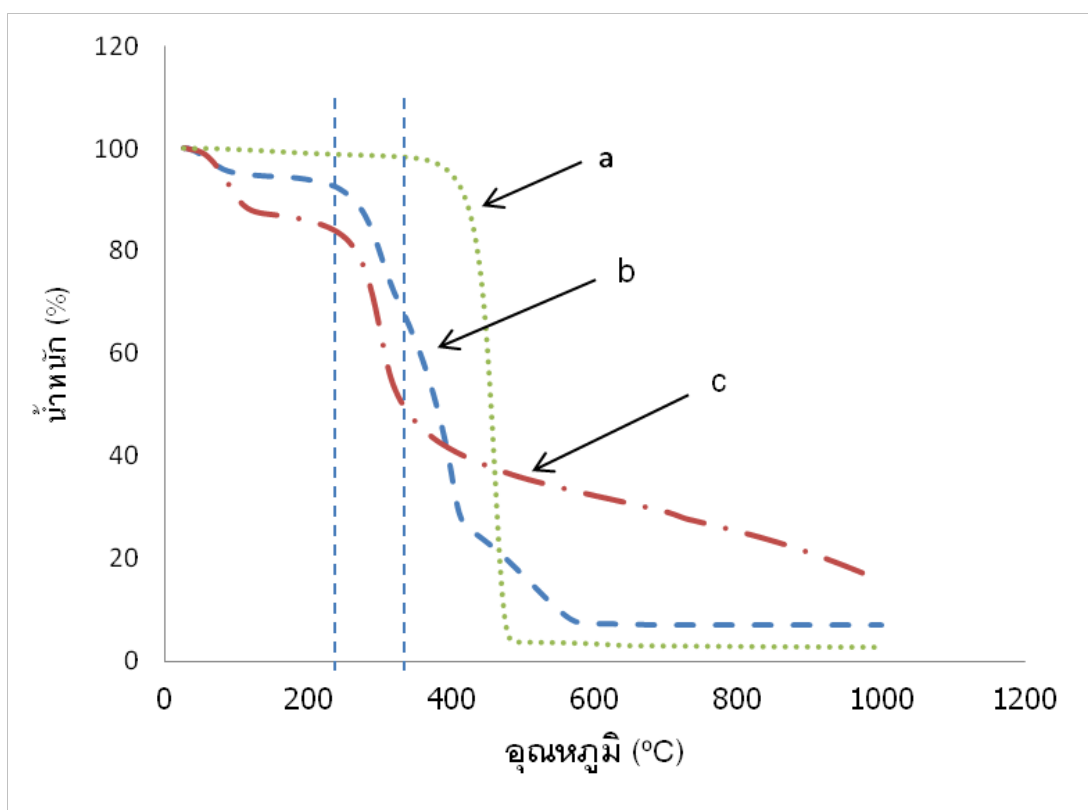


ภาพที่ 4.9 TGA เทอร์โมแกรมของ a.) PP-g-MA, b.) PP-g-CTS และ c.) CTS

4.4.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของโคโต-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

TGA เทอร์โมแกรมของโคโต-ออร์แกนอเคลย์(CTS-MMT), พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) และโคโต-ออร์แกนอเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-CTS-MMT) ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 4.10 จากเทอร์โมแกรมพบว่า CTS-MMT มีการสลายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสลายตัวของโมเลกุลของโมเลกุลโคโตซานภายในและภายนอกชั้นโครงสร้างของเคลย์ แสดงให้เห็นว่าโคโตซานสามารถแทรกสอด(intercalated clay) เข้าไปในชั้นของเคลย์ได้ การเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 265 องศาเซลเซียส เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเคลย์ และน้ำหนักของแก้ว่านที่เหลือจากการสลายตัวของ CTS-MMT นั้นมีปริมาณสูงกว่า PP-g-CTS-MMT มาก เพราะการดัดแปร CTS-MMT ด้วย PP-g-MA จะทำให้เกิดการแทรกสอดของ PP-g-MA เข้าไปในชั้นของเคลย์ทำให้เกิดการขยายตัวมากจนทำให้บางส่วนของเคลย์แยกออกจากกันและกระจัด

กระจายอย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในการสลายตัวลดลงแต่ค่าที่ได้ยังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของ PP-g-MA โดยยังคงมีการสลายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ 271 องศาเซลเซียส เกิดจากการสลายตัวของของโคโตนานในชั้นของเคลย์ การเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 2 ณ อุณหภูมิ 442 องศาเซลเซียส เป็นปริมาณการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเคลย์ แต่ยังคงมีน้ำหนักของเก้าถ่านที่เหลือจากการสลายตัวของ PP-g-CTS-MMT อยู่ จึงถือว่าการดัดแปรนี้ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและการกระจายตัวของ CTS-MMT ได้อย่างมากดังแสดงในตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมของ a.)CTS-MMT, b.) PP-g-MA และ c.) PP-g-CTS-MA

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของไคโต-ออร์แกโนเคลย์และไคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว (T_{onset} , °C)		% ถ้ำถ่านที่เหลือที่ 1,000 °C
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	
CTS-MMT	220	560	77.17
PP-g-CTS-MMT	248	410	9.11
PP-g-MA	350	-	2.77

4.5 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

4.5.1 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโตซานและไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

จากผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ของ CTS กับ PP-g-CTS ด้วยวิธี Shake flask method นั้น พบว่า CTS ปริมาณตั้งแต่ 0.01 – 1 กรัม ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11(a) – (e) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไคโตซานที่ใช้เป็นไคโตซานที่อยู่ในรูปผงซึ่งยังไม่มีกระบวนการปรับประจุในสภาวะกรดอ่อน ทำให้ไคโตซานผงที่ใช้ไม่สามารถแสดงสมบัติในการยับยั้งเชื้อได้ในขณะที่ PP-g-CTS สามารถยับยั้งเชื้อได้ถึงอย่างน้อย 85% เมื่อใช้เพียง 0.01 กรัม และยับยั้งเชื้อได้เกือบ 100% เมื่อใช้ปริมาณเท่ากับ 0.1 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการเตรียม PP-g-CTS มี pH ประมาณ 4.8 ทำให้หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไคโตซานรับโปรตอนกลายเป็นแอมโมเนียมไอออน ($-NH_3^+$) ที่มีความเป็นประจุบวกสูงส่งผลให้ PP-g-CTS สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี

ตารางที่ 4.3 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของโคโตซานและโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ปริมาณสารที่ใส่ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (g)	อัตราการยับยั้งเชื้อ <i>S. aureus</i> (%)
Blank	-
0.01g CTS	0
0.02g CTS	0
0.04g CTS	0
0.10g CTS	0
0.01g PP-g- CTS	85.29
0.02g PP-g- CTS	92.64
0.04g PP-g- CTS	86.76
0.10g PP-g- CTS	99.70

4.5.2 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของโคโต-ออร์แกนโนเคลย์และโคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของ CTS-MMT กับ PP-g-CTS-MMT ในปริมาณ 0.01, 0.02, 0.04, 0.10 กรัม พบว่า CTS-MMT สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ประมาณ 7.77% เมื่อใช้ในปริมาณ 0.04 กรัม และเมื่อเพิ่มปริมาณ CTS-MMT มากขึ้นถึง 0.1 กรัม สามารถยับยั้งเชื้อได้ประมาณ 14% ทั้งนี้เนื่องจากโคโตซานที่อยู่ใน CTS-MMT ยังมีความเป็นประจุบวกอยู่ทำให้สามารถจับกับประจุลบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ และเมื่อพิจารณาสมบัติการต้านเชื้อของ PP-g-CTS-MMT พบว่า เมื่อใส่ PP-g-CTS-MMT ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 0.01 กรัม สามารถยับยั้งเชื้อได้ถึง 71% และเมื่อเพิ่มปริมาณ PP-g-CTS-MMT เป็น 0.1 กรัมสามารถยับยั้งเชื้อได้มากขึ้นถึง 87% จากผลการทดลองสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า PP-g-MA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของ CTS และ CTS-MMT ได้

ตารางที่ 4.4 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ และไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรต์ในปริมาณต่างๆ

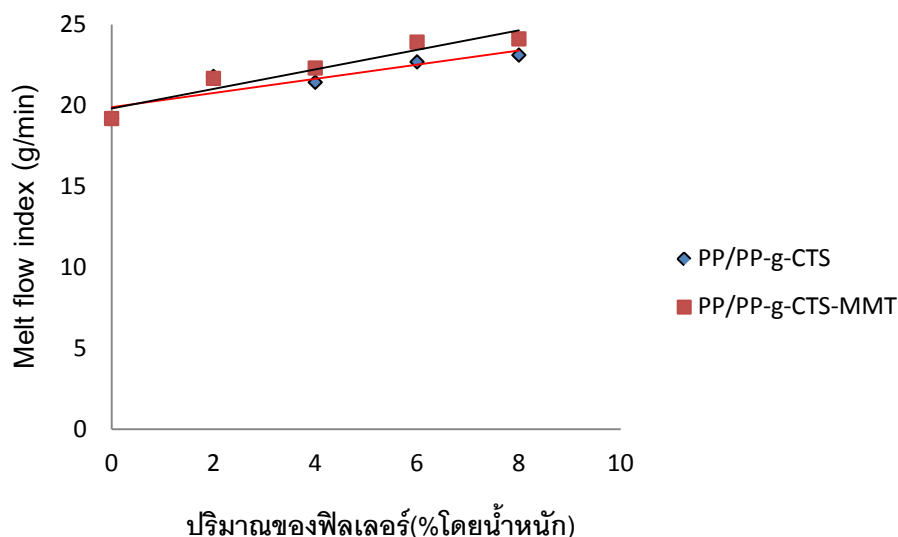
ปริมาณสารที่ใส่ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (g)	อัตราการยับยั้งเชื้อ <i>S. aureus</i> (%)
Blank	-
0.01g CTS-MMT	0
0.02g CTS-MMT	0
0.04g CTS-MMT	7.77
0.10g CTS-MMT	14.44
0.01g PP-g-CTS-MMT	71.11
0.02g PP-g-CTS-MMT	73.33
0.04g PP-g-CTS-MMT	72.22
0.1g PP-g-CTS-MMT	87.77

4.6 การศึกษาดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรต์ และพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรต์

จากการศึกษาดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรต์ (PP/PP-g-CTS) และวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรต์ (PP/PP-g-CTS-MMT) พบว่า ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนมีค่าประมาณ 20 กรัมต่อนาที ในขณะที่ดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบมีสูงกว่าพอลิโพรพิลีนดังแสดงในภาพที่ 4.11 นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ได้จาก PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลเพิ่มสูง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าทั้งไคโตซานและไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย PP-g-MA มีผลในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์แมทริกซ์ และเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้แก่วัสดุเชิงประกอบ นอกจากนี้ข้อดีดังกล่าวแล้ว PP-g-MA ยังมีบทบาทเป็นเหมือนพลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) เมื่อพอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนผ่านกันได้

ง่ายขึ้น ส่งผลให้การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวดีขึ้น ค่าดัชนีการไหลจึงต้องมีค่าที่สูงพอเพื่อช่วยในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบในระหว่างการอัดรีดด้วยความร้อน

จากค่าดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบทุกสูตรที่ได้เป็นค่าดัชนีการไหลที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยทั่วไปค่าที่เหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นใยนั้นมีค่าอยู่ในประมาณ 25-30 กรัม/นาที และเป็นตัวชี้ให้ทราบว่าสามารถนำวัสดุเชิงประกอบเหล่านี้ไปฉีดขึ้นรูปเป็นเส้นใยต่อไปได้หรือไม่



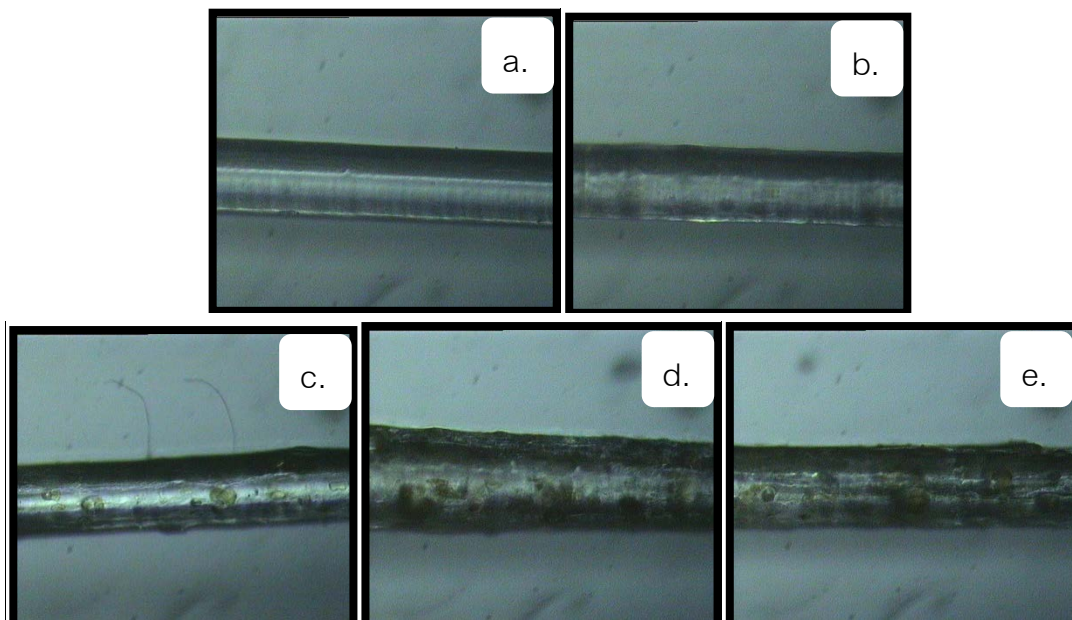
ภาพที่ 4.11 ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและ PP/PP-g-CTS และ PP/PP-g-CTS-MMT

4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกนอเคลย์-ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผลของการฉีดเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT พบว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่มีปริมาณ PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT สูงขึ้นถึง 6% และ 10% (โดยน้ำหนัก) ไม่สามารถฉีดเป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องได้และมีการขาดในระหว่างกระบวนการฉีดเส้นใยและกระบวนการม้วนเก็บ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของ PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT ยังมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูสปินเนอเรต จึงไม่สามารถผ่านออกมาได้ จนเกิดการอุดตันและไม่สามารถฉีดออกมาเป็นฟิลาเมนต์ได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อส่อง

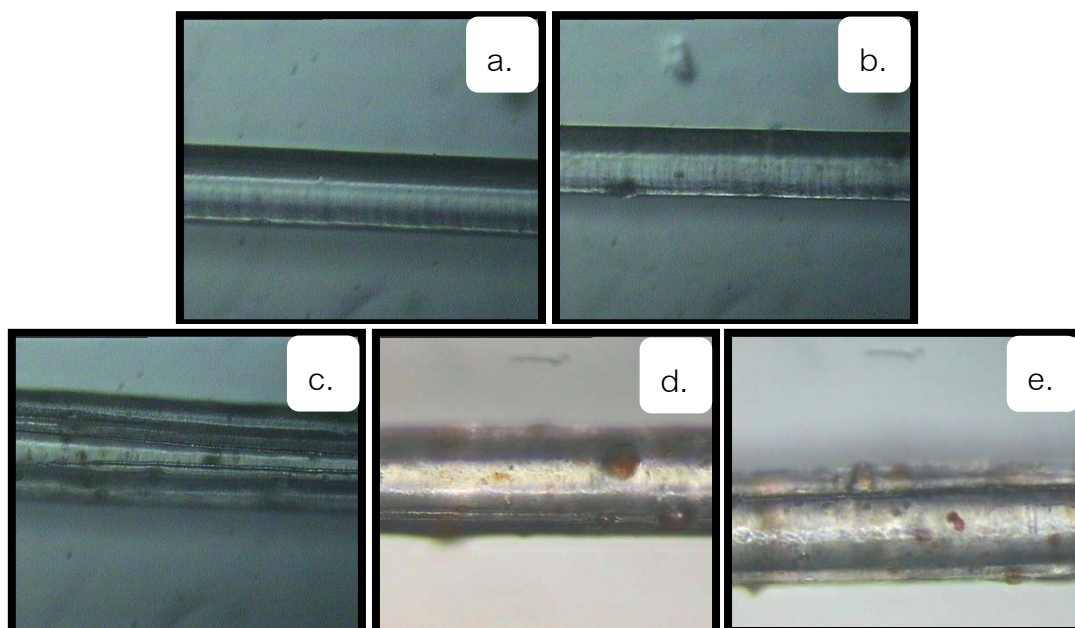
ดูพื้นผิวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้สังเกตผิวของเส้นขรุขระอย่างชัดเจน ขนาดของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดใหญ่

เมื่อนำเส้นใยทั้งหมดมาเข้าสู่กระบวนการดัดยัดโดยใช้ความเร็วรอบ เท่ากับ 50 รอบ/นาที พบว่าเส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กกลง มีผิวที่เรียบขึ้น แต่การกระจายตัวของอนุภาค PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT ยังคงไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้เส้นใยที่ฉีดจากสูตรผสมของ PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT เท่ากับ 8% (โดยน้ำหนัก) จะขาดในระหว่างกระบวนการม้วนเก็บทำให้ลักษณะภายนอกและขนาดของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามในสูตรผสมอื่นๆ ยังสามารถฉีดเส้นใยฟิลาเมนต์และม้วนเก็บได้ดังแสดงในภาพที่ 4.12, ภาพที่ 4.13 และตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.12 ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS

a.) PP, b.) 2 wt%, c.) 4 wt%, d.) 6 wt% และ e.) 8 wt%



ภาพที่ 4.13 ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT

a.) PP, b.) 2 wt%, c.) 4 wt%, d.) 6 wt% และ e.) 8 wt%

ตารางที่ 4.5 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT

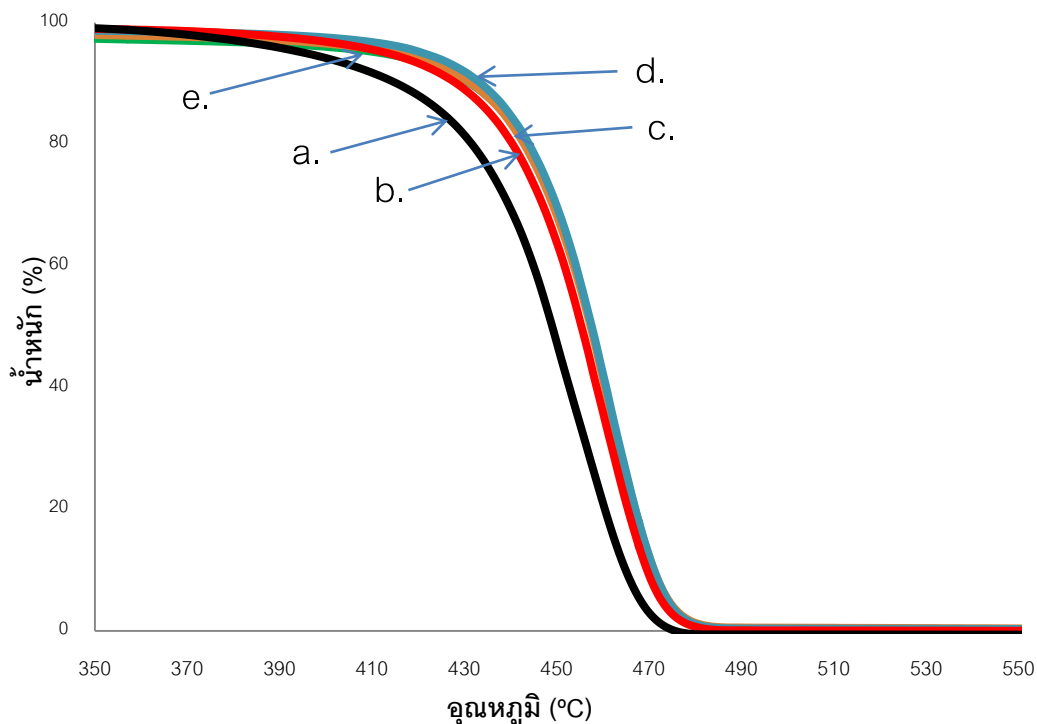
สูตรเส้นใย (%)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	ความละเอียดของเส้นใย (denier)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
PP	84.70	78.60	1.54
PP/PP-g-MA 1%	102.50	235.80	3.17
PP/PP-g-MA 2%	104.60	200.40	2.59
PP/PP-g-MA 3%	65.40	34.860	1.15
PP/PP-g-MA 4%	71.30	58.860	1.63
PP/PP-g-CTS 2%	140.10	40.62	1.61
PP/PP-g-CTS 4%	132.30	46.44	1.06
PP/PP-g-CTS 6%	126.50	55.74	1.05
PP/PP-g-CTS 8%	151.30	71.58	0.82
PP/PP-g-CTS-MMT 2%	59.60	142.38	1.02
PP/PP-g-CTS-MMT 4%	78.60	141.54	1.14

PP/PP-g-CTS-MMT 6%	86.50	127.02	1.12
PP/PP-g-CTS-MMT 8%	151.30	200.28	1.23

4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ไคโตซานดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และพอลิโพรพิลีน/ไคโต-ออร์แกโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

4.8.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS ด้วยเทคนิค TGA

จากการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS ดังแสดงในภาพที่ 4.14 จากตารางที่ 4.6 แสดงการสลายตัวของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS พบว่า เส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS มีอุณหภูมิการสลายตัว (Td) มากกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน หรืออีกนัยหนึ่งคือไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย PP-g-MA สามารถรักษาเสถียรภาพทางความร้อนให้กับพอลิโพรพิลีนในเส้นใยเชิงประกอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของ PP-g-CTS ที่แทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นตัวหล่อลื่น จึงลดแรงเสียดทานระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยกันเอง จึงยังคงรักษาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนเอาไว้ได้ ดังนั้นพอลิโพรพิลีนในสูตรวัสดุเชิงประกอบจึงมีเสถียรภาพทางความร้อนดีกว่า โดยเฉพาะเส้นใยเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PP-g-CTS ที่ 4 wt% มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก PP-g-CTS สามารถกระจายตัวได้ดีและสม่ำเสมอในเนื้อพอลิเมอร์ จึงมีประสิทธิภาพในการลดแรงเสียดทานของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการเติม PP-g-CTS ลงไปในพอลิเมอร์มากเกินไป ส่งผลให้ไคโตซานดัดแปรกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ไม่ดีเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มๆ ทำให้ประสิทธิภาพการลดแรงเสียดทานลดลงเป็นผลให้อุณหภูมิการสลายตัว (Td) ที่ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.14 จากกราฟยังได้ข้อมูลเพิ่มเติมคือปริมาณของฟิลเลอร์ที่อยู่ในเส้นใยมีค่าต่ำกว่าทฤษฎีค่อนข้างมาก โดยจากการอนุมานจากค่าอินเตอร์มีเดียตชาร์เป็นปริมาณฟิลเลอร์ที่แท้จริง พบว่าในสูตรผสมวัสดุเชิงประกอบที่เติมฟิลเลอร์ 2%, 4%, 6% และ 8% พบฟิลเลอร์ที่แท้จริงในเส้นใยเชิงประกอบเพียง 1.22%, 1.44%, 1.62% และ 1.73% ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าขนาดของอนุภาคฟิลเลอร์มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูสปินเนอร์ จึงไปอุดตันอยู่ภายใน จนทำให้ไม่สามารถฉีดเส้นใยออกมาได้อย่างต่อเนื่องเมื่อผ่านเวลาไปได้สักระยะหนึ่ง ผลจากที่มีปริมาณฟิลเลอร์อยู่ในเส้นใยวัสดุเชิงประกอบที่ต่ำ จึงคาดว่าจะส่งผลต่อสมบัติการหน่วงไฟของเส้นใย เพราะปริมาณชาร์ที่ได้พบว่าต่ำกว่า 1%



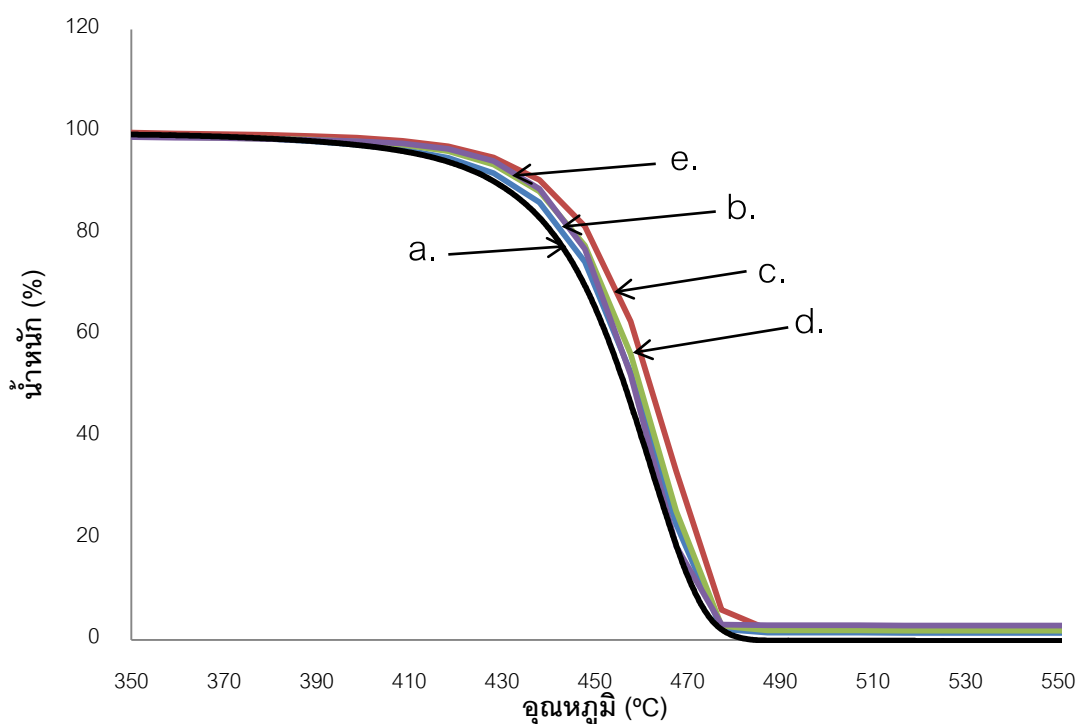
ภาพที่ 4.14 TGA เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 350-550 °C ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS draw ratio เท่ากับ 50 รอบ/นาที่ ที่ปริมาณ PP-g-CTS ต่างกัน a.) PP, b.) PP-g-CTS 2 wt%, c.) PP-g-CTS 4 wt%, d.) PP-g-CTS 6 wt% และ e.) PP-g-CTS 8 wt%

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS

เส้นใยเชิงประกอบ (wt%)	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (°C)	น้ำหนักอินเตอร์มีเดียตชาร์ที่ Tonset (%)	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	% ถ้ำถ่านที่เหลือที่ 550 °C
PP	450	-	470	0
PP-g-CTS 2%	451	1.22	475	0.17
PP-g-CTS 4%	452	1.44	478	0.35
PP-g-CTS 6%	450	1.62	475	0.52
PP-g-CTS 8%	451	1.73	480	0.76

4.8.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT ด้วยเทคนิค TGA

จากตารางที่ 4.7 แสดงการสลายตัวของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT พบว่าเส้นใยเชิงประกอบดังกล่าว มีอุณหภูมิการสลายตัว (Td) มากกว่าพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PP-g-CTS-MMT สามารถเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับเส้นใยได้ดีกว่า ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่าอนุภาค PP-g-CTS-MMT เกิดการกระจายตัวในเส้นใยได้ดี ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT ที่ 6 wt% มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ดีที่สุดและยังให้ค่าถ่านที่เหลือปริมาณอยู่มากที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของ PP-g-CTS-MMT 6% สามารถกระจายตัวได้อย่างเหมาะสมในเนื้อโพลิเมอร์ ซึ่งการเติม PP-g-CTS-MMT ลงไปในพอลิเมอร์ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้กระจายได้ไม่ดีส่งผลให้มีอุณหภูมิการสลายตัว (Td) ที่ลดลง (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 TGA เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 350-550 °C ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT draw ratio เท่ากับ 50 รอบ/นาที่ ที่ปริมาณ PP-g-CTS-MMT ต่างกัน a.) PP, b.) PP-g-CTS-MMT 2 wt%, c.) PP-g-CTS-MMT 4 wt%, d.) PP-g-CTS-MMT 6 wt% และ e.) PP-g-CTS-MMT 8 wt%

ตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT

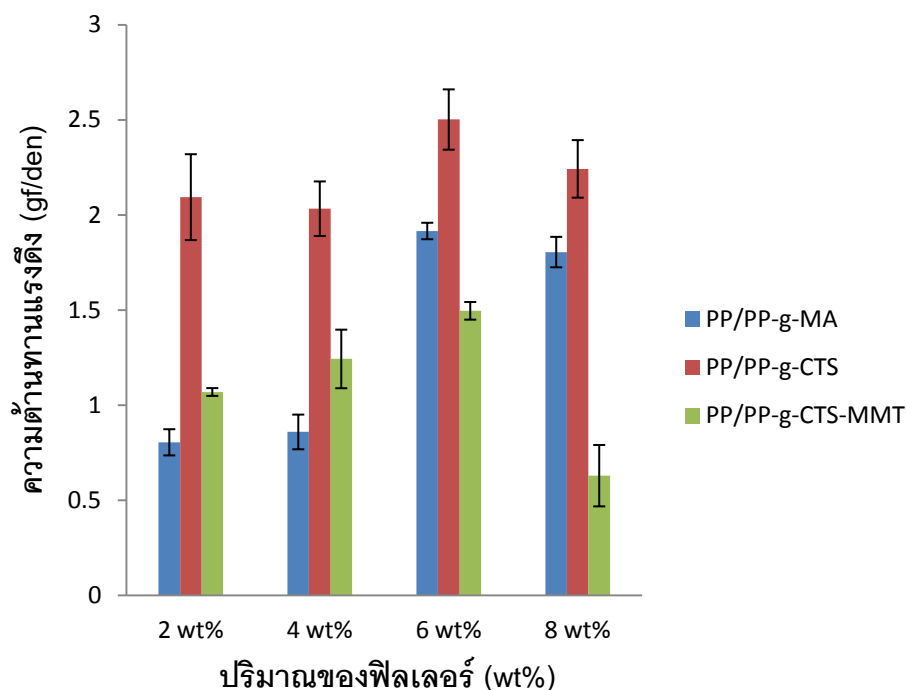
เส้นใยเชิงประกอบ (wt%)	T _{onset} (°C)	น้ำหนักอินเตอร์ มีเดียตชาร์ที่ Tonset (%)	อุณหภูมิการ สลายตัว (°C)	% ถ้ำถ่าน ที่เหลือ ที่ 550 °C
PP	450	-	470	0
PP-g- CTS-MMT 2%	451	0.79	482	1.79
PP-g- CTS-MMT 4%	454	1.94	482	2.09
PP-g- CTS-MMT 6%	455	2.08	484	2.21
PP-g- CTS-MMT 8%	455	2.11	484	2.79

4.9 การศึกษาสมบัติเชิงกล

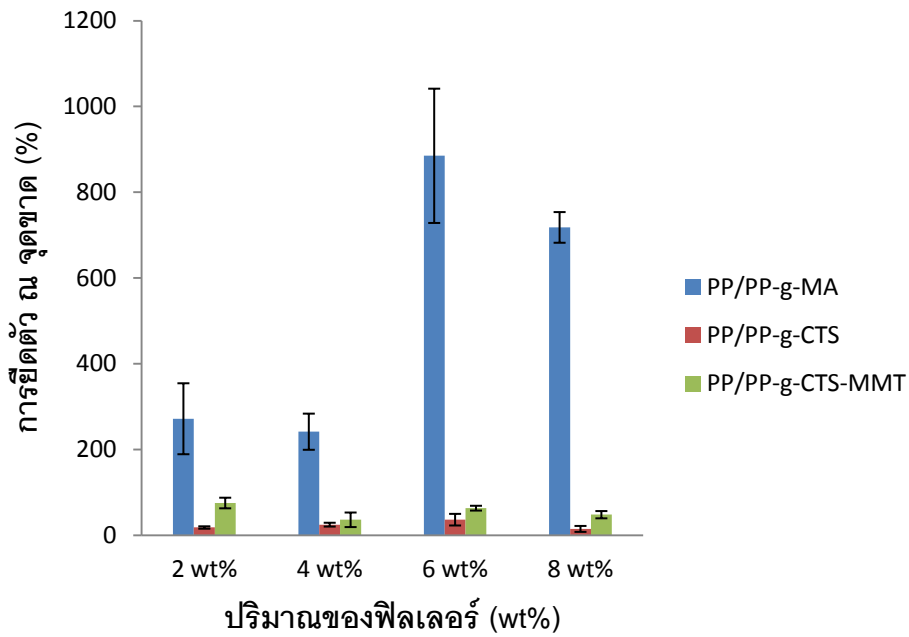
4.9.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติเชิงกลในรูปของการต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน เส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT พบว่า การเติม PP-g-CTS ลงในเส้นใยเชิงประกอบมีแนวโน้มให้ค่าการต้านแรงดึงของเส้นใยเพิ่มขึ้น ซึ่งมีเหตุผล 2 ประการที่สนับสนุนผลอันนี้ คือ (1) ตัวฟิลเลอร์มีสมบัติในการเสริมแรงได้ หรือ (2) พอลิโพรพิลีนในเส้นใยเชิงประกอบมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจากเหตุผลที่ให้ไว้ในผลของ TGA จึงทำให้ค่าต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบสูงกว่าพอลิโพรพิลีน ซึ่งเหตุผลในข้อ 2 คูมือน้ำหนักมากกว่าเพราะเมื่อเปรียบเทียบพอลิโพรพิลีนสูตรผสมที่มีสัดส่วน PP-g-MA ต่างกัน สังเกตเห็นว่าค่าต้านทานแรงดึงของเส้นใยที่มี PP-g-MA มากกว่ามีค่าสูงกว่าเช่นกัน ด้วยเหตุผลเดียวกันคือ PP-g-MA แสดงบทบาทเป็นสารหล่อลื่น ลดแรงเฉือนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ช่วยรักษาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนไม่ให้ลดต่ำลงเมื่อเทียบกับพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ผสม PP-g-MA นอกจากนี้การกระจายตัวของฟิลเลอร์ยังแสดงบทบาทต่อสมบัติการต้านทานแรงดึงด้วย ถ้านูภาค PP-g-CTS สามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อพอลิเมอร์ (เช่นในกรณีที่มีฟิลเลอร์ต่ำกว่า 8%) ก็จะมีผลให้มีสมบัติต้านแรงดึงที่ดีกว่า ยกตัวอย่างเช่น PP-g-CTS-MMT 6% สามารถปรับปรุงสมบัติต้านทานแรงดึง ได้ดีกว่าเส้นใยเชิงประกอบสูตรผสมที่เติมฟิลเลอร์ในปริมาณ 8% (ภาพที่ 4.16) เพราะ

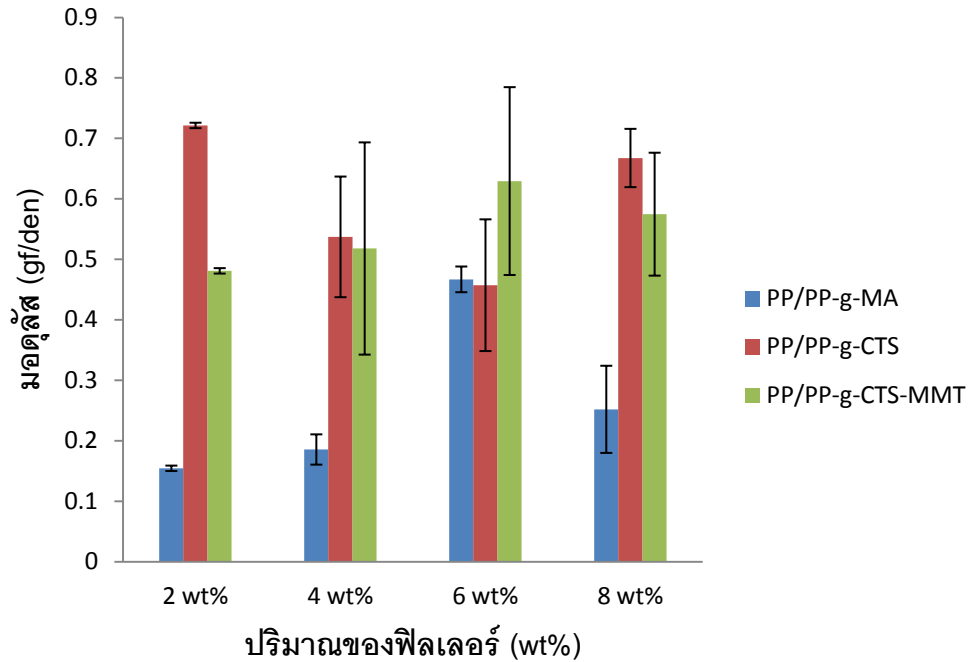
หากเติม PP-g-CTS-MMT ลงไปมากเกินไป ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาค PP-g-CTS-MMT ต่ำลงและจับตัวกันเป็นก้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเส้นใย ประสิทธิภาพของการลดแรงเสียดทานก็ต่ำลง เป็นเหตุให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง การรวมกันของฟิลเลอร์ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องในเส้นใย (defect) และทำให้เส้นที่ได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.16 ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใย PP/PP-g-MA, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT



ภาพที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใย PP/PP-g-MA, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT



ภาพที่ 4.18 ค่ามอดุลัสของเส้นใย PP/PP-g-MA, เส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT

4.10 การศึกษาสมบัติหน่วงไฟโดยเทคนิค Limiting Oxygen Index (LOI)

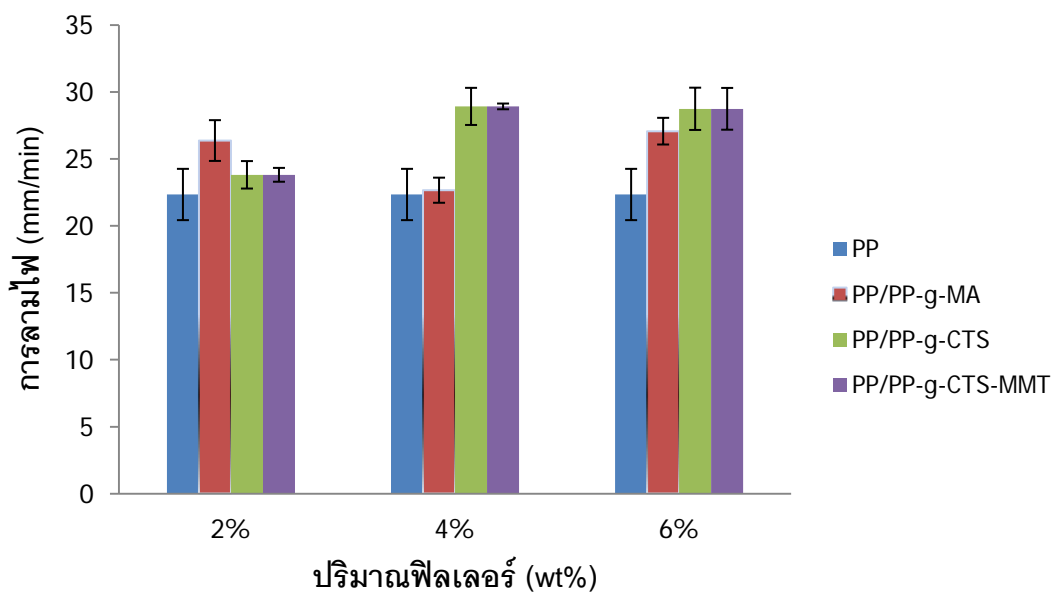
จากการทดสอบหาปริมาณออกซิเจนที่น้อยที่สุดในการทำให้วัสดุไฟติด หรือเรียกว่า Low Oxygen Index (LOI) ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสมของ PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT ในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า หลังจากการจ่อไฟที่ชิ้นงาน จำนวน 6 ครั้งๆ ละ 5 วินาที ในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจน ชิ้นงานทั้งที่เป็นเส้นใยพอลิโพรพิลีน (PP) และเส้นใยเชิงประกอบให้ค่า LOI ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และ PP/PP-g-CTS-MMT ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปนั้น มีฟองอากาศภายในชิ้นงานเยอะ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบได้

ตารางที่ 4.8 ค่า LOI ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT

ตัวอย่างชิ้นงาน	Limiting Oxygen Index (%)
PP	16.50
PP/PP-g-MA 1%	16.70
PP/PP-g-MA 2%	16.70
PP/PP-g-MA 3%	16.70
PP/PP-g-MA 4%	16.70
PP/PP-g-CTS 2%	16.60
PP/PP-g-CTS 4%	16.70
PP/PP-g-CTS 6%	16.70
PP/PP-g-CTS 8%	16.70
PP/PP-g-CTS-MMT 2%	16.70
PP/PP-g-CTS-MMT 4%	16.70
PP/PP-g-CTS-MMT 6%	16.80
PP/PP-g-CTS-MMT 8%	16.70

4.11 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS PP/PP-g-CTS-MMT

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการหน่วงไฟของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยเชิงประกอบ จากอัตราการลามไฟที่คำนวณได้จากการทดสอบชิ้นงานเชิงประกอบตามมาตรฐาน UL-94 HB พบว่า ตัวอย่างชิ้นงานเส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT มีอัตราการลามไฟสูงกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานที่นำมาทดสอบนั้น เป็นชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ทำให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน เป็นผลให้อัตราการลามไฟสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.19 อย่างไรก็ตามอัตราการลามไฟของชิ้นงานเส้นใยเชิงประกอบมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน UL-94 HB (ไม่เกิน 76 มิลลิเมตร/นาที) จากปัญหาการขึ้นรูปชิ้นงานจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการเติมฟิลเลอร์เหล่านี้ลงไปแล้ว จะไปเพิ่มความสามารถในการติดไฟให้กับวัสดุคอมพอสิต ซึ่งยังคงต้องหาวิธีแก้ไขปัญหานี้ต่อไป



ภาพที่ 4.19 อัตราการลามไฟของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT ที่ความเข้มข้นของสารตัวเติมต่างกัน

4.12 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และ พอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสมของ PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT ในปริมาณต่างๆ (2-8%) พบว่า ทั้งเส้นใยเชิงประกอบ PP/PP-g-CTS และ PP/PP-g-CTS-MMT มีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* โดยพบว่าเส้นใยเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PP-g-CTS หรือ PP-g-CTS-MMT ในปริมาณ 4% ให้ผลในการต้านเชื้อดีที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ PP-g-CTS หรือ PP-g-CTS-MMT มากขึ้นมีอัตราการต้านเชื้อลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก PP-g-CTS และ PP-g-CTS-MMT เกิดการกระจายตัวในเส้นใยไม่ดี เกิดการเกาะกลุ่มกันและบางส่วนถูกห่อหุ้มด้วยพอลิโพรพิลีนทำให้ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่แน่นอน

ตารางที่ 4.9 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT

ตัวอย่างเส้นใย	อัตราการยับยั้งเชื้อ (%)
Blank	-
PP pure	0.0
PP-g-MA 1%	61.0
PP-g-MA 2%	87.0
PP-g-MA 3%	86.0
PP-g-MA 4%	91.5
PP/PP-g-CTS 2%	10.0
PP/PP-g-CTS 4%	99.25
PP/PP-g-CTS 6%	65.00
PP/PP-g-CTS 8%	86.00
PP/PP-g-CTS-MMT 2%	11.0
PP/PP-g-CTS-MMT 4%	77.0
PP/PP-g-CTS-MMT 6%	47.0
PP/PP-g-CTS-MMT 8%	32.87

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิลเลอร์โดยทำการตัดแปรไคโตซานและไคโต-ออร์แกโน-เคลย์ด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ แล้วนำฟิลเลอร์ที่ได้ไปผสมกับพอลิโพรพิลีนแล้วฉีดขึ้นรูปเป็นเส้นใยเชิงประกอบ นำเส้นใยเชิงประกอบที่ได้ไปทำการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ผลการทดลองทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 ฟิลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นในรูปของไคโตซานตัดแปรและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ตัดแปรมีเสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียดีกว่าไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน มี pH ประมาณ 4.8 ทำให้หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไคโตซานรับโปรตอนกลายเป็นแอมโมเนียมไอออน ($-NH_3^+$) ที่มีความเป็นประจุบวกสูงส่งผลไคโตซานสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ส่วนไคโต-ออร์แกโนเคลย์สามารถยับยั้งเชื้อได้ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานที่อยู่ในไคโต-ออร์แกโนเคลย์มีความเป็นประจุบวกอยู่ทำให้สามารถจับกับประจุลบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย *S. aureus* ได้

5.1.2 อุณหภูมิของไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์พบว่าเมื่อสลายตัวภายใต้ความร้อนจะเปลี่ยนเป็นชาร์ขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการนำไปใช้ปรับปรุงสมบัติห่วงไฟให้กับพอลิโพรพิลีน

5.1.3 เส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT ที่เตรียมด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว พบว่ามีสมบัติบางประการที่ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ได้เติมฟิลเลอร์ ได้แก่ เส้นใยเชิงประกอบมีเสถียรภาพทางความร้อนดีกว่าเนื่องจากฟิลเลอร์มีสมบัติเป็นตัวหล่อลื่นช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ส่งผลให้พอลิโพรพิลีนมีเสถียรภาพที่ดีเมื่อผ่านกระบวนการหลอมเหลว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยเชิงประกอบดีกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ผสมฟิลเลอร์

5.1.4 เส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT ยังแสดงสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการตัดแปรแล้วแสดงสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ทำให้เมื่อนำอุณหภูมิของไคโตซานและไคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ผ่านการตัดแปรแล้วมาขึ้นรูปเป็นเส้นและนำไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS และพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT ยังคงแสดงประจุบวกทำให้สามารถจับกับประจุลบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย *S. aureus* ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม พบว่าอนุภาคฟิลเลอร์ที่เตรียมได้นั้นมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นฟิลเลอร์สำหรับเส้นใยเนื่องจากฟิลเลอร์จะไปอุดตันรูสปินเนอเรตจนไม่สามารถฉีดเป็นเส้นใยได้ ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ ต้องพัฒนาอนุภาคฟิลเลอร์ให้มีขนาดในระดับซัพ-ไมครอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูสปินเนอเรต

รายการอ้างอิง

- [1] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [2] Wikipedia. Polypropylene [Online].2009. Available from: <http://www.en.wikipedia.org> [2011, March 14]
- [3] Sheng, Z., and Harrocks, A. R. A Review of Flame Retardant Polypropylene Fiber. Progress in Polymer Science 28 (2003): 1518.
- [4] Ahmed M. Polypropylene fiber-science and technology. Amsterdam: Elsevier, 1982.
- [5] วลัยกร นิตยพัฒน์. การเตรียมนานocomพอลิโอสติออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [6] Nattaporn Aimampaiwong. Nanoclay/Polypropylene Nanocomposite Dyed Fiber. Master's thesis, Polymer Science Program The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, 2008.
- [7] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [8] Gupta, V. B. and Kothari V. K. Manufactured Fiber Technology. London: Chapman & Hall, 1997.
- [9] Encyclopedia Britannica. Melt Spinnig Process [Online]. Encyclopedia Britannica,2009. Available from: <http://library.thinkquest.org/C005271F/chemistry.html> [2011, March 14]
- [10] Jureeporn Nantaragsa. Preparation of Biodegradable Nanocomposites From Low Density Polyethylene/Cassava Starch/Montmorillonite. Master thesis, Materials Science Faculty of Science Chulalongkorn University, 2006.
- [11] David Mogk. Montmorillonite Structure [Online]. Mineesota: Science Education Resource Center, 2009. Available form: http://serc.carleton.edu/NAGT_workshops/mineralogy/clay_mineralogy.html [2011, March 14]

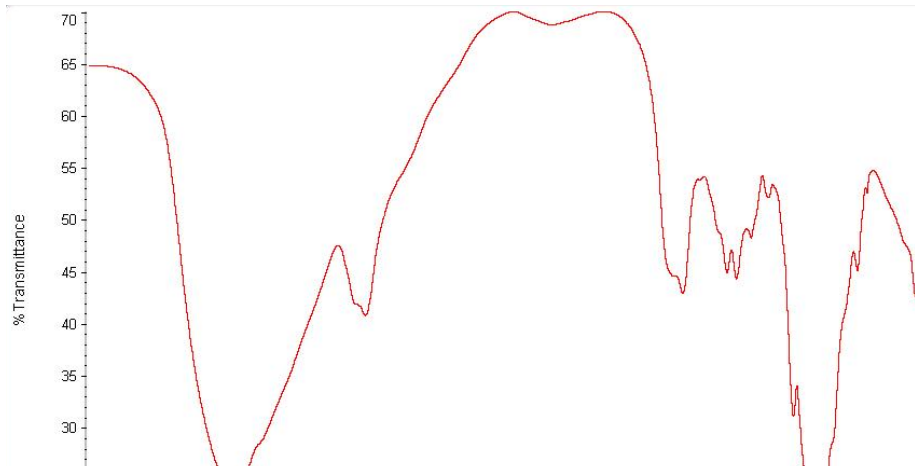
- [12] ระพีพรรณ ทงระอา. การเตรียมนาโนคอมโพสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [13] อรรถกิต ด้ตรภูมิ. โครงสร้างดินเหนียว [Online]. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552. แหล่งที่มา: <http://www.vichakarn.com> [2011, March 16]
- [14] Kumar, M. N. V. R. A review of chitin and chitosan applications. Reactive & Functional Polymers 46 (2000): 1–27.
- [15] R. Jayakumar a, M. Prabakaran, S. V. Nair, S. Tokura, H. Tamura, N. Selvamurugan., Novel carboxymethyl derivatives of chitin and chitosan materials and their biomedical applications. Progress in Materials Science 55 (2010): 675-709.
- [16] ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ชั้น 10 กรุงเทพฯ [Online], 2545. แหล่งที่มา: <http://www.material.chula.ac.th/CCB/Home.htm> [2011, March 16]
- [17] ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์. Chitin-Chitosan สารไคตินและไคโตซาน [Online]. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์. แหล่งที่มา: <http://www.thailabonline.com/chitin-chitosan.htm> [2011, March 16]
- [18] ปนิษฐา เลิศขจรสุข. การตกแต่งห่วงไฟและด้านการหลอมหยดผ้าพอลิเอสเตอร์โดยใช้ได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เบนโทไนต์ และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [19] บงกช นันทบุญเลิศ. การเตรียมนาโนคอมโพสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [20] สิริรัตน์ จารุจินดา. สิ่งทอป้องกันความร้อนและเปลวไฟ. การทดสอบสิ่งทอสมบัติพิเศษ, 12-30. กรุงเทพฯ: พีทู ดีไซน์ แอนด์ พรินท์, 2553.
- [21] สิริรัตน์ จารุจินดา. Textile Auxiliaries, Colourway, 46(2543):46-50.
- [22] สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์. สารต้านเชื้อจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ, Colourway, 16(2546):58-62.

- [23] พิริยะ แก่นทับทิม.การตกแต่งผ้าฝ้ายกันยับและต้านจุลินทรีย์แบบขั้นตอนเดียวด้วยไกลอออกซอลและไคโทซาน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์-ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [24] ศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอ. ฉบับที่ 11 [Online]. แหล่งที่มา: www.textileknowledge.com [2011, March 16]
- [25] de la Orden, M.U., Sánchez, C. G., Quesada, M. G., Urreaga, J. M., Effect of different coupling agents on the browning of cellulosepolypropylene composites during melt processing. Polymer Degradation and Stability 95 (2010): 201-206.
- [26] Park, J.H., Hyung, M. I., In-Joo, C., Choi, H. J., Kim, H.K., Kang, W.G., Intercalated polypropylene/clay nanocomposite and its physical characteristics. Journal of Physics and Chemistry of Solids 6 (2008): 1375-1378.
- [27] Kim, D., Fasulo, P. D., Rodgers , W. R., Paul, D. R., Structure and properties of polypropylene-based nanocomposites: Effect of PP-g-MA to organoclay ratio. Polymer 48 (2007): 5308-5323.
- [28] Du, B., Guo, Z., Song, P., Liu, H., Fang, Z., Wuc, Y., Flame retardant mechanism of organo-bentonite in polypropylene. Applied Clay Science 45 (2009):178-184.
- [29] Husseinsyah, S., Amri, F., Husin, K., Ismail, H., Mechanical and thermal properties of chitosan-filled polypropylene composites: The effect of acrylic acid. Journal of vinyl & additive technology 17 (2011): 125-131.
- [30] Elsabee, M.Z., Abdou, E.S., Nagy, K.S.A., Eweis, M., Surface modification of polypropylene films by chitosan and chitosan/pectin multilayer. Carbohydrate Polymers 71 (2008): 187-195.
- [31] Yang, J.M. and Lin, H.T. Properties of chitosan containing PP-g-AA-g-NIPAAm bigraft nonwoven fabric for wound dressing. Journal of Membrane Science 243 (2004): 1-7.
- [32] Charuchinda, S., Srikulkit, K., Mowattana, T., Co-application of sodium polyphosphate and chitosan to improve flame retardancy of cotton fabric. Journal of Scientific Research, Chulalongkorn University 30 (1) (2005): 97-107.

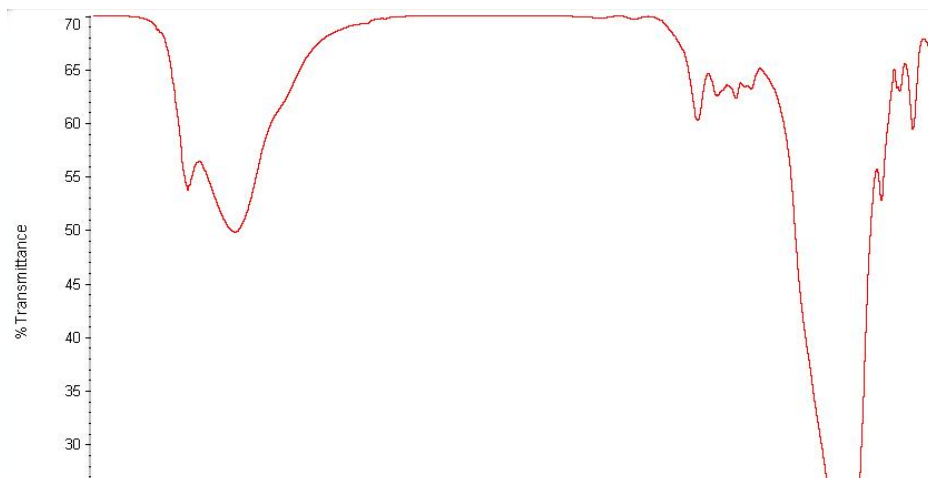
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

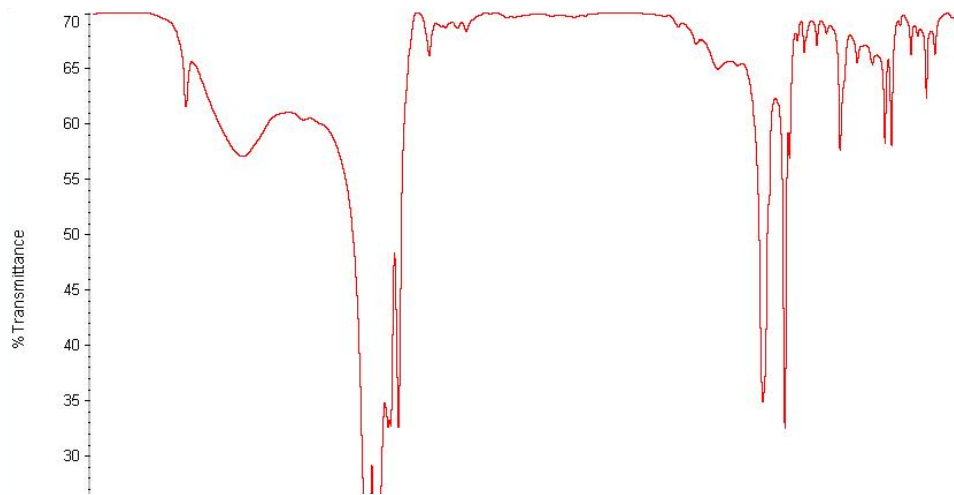
ภาคผนวก ก. 1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR



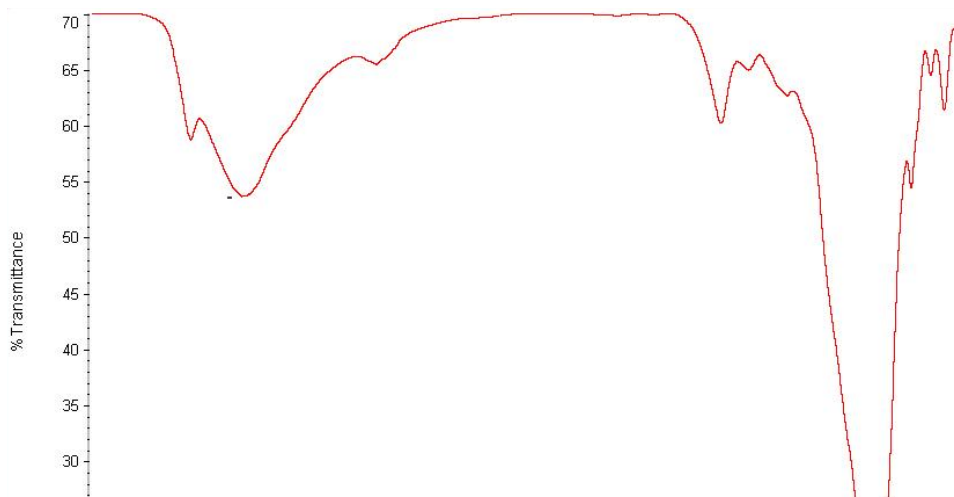
รูปที่ ก-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



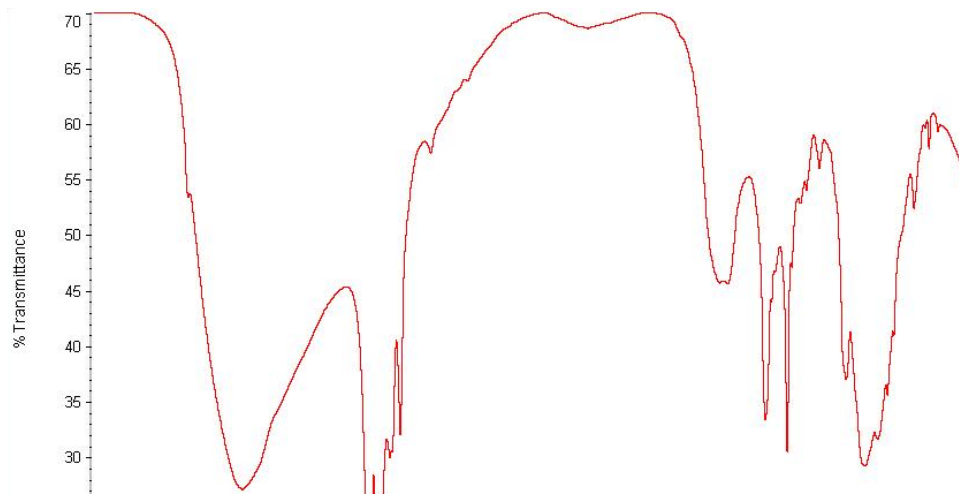
รูปที่ ก-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



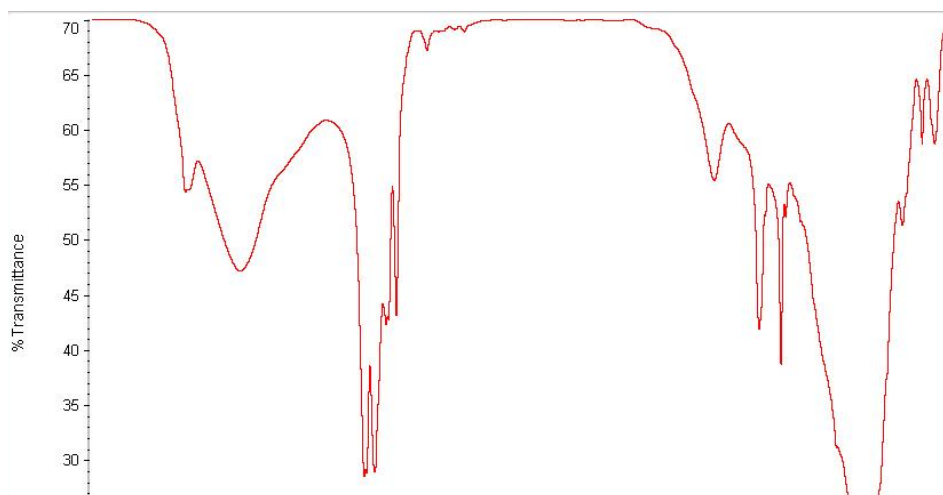
รูปที่ ก-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์



รูปที่ ก-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตะ-ออร์แกนอเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



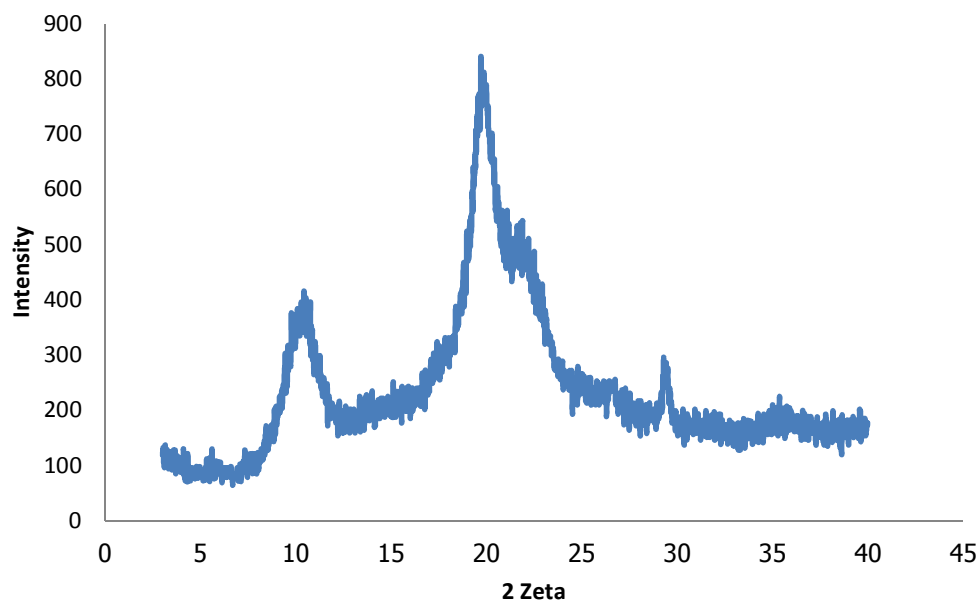
รูปที่ ก-5 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพรีธินกราฟท์มาเลอิก-
แอนไฮไดร์



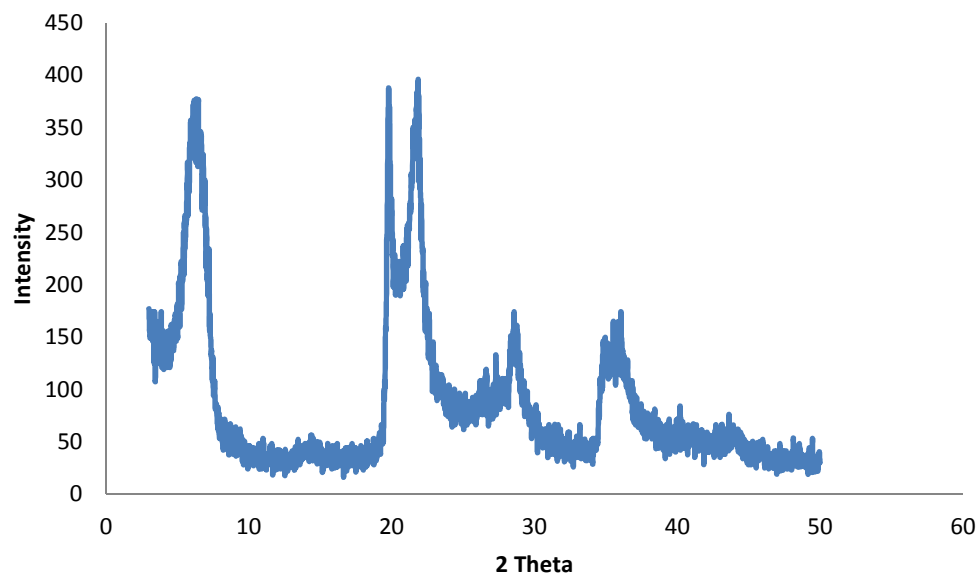
รูปที่ ก-6 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโค-ออร์แกนอเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพรีธิน-
กราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดร์

ภาคผนวก ข

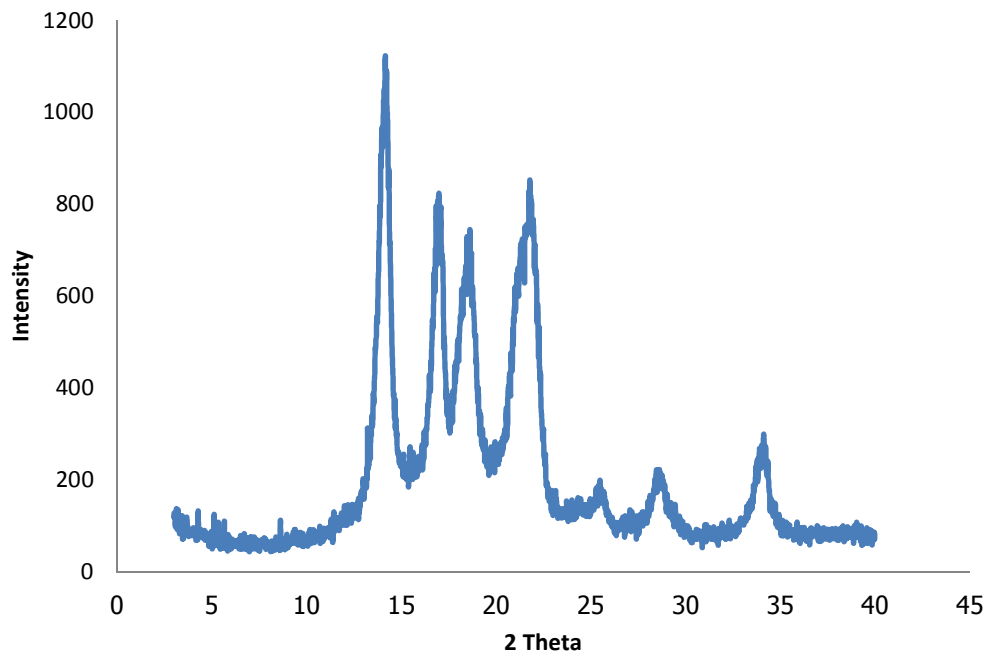
ภาคผนวก ข. 1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD



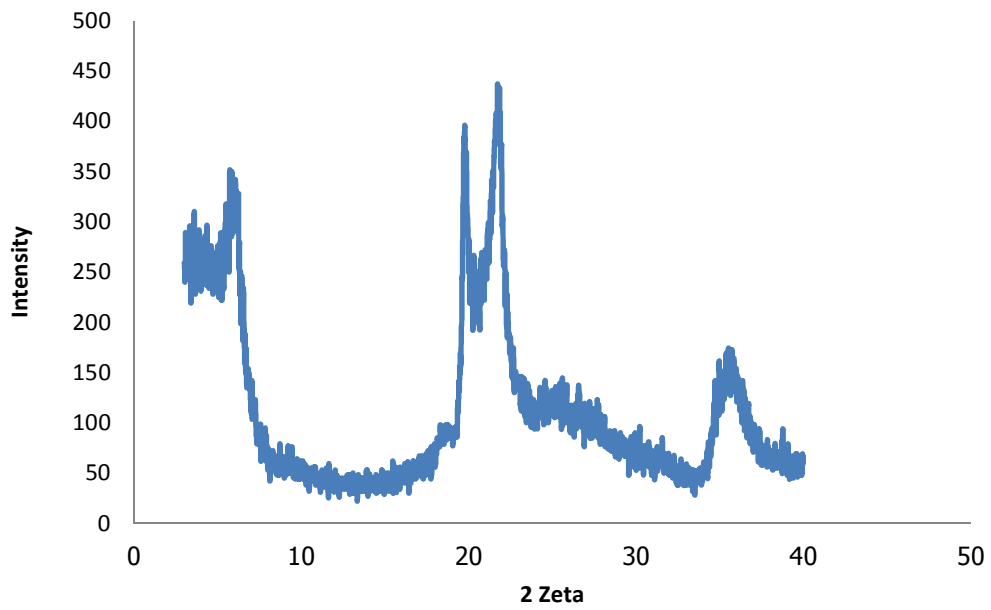
รูปที่ ข-1 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของโคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



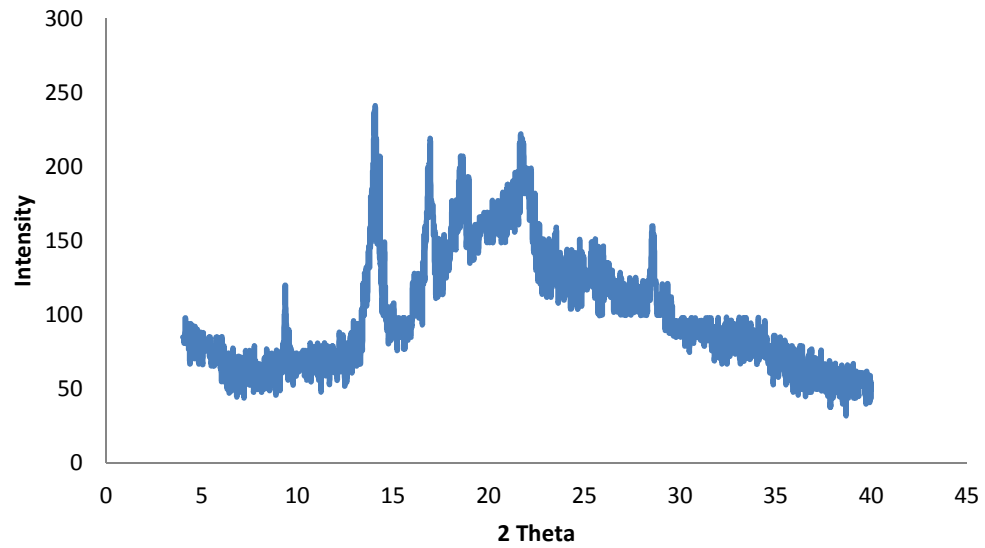
รูปที่ ข-2 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



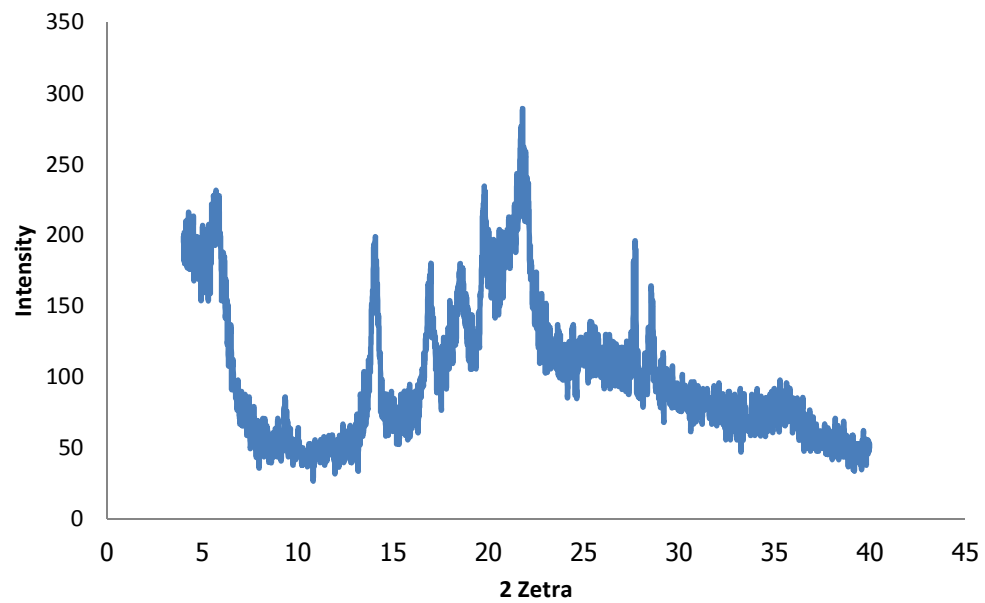
รูปที่ ข-3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดร์



รูปที่ ข-4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของโคโตะ-ออร์แกนอเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



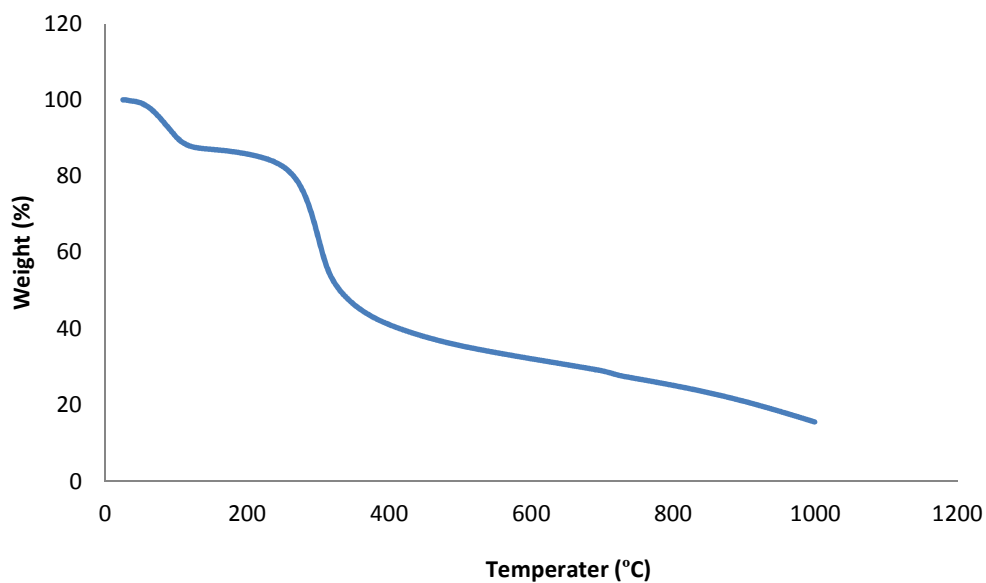
รูปที่ ๕-5 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์



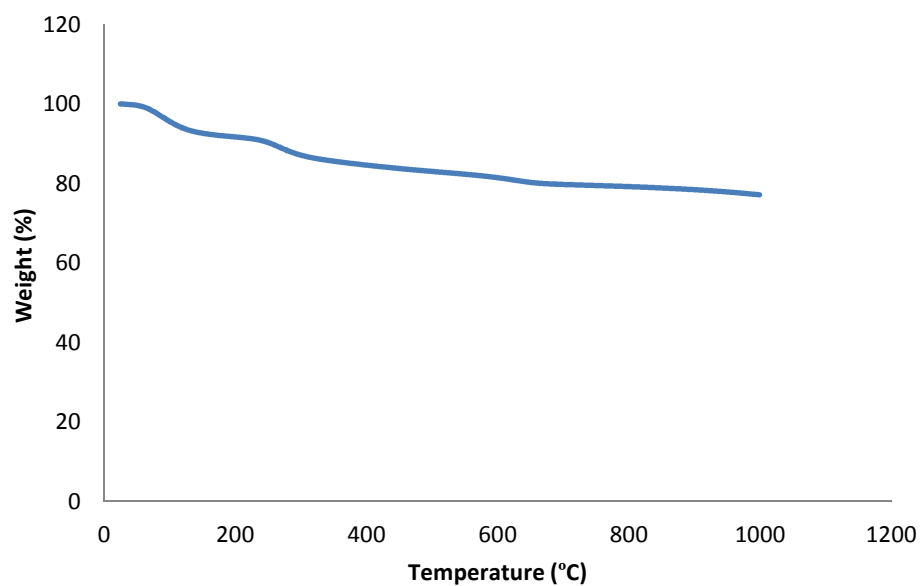
รูปที่ ๕-6 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของไคโต-ออร์แกนโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

ภาคผนวก ค

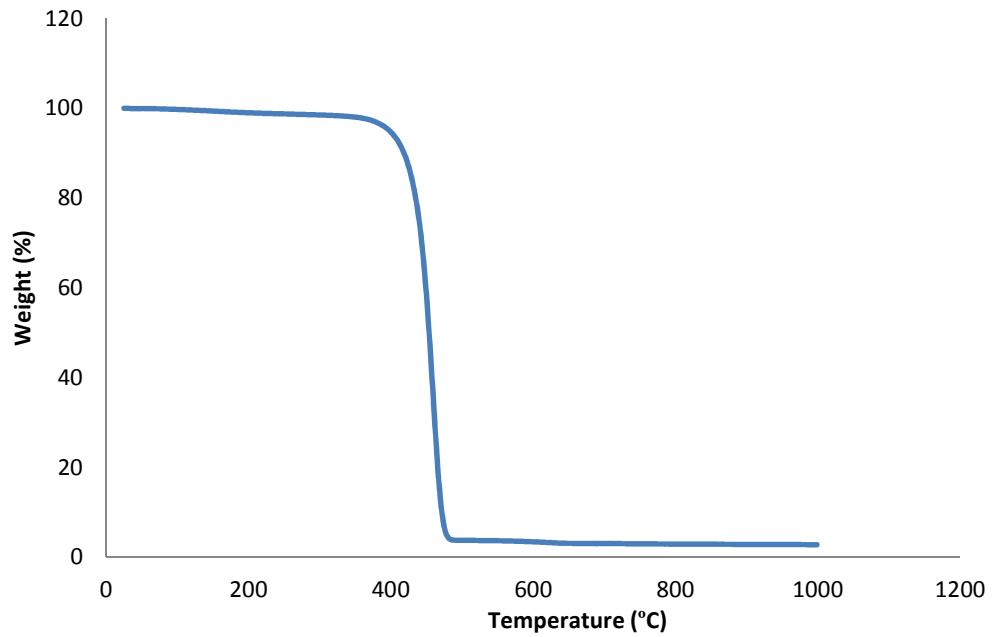
ภาคผนวก ค.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน ด้วยเทคนิค TGA



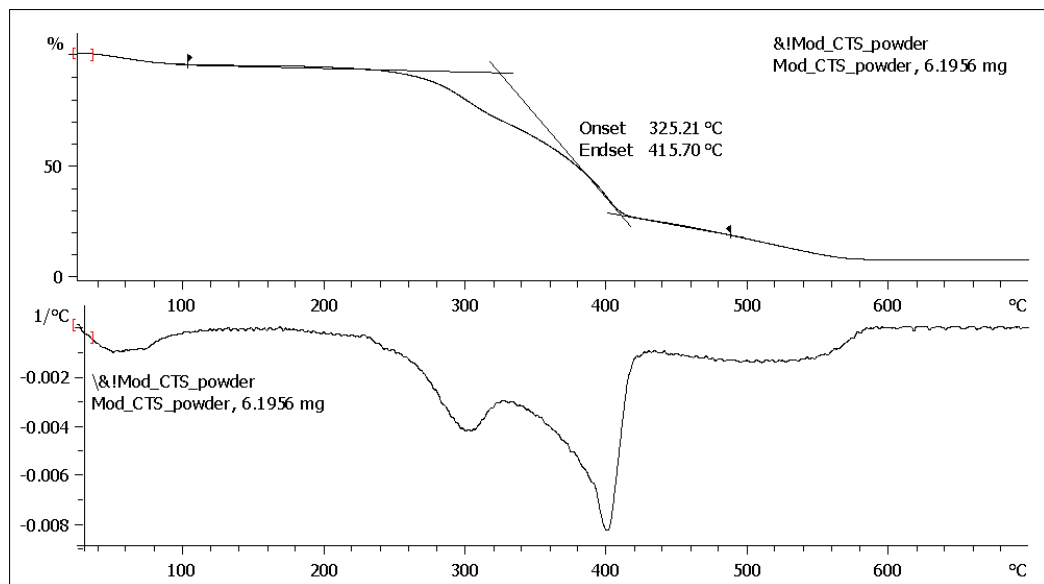
รูปที่ ค-1 TG เทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



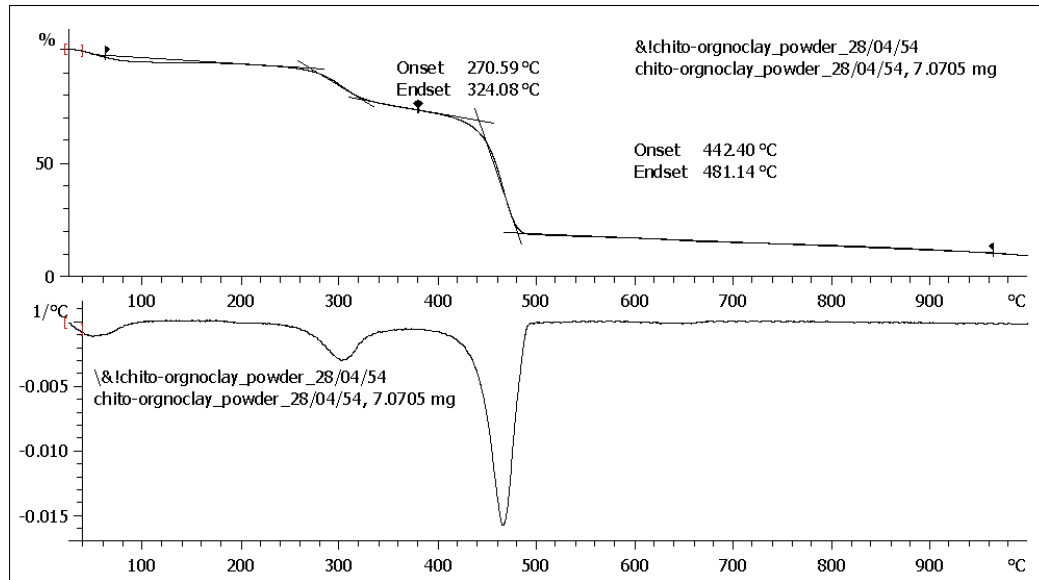
รูปที่ ค-2 TG เทอร์โมแกรมของโคโต-ออร์แกโนเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



รูปที่ ค-3 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์



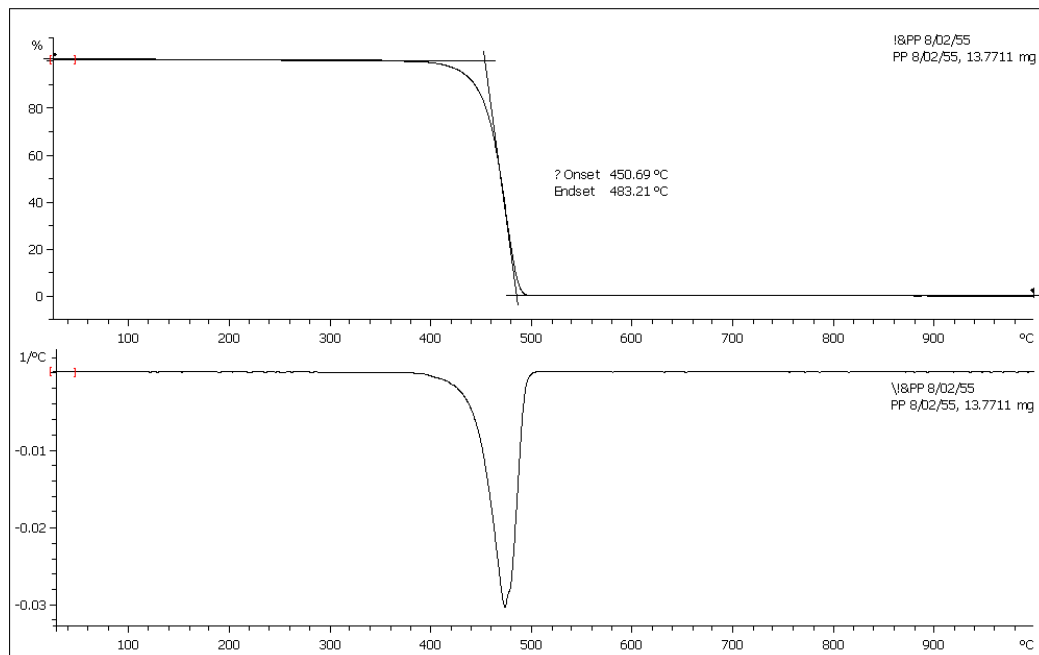
รูปที่ ค-4 TG เทอร์โมแกรมของโคโตนานที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิก-แอนไฮไดรด์



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

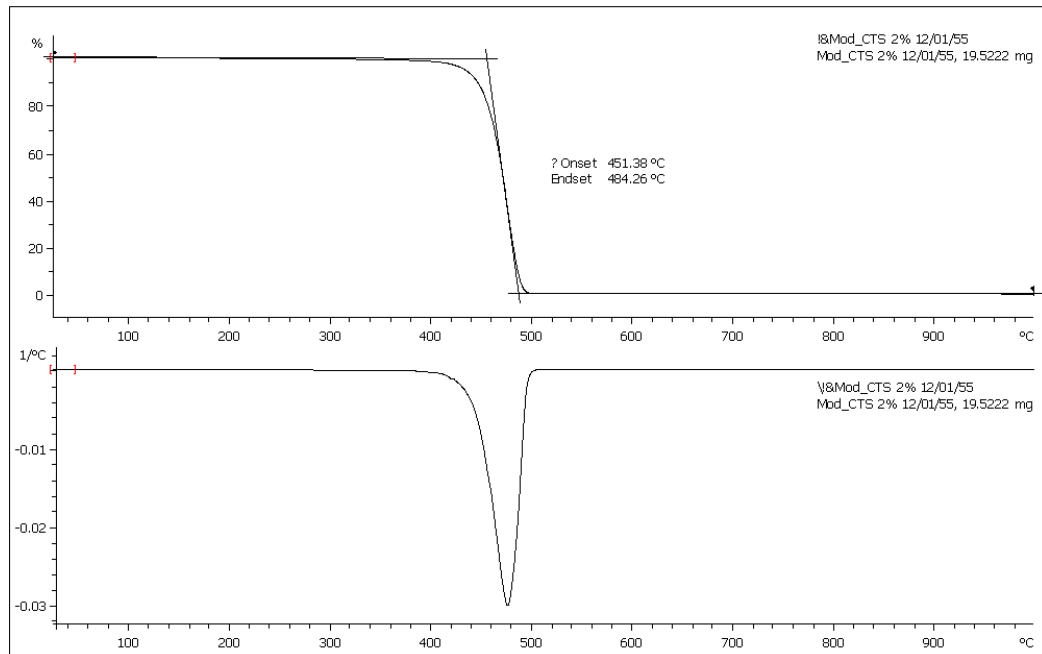
รูปที่ ค-5 TG เทอร์โมแกรมของไคโต-ออร์แกนไคลด์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิไพโรฟิลีนกราฟท์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์



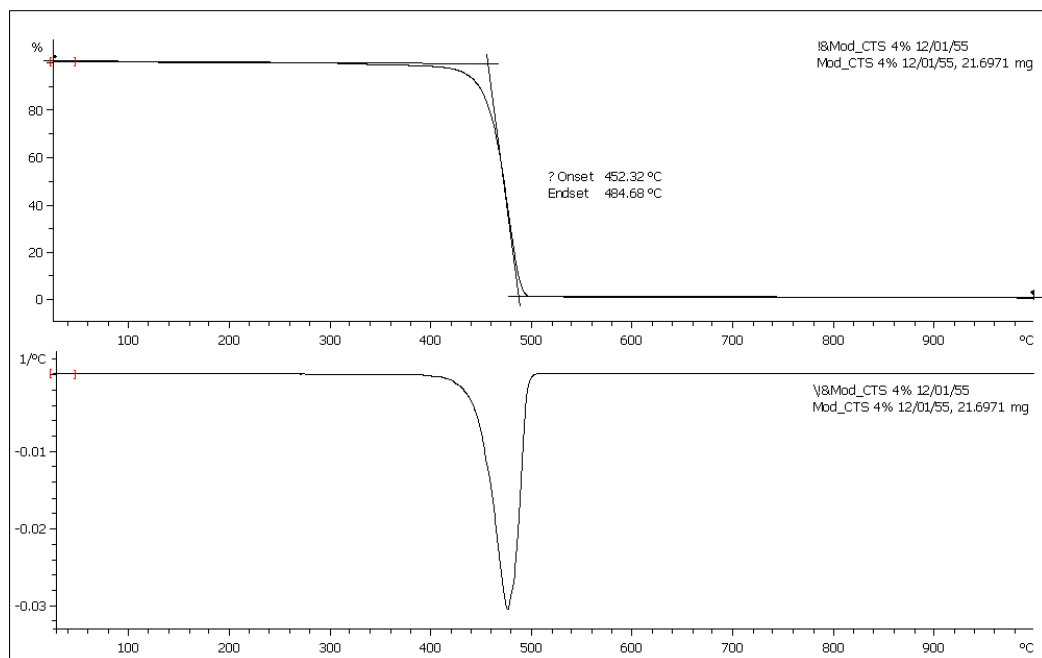
Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

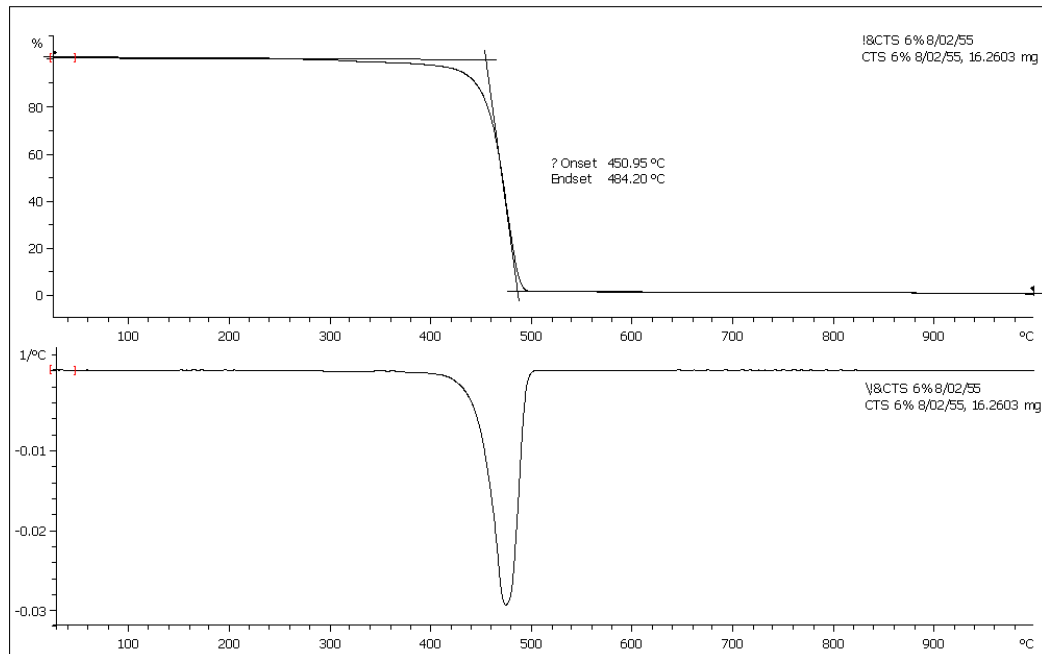
รูปที่ ค-6 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน



รูปที่ ค-7 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 2 wt%



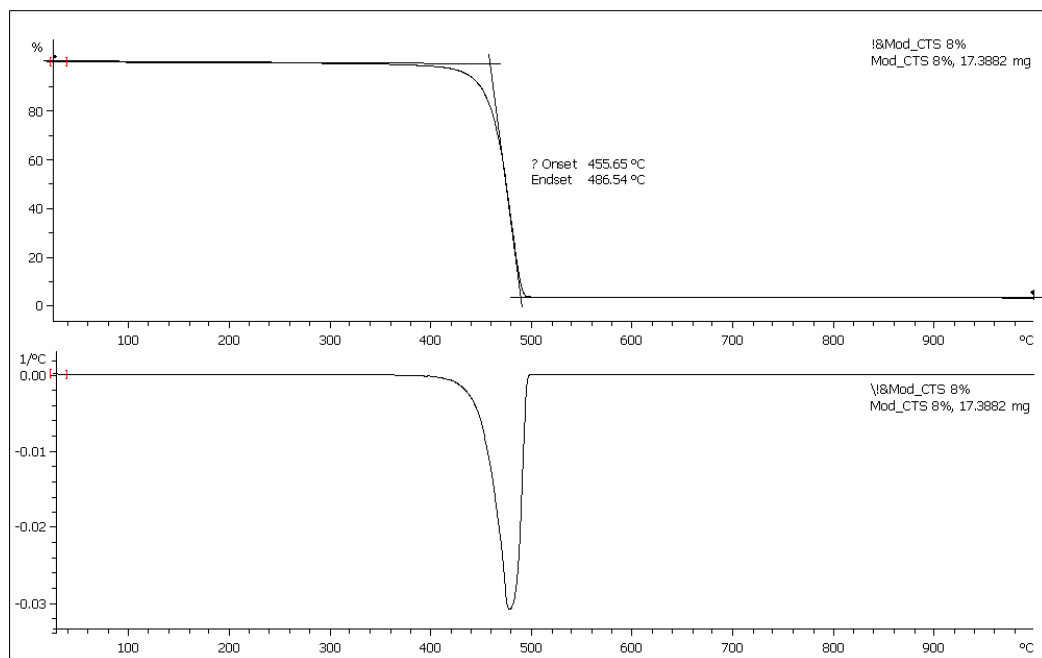
รูปที่ ค-8 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 4 wt%



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

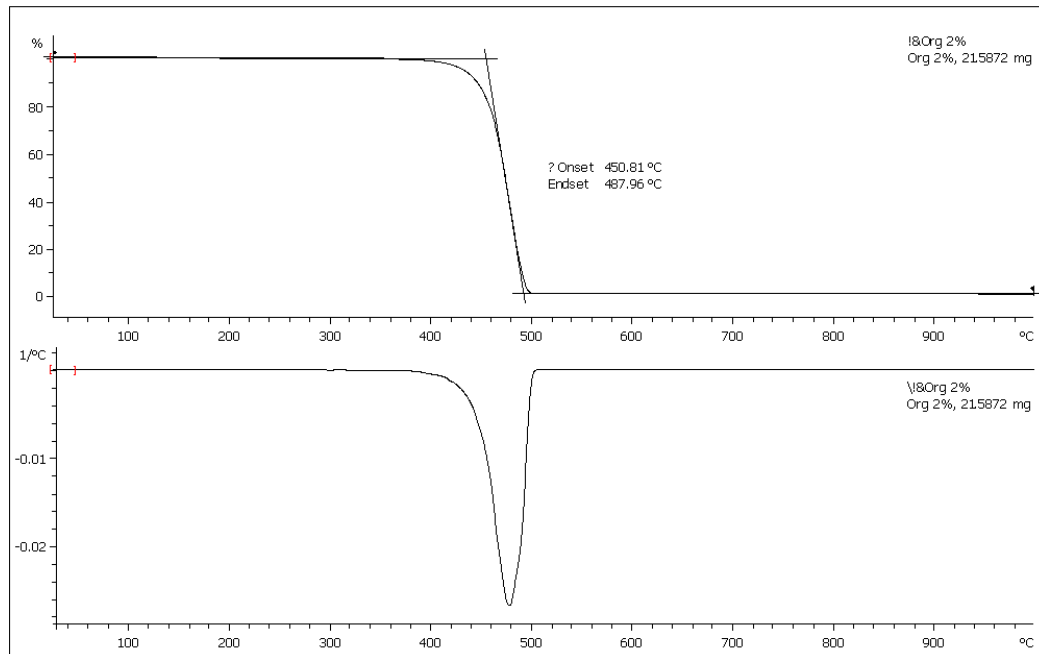
รูปที่ ค-9 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 6 wt%



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

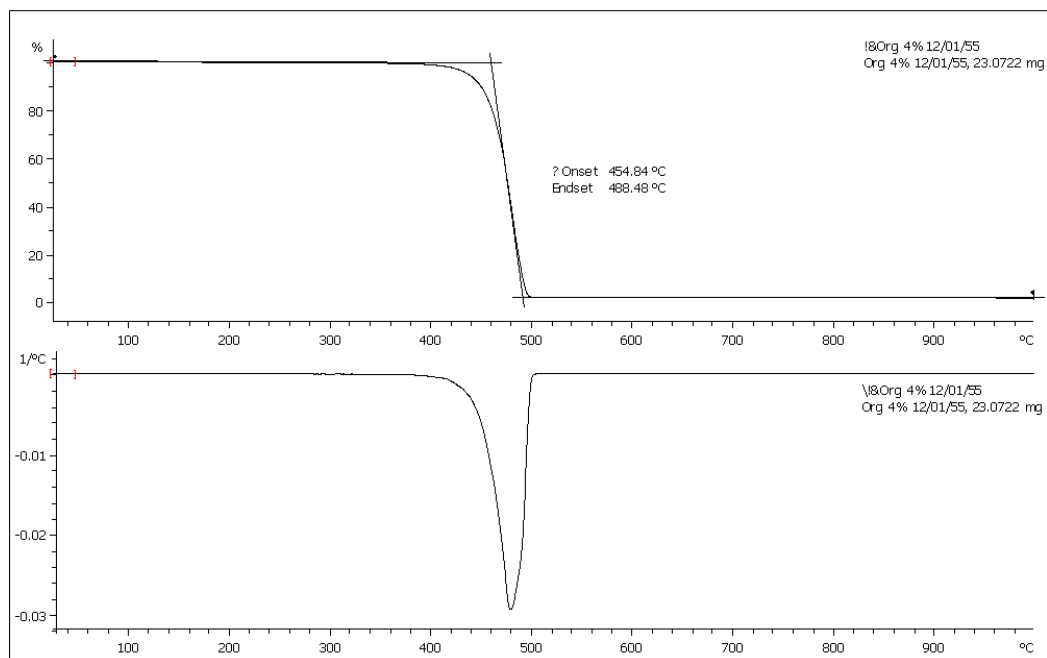
รูปที่ ค-10 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 8 wt%



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

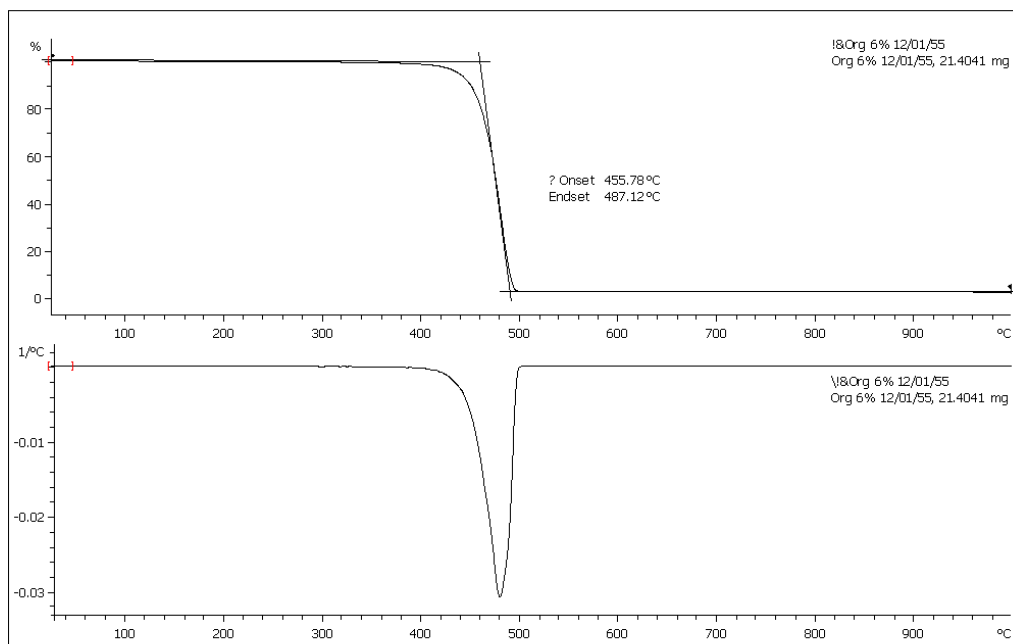
รูปที่ ค-11 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 2 wt%



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

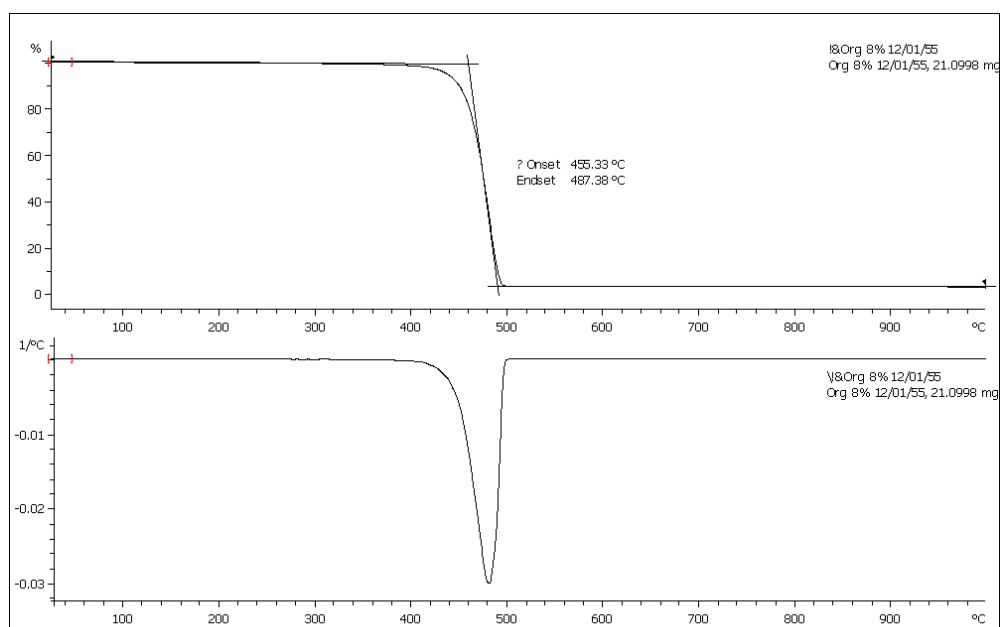
รูปที่ ค-12 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 4 wt%



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

รูปที่ ค-13 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 6 wt%



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

รูปที่ ค-14 TG เทอร์โมแกรมของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 8 wt%

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง. การหาค่าดัชนีการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน

สูตรเส้นใย (wt%)	MFI (g/10 min)
PP	19.18
PP/PP- <i>g</i> -CTS 2%	21.78
PP/PP- <i>g</i> -CTS 4%	21.42
PP/PP- <i>g</i> -CTS 6%	22.68
PP/PP- <i>g</i> -CTS 8%	23.1
PP/PP- <i>g</i> -CTS-MMT 2%	21.66
PP/PP- <i>g</i> -CTS-MMT 4%	22.3
PP/PP- <i>g</i> -CTS-MMT 6%	23.9
PP/PP- <i>g</i> -CTS-MMT 8%	24.1

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ. การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่อง Universal testing machine

ตาราง จ-1 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP	1	1.29
	2	1.21
	3	1.15
	4	1.22
	5	1.21
	Average	1.21
	S.D.	0.04

ตาราง จ-2 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 1%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP-g-MA 1%	1	0.80
	2	0.69
	3	0.87
	4	0.80
	5	0.83
	Average	0.80
	S.D.	0.06

ตาราง จ-3 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP-g-MA 2%	1	0.84
	2	1.01
	3	0.82
	4	0.79
	5	0.79
	Average	0.85
	S.D.	0.091

ตาราง จ-4 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 3%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP-g-MA 3%	1	1.91
	2	1.90
	3	1.93
	4	1.89
	5	1.95
	Average	1.91
	S.D.	0.04

ตาราง จ-5 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP-g-MA 4%	1	1.80
	2	1.79
	3	1.79
	4	1.81
	5	1.85
	Average	1.80
	S.D.	0.08

ตาราง จ-6 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS 2%	1	2.09
	2	2.13
	3	1.98
	4	2.18
	Average	2.09
	S.D.	0.22

ตาราง จ-7 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS 4%	1	1.98
	2	2.07
	3	2.00
	4	2.10
	Average	2.03
	S.D.	0.14

ตาราง จ-8 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS 6%	1	2.46
	2	2.50
	3	2.54
	Average	2.50
	S.D.	0.15

ตาราง จ-9 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS 8%	1	2.10
	2	2.30
	3	2.20
	4	2.37
	Average	2.24
	S.D.	0.15

ตาราง จ-10 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS-MMT 2%	1	1.03
	2	1.06
	3	1.06
	4	1.05
	Average	1.06
	S.D.	0.02

ตาราง จ-11 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS-MMT 4%	1	1.23
	2	1.23
	3	1.46
	4	1.03
	Average	1.24
	S.D.	0.15

ตาราง จ-12 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS-MMT 6%	1	1.49
	2	1.45
	3	1.55
	4	1.45
	Average	1.49
	S.D.	0.04

ตาราง จ-13 ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Breaking Tenacity (gf/den)
PP/PP-g-CTS-MMT 8%	1	0.54
	2	0.76
	3	0.44
	4	0.76
	Average	0.62
	S.D.	0.16

ภาคผนวก จ. 2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่อง Universal testing machine

ตาราง จ-14 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP	1	608
	2	499.8
	3	768
	4	836
	Average	677.95
	S.D.	152.44

ตาราง จ-15 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 1%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-MA 1%	1	237.9
	2	366
	3	211.2
	4	210
	Average	271.7
	S.D.	82.75

ตาราง จ-16 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-MA 2%	1	290.1
	2	215.1
	3	219.2
	4	215
	Average	241.46
	S.D.	42.16

ตาราง จ-17 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 3%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-MA 4%	1	880
	2	800
	3	885
	4	885
	Average	885
	S.D.	156.61

ตาราง จ-18 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-MA 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-MA 4%	1	743.3
	2	692.7
	3	690
	4	700
	Average	718
	S.D.	35.7796

ตาราง จ-19 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-CTS 2%	1	20.28
	2	18.93
	3	18.90
	4	13.95
	Average	18.01
	S.D.	2.78

ตาราง จ-20 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-CTS 4%	1	19.98
	2	22.69
	3	30.37
	4	25.68
	Average	24.68
	S.D.	4.45

ตาราง จ-21 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน// PP-g-CTS 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-CTS 6%	1	51.9
	2	27.64
	3	29.32
	4	29.21
	Average	36.29
	S.D.	13.548

ตาราง จ-22 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน// PP-g-CTS 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-CTS 8%	1	12.00
	2	10.94
	3	25.12
	4	10.94
	Average	14.752
	S.D.	6.9299

ตาราง จ-23 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation(%)
PP-g-CTS-MMT 2%	1	83.9
	2	66.4
	3	66.0
	4	80.0
	Average	75.15
	S.D.	12.37

ตาราง จ-24 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-CTS-MMT 4%	1	24
	2	48
	3	47
	4	46
	Average	36
	S.D.	16.97

ตาราง จ-25 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-CTS-MMT 6%	1	59.9
	2	69.6
	3	59.9
	4	59.9
	Average	63.13
	S.D.	5.60

ตาราง จ-26 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Elongation (%)
PP-g-CTS-MMT 8%	1	41.76
	2	55.6
	3	46.38
	4	38.25
	Average	47.92
	S.D.	8.463

ภาคผนวก จ. 3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่อง Universal testing machine

ตาราง จ-27 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยพอลิโพรพิลีน

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP	1	0.23
	2	0.23
	3	0.30
	4	0.21
	Average	0.23
	S.D.	0.004

ตาราง จ-28 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-MA 1%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-MA 1%	1	0.14
	2	0.18
	3	0.16
	4	0.15
	Average	0.15
	S.D.	0.02

ตาราง จ-29 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-MA 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-MA 2%	1	0.20
	2	0.15
	3	0.18
	4	0.20
	Average	0.18
	S.D.	0.02

ตาราง จ-30 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-MA 3%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-MA 3%	1	0.52
	2	0.49
	3	0.38
	4	0.52
	Average	0.46
	S.D.	0.07

ตาราง จ-31 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-MA 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-MA 4%	1	0.27
	2	0.25
	3	0.22
	4	0.25
	Average	0.25
	S.D.	0.02

ตาราง จ-32 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS 2%	1	0.74
	2	0.65
	3	0.85
	4	0.63
	Average	0.72
	S.D.	0.09

ตาราง จ-33 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS 4%	1	0.66
	2	0.45
	3	0.49
	4	0.66
	Average	0.53
	S.D.	0.10

ตาราง จ-34 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS 6%	1	0.42
	2	0.49
	3	0.42
	4	0.49
	Average	0.45
	S.D.	0.04

ตาราง จ-35 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS 8%	1	0.60
	2	0.82
	3	0.47
	4	0.76
	Average	0.66
	S.D.	0.16

ตาราง จ-36 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/PP-g-CTS-MMT 2%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS-MMT 2%	1	0.42
	2	0.53
	3	0.27
	4	0.69
	Average	0.48
	S.D.	0.17

ตาราง จ-37 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT 4%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS-MMT 4%	1	0.41
	2	0.52
	3	0.38
	4	0.49
	Average	0.51
	S.D.	0.15

ตาราง จ-38 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ PP-g-CTS-MMT 6%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS-MMT 6%	1	0.63
	2	0.63
	3	0.49
	4	0.74
	Average	0.62
	S.D.	0.10

ตาราง จ-39 ค่ามอดุลัสของของเส้นใยเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนPP-g-CTS-MMT 8%

สูตรเส้นใย (wt%)		Initial Modulus (gf/den)
PP-g-CTS-MMT 8%	1	0.52
	2	0.61
	3	0.50
	4	0.74
	Average	0.57
	S.D.	0.10

ภาคผนวก จ

ผลการศึกษาสมบัติหน่วงไฟของเส้นใยเชิงประกอบตามมาตรฐาน UL-94

การคำนวณอัตราการลามไฟ (Linear burning rate)

$$V = \frac{60L}{t}$$

L = ระยะทางลามไฟ (มิลลิเมตร)

t = ระยะเวลาลามไฟ (นาที)

หมายเหตุ

- หากเปลวไฟไปถึงขีดกำหนดที่ 100 มิลลิเมตร, ค่า L = 75 มิลลิเมตร
- หน่วยของอัตราการลามไฟตามระบบ SI unit คือ เมตร/วินาที แต่ในทางปฏิบัติจะใช้หน่วย มิลลิเมตรต่อนาที
- สามารถระบุหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อนาทีในรายงานผลได้เช่นกัน

การจำแนกผลจากการวิเคราะห์ค่าอัตราการลามไฟ

ชิ้นงานจะมีพฤติกรรมการหน่วงไฟในแนวนอน (Horizontal burning, HB) เมื่อ

1. ชิ้นงานไม่เกิดการเผาไหม้ให้เห็นหลังจากนำแหล่งกำเนิดไฟออก
2. เปลวไฟลามไม่ถึงขีด 25 มิลลิเมตร
3. เปลวไฟลามผ่านขีด 25 มิลลิเมตรไปแล้วแต่ยังไม่ถึงขีด 100 มิลลิเมตร

4. เปลวไฟลามถึงขีด 100 มิลลิเมตร และมีค่าอัตราการลามไฟไม่เกิน 40

มิลลิเมตรต่อนาทีในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนาอยู่ระหว่าง 3 ถึง 13 มิลลิเมตร หรือ

มีค่าอัตราการลามไฟไม่เกิน 75 มิลลิเมตรต่อนาที กรณีชิ้นงานมีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร

ตาราง ข-1 การหาค่าอัตราการลามไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนPP-g-CTS และพอลิโพรพิลีนPP-g-CTS-MMT

สูตรเส้นใย	Burning rate (mm/min)					Average	S.D.
	1	2	3	4	5		
PP	20.22	24.25	20.33	22.1	24.81	22.34	1.91
PP-g-MA 1%	26.9	28.83	24.14	26.01	25.97	26.37	1.52
PP-g-MA 2%	21.83	23.57	21.72	23.99	22.18	22.66	0.93
PP-g-MA 3%	25.77	26.06	28.12	28.14	27.17	27.07	0.99
PP-g-CTS 2%	25.52	23.7	22.98	24.25	22.61	23.81	1.02
PP-g-CTS 4%	30.72	28.99	30.1	27.01	27.77	28.92	1.38
PP-g-CTS 8%	28.11	28.86	31.53	26.69	28.48	28.74	1.57
PP-g-CTS-MMT 2%	21.32	22.22	22.37	21.11	21.34	21.67	0.51
PP-g-CTS-MMT 4%	26.67	26.6	26.36	-	-	26.88	0.21
PP-g-CTS-MMT 6%	23.68	25.98	24.46	27.26	27.73	25.82	1.56

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววาสนา อ้นหนองปลง เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งทอ-การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ภาควิชาเคมีสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2551 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นของปีการศึกษา 2554

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

W. Onnongponga, P. Lersutthiwongb, K. Srikulkitc, Effect of modified chitosan loading on the structure of polypropylene/ polypropylene grafted chitosan composite, The 2nd Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials and The 17th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers ,April 26, 2011, Meeting Room 1-4, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand

W. Onnongpong, P. Lertsutthiwong, K. Srikulkit, Preparation of polypropylene/polypropylene grafted chitosan composite, the 18th International Conference on Composite Materials (ICCM18), August 21-26, 2011,Jeju, Korea.