

การเตรียมเส้นใยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/มอนต์มอริลโลไนต์
ตัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์



นางสาวสลิลา หวังสะเล็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLYPROPYLENE/BENZALKONIUM CHLORIDE - MODIFIED
MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITE FIBER



Miss. Saleela Wangsalem

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Materials Science


Faculty of Science

Chulalongkorn University

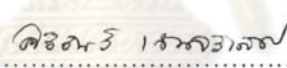
Academic Year 2009

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเส้นใยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/มอนต์มอริลไลไนต์
	ดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์
โดย	นางสาวสลิลา หวังสะเล็ม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สรินทร ลิมปนาท

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพันธุ์ เจียมศิริเลิศ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.สรินทร ลิมปนาท)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร์)

สลีลา หวังสะเต็ม : การเตรียมเส้นใยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/มอนต์มอริลโลไนต์
ดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์.(PREPARATION OF POLYPROPYLENE/BENZALKONIUM
CHLORIDE-MODIFIED MONTMORILLONITE FIBER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ภาวิ
ศรีภูวกิจ,อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, ดร.สรินทร์ ลิ้มปนาท,
139 หน้า

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/เบนซาลโคเนียม-มอนต์มอริล
โลไนต์ นาโนคอมพอสิตและศึกษาสมบัติของเส้นใยได้แก่สมบัติเชิงกลและศึกษาสมบัติในการต้าน
เชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใย โดยทำการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่
ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม แล้วนำไปผสมกับผงพอลิโพรพิลีน
ในปริมาณร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักผ่านเครื่องอัดรีดด้วยความร้อนชนิดสกรูคู่ นำเม็ด
พอลิโพรพิลีน/เบนซาลโคเนียม-มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิตไปขึ้นรูปเส้นใยเดี่ยวโดย
กระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว แล้วดึงยึดเส้นใยในอัตรา 5 เท่า

ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันและสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วยเทคนิค
XRD, FT-IR และ SEM ผลการวิเคราะห์ยืนยันได้ว่ามีสารเบนซาลโคเนียมแทรกอยู่ในช่องแกลลารี
ของมอนต์มอริลโลไนต์ มีโครงสร้างแบบ Intercalated ซึ่งสอดคล้องกับผล XRD สำหรับการวิเคราะห์
สมบัติทางความร้อนของ พอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิต แสดงว่าอนุภาคของ มอนต์มอริลโลไนต์ที่
ผ่านการดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียมคลอไรด์สามารถเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนพอลิโพรพิ
ลีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิต

สำหรับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/เบนซาลโคเนียม-มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิต จะมี
ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 8 (ที่ความ
เข้มข้นของเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 มิลลิโมล/กรัม)จะมีประสิทธิภาพในการ
ต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ถึง 99.99 %

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต..... สลีสลา หวังสะเต็ม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... ผศ.ดร.ภาวิศรีภูวกิจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..... ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..... ดร.สรินทร์ ลิ้มปนาท

5072502023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : POLYPROPYLENE/ BENZALKONIUM CHLORIDE/ MONTMORILLONITE/

NANOCOMPOSITE FIBER

SALEELA WANGSALEM : PREPARATION OF POLYPROPYLENE/BENZALKONIUM CHLORIDE - MODIFIED MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITE FIBER. THESIS

ADVISOR : ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., THESIS CO- ADVISOR:

ASST. PROF. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D., SARINTORN LIMPANART, Ph.D.,

139 pp.

This research was aimed at preparing polypropylene/benzalkonium chloride-montmorillonite nanocomposite fiber and studying the fiber properties including mechanical properties and antimicrobial activity. Benzalkonium chloride-montmorillonite (BMMT) powders containing 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 mmol/g benzalkonium chloride were prepared. Then, polypropylene nanocomposites with BMMT contents of 2, 4, 6, 8, and 10 wt% were achieved by melt mixing using twin screw extruder. The composite compounds were spun into monofilament fiber using melt spinning process with fixed draw ratio of 5.

The modified montmorillonite powders were characterized for functional groups and morphology by XRD, FT-IR and SEM techniques. FTIR analysis confirmed the presence of benzalkonium chloride inside clay gallery. As a result of its presence, the treated montmorillonite existed in the intercalated structure as confirmed by XRD diffractogram. For the polypropylene/BMMT nanocomposite, the presence of BMMT particles was well dispersed according weight loss determination and they were able to raise the thermal stability of the nanocomposite.

From the results of fiber spinning, the antibacterial activity of the nanocomposite fiber containing 8 wt% BMMT (≥ 1.5 mmole benzalkonium chloride/g montmorillonite) was recorded at 99 percent reduction. This property was derived from the effect of benzalkonium chloride as well-known antimicrobial agent.

Department : Materials Science

Field of study : Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year : 2009

Student's signature.....Saleela Wangsaalem

Advisor's signature.....Kawee Srikulkit

Co-Advisor's signature.....Siriwan Kittinaovarat

Co-Advisor's signature.....Sarintorn Limpant

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับการสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ สถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีรายชื่อดังต่อไปนี้

1. รศ.ดร.ภาวี ศรีภูถกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ และ ดร.สรินทร์ ลิ้มปนาท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ

2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้สนับสนุนสถานที่ทำงานวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ห้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี

5. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียมปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูงที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรควิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิโพรพิลีน.....	3
2.2 เส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	5
2.3 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว.....	7
2.4 แร่ดิน.....	9
2.5 นาโนคอมพอสิต.....	12
2.6 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์.....	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.3 วิธีทำการทดลอง.....	21
3.3.1 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์.....	21
3.3.2 การเตรียมพอลิโพรพิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	22
3.3.3 การเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	25
3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	27
3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (BMMT) และโครงสร้างผลึกของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ BMMTนาโนคอมพอสิต	

ด้วยเทคนิค XRD.....	27
3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของมอนต์โมริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร (BMMT) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโตรสโคปี (FT-IR).....	28
3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของมอนต์โมริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเทคนิค SEM.....	29
3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์โรลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	30
3.4.5 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิไพร์โรลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	31
3.4.6 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิไพร์โรลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	32
3.4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยกล้อง Optical microscope.....	32
3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิไพร์โรลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	33
3.4.9 การศึกษา Dynamic modulus ของเส้นใยพอลิไพร์โรลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	33
3.4.10 การทดสอบความสามารถในด้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย.....	34
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค XRD.....	36
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ เทคนิค FT-IR.....	38
4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ด้วยเทคนิค SEM.....	38
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณแก้วของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์.....	39
4.5 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ปริมาณต่าง ๆ ในพอลิไพร์โรลีนนาโนคอมพอสิต....	40

4.6	การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีนนาโนคอมพอสิต.....	43
4.6.1	การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC.....	43
4.6.2	การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA.....	51
4.7	การศึกษาดัชนีการไหลของพอลิไพโรฟิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	56
4.8	การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	57
4.9	การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคอนต์มอริลโลไนต์ ในเส้นใยไพโรฟิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต.....	59
4.10	ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของ เส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	60
4.10.1	ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยไพโร- ฟิลีน/1.5 BMMTนาโนคอมพอสิตที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่างๆ.....	60
4.10.2	ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย ของเส้นใยพอลิ ไพโรฟิลีน/1.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ 1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8% wt.....	62
4.11	การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	64
4.11.1	การศึกษาค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	64
4.11.2	การศึกษาสมบัติการต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	65
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	69
	รายการอ้างอิง.....	70
	ภาคผนวก.....	73
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	139

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1	สูตรของผสมที่ใช้ในการเตรียมนาโนคอมพอสิตของ พอลิไพร์ฟิชั่น/BMMT นาโนคอมพอสิต.....23
ตารางที่ 4.1	ร้อยละของเถ้าที่เหลือหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ของ มอนตม์อริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียม..... 40
ตารางที่ 4.2	ปริมาณเถ้าของพอลิไพร์ฟิชั่น/BMMT นาโนคอมพอสิต..... 42
ตารางที่ 4.3	สมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์ฟิชั่นและพอลิไพร์ฟิชั่น/ BMMT นาโนคอมพอสิต..... 47
ตารางที่ 4.4	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไพร์ฟิชั่น/ BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA 52
ตารางที่ 4.5	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิไพร์ฟิชั่นและเส้นใยพอลิไพร์ฟิชั่น/ BMMT นาโนคอมพอสิตนาโนคอมพอสิต..... 57
ตารางที่ 4.6	ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิไพร์ฟิชั่น/ 1.5 BMMT นาโนคอมพอสิตที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ..... 60
ตารางที่ 4.7	ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิไพร์ฟิชั่น/ BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ 1.5 BMMT 2.0 BMMT 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8%wt..... 62

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	6
รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว.....	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	10
รูปที่ 2.5 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์.....	10
รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์.....	11
รูปที่ 2.7 ชนิดของออร์กาโนเคลย์.....	12
รูปที่ 2.8 ชนิดของพอลิเมอร์/เคลย์ คอมพอสิต.....	13
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์.....	22
รูปที่ 3.2 คุณสมบัติในการหลอมเป็น 5 โชนของเครื่องอัดรีดสกรูคู่ เตรียมพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	23
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ของบริษัท BETOL.....	24
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมนาโนคอมพอสิตของ พอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	24
รูปที่ 3.5 คุณสมบัติในการหลอมเป็น 5 โชนของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว เตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต.....	25
รูปที่ 3.6 เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิด.....	26
รูปที่ 3.7 ชุดม้วนเก็บเส้นใย.....	26
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต.....	27
รูปที่ 3.9 เครื่อง X-ray Diffractometer.....	28
รูปที่ 3.10 เครื่อง FT-IR spectrometer.....	29
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	29
รูปที่ 3.12 เครื่อง thermal gravimetric analysis (TGA).....	30
รูปที่ 3.13 เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC).....	31
รูปที่ 3.14 เครื่องหาค่าดัชนีการไหล (melt flow index).....	31
รูปที่ 3.15 เต้าเผาไฟฟ้า 1,600 °C.....	32
รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์.....	32

รูปที่ 3.17	เครื่องทดสอบ universal testing.....	33
รูปที่ 3.18	เครื่องทดสอบ dynamic modulus.....	34
รูปที่ 4.1	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร.....	36
รูปที่ 4.2	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	37
รูปที่ 4.3	อินฟราเรดสเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง a.) เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ b.) เบนซาลโคเนียมคลอไรด์มอนต์มอริลโลไนต์ c.) มอนต์มอริลโลไนต์.....	38
รูปที่ 4.4	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ เบนซาลโคเนียมคลอไรด์.....	39
รูปที่ 4.5	แสดงร้อยละของแก้วที่เหลือจากการทดลองของพอลิไพร์ฟิซีน /BMMT นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่างๆ	41
รูปที่ 4.6	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/0.5 BMMT นาโนคอมพอสิต	44
รูปที่ 4.7	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/1.0 BMMT นาโนคอมพอสิต	44
รูปที่ 4.8	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/1.5 BMMT นาโนคอมพอสิต.....	45
รูปที่ 4.9	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/2.0 BMMTนาโนคอมพอสิต	45
รูปที่ 4.10	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/2.5 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	46
รูปที่ 4.11	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/3.0 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	46
รูปที่ 4.12	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/0.5 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	48
รูปที่ 4.13	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/1.0 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	49
รูปที่ 4.14	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิไพร์ฟิซีน และพอลิไพร์ฟิซีน/1.5 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	49

รูปที่ 4.15	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	50
รูปที่ 4.16	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	50
รูปที่ 4.17	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	51
รูปที่ 4.18	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/0.5 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	53
รูปที่ 4.19	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT นาโนคอมพอสิต.....	53
รูปที่ 4.20	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT นาโนคอมพอสิต.....	54
รูปที่ 4.21	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT นาโนคอมพอสิต.....	54
รูปที่ 4.22	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT นาโนคอมพอสิต.....	55
รูปที่ 4.23	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMTนาโนคอมพอสิต.....	55
รูปที่ 4.24	ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ.....	56
รูปที่ 4.25	ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต.....	58
รูปที่ 4.26	ร้อยละของแก้วที่เหลือจากการเผาเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต ที่อุณหภูมิ 1000 °C.....	59
รูปที่ 4.27	ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ.....	61
รูปที่ 4.28	ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ 1.5 BMMT,2.0 BMMT,2.5 BMMT,และ 3.0 BMMT.....	63
รูปที่ 4.29	ค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต.....	64

รูปที่ 4.30	ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต.....	66
รูปที่ 4.31	ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT BMMT นาโนคอมพอสิต.....	67



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเป็นวัสดุที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านวิชาการและในทางอุตสาหกรรม พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีฟิลเลอร์เป็นอนุภาคในระดับนาโนเมตรและมีการกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์อย่างสม่ำเสมอ ทำให้วัสดุที่ทำจากนาโนคอมพอสิตมีสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล และเสถียรภาพทางความร้อนเหนือกว่าวัสดุคอมพอสิตดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป นาโนฟิลเลอร์ที่กำลังได้รับความสนใจคือมอนต์มอริลโลไนต์ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกัน คือ ชั้นของแผ่นอะลูมินาและชั้นของแผ่นซิลิกา ซึ่งซ้อนทับกันคล้ายแซนวิชโดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินาและประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกามอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อผ่านการดัดแปรด้วยสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมจะได้ออร์กาโนเคลย์ที่เข้ากับพลาสติกได้ดี ทำให้สมบัติบางประการของพลาสติกที่ถูกเสริมแรงดีขึ้น เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติความแข็งแรง และสมบัติการสกัดกั้นการซึมผ่านของแก๊ส เส้นใยพอลิไพร์โรลีนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย จึงทำให้มีการพัฒนาการใช้งานในกลุ่มสิ่งทอเพิ่มมากขึ้น พอลิไพร์โรลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิตเป็นแนวทางการศึกษาหนึ่งที่น่าสนใจในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยที่มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ซึ่งพบว่าเส้นใยพอลิไพร์โรลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลและมีความสามารถในการย้อมติดสีดีสเปอรัสได้ สมบัติอีกประการหนึ่งที่เป็นต้องการสำหรับเส้นใยสิ่งทอคือสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ สารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ (benzalkonium chloride) เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นห้องน้ำ จากโครงสร้างที่มีประจุบวกคล้ายคลึงกับสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ใช้ในการดัดแปรเคลย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดที่จะทำการดัดแปรเคลย์ด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ แล้วนำไปผสมในเส้นใยพอลิไพร์โรลีน ซึ่งคาดว่าจะได้เส้นใยนาโนคอมพอสิตที่มีสมบัติเด่นในการต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอน สภาวะและวิธีการเตรียมออร์กาโนเคลย์ด้วยปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกับสารเบนซาลโคเนียมคลอไรด์
2. ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปเส้นใยพอลิไพร์พอลิซิน/เบนซาลโคเนียม-เคลย์ นาโนคอมพอสิต ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว
3. ศึกษาสมบัติเชิงกล และตรวจสอบสมบัติการต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของเส้นใยนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม
2. ศึกษาสมบัติของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ได้แก่ โครงสร้าง สัณฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชันทางเคมี และการกระจายตัวเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ในอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์
3. เตรียมพอลิไพร์พอลิซิน/เบนซาลโคเนียม-เคลย์ นาโนคอมพอสิต ในปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 wt% ตามลำดับ โดยกระบวนการอัดรีดด้วยความร้อน
4. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์พอลิซินนาโนคอมพอสิต และการกระจายตัวของอนุภาคออร์กาโนเคลย์ในพอลิไพร์พอลิซินนาโนคอมพอสิตในปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 wt% ตามลำดับ
5. ขึ้นรูปเส้นใยพอลิไพร์พอลิซิน/เบนซาลโคเนียม-เคลย์ นาโนคอมพอสิต ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว
6. ศึกษาสมบัติ สมบัติเชิงกลและทดสอบสมบัติการต้านการเจริญของแบคทีเรียของเส้นใยพอลิไพร์พอลิซิน/เบนซาลโคเนียม-เคลย์ นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้

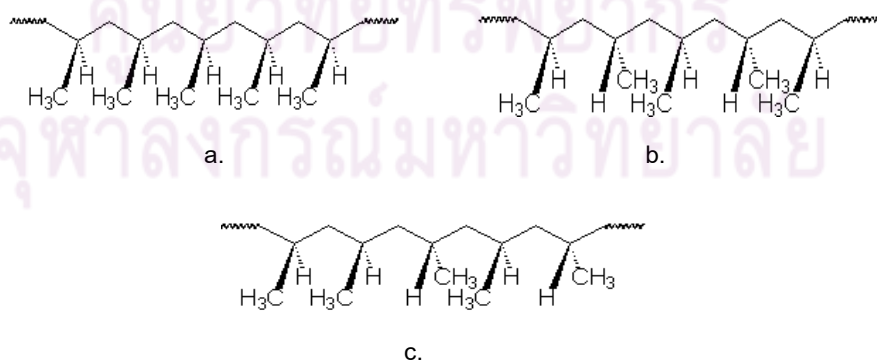
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เส้นใยนาโนคอมพอสิตพอลิไพร์พอลิซิน/เบนซาลโคเนียม-เคลย์ นาโนคอมพอสิต ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี และต้านการเจริญของแบคทีเรียได้

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิโพรพิลีน [1]

ในช่วงประมาณปีพ.ศ. 2493 ขณะนั้นพอลิเมอร์ประเภทพอลิโอเลฟินที่จำหน่ายในท้องตลาดมีเพียง พอลิเอทิลีน พอลิไอโซบิวทิลีน และพอลิไอโซบิวทิลีน-ไอโซพรีน โคพอลิเมอร์เท่านั้น ซึ่งความพยายามที่จะเตรียมพอลิโอเลฟินตัวอื่นๆ ยังไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเกินไปจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2497 ศาสตราจารย์กิลลิโอ แนนตา (Prof. Giulio Natta) ชาวอิตาลีได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมันค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิโพรพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงแตกต่างกันไป และส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration) ได้สามแบบคือ แบบไอโซแทกติก (isotactic) แบบซินดีโอแทกติก (syndiotactic) และแบบอะแทกติก (atactic) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งโครงสร้างทั้งสามแบบนี้จะมีความเป็นระเบียบที่แตกต่างกันส่งผลให้มีสมบัติที่แตกต่างกันด้วย โดยพอลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทกติกจะมีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและมีความแข็งแรงกว่าชนิดอื่นๆ โดยบริษัทที่ผลิตพอลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทกติกในทางการค้าได้เป็นครั้งแรกคือ Montecatini (Moplen) ในปี พ.ศ. 2500 หลังจากนั้นพอลิโพรพิลีนจึงกลายเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญและมีปริมาณการใช้มากชนิดหนึ่ง



รูปที่ 2.1 ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration)

a.) isotactic b.) syndiotactic และ c.) atactic [2]

2.1.1 การสังเคราะห์พอลิไพโรฟิลีน

การสังเคราะห์พอลิไพโรฟิลีน เริ่มจากการนำพอลิไพโรฟิลีนมอนอเมอร์ในรูปของแก๊สพอลิไพโรฟิลีนที่ได้จากกระบวนการกลั่นลำดับส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนตตา” ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ทิเทเนียมไตรคลอไรด์ กับอะลูมิเนียมไตรเอทิล อะลูมิเนียมไตริวทิล หรืออะลูมิเนียมไตรเอทิลโมโนคลอไรด์ในแนพธา ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โดยอาจใช้ตัวเร่งร้อยละ 10 และแนพธาร้อยละ 90 ผ่านเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอไรซ์ร้อยละ 80-85 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันจะใช้แบบแขวนลอยมากกว่าแบบสารละลาย ในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวย้ายสายโซ่ หรืออาจปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ความดันของมอนอเมอร์ สัดส่วนของตัวเร่งหรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ของผสมที่เกิดขึ้นหลังการทำปฏิกิริยาประกอบด้วย

1. พอลิไพโรฟิลีน ชนิดไอโซแทกติก
2. พอลิไพโรฟิลีน ชนิดอะแทกติก
3. ตัวทำละลาย
4. มอนอเมอร์
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการแยกพอลิไพโรฟิลีนชนิดไอโซแทกติกออก ทำได้โดยการผ่านของผสมจากเตาปฏิกรณ์ไปยัง flash drum เพื่อแยกมอนอเมอร์ที่เหลือออก แล้วผ่านต่อไปที่เครื่องเซนตริฟิวจ์เพื่อแยกตัวทำละลายซึ่งมีพอลิไพโรฟิลีนชนิดอะแทกติกละลายอยู่ออกไป จากนั้นแยกตัวเร่งออกด้วยเมธานอลผสมกรดเกลือเล็กน้อย แล้วทำการแยกเมธานอลออกด้วยการเซนตริฟิวจ์อีกครั้ง พอลิไพโรฟิลีนชนิดไอโซแทกติกที่ได้นำไปล้างให้สะอาดและทำให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C

2.1.2 สมบัติของพอลิไพโรฟิลีนและการใช้ประโยชน์

พอลิไพโรฟิลีนที่เตรียมได้โดยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 มีความหนาแน่นประมาณ 0.90g/cm³ อุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) 164-170 °C ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเกิน 80°C ขึ้นไปจะละลายในอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และคลอริเนตไฮโดรคาร์บอน มีความต้านทานแรงดึง ความแข็งดึง และความแข็งที่สูงมาก มีความมัน (gloss) ที่ดี มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีมาก มีความเฉื่อยต่อสารเคมีและความชื้น แต่มีเสถียรภาพทางความร้อน แสง และการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน

พอลิโพรพิลีนที่ใช้ทางการค้ามักผสมสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ไยแก้ว ยาง และ สารแอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติที่ดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน พอลิโพรพิลีนมักใช้ทำวัสดุ ของใช้ในครัว แผ่นฟิล์มสำหรับห่อ ถุงพลาสติกใส่ของร้อน เชือกปอพลาสติก ก่องแปดเตออรี กระเป๋า ถังขยะ ถังน้ำ ท่อน้ำ ชิ้นส่วนตู้เย็น เส้นใยสิ่งทอทั้งแบบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว

2.2 เส้นใยพอลิโพรพิลีน

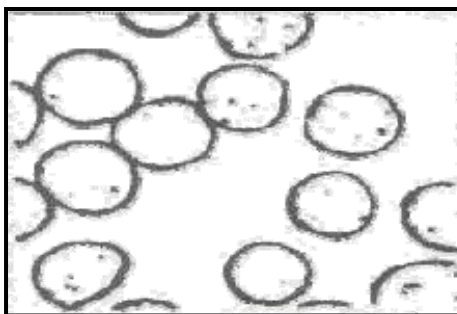
เส้นใยพอลิโพรพิลีนเป็นเส้นใยสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง ราคาถูกโดยมี การเพิ่มปริมาณการใช้ถึงร้อยละ 5 ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ในปีพ.ศ. 2542 ทั่วโลกได้มีการ บริโภคเส้นใยพอลิโอเลฟินมากกว่า 5.5 ล้านตันและเป็นปริมาณร้อยละ 18 ของการผลิตเส้นใย สังเคราะห์ทั่วทั้งโลก [3] ในยุคแรกรูปแบบของเส้นใยพอลิโพรพิลีนผลิตที่ได้ยังมีจำกัดเนื่องจาก เหตุผลทางด้านลิขสิทธิ์จึงสามารถผลิตได้เพียงรูปแบบของสายเทปและเส้นใยยาว จนกระทั่ง ในช่วงต้นของปีพ.ศ.2503 จึงได้มีการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนในรูปแบบของเส้นใยสั้นออกมาสู่ ท้องตลาดจนในช่วงต้นของพ.ศ. 2513 ซึ่งเป็นยุคเริ่มแรกของการนำกระบวนการอัดรีดมาใช้ใน อุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มซึ่งนำไปสู่การผลิตเส้นใยในรูปแบบที่หลากหลายขึ้น [4] ในปัจจุบันการ ผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนทำได้โดยนำเม็ดพอลิโพรพิลีนเรซินเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใยแบบ หลอมเหลวผ่านหัวรีดได้เส้นใยออกมานั้นนำเส้นใยยาวเข้าสู่กระบวนการดัดยัดให้เกิดการ จัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบและเกิดผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะของเส้นใยที่พบมี หลากหลายรูปแบบทั้งขนาด รูปทรง ความมัน และสมบัติเฉพาะด้าน โดยขึ้นกับการใช้งานที่ ต้องการ [5]

เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถนำมาใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น เชือก อวน พรมปูพื้นสนาม หญ้าเทียม ฝ้าคลุมดิน ใช้ทางการแพทย์ ยานยนต์ การเกษตร ผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้าน ในด้านการ ทำเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เพื่อทำเป็นเส้นใยที่ฟ้า เส้นใยคอตตอน หรือ ผ้าไหม [3,5,6]

2.2.1 สมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [5,6]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยพื่นที่หน้าตัดกลม และเป็นแท่งยาวใส มีความมันหลายระดับตั้งแต่ทึบ กึ่งทึบ สว่าง และพบทั้งชนิดของเส้นใยยาว และเส้นใยสั้น



รูปที่ 2.2 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [2]

ความแข็งแรง เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงดีมาก โดยขึ้นกับระดับขั้นของการเกิดพอลิเมออร์ หรือน้ำหนักโมเลกุล สำหรับการใช้งานด้านสิ่งทอทั่วไป จะมีค่าความแข็งแรง (Tenacity) ระหว่าง 4.5 ถึง 6.0 กรัม/ดีเนียร์ หากนำไปใช้งานเพื่อทำเป็นเชือกจะมีความแข็งแรงประมาณ 9.0 กรัม/ดีเนียร์ ขึ้นไป หรือใช้ในลักษณะงานพิเศษๆ ค่าความแข็งแรงของเส้นใย อาจมีค่าถึง 13 กรัม/ดีเนียร์

สภาพยืดหยุ่น ค่อนข้างดี ใกล้เคียงกับไนลอน และถ้าได้รับแรงยึดคงที่เป็นเวลานานติดต่อกันจะเกิดผลอันเนื่องมาจากเวลาที่รับแรงทำให้เกิดการยืดตัวถาวรขึ้น

การคืนตัวจากแรงอัด เป็นสมบัติเด่นประการหนึ่งของพอลิโพรพิลีน ทำให้เหมาะกับการทำเป็นพรม

คุณสมบัติด้านความยืดตัว เส้นใยยาวเดี่ยวของพอลิโพรพิลีนเชิงพาณิชย์จะมีค่าความยืดตัวที่จุดขาดในขอบเขต 15 ถึง 25% เส้นด้ายใยยาวหลายๆเส้นจะมีค่า 20-30% ส่วนใยสั้น จะมีค่า 20-35%

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น พอลิโพรพิลีนเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนจะไม่ดูดซึมน้ำ และน้ำก็ไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงและคุณสมบัติด้านเชิงกลอื่นๆ ของเส้นใย ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำจึงสามารถถ่ายทอดความชื้นได้ดี ทำให้เหมาะสมต่อการทำผ้าอ้อมสำหรับเด็ก

คุณสมบัติด้านความหดตัว การหดตัวของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนั้น ขึ้นอยู่กับเส้นใยจะได้รับจากการกระทำของกระบวนการผลิตมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่เส้นใยต้มในน้ำเดือด เส้นใยยาวเดี่ยว (Mono filament) จะหดตัวมากที่สุด ประมาณ 15% หลังจากแช่ในน้ำเดือดนานถึง 20 นาที ส่วนเส้นใยยาวและสั้น อาจหดตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 10%

การนำความร้อน เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำกว่าเส้นใยชนิดอื่นจึงเหมาะสมต่อการทำผลิตภัณฑ์ที่ให้เสื้อผ้าหรือผ้าห่มที่ให้ความอบอุ่น

ความถ่วงจำเพาะ เป็นเส้นใยที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ (0.91 g/cm^3) จึงเป็นเส้นใยที่ลอยน้ำได้

สมบัติทางเคมี

กรด พอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่ทนต่อกรดได้ดี ยกเว้นเฉพาะกรดไนตริกที่อุณหภูมิสูง

ด่าง พอลิโพรพิลีนทนต่อด่างได้ดีมาก สามารถซักล้างด้วยสบู่ น้ำยาซักผ้า โดยไม่มีผลเสียและความแข็งแรงในขณะเปียกไม่เปลี่ยนแปลง

สารซักฟอก พอลิโพรพิลีน ทนต่อสารซักฟอกทั่วไปได้ดีในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า $150 \text{ }^{\circ}\text{F}$ แต่ถ้าสูงกว่านั้นจะมีผลเสียทำให้ความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการซักพอลิโพรพิลีนจึงไม่ควรซักด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินไป

ราและแมลง เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความต้านทานต่อการเกิดราและการถูกทำลายโดยแมลง

แสง ภายใต้ภาวะปกติหากได้รับแสงโดยตรงเป็นเวลาติดต่อกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง

ข้อเสียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [6]

1) อุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำ ทำให้มีความไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์เสียรูปทรงได้ง่าย

2) ย้อมสีติดยาก

3) มีเสถียรภาพต่อรังสียูวีและเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ

4) ความสามารถในการคืนตัว (resilience) ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเตอร์หรือไนลอน

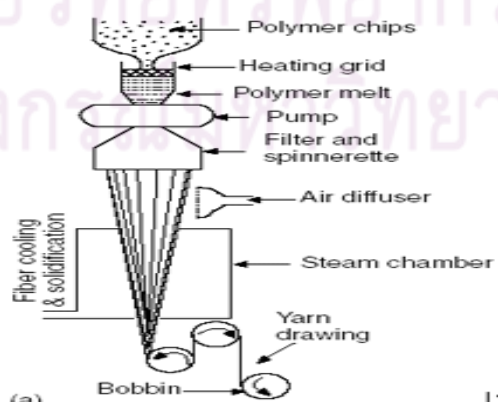
5) แรงแย้ดเกาะกับกาวและเลเทกซ์ต่ำ

6) ติดไฟได้ง่ายจึงต้องการสารหน่วงไฟและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

2.3 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว

การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (melt spinning) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมารองรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ได้เป็นอย่างดี มีความเร็วในการผลิตสูง เป็นการปั่นเส้นใยโดยตรงด้วยการทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้แล้วมีสภาพเป็นของเหลวด้วยความร้อน โดยเส้นใยที่ถูกปั่นเป็นเส้นอยู่ใน

สภาพที่กระแสมผ่านเพื่อให้เกิดการเย็นตัวลง ได้เส้นใยที่มีความแข็งแรง โดยนับเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้สารเคมีหรือตัวทำละลาย อีกทั้งสามารถควบคุมพื้นที่ภาคตัดขวางได้อย่างแม่นยำ [7] กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวอาจเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจนออกมาเป็นเส้นใยในสายการผลิตเดียวหรือเป็นกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องโดยเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันออกมาได้เป็นเม็ดพอลิเมอร์ (polymer chip) แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ไปฉีดเป็นเส้นใยอีกทอดหนึ่ง สมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบหลอมเหลวได้ต้องสามารถทนต่อภาวะที่ใช้ในการหลอมตัว มีการเปลี่ยนสภาพจากของแข็งเป็นของเหลว แล้วผ่านการอัดรีดผ่านสปินเนอร์เรท (spinneret) จากนั้นเกิดการเย็นตัวเป็นเส้นใยได้ พร้อมทั้งมีการคงรูปในภาวะที่เป็นของเหลวได้ดี โดยความเร็วที่ใช้ในการผลิตมีตั้งแต่ 1000 เมตรจนถึง 6000 เมตรต่อนาที ในกรรมวิธีที่เสร็จในขั้นตอนนี้เดียว (one step high speed spinning) และได้รับการพัฒนาให้มีความเร็วในการผลิตสูงขึ้นดังเช่นในการผลิตแบบ melt-blow ซึ่งมีได้ถึง 10,000 เมตรต่อนาที แต่ปัจจุบันการผลิตให้เป็นเส้นยาว (filaments) ที่เป็นที่นิยมกันมากจะเป็นการผลิตเส้นใยที่เป็น 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 แต่อย่างไรก็ตามสารตัวเติมที่ใช้เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต มักใช้เพียงเพื่อเป็นตัว extenders เพื่อช่วยลดราคาต้นทุนการผลิตลง และเพิ่มสมบัติเชิงกลเช่น stiffness และ impact strength ในปัจจุบันการนำอนุภาคนาโนมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยสังเคราะห์ กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากอนุภาคนาโนสามารถสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน [8]



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว [9]

2.4 แร่ดินเหนียว (clay mineral) [10]

แร่ดินเหนียวเป็นแร่ที่พหุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังของหิน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กระดับไมครอนมีธาตุดูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของแร่ดินเหนียวคือสารประกอบแอนไฮดรัสอะลูมิโนซิลิเกต (anhydrous aluminosilicate) ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นเกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินา (alumina) และซิลิกา (silica) และระหว่างชั้นมีไอออนบวกของโลหะเช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมหรือเหล็กแทรกอยู่ จากโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวออกได้เป็น 5 ประเภทคือ

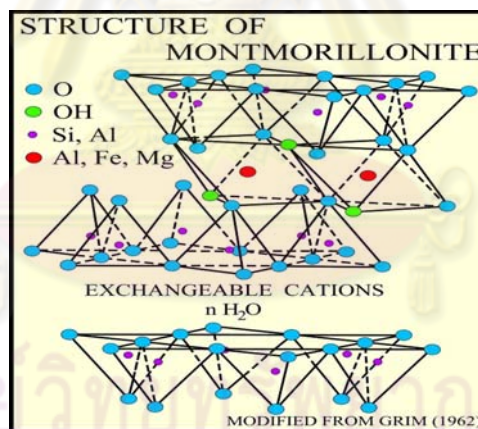
1. Kaolinite มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ มีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 1:1 ประกอบด้วยชั้นซิลิกาเรียงสลับกับชั้นอะลูมินา
2. Illite เป็นแร่ดินชนิด 2:1 ในหน่วยโครงสร้างจะมีชั้นซิลิกา 2 ชั้น ประกบชั้นอะลูมินาอยู่ และในแต่ละหน่วยมีไอออนของโพแทสเซียมแทรกอยู่ ทำให้ดินกลุ่มนี้ไม่สามารถพองตัวในน้ำได้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

แร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม kaolinite และ smectite โดยกลุ่ม kaolinite นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้อง ถ้วยชาม และสุขภัณฑ์ เป็นต้น สำหรับกลุ่ม smectite ที่รู้จักกันดีได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (drilling mud) และเป็นสารหล่อลื่น เป็นต้น ปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามอาศัยสมบัติของแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานให้หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวให้ได้ดินที่ชอบสารอินทรีย์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า ออร์แกโนฟิลิคเคลย์ (organophilic clay) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น ใช้เป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี

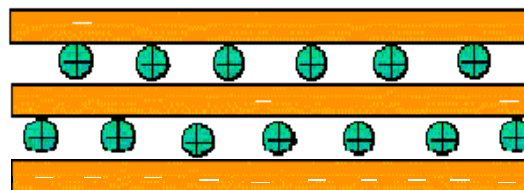
แร่ดินเหนียวมีจุดเด่น คือมีโครงสร้างผลึกที่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้ว ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางและนำไปสู่เทคโนโลยีของนาโนเคลย์ (nanoclay) และนาโนคอมพอสิต (nanocomposite)

2.4.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite)

มอนต์มอริลโลไนต์มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $M_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{SiO}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ จัดเป็นแร่ที่นิยมนำมาใช้เตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นซ้อนกันแบบ 2:1 กล่าวคือประกอบด้วยชั้นของซิลิกา 2 ชั้น ชั้นของอะลูมินา 1 ชั้น แทรกอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยแต่ละชั้นมีความหนาเพียง 0.7-1.0 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1,000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์ โดยมีช่องว่างระหว่างชั้นที่เรียกว่า gallery หรือ interlayer พื้นผิวของชั้นอะลูมิโนซิลิเกตมีประจุลบซึ่งยึดเกาะกันด้วยประจุบวกของไอออนของโลหะภายในช่องแกลลอรี่ เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [11]

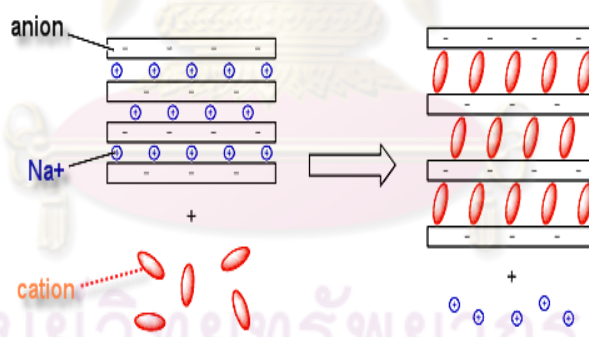


รูปที่ 2.5 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์ [12]

เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติที่ชอบน้ำและดูดน้ำได้มาก ซึ่งโดยทั่วไปความหนาของชั้นผลึกขยายจนถึง 1.2 นาโนเมตร เมื่อมีความชื้น เนื่องจากขยายตัวได้มากจึงนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เคมีภัณฑ์ เครื่องสำอาง ใช้ปรับความหนืดในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใช้เป็นสารดูดกลิ่นในภาคปฏิภรณ์ของสัตว์เลี้ยง รวมถึงในงานบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.4.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay)

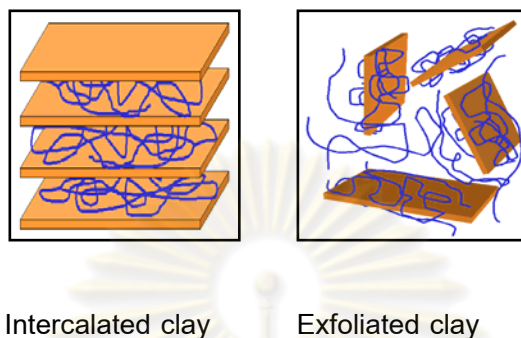
ในธรรมชาติมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงจำเป็นต้องปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) กับมอนต์มอริลโลไนต์ โดยเตรียมเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (modified montmorillonite) ก่อนที่จะนำไปผสมกับพอลิเมอร์ วิธีที่ง่ายที่สุดในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ คือการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ระหว่างประจุบวกภายในช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์กับสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก (organic cation) เช่น เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) หรือเกลือฟอสโฟเนียม (phosphonium salt)



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรแล้วจะเรียกว่า “ออร์กาโนเคลย์” หรือ “ออร์กาโนฟิลิกเคลย์” โดยปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกจะทำให้ ระยะห่างของช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์หรือแกลลลอรี่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เข้าไปแทนที่ ซึ่งจะเรียกออร์กาโนเคลย์ที่มีโครงสร้างเช่นนี้ว่า ออร์กาโนเคลย์แบบแทรกสอด (intercalated clay) แต่ถ้าช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์เกิดการขยายตัวมากจนทำให้แผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์แยกออกจากกันและกระจายกระจายอย่างไม่เป็น

ระเบียบ จะเรียกว่าออร์กาโนเคลย์แบบแยกจากกัน (exfoliated clay) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร



รูปที่ 2.7 ชนิดของออร์กาโนเคลย์ [13]

2.5 นาโนคอมพอสิต [14]

นาโนคอมพอสิต (nanocomposites) เป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่จะช่วยพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมพอสิตแบบทั่วไปทั้งทางด้านความแข็งแรง เสถียรภาพทางความร้อน สมบัติทางแสง ความทนทานต่อสารเคมี และลดความสามารถในการติดไฟ ซึ่งนาโนคอมพอสิตที่ได้รับความสนใจและพัฒนากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเป็นวัสดุที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมสารที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่เสริมแรงให้กับพอลิเมอร์เนื่องจากจะทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และสารเสริมแรงให้มากยิ่งขึ้น

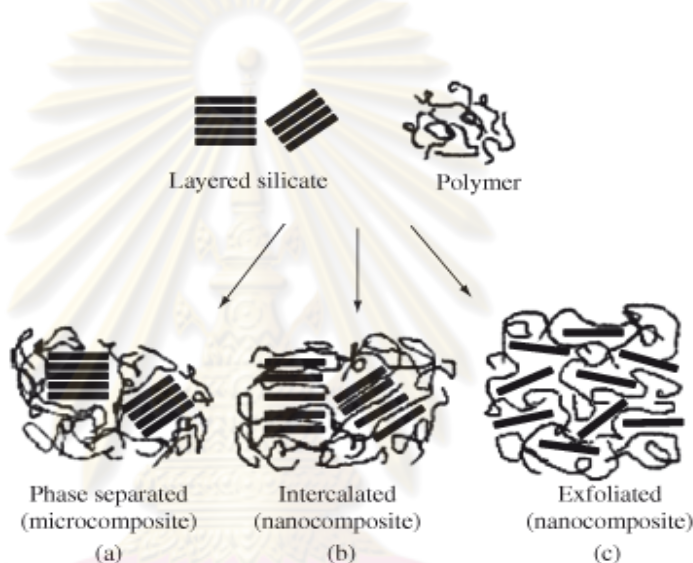
พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตได้พัฒนาสำเร็จสู่การค้าเป็นครั้งแรกโดย Toyota Central R&D Laboratory โดยใช้ caprolactam (nylon-clay nanocomposites) เนื่องจากเมื่อได้ผสมพอลิเมอร์กับออร์แกโนเคลย์แล้วจะทำให้ชั้นซิลิเกตขยายห่างจากกัน จึงเรียกว่า พอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต (polymer-clay nanocomposites) ซึ่งการกระจายตัวของเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์สามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะดังแสดงในรูป 2.8

1. ชนิดที่หนึ่งคอมพอสิตทั่วไป (conventional composite) จะประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์ที่ไม่แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกต โดยที่แต่ละชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ยังรวมกันอยู่ และเฟสของพอลิเมอร์และเฟสของเคลย์จะแยกออกจากกันอย่างชัดเจน

2. นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด (intercalated nanocomposite) ซึ่งคอมพอสิตชนิด

นี้จะประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์ที่แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นซิลิเกตตั้งแต่ 1 สายโซ่ขึ้นไปทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ขยายออก แต่ชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ยังไม่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน

3. นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน (exfoliated nanocomposite) ชั้นซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์จะแยกจากกันอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 2.8 สายโซ่พอลิเมอร์จึงสามารถแทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นโครงสร้างของ มอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้ได้นาโนคอมพอสิตที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและให้สมบัติที่ดีกว่านาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด



รูปที่ 2.8 ชนิดของพอลิเมอร์/เคลย์ คอมพอสิต [15]

2.5.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต [16]

การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตในปัจจุบันมี 3 วิธีคือ

1) Solution intercalation เป็นวิธีที่มีพื้นฐานมาจากการใช้ตัวทำละลาย ที่พอลิเมอร์หรือพรีพอลิเมอร์สามารถที่จะละลายได้และเป็นตัวทำละลายที่อนุภาคของเคลย์สามารถที่เกิดการบวมตัวได้ ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และโทลูอีน (Toluene) โดยวิธีนี้เมื่อพอลิเมอร์และสารละลายที่มีอนุภาคของเคลย์ที่เกิดการบวมตัวถูกผสมเข้าด้วยกัน พอลิเมอร์จะเกิดการแทรกสอดและแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายภายในชั้นของซิลิเกตของอนุภาคเคลย์ และเมื่อทำการขจัดตัวทำละลายออก จะทำให้ได้พอลิเมอร์/เคลย์ นาโนคอมพอสิตที่มีโครงสร้างแบบแทรกสอด

2) In situ intercalative polymerization วิธีนี้อุณหภูมิของเคลย์จะเกิดการบวมตัวภายในมอนอเมอร์เหลว (liquid monomer) หรือสารละลายของมอนอเมอร์ โดยการเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้นระหว่างชั้นของซิลิเกตเมื่อได้รับความร้อนหรือการแผ่รังสี การใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาอินทรีย์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ภายในชั้นของซิลิเกตในชั้นก่อนที่จะเกิดการบวมตัว

3) Melt intercalation เป็นวิธีที่ประกอบด้วยการทำหลอมแบบได้รับแรงเฉือน และการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์และมอนอเมอร์โพลีไดโนสที่ผ่านการตัดแปรเหนืออุณหภูมิอ่อนตัวของพอลิเมอร์ ซึ่งวิธีนี้จะดีกว่าสองวิธีแรกที่กล่าวมาคือ เป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ และความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์และอนุภาคของมอนอเมอร์โพลีไดโนส จะเกิดเมื่อทำการขึ้นรูปทั้งแบบอัดรีดและแบบฉีด

2.5.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต [14]

1. มีความใส เพราะอนุภาคนาโนเมตรจะมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มองเห็น จึงไม่เกิดการกระเจิง จึงไม่เกิดความขุ่น ไม่ทึบแสง แต่จะโปร่งใส
2. มีความแข็งแรง โมดูลัสสูงขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงของชั้นซิลิเกต
3. มีสมบัติการสกัดกั้นการซึมผ่านของแก๊ส เนื่องจากอนุภาคเคลย์ที่กระจายในเนื้อพอลิเมอร์จะมีพื้นที่ผิวและมีค่า aspect ratio สูง ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของแก๊สเพิ่มมากขึ้น
4. ทนความร้อนสูงได้ดี เพราะความเป็นฉนวนที่ดีของชั้นซิลิเกต เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดถ่าน (char) ปกคลุมที่ผิวหน้า จึงไม่ลามไฟ และทำให้ไฟดับอย่างรวดเร็ว
5. เมื่อผสมในพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้จะทำให้พอลิเมอร์สามารถนำไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ได้ดีขึ้น เพราะจำกัดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิเมอร์ให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการนำไฟฟ้า เช่น สายโซ่พอลิเมอร์จะถูกยึดออกมากกว่าขดตัวทำให้เกิดเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสะดวกขึ้น

2.5.3 ผลิตภัณฑ์สำคัญของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

1. ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น timing-beltting cover โครงบุใต้หลังคา คอนโซล ตัวถัง ล้อรถยนต์ และถังน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรง คงทนและทนไฟ
2. สีพ่นรถยนต์ ให้ความคงทนมากขึ้น
3. แผ่นฟิล์มกันออกซิเจนในขวดยา/อาหาร กระป๋องบรรจุอาหาร เพื่อป้องกันอาหารเสื่อมสภาพและยืดอายุสินค้าให้ยาวนานขึ้น
4. ขวดน้ำอัดลม เบียร์ ป้องกันการสูญเสียแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัดไว้

5. ลูกเทนนิส ลูกบอล ป้องกันการสูญเสีแก๊สภายในลูกบอล ลูกเทนนิส
6. แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ช่วยให้ทนความร้อนได้มากขึ้น การหดตัวลดลง

2.5.4 แนวโน้มการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต [19]

ต่างประเทศ : เทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาและถ่ายทอดสู่อุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ญี่ปุ่น จีน เกาหลี และอีกหลายประเทศในยุโรป ได้แก่ เยอรมัน ฝรั่งเศส อิตาลี เป็นต้น โดยเน้นการนำไปใช้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ชิ้นส่วนรถยนต์ ในปี 2004 บริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของโลกต่างประกาศว่าจะนำชิ้นส่วนที่ผลิตจากพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตมาใช้ในรถยนต์ โดยเชื่อว่าในอนาคตจะสามารถผลิตรถยนต์ทั้งคันที่ทำจากนาโนคอมพอสิตได้ ซึ่งจะมีความปลอดภัยสูง โดยเฉพาะจากอุบัติเหตุเพลิงไหม้

2. ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ได้แก่ ชิ้นส่วนที่ต้องทนน้ำ ด้านการซึมผ่านของแก๊ส เช่น ชิ้นส่วนลิ้นหัวใจเทียม

3. ผลิตภัณฑ์สำหรับอาหารและยา ได้แก่ फिल्मป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส

ประเทศไทย : มีศักยภาพที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายรูปแบบ

1. อุตสาหกรรมยานยนต์ อาทิ ชิ้นส่วนภายในรถยนต์
2. ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ อาทิ สารคอมพอสิตอุดฟัน สายยางหรือท่อต่างๆ
3. ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาตินาโนคอมพอสิต เช่น ปะเก็นล้อรถ
4. ผลิตภัณฑ์กีฬา เช่น ลูกบอล ลูกเทนนิส
5. การผลิตฟิล์มการเกษตร फिल्मห่อผัก ผลไม้ फिल्मเลี้ยงต้นอ่อน ในอุตสาหกรรมการเกษตร
6. อุตสาหกรรมเสื้อผ้าโดยการผลิตเส้นใยนาโนคอมพอสิตที่ทนไฟ ให้ความอบอุ่น หรือย่อยสลายได้ดี
7. ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม อาทิ ตัวตรวจวัดแก๊สอันตราย บำบัดน้ำเสีย สารอิเล็กทรอนิกส์ในแบตเตอรี่ของแข็ง (solid battery) เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน
8. การผลิตฟิล์มด้านหรือเพิ่มแก๊สออกซิเจนซึมผ่านสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อลดการเสื่อมสภาพของอาหาร

2.6 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Anti-microbial Finishes)

ปัจจุบันสิ่งทอที่สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดอย่างมาก โดยเฉพาะตลาดที่ผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการตกแต่งด้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับสิ่งทอที่มีการใช้งานทางด้านการแพทย์ เคหะสิ่งทอการ และงานกลางแจ้ง เป็นต้น เพื่อปกป้องผู้บริโภคจากการสัมผัสเชื้อรา แบคทีเรียหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ เป็นอันตรายต่อผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจหรือเพื่อป้องกันสิ่งทอจากการเสื่อมสลาย การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ ซึ่งจะทำให้สิ่งทอเกิดการเนาเปื่อย ผุพัง สูญเสียความแข็งแรงระหว่างการใช้งาน การเก็บรักษา การขนย้ายโดยเฉพาะในภาวะที่ร้อนและมีความชื้นซึ่งมีจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี การตกแต่งผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีสมบัติต้านต่อเชื้อราและแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่ เมื่อ 4000 ปีที่แล้ว ในยุคสมัยอียิปต์ที่มีการทำมัมมี่ ก็มีการเริ่มใช้สมุนไพรและพืชน้ำมัน มาตกแต่งลงบนผ้าที่นำมาใช้พันรอบตัวมัมมี่ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย ทำให้ศพไม่เกิดการเนาเปื่อย การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเป็นสิ่งไม่พึงปรารถนา การซักด้วยน้ำร้อนและสารฆ่าเชื้อ ได้แก่ chlorine และ peroxygen bleaches สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ

สารเคมีที่ใช้ป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเรียกว่า สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) quaternary ammonium surfactants และ antibiotics ทำหน้าที่เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ส่วนพวกด้านการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น chlorinated, organic, compounds, organometallic compounds ที่ประกอบด้วย copper, silver, iron, manganese, zinc ซึ่งสารเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่สูงกว่า และอาจจะต่อต้านการย่อยสลายในธรรมชาติเป็นเวลายาวนานสารประกอบอินทรีย์คลอรีน (chlorinated organic compounds) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแมลงสำหรับเส้นใยธรรมชาติที่มีส่วนประกอบเป็นโปรตีนและเซลลูโลส

สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีกลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน คือต้านทานโดยการ attack กัน เชื้อจุลินทรีย์ที่เมมเบรนของเซลล์ หรือในระหว่างการเกิด metabolism หรือภายใน core substance เช่นสารออกซิไดส์ ได้แก่ อัลดีไฮด์ ฮาโลเจน และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เริ่มแรกจะ attack เมมเบรนเชื้อจุลินทรีย์ หรือเมื่อสารนี้ได้เจาะ cytoplasm ก็จะมีผลกระทบต่อระบบเอนไซม์ แอลกอฮอล์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสาร coagulants ที่จะทำให้ธรรมชาติของโปรตีนของจุลินทรีย์เสื่อมสภาพหรือ denature สารประกอบอื่น ๆ เช่น ฮาโลเจน isothiazones และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ จะทำหน้าที่เสมือนสารที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวสูงเนื่องจากสารเหล่านี้มีอิเล็กตรอนอิสระ สำหรับสารประกอบ quaternary ammonium, biguanide, amines และ

glucoprotamine เป็นสาร polycationic คือที่มีประจุบวก มีรูปพูน และมีสมบัติดูดซับที่ดี เมื่อนำมาตกแต่งบนสิ่งทอสารเหล่านี้จะยึดติดบนเมมเบรนเซลล์ของจุลินทรีย์จะทำลายโครงสร้างของ Lipopolysaccharide ส่งผลให้เมมเบรนเซลล์ ถูกทำลาย ในส่วนของสารประกอบ silver ก็มีการนำมาใช้ต้านเชื้อจุลินทรีย์ เพราะสารประกอบนี้จะทำการยับยั้งกระบวนการ metabolism ของจุลินทรีย์ ไคโตซานเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้ต้านทานจุลินทรีย์เพราะ protonated amino group ที่มีประจุบวกจะยึดกับประจุลบของพื้นผิวจุลินทรีย์

การเกิดเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์นั้น แม้ว่าเกิดได้ไม่ยากเหมือนเส้นใยธรรมชาติแต่โอกาสที่จะเกิดเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์ก็มีความเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะเส้นใยสังเคราะห์มีสมบัติในการดูดซับความชื้นต่ำ ทำให้การระบายออกของเหงื่อไม่ดี จึงเกิดการสะสมของเหงื่ออยู่ตามช่องว่างของเส้นใยหรือตามรอยตะเข็บของเสื้อผ้า เป็นสาเหตุให้เกิดการหมักหมมของเชื้อราและแบคทีเรีย แล้วพัฒนาเป็นกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา เส้นใยสังเคราะห์หลายชนิด เช่น ไนลอน นีลมนำมาทำเตนท์ ผ้าใบบังแดด ผ้าคลุมกะลาสี ผ้าใบชุบน้ำมันและพรม เป็นต้น โอกาสที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสัมผัสกับเชื้อรา เช่น เชื้อราน้ำค้าง แบคทีเรีย หรือสิ่งเน่าเปื่อยที่มีอยู่ตามสภาพแวดล้อม ก็มีความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเกิดการติดเชื้อราและแบคทีเรียทำให้การใช้งานของผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนเดิมเพราะฉะนั้น การตกแต่งสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยไนลอนหรือเส้นใยสังเคราะห์อื่นจึงมีความสำคัญเช่นกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pissaroop [23] ศึกษาการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างโซเดียมไอออน (Na^+) ของมอนต์มอริลโลไนต์กับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ของเกลืออัลคิลแอมโมเนียมที่มีจำนวนคาร์บอนแตกต่างกัน dodecylamine (C12), hexadecylamine (C16) และ octadecylamine (C18) จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบแทรกสอด (intercalated) และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) แยกห่างออกจากกันมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารดัดแปรตัวอื่นๆ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแยกช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต ได้แก่ ความหนาแน่นของประจุอัตราการแลกเปลี่ยนประจุ และความยาวของสายโซ่อัลคิลเอมีนที่เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของเคลย์

Park และคณะ [24] ศึกษาการเตรียมพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี melt-mixing แบบสองขั้นตอน ได้แก่การผสมด้วยเทคนิค co-rotating จากนั้นทำการอัดรีดโดย twin –

screw และใช้ Maleic grafted polypropylene เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ โดยปริมาณของสารช่วยให้เข้ากันได้ที่สัดส่วนต่างๆ ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเคลย์ ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) และวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) และทดสอบการไหลของพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิต พบว่า PP-g-MA compatibilizer ไม่ได้มีผลต่อการกระจายตัวที่ดีของเคลย์เท่านั้นแต่ยังส่งผลต่อสมบัติความร้อนและการไหลของนาโนคอมพอสิตด้วย

Hu และ Xia [25] ได้เตรียมคอมพอสิตระหว่างทองแดงและมอนต์มอริลโลไนต์ (Cu-MMT) และทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* K88 การเตรียมคอมพอสิตเตรียมโดยดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุวาระหว่าง Calcium-montmorillonite(Ca-MMT), Sodium montmorillonite(Na-MMT) และ acid-activated montmorillonite (AAM) กับ Cu^{2+} ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า AAM, Na-MMT และ Ca-MMT มีความสามารถในการลดการเจริญของแบคทีเรียลง 37.4%, 13.4% และ 14.2% ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิต Cu-AAM, Cu-MMT และ Cu-MMT พบว่าสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ถึง 98.6%, 97.5% และ 95.5% แสดงให้เห็นว่าคอมพอสิตทองแดงและมอนต์มอริลโลไนต์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่า

Sehgal และคณะ [26] ศึกษาสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของวัสดุคอมพอสิตสำหรับช่องปาก(Orthodontic composite resin) โดยเตรียมในรูปแบบเรซินผสมกับสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ benzalkonium chloride ร้อยละ 0.1 chlorhexidine ร้อยละ 0.2 และ triclosan ร้อยละ 0.3 พบว่าเมื่อเติม Benzalkonium chloride ใน Orthodontic composite resin ทำให้เรซินมีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ และ triclosan มีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีที่สุด แต่การเติมสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่อสมบัติเชิงกลไม่ทำให้สมบัติความแข็งแรงของเรซินเปลี่ยนไปจากเดิม และเมื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์พบว่าการปลดปล่อยของ Benzalkonium chloride ออกจากเรซินสูงกว่า การปลดปล่อย chlorhexidine

Kuda และคณะ [27] ทำการศึกษาความสามารถในการป้องกันการเจริญของแบคทีเรีย (*E.coli* O26, *Ps. aeruginosa*, *Stap.aureus*) ที่เกิดจากคราบอาหารเช่น นม ซอสเกรวี่เนื้อ ซอสเกรวี่ทูน่าที่เกาะติดผิวจานสแตนเลส โดยทำความสะอาดจานด้วยสารเคมี Benzalkonium chloride(BKC) ที่ 0.5 มก/มล 1.0 มก/มล และ 2.0มก/มล ผลการทดลองพบว่าจานสแตนเลสที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดด้วย BKC มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสามชนิดอยู่ ส่วนจานที่ผ่านการทำความสะอาด

สะอาดด้วย BKC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ไม่พบแบคทีเรียชนิด *E.coli* และ ชนิด *Stap.aureus* แต่ยังพบแบคทีเรียชนิด *Ps.aeruginosa* ในปริมาณที่น้อยลงเมื่อความเข้มข้นของ BKC เพิ่มขึ้น และเมื่อนำจานสแตนเลสที่ผ่านการทำความสะอาดไปอบกับนม ผลที่ได้คือไม่พบเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* และ ชนิด *Stap.aureus* ในทุกความเข้มข้นของสาร BKC สำหรับเชื้อ *Ps.aeruginosa* ไม่พบในจานที่ทำความสะอาดด้วย BKC 2.0 มก/มล

Khajiva และคณะ [28] ทำการศึกษาความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ โดยนำพรมที่ใช้แล้วเป็นเวลา 30 วันมาทดสอบ ซึ่งพบเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Escherichia coli*, *Enterobactor*, *Staphylococcus aureus* และ *Aspergillus* ในการทดลองได้นำส่วนของขนพรมเส้นใยอะคริลิก มาแช่ด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.5 โดยมวลต่อปริมาตร 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร 0.05 โดยมวลต่อปริมาตร และ 0.025 โดยมวลต่อปริมาตร แล้วตรวจสอบความสามารถการต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธี zone of inhibition ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าส่วนของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการแช่ในสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์นั้นที่ปริมาณความเข้มข้น 0.5 โดยมวลต่อปริมาตร ต้องใช้เวลานานที่สุดในการเกิดจุลินทรีย์แต่ละชนิด จากนั้นนำพรมผ่านการแช่สารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 และไม่ผ่านการแช่ ไปทดลองใช้งานจริงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำมาดูการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยวิธีการนับจำนวนแบคทีเรีย (colony count method) พบว่าพรมที่ผ่านการแช่เบนซาลโคเนียมคลอไรด์มีจำนวนของจุลินทรีย์น้อยกว่าพรมที่ไม่ได้ผ่านการแช่ถึงร้อยละ 90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 72 meq/ 100 g.clay จากบริษัท Southern Clay Product จำกัด
2. สารเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ (Benzalkoniumchloride) จากบริษัท ฮงฮวดเคมีคัล จำกัด
3. พอลิโพรพิลีนชนิดผง (ทีเอชแอล อุตสาหกรรมจำกัด) ค่าดัชนีการไหล 25.8 กรัม/10 นาที
4. พอลิโพรพิลีนเกรด TP Licocene® PP 6102 จากบริษัท คลาเรียนท์ เคมีคอลช ประเทศไทย จำกัด
5. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox® B 215 จากบริษัท Ciba Inc.,Switzerland จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังปฏิกริยา ขนาด 3500 มิลลิลิตร
2. เครื่องแก้ว
3. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย
4. เครื่องปั่นกวนเชิงกล ชนิดรอบความเร็วสูง (homogenizer)
5. เครื่องกรองสุญญากาศ
6. กระดาษกรอง
7. ตู้อบสาร
8. ตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh
9. ตะแกรงร่อนระบบสั่นสะเทือน (vibrating sieve) (Retsch) สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น 822 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

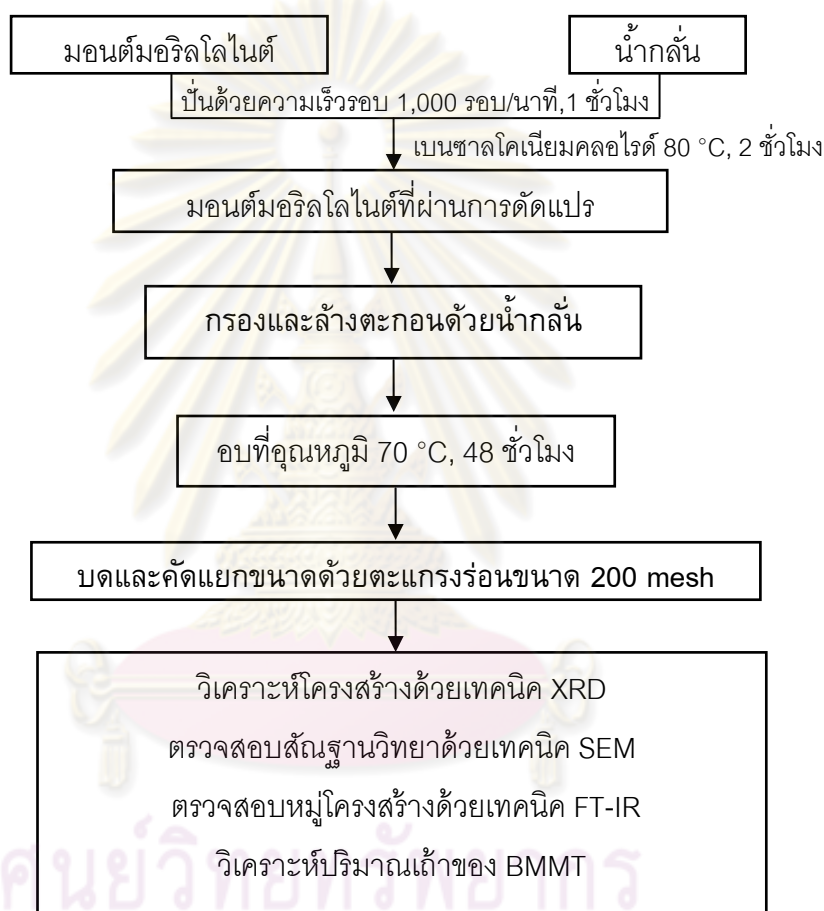
12. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum one FT-IR spectrometer ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. เครื่อง Scanning Electron Microscope ของบริษัท PHILIPS รุ่น XL 30 CP, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. เครื่อง X-ray Diffractometer ของบริษัท PHILIPS รุ่น X'Pert PW 3710 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. เครื่องวัดดัชนีการไหลของบริษัท Kayaness รุ่น Galaxy Melt D7050 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดสกรูคู่ ของบริษัท BETOL สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
17. เครื่องปั้นเส้นใยแบบหลอมเหลวสกรูเดี่ยวหือ Thermo Haake จำกัด ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
18. เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Instron รุ่น 5583 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
19. เตาไฟฟ้า 1600 °C ของบริษัท Carbolite รุ่น RHF 16/10 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
20. กล้องจุลทรรศน์ของ บริษัท Olympus รุ่น BX60 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
21. เครื่อง Sonic modulus ของบริษัท Lawson Hemphill, Inc รุ่น DMT PPM-5R ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์

ทำการปั่นมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณ 100 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ในถังปฏิกริยาด้วยความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของระบบจนถึง 80 °C แล้วจึงใส่สารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.50, และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม ตามลำดับ (เทียบกับน้ำหนักเคลย์) ดำเนินปฏิกริยาต่อไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้นาน 48 ชั่วโมง ทำการกรองมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรแล้ว (ในที่นี้แทนด้วยสัญลักษณ์ BMMT) ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่น และทดสอบด้วย

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) จนไม่พบตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) จากนั้นนำ BMMT ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70°C แล้วทำการบดให้ละเอียดและคัดแยกอนุภาคผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh ก่อนนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM และตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ตามลำดับ ดังขั้นตอนในรูป 3.1



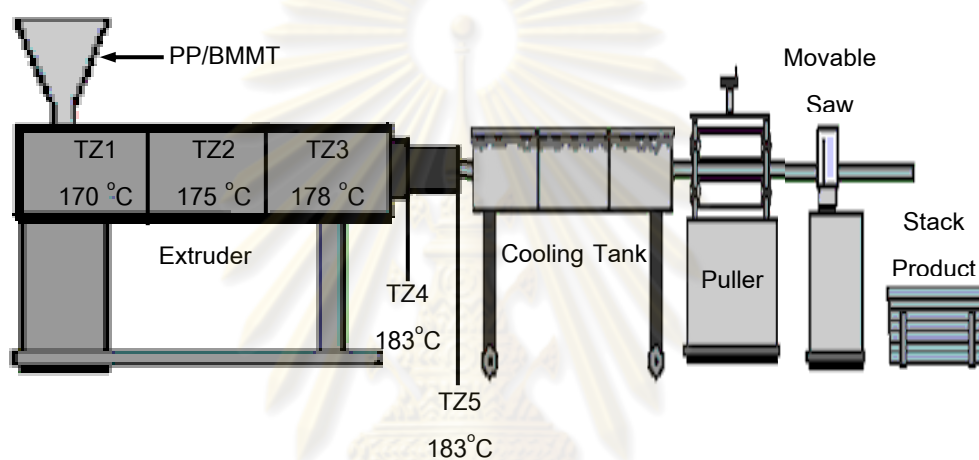
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียม

3.3.2 การเตรียมพอลิไพร์โรลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมพอลิไพร์โรลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต โดยมีปริมาณ BMMT ร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยในสูตรผสมประกอบด้วย พอลิไพร์โรลีน พอลิไพร์โรลีนแวกซ์ สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และ BMMT ซึ่งปริมาณสารที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.1 ทำการผสมด้วยกระบวนการอัดรีดแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัด

รีดแบบสกรูคู่ ดังรูปที่ 3.2 ใช้ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 100 รอบ/นาที และแบ่งอุณหภูมิในการหลอมเป็น 5 โซน ดังนี้

TZ 1	170 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 2	175 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 3	178 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 4	183 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Connector
TZ 5	185 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Die



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิในการหลอมเป็น 5 โซนของเครื่องอัดรีดสกรูคู่เตรียมพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ตารางที่ 3.1 สูตรของผสมที่ใช้ในการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ปริมาณสาร (กรัม)	สูตรของผสม					
	0	2%	4%	6%	8%	10%
BMMT	0	6	12	18	24	30
พอลิโพรพิลีนชนิดผง	239.25	233.25	227.25	221.25	215.25	209.25
พอลิโพรพิลีนแวกซ์	60	60	60	60	60	60
สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
รวม	300	300	300	300	300	300



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ของบริษัท BETOL

จากนั้นจึงทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค TGA และ DSC และศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์โดยใช้กระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง ดังขั้นตอนในรูป 3.3

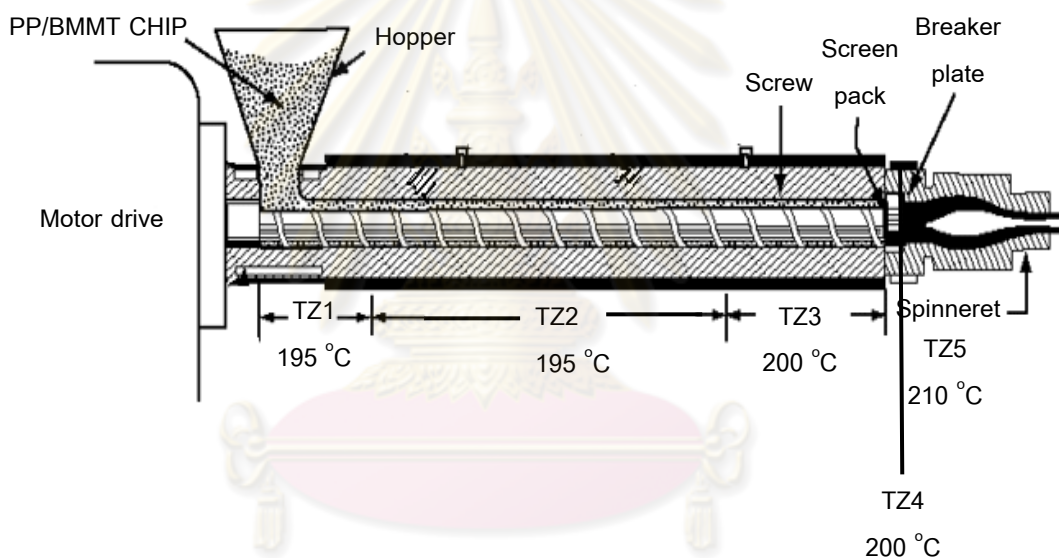


รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

3.3.3 การเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ทำการปั่นเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว โดยใช้เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวด้วย ชนิดสกรูเดี่ยวยี่ห้อ Thermo Haake ดังรูปที่ 3.6 อุณหภูมิในการหลอมเหลวเม็ดพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตแบ่งเป็นโซน ดังนี้

TZ 1	195 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 2	195 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 3	200 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 4	205 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Connector
TZ 5	210 °C	เป็นอุณหภูมิที่ Spinneret



รูปที่ 3.5 อุณหภูมิในการหลอมเป็น 5 โซนของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ความเร็วรอบของสกรู 8 รอบ/นาที เส้นใยถูกรีดผ่านรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร เส้นใยถูกเก็บผ่านชุดม้วนเก็บ (รูปที่ 3.7) ซึ่งลูกกลิ้งที่ 1 มีความเร็วผิวเท่ากับ 10 เมตร/นาที ลูกกลิ้งตัวที่ 2 มีความเร็วเท่ากับ 50 เมตร/นาที และความเร็วในการม้วนเก็บ เท่ากับ 50 เมตร/นาที จากนั้นวัดขนาดและศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์ด้วยกล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ศึกษาความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Instron รุ่น 5538 ทดสอบ Dynamic modulus ของเส้นใยด้วยเครื่อง Dynamic modulus tester ของบริษัท

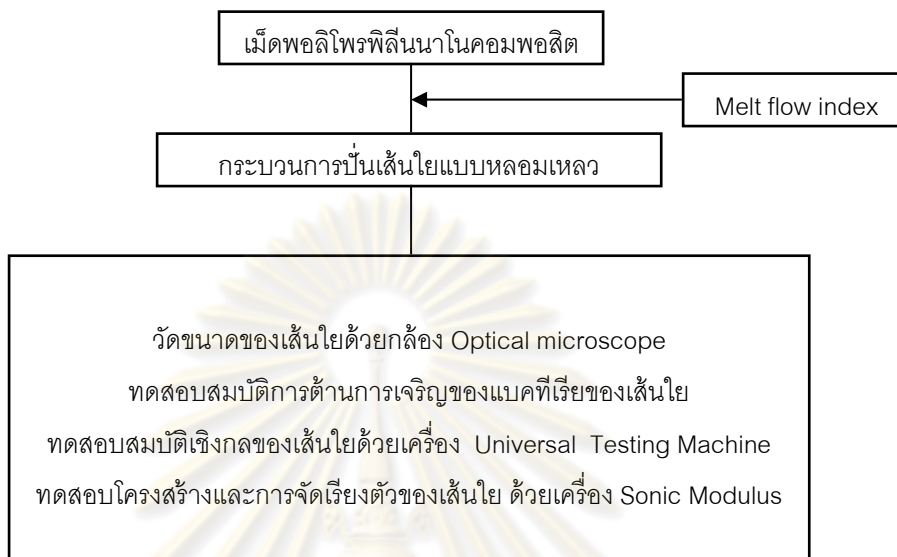
Lawson hemphill, Inc รุ่น DMT PPM-5R และทดสอบสมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยวิธี Shake flask method ดังขั้นตอนในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิดสกรูเดี่ยว



รูปที่ 3.7 ชุดม้วนเก็บเส้นใย



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ

3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (BMMT) ด้วย

เทคนิค XRD

วิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิค XRD โดยใช้เครื่องของบริษัท PHILIPS รุ่น X'Pert PW 3710 ดังแสดงในรูปที่ 3.9

โดยใช้ภาวะของการวิเคราะห์เป็นดังนี้

หลอดรังสีเอกซ์ : Cu

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ : $\text{CuK}\alpha$

โดยเครื่องเริ่มทำการที่มุม 2θ ตั้งแต่ 3 องศา ถึง 40 องศา อัตราความเร็ว 1.2 องศา/วินาที การคำนวณระยะห่างระหว่างระนาบ 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



รูปที่ 3.9 เครื่อง X-ray Diffractometer

3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ (BMMT) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ (BMMT) ด้วยเทคนิค FT-IR โดยใช้เครื่องของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum one FT-IR spectrometer ดังรูปที่ 3.10 โดยการบดสารตัวอย่างกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นชิ้นทดสอบ จากนั้นนำมาหาแถบการดูดกลืนที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งสามารถบอกถึงโครงสร้างทางเคมีของสารได้



รูปที่ 3.10 เครื่อง FT-IR spectrometer

3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเทคนิค SEM

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ PHILIPS รุ่น XL 30 CP รูปที่ 3.11 ที่กำลังขยาย 5,000 และ 10,00 เท่า ใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตและเส้นใยพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

เทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA)

ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA โดยใช้เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis ดังรูป 3.12 โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนัก

ประมาณ 10 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะอลูมินาโดยใช้สภาวะในการทดสอบเริ่มจากอุณหภูมิ 20-800 °C อัตราการให้ความร้อน 20 °C/ นาที ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

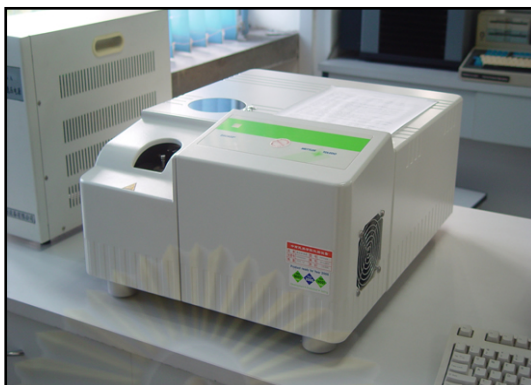


รูปที่ 3.12 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

เทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC)

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC โดยใช้ เครื่อง Differential scanning calorimeter ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น 822 ดังแสดงในรูป 3.13 ระหว่างอุณหภูมิ 25-250 °C อัตราการให้ความร้อน 20 °C/นาที แล้วทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิ 25 °C อัตราการทำให้เย็น 20 °C /นาที หลังจากนั้นให้ความร้อนถึง 250 °C อัตราการทำให้เย็น 20 °C /นาที อีกครั้ง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

3.4.5 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

หาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ตามมาตรฐาน ASTM D1230 โดยใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวเท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ และน้ำหนักไหลเท่ากับ 2.15 กิโลกรัม ด้วยเครื่อง Melt flow index ของบริษัท Kayness ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่อง Melt flow index

3.4.6 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ ในพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตโดยใช้การเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จำนวน 10 ตัวอย่าง น้ำหนักแต่ละตัวประมาณอย่าง 2.0 กรัม โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า 1600 °C ของบริษัท Carbolite รุ่น RHF 16/10 ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เตาเผาไฟฟ้า 1600 °C

3.4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ด้วยกล้อง Optical microscope

ศึกษาลักษณะภายนอกและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต โดยใช้กล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยใช้กำลังขยายเท่ากับ 10 เท่า



รูปที่ 3.16 กล้อง Optical microscope

3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตตามมาตรฐาน ASTM D3822 ด้วยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Instron รุ่น 5538 ดังแสดงในรูป 3.17 โดยใช้ความยาวของเส้นด้ายทดสอบ (gauge length) เท่ากับ 25 มิลลิเมตร อัตราเร็วของการดึง (crosshead speed) เท่ากับ 250 มิลลิเมตร/นาที น้ำหนักที่ใช้ในการดึงเท่ากับ 5 kN ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 25 °C



รูปที่ 3.17 เครื่อง Universal testing machine

3.4.9 การศึกษาค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

ทดสอบ elastic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ด้วยเครื่อง Dynamic modulus tester ของบริษัท Lawson hemphill, Inc รุ่น DMT PPM-5R ดังรูปที่ 3.18 เครื่อง Dynamic modulus tester หรือ Sonic modulus tester เป็นเครื่องมือหา elastic modulus ทั้งใน เส้นใยสั้น เส้นใยยาว फिल्म กระดาษ และวัสดุอื่นๆ โดยการวัดความเร็วของเสียงที่วิ่งผ่านวัสดุเป็นจังหวะๆ โดยให้เสียงผ่านวัสดุที่บางๆ เล็กๆ เช่น เส้นใย फिल्म กระดาษ และแผ่นเว็บ ซึ่งความเร็วที่วิ่งผ่านจะสะท้อนถึงลักษณะโครงสร้าง การจัดเรียงตัวและองค์ประกอบของวัสดุนั้น โดยความเร็วเสียงนั้นจัดเป็นพลังงานเชิงกลอย่างหนึ่ง โดยการวัดความเร็วเสียงที่แม่นยำจะทำให้ทราบถึงโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของวัสดุนั้นๆ โดย

$$E = \rho C^2$$

เมื่อ

C = sound velocity (km/sec)

 ρ = density (grams/cm³ or specific gravity)

E = Young's modulus of elasticity

ผลการทดสอบจะบ่งบอกถึง สมบัติด้านความแข็งแรง (strength) ความแข็งตึง (stiffness) อีลาสติกซิตี (elasticity) ความสามารถในการย้อม (dyeability) ความยืดหยุ่น (resilience) ความล้าในวัสดุ (fatigue in materials)



รูปที่ 3.18 เครื่อง Dynamic modulus tester

3.4.10 การทดสอบความสามารถในการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบความสามารถในการดำเนินการเจริญของเชื้อแบคทีเรียโดยอาศัยหลักการที่ว่า จุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่เมื่อได้รับสารอาหาร สามารถเจริญเติบโต และแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนโคโลนี ซึ่งเป็นการนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น เชื้อแบคทีเรียที่นิยมใช้ในการทดสอบ ได้แก่ *E.coli* และ *S. aureus* วิธีที่ใช้ในการทดสอบ คือ Shake Flask Method เชื้อแบคทีเรียที่ใช้คือ *S. aureus* มีขั้นตอนดังนี้

1. เลี้ยงเชื้อ *S. aureus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วนำเชื้อไปบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ตัดเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่จะทดสอบมาจำนวน 0.25

กรัม ใส่ลงในขวดทดลอง ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อโดยมีเฉพาะอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นตัวเทียบไม่มีเส้นใย

3. ก่อนเริ่มเขย่าจะดูจุลินทรีย์ในขวดแก้วขึ้นมาแล้วทำการเจือจางสารตามความเหมาะสม ดูดเชื้อ *S. aureus* จาก Stock เติมลงในขวดที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบปริมาณ 0.2 ml
4. นำขวดทดลองไปปั่นเพาะในตู้ Incubation shaker 37 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
5. นำขวดทดลองจากตู้ Incubation shaker ดูดเชื้อออกมาทำการเพาะในจานเพาะเชื้อด้วยวิธี spread plate method เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น
7. คำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ตามสมการที่ 1

โดย CFU หมายถึงหน่วย วัดจำนวนหรือปริมาณจุลินทรีย์โดยอาศัยสมมติฐานว่าจุลินทรีย์หนึ่งตัวสร้างโคโลนีหนึ่งโคโลนี (Colony forming unit)

$$\% R = \frac{A-B}{A} * 100 (\%) \quad (1)$$

โดย

R = จำนวนแบคทีเรียที่ลดลง (reduction) เป็นร้อยละ โดยถ้าค่า R มีค่าสูงแสดงว่าสามารถต้านแบคทีเรียได้ดี

A = จำนวนแบคทีเรียขวดทดลองที่ไม่ใส่เส้นใย

B = จำนวนแบคทีเรียขวดทดลองที่ใส่เส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT
นาโนคอมพอสิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

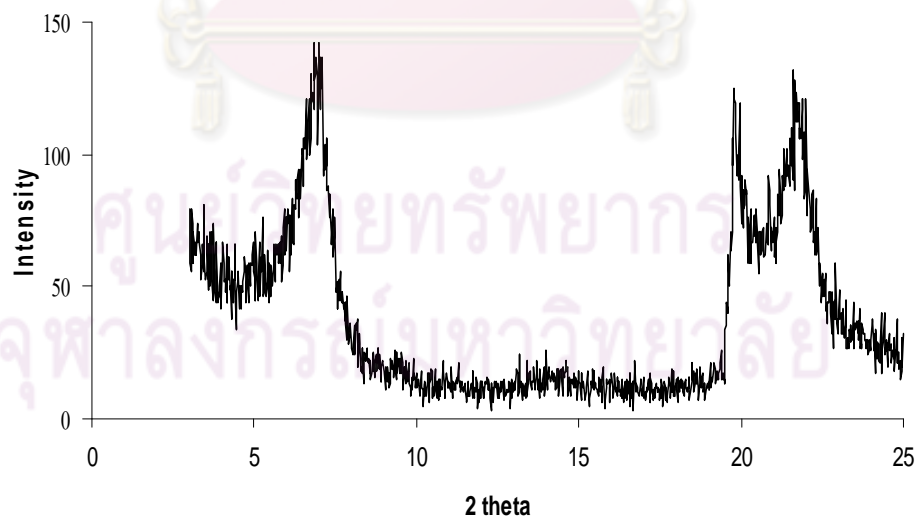
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค XRD

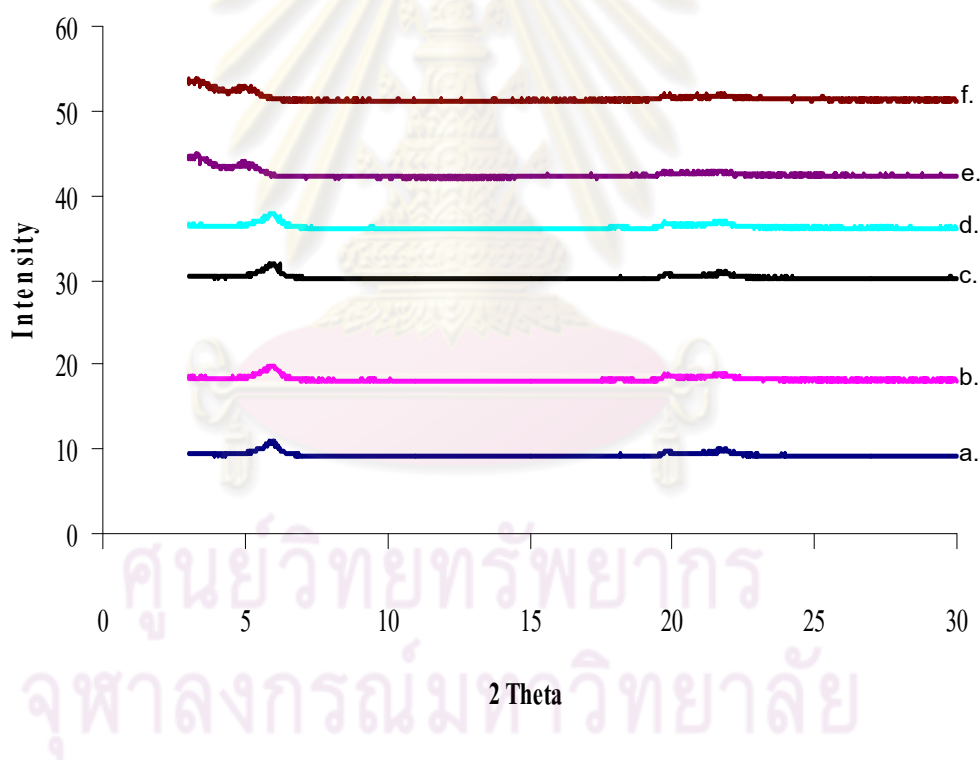
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียมคลอไรด์

รูปที่ 4.1 แสดง XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมเปรียบเทียบโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ซึ่งพบว่าดิฟแฟร็กโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรจะปรากฏพีกของโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ในระนาบ 001 ที่ตำแหน่ง $2\theta = 7.13^\circ$ คำนวณค่า d_{001} ได้เท่ากับ 12.39 Å และเมื่อทำการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์แล้ว พีกในระนาบ d_{001} มีการเปลี่ยนแปลงเลื่อนจากตำแหน่ง $2\theta = 7.13^\circ$ เป็น 6.03° ดังแสดงในรูปที่ 4.2 คำนวณค่า d_{001} ได้เท่ากับ 14.64 Å จากผลการทดสอบสามารถบ่งชี้ได้ว่าประจุบวกภายในช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์ถูกแทนที่ด้วยเบนซาลโคเนียมในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange process) และได้อนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีโครงสร้างแบบแทรกสอด



รูปที่ 4.1 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร

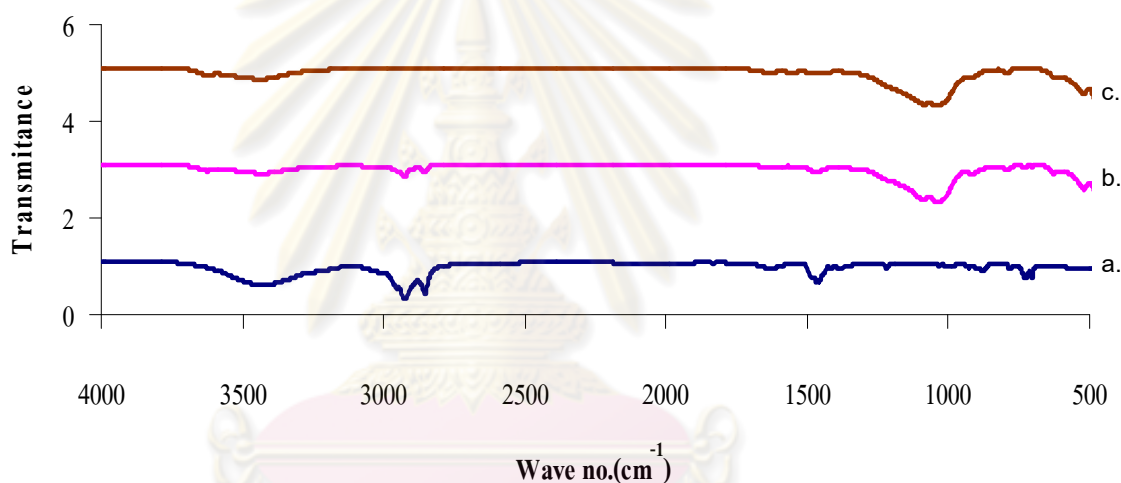
จากการตรวจสอบโครงสร้างด้วย XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร โดยใช้สารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.50, และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม ได้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรสูตร 0.5 BMMT, 1.0 BMMT, 1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้พีกมีความเข้ม (intensity) สูงขึ้น และที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมล/กรัม พีกเลื่อนตำแหน่งไปอยู่ที่ตำแหน่ง $2\theta = 5.23^\circ$ ดังรูปที่ 4.2 มีค่า $d_{001} = 16.88 \text{ \AA}$ ค่า D-spacing ที่เพิ่มขึ้นนี้บ่งชี้ว่า โมเลกุลของเบนซาลโคเนียมแทรกเข้าไปในชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ ในระนาบ 001 จะมีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่นสายโซ่ของโมเลกุลเกิดการผลักให้ชั้นโครงสร้างขยายอย่างเห็นได้ชัดเจน และเกิดการจัดเรียงตัวแบบ 2 ชั้น (bilayer)



รูปที่ 4.2 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ที่ a) 0.5 BMMT, b) 1.0 BMMT, c) 1.5 BMMT, d) 2.0 BMMT, e) 2.5 BMMT และ f) 3.0 BMMT

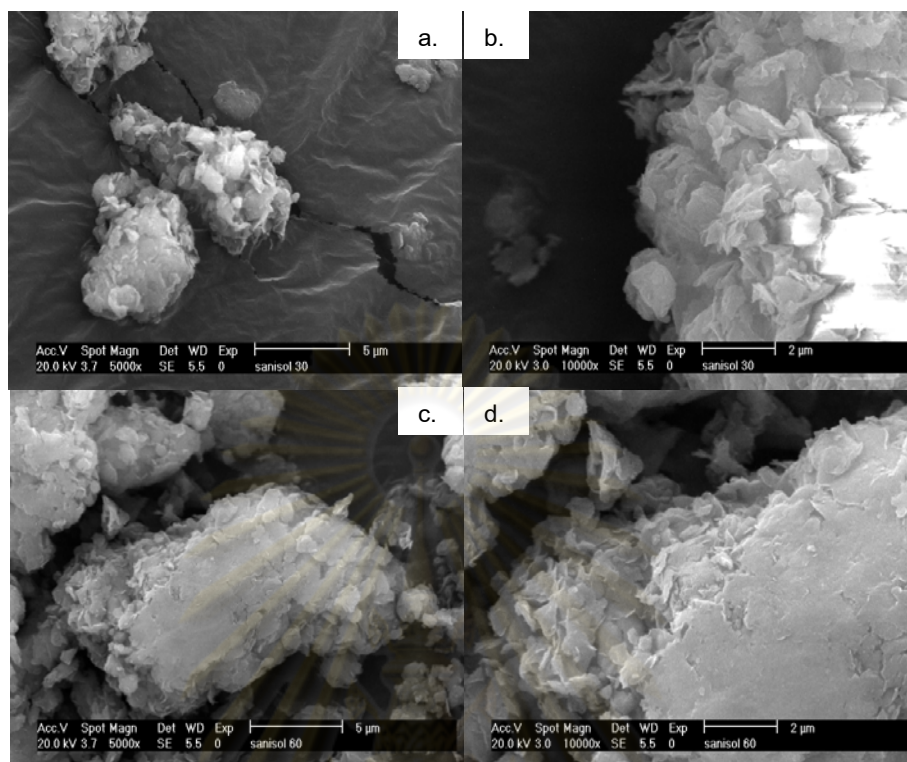
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียมด้วยเทคนิค FT-IR

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียม ดังแสดงรูปที่ 4.3 ปรากฏพีคการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง $2,918\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง $-\text{CH}_2-$ asymmetric stretch ตำแหน่ง $2,850\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง CH_3- symmetric stretch และ $1,448\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง CH_3- asymmetric deformation ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของอัลคิลในโครงสร้างของสารเบนซาลโคเนียม ขณะที่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรไม่ปรากฏ peak นี้ แสดงว่า เบนซาลโคเนียมเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange) เข้าไปแทนที่ประจุบวกของโลหะ (Na^+) ที่อยู่ระหว่างชั้นมอนต์มอริลโลไนต์



4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียมด้วยเทคนิค SEM

จากผลการศึกษาด้วยเทคนิค SEM ดังรูปที่ 4.4 แสดงภาพ SEM ของออร์กาโนเคลย์ที่สูตร 1.5 BMMT และ 3.0 BMMT ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรมีลักษณะจุลโครงสร้างไม่แตกต่างกัน โดยจะเห็นชั้นของแผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 10,000 เท่า จะสังเกตเห็นแผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์ได้ชัดเจน



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ BMMT

- a.) 1.5 BMMT กำลังขยาย 5,000 เท่า b.) 1.5 BMMT กำลังขยาย 10,000 เท่า
 c.) 3.0 BMMT กำลังขยาย 5,000 เท่า d.) 3.0 BMMT กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.4 วิเคราะห์ปริมาณเก่าของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรเบนซาลโคเนียมคลอไรด์

จากการนำ BMMT ไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C จะเห็นว่าร้อยละของปริมาณเก่าของ BMMT ที่เหลือจะลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นของเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในการดัดแปรจะมีผลให้ปริมาณสารเบนซาลโคเนียมสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องแกลลอรี่ได้มากขึ้น และสอดคล้องกับผลการทดสอบ XRD ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ส่งผลให้ ค่า D-spacing เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม

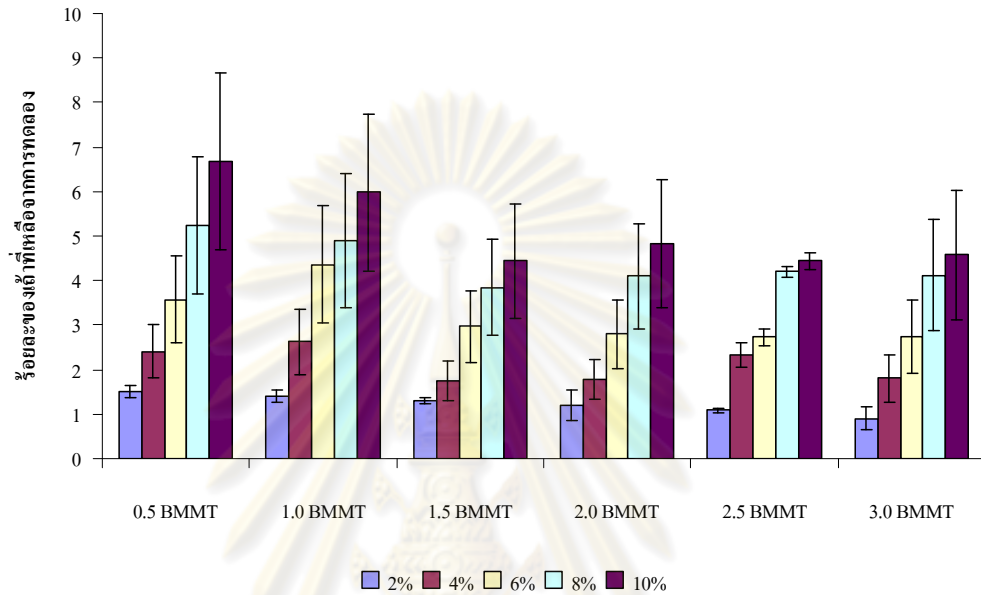
ตารางที่ 4.1 ร้อยละของเก้าที่เหลือหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ ผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียม

สูตร BMMT (มิลลิโมล/กรัม-เคลย์)	ร้อยละของเก้าที่เหลือ (มอนต์มอริลโลไนต์)	ร้อยละของน้ำหนัที่หายไป (เบนซาลโคเนียมคลอไรด์)
0.5 BMMT	76.83	23.17
1.0 BMMT	72.47	27.53
1.5 BMMT	69.75	30.25
2.0 BMMT	68.92	31.08
2.5 BMMT	68.59	31.41
3.0 BMMT	66.94	33.06

4.5 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเบนซาลโคเนียมปริมาณต่าง ๆ ในพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต

การกระจายตัวของอนุภาคเคลย์เป็นสิ่งสำคัญมากต่อสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์คอมพอสิต ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากวิธีการอัดรีดด้วยความร้อน โดยการสุ่มตัวอย่างประมาณ 2.0 กรัม จำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C เพื่อหาปริมาณเก้าที่เหลือ แล้วนำมาสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า พอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ในทุกๆ สูตรผสมที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์แตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 นั้น จะมีปริมาณเก้าที่เหลือมากขึ้นตามสัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ สำหรับนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักจะมีการกระจายตัวของอนุภาคเคลย์อย่างสม่ำเสมอ แต่การกระจายตัวของอนุภาคเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์ที่ปริมาณมากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอเมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย ที่ปรากฏ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการเตรียมของผสม (compound) และในกระบวนการขึ้นรูปแบบการอัดรีดด้วยความร้อน ในกรณี ออร์กาโนเคลย์ ที่เตรียมจากสารละลายเบนซาลโคเนียมความเข้มข้นสูงขึ้นไป จะเหลือเก้าที่น้อยลงเป็นสัดส่วนและสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเก้าของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร จากปริมาณเก้าที่เหลือเมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณของเบนซาลโคเนียม-

มอนต์มอริลโลไนต์ ออร์กาโนเคลย์ ที่มีอยู่ในคอมพอสิตจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2 แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าทฤษฎีเนื่องมาจากการหายไปของอนุภาคระหว่างกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.5 แสดงร้อยละของเส้นใยที่เหลือจากการทดลองของพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิตที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเถ้าของพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต

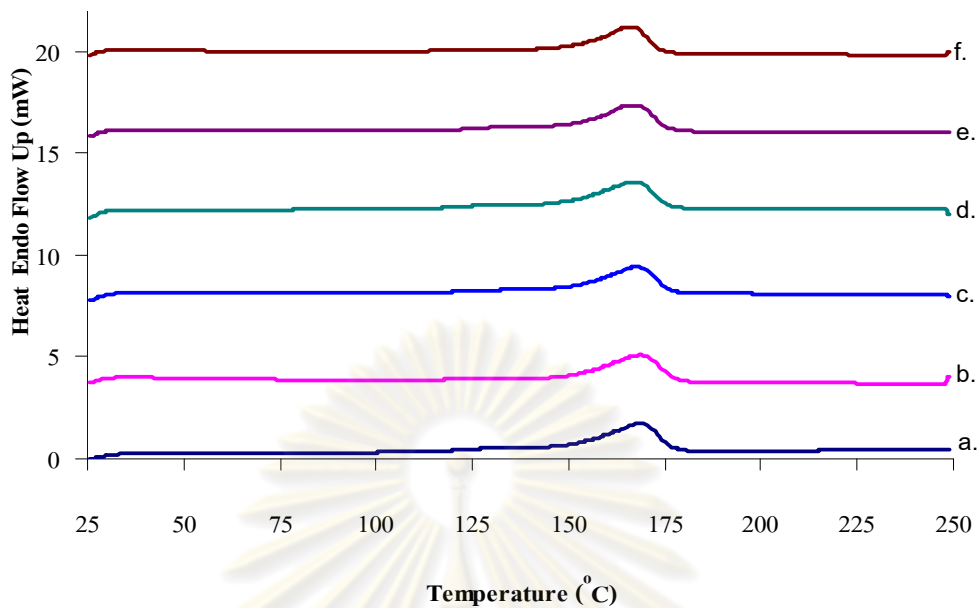
ชิ้นงานคอมพอสิต		ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณน้ำหนัที่หายไป (%)	ปริมาณออร์กาโนเคลย์จากการคำนวณ (%)
0.5 BMMT	2%	1.51	98.49	1.97
	4%	2.41	97.59	3.14
	6%	3.57	96.43	4.65
	8%	5.25	94.75	6.83
	10%	6.68	93.32	8.69
1.0 BMMT	2%	1.41	98.59	1.95
	4%	2.62	97.38	3.62
	6%	4.37	95.63	6.03
	8%	5.98	94.02	8.25
	10%	5.98	94.02	8.25
1.5 BMMT	2%	1.30	98.70	1.86
	4%	1.74	98.26	2.49
	6%	2.96	97.04	4.24
	8%	4.44	95.56	6.37
	10%	4.44	95.56	6.37
2.0 BMMT	2%	1.20	98.80	1.74
	4%	1.78	98.22	2.58
	6%	2.80	97.20	4.06
	8%	4.10	95.90	5.95
	10%	4.82	95.18	6.99
2.5 BMMT	2%	1.09	98.91	1.59
	4%	2.33	97.67	3.40
	6%	2.72	97.28	3.97
	8%	4.20	95.80	6.12
	10%	4.44	95.56	6.47
3.0 BMMT	2%	0.90	99.10	1.34
	4%	1.80	98.20	2.69
	6%	2.74	97.26	4.09
	8%	4.12	95.88	6.15
	10%	4.58	95.42	6.84

4.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

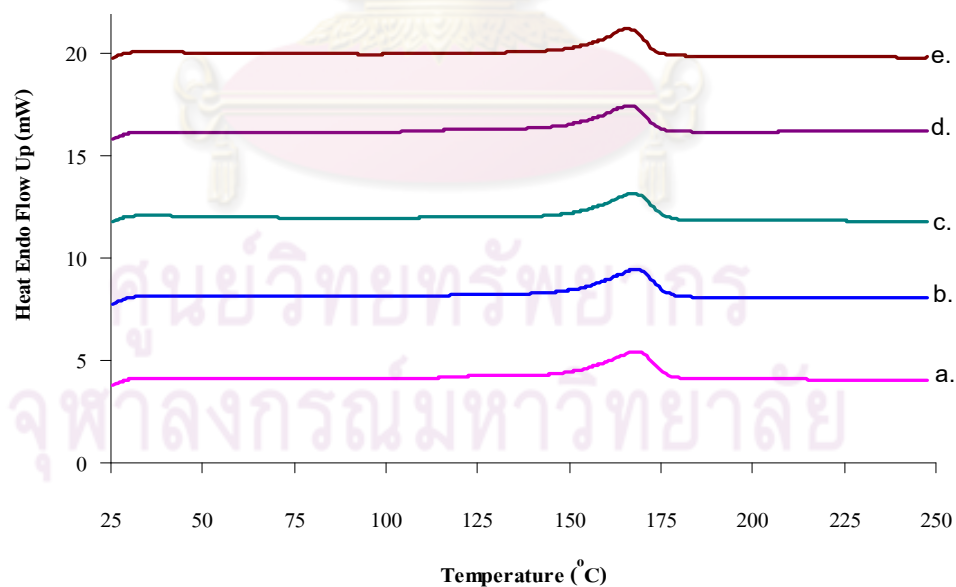
4.6.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิค DSC

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่เตรียมจาก BMMT สูตรต่าง ๆ ผสมกับผงพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่องอัดรีดแบบหลอมเหลว ชนิดสกรูคู่ พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของพอลิโพรพิลีน เท่ากับ 168.61 °C และพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 169.76, 169.35, 167.73, 168.97, 169.32, 167.28 °C ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 2.5 และ 3.0 BMMT ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระดับความเข้มข้นของเบนซาลโคเนียมที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตน้อยมากหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนเลย สำหรับกรณีที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเบนซาลโคเนียมเท่ากับ 1.5 BMMT และ 3.0 BMMT นั้นมีค่าต่ำกว่า 1-1.5 °C นั้น น่าจะเป็นผลมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์ เพราะในการวิเคราะห์ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยมาก

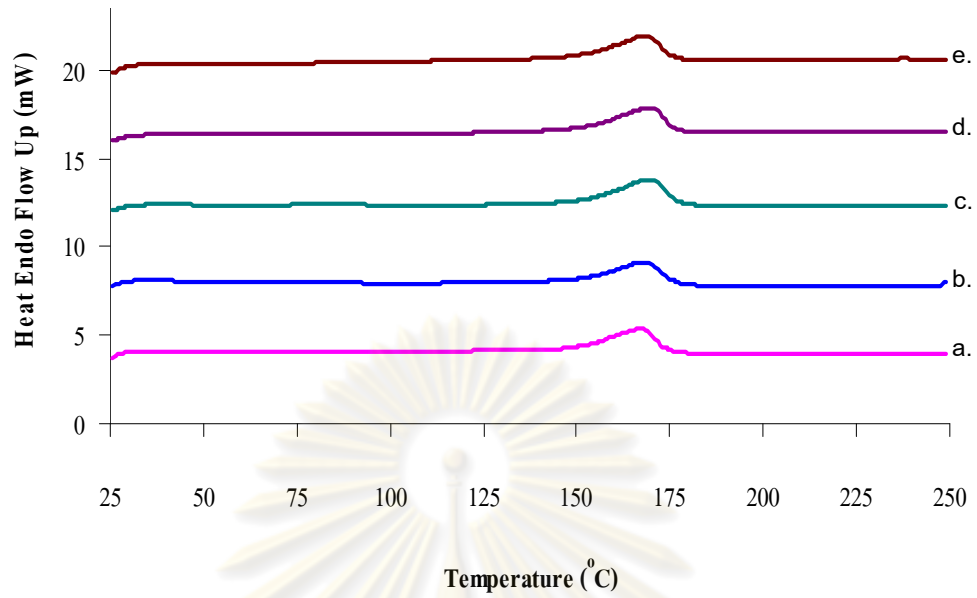
จากรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของออร์กาโนเคลย์ที่เติมลงไป ในเนื้อคอมพอสิต ตั้งแต่ร้อยละ 2 ถึง 10 โดยน้ำหนักนั้นไม่มีผลต่อจุดหลอมเหลวของ พอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้



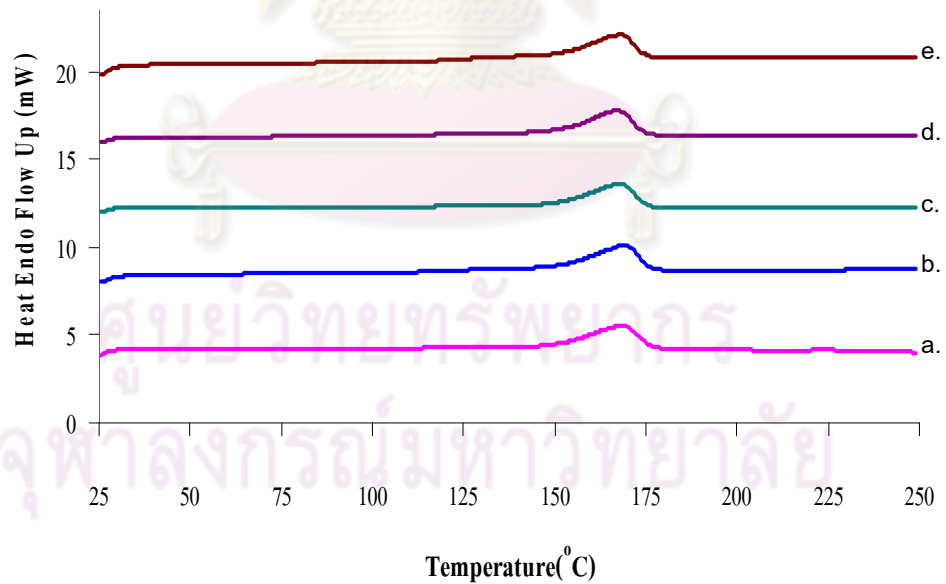
รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
0.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) PP, b.) 2 wt%, c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



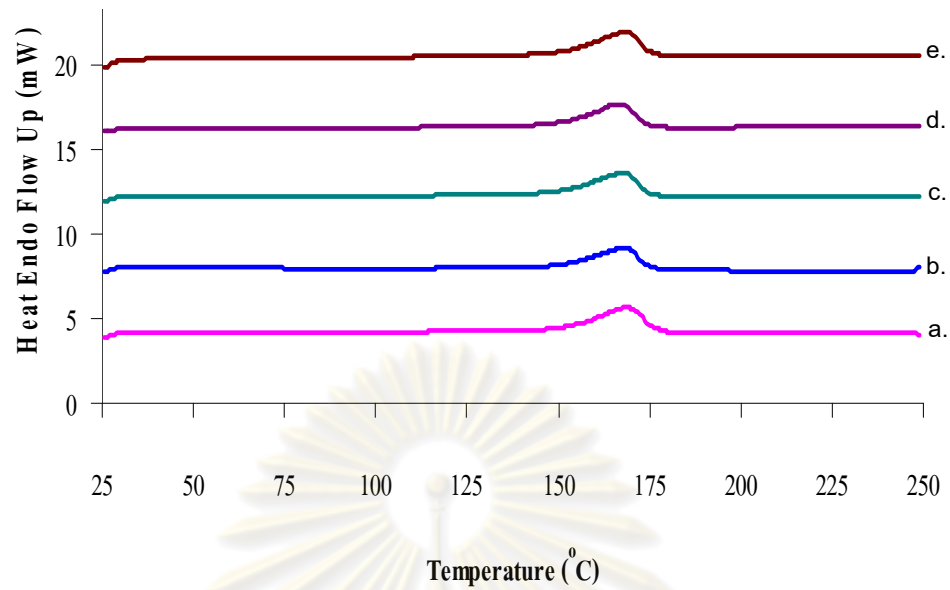
รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
1.0 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8wt% และ e.) 10 wt%



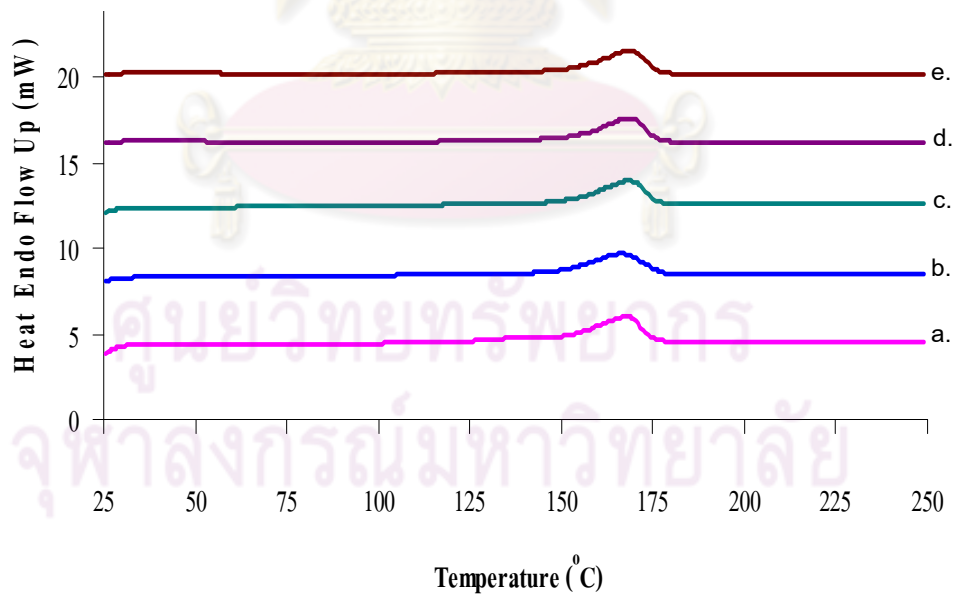
รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
1.5 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt%, และ e.) 10 wt%



รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
2.0 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt% และ e.) 10 wt%



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
2.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt%, และ e.) 10 wt%

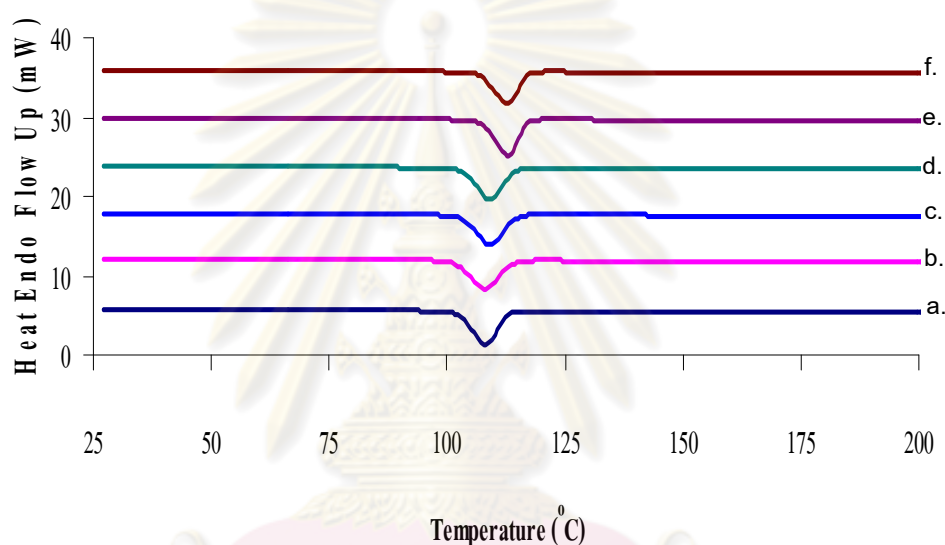


รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
3.0 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt%, และ e.) 10 wt%

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต

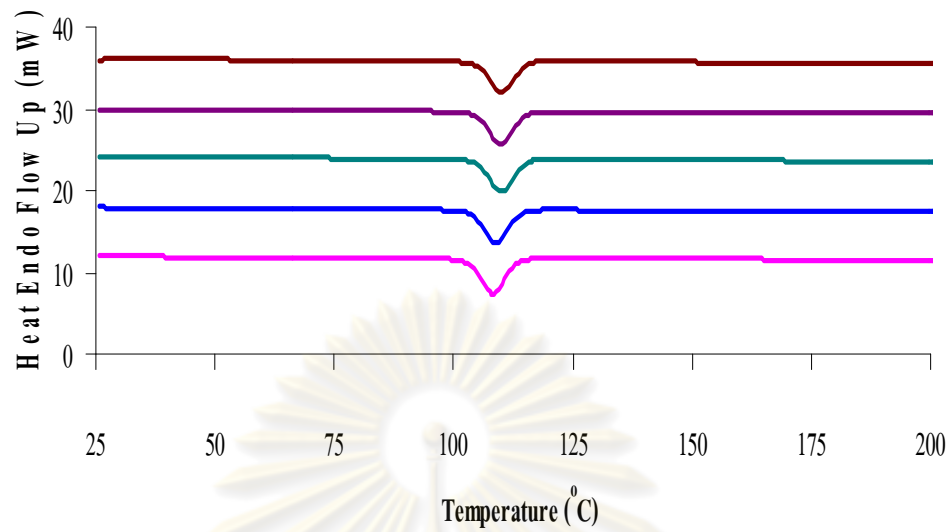
ชั้นงานคอมพอสิต		T _c (Peak) (°C)	T _c (Onset) (°C)	T _m (Peak) (°C)	T _m (Onset) (°C)	ΔH _f (J/g)	Degree of crystallinity
PP		109.19	113.05	168.61	149.42	85.88	41.09
0.5 BMMT	2%	108.67	113.68	169.76	151.06	81.50	39.79
	4%	109.80	114.64	168.35	150.30	84.93	42.33
	6%	109.84	114.44	167.63	148.12	85.82	43.68
	8%	113.08	117.03	166.04	151.58	82.45	42.88
	10%	113.79	117.03	169.43	150.27	79.45	42.24
1.0 BMMT	2%	109.16	113.40	169.35	151.03	84.93	41.47
	4%	109.80	114.06	167.35	149.41	83.04	41.39
	6%	110.75	115.16	168.41	151.25	81.37	41.42
	8%	110.17	115.12	167.04	149.59	78.08	40.61
	10%	113.79	115.46	166.75	153.04	78.81	41.90
1.5 BMMT	2%	110.03	114.26	167.73	149.23	80.45	39.28
	4%	111.42	115.57	168.75	151.42	79.10	39.42
	6%	118.82	115.69	168.96	151.70	89.58	45.60
	8%	112.14	115.92	168.96	151.74	83.88	43.62
	10%	112.22	116.00	167.92	149.98	83.55	44.42
2.0 BMMT	2%	108.82	113.50	168.97	150.31	85.97	41.97
	4%	109.91	113.89	168.54	149.63	86.57	43.15
	6%	110.20	114.10	167.34	149.74	80.72	41.09
	8%	110.53	114.56	166.53	152.00	80.64	41.94
	10%	110.17	114.40	167.22	148.50	79.45	42.24
2.5 BMMT	2%	108.74	113.37	169.32	152.28	89.26	43.58
	4%	110.09	114.30	168.74	150.78	77.08	38.42
	6%	110.16	114.06	167.63	150.59	82.58	42.03
	8%	110.15	114.00	166.34	149.56	80.32	41.77
	10%	110.15	114.41	167.94	149.22	84.27	44.80
3.0 BMMT	2%	109.19	113.55	167.28	149.36	86.90	42.43
	4%	109.92	114.01	166.60	149.56	83.80	41.41
	6%	111.63	115.39	168.22	151.11	83.53	42.52
	8%	112.44	116.40	168.66	151.87	79.90	41.55
	10%	111.86	116.01	168.58	150.94	79.62	42.33

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตจะเห็นได้ว่าที่ออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมด้วย ๆ 0.5 BMMT, 1.0 BMMT , 1.5 BMMT, 2.0 BMMT , 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกน้อยมาก นอกจากนี้ปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เพิ่มขึ้นในคอมพอสิตตั้งแต่ร้อยละ 4-10 โดยน้ำหนัก จะช่วยเพิ่มอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้น 1-3 °C และมีความเป็นผลึกมากขึ้นร้อยละ 2-5 ตามปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.11-4.16

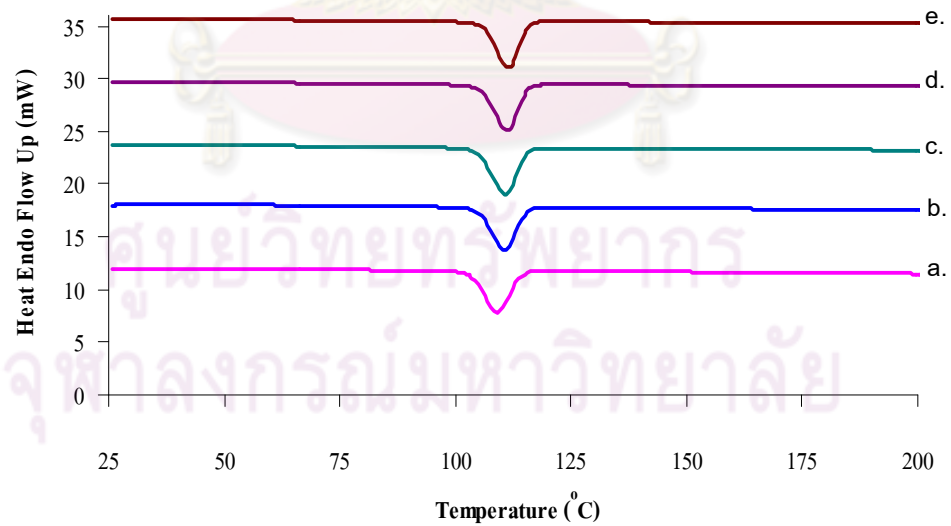


รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/
0.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) PP, b.) 2 wt%, c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%

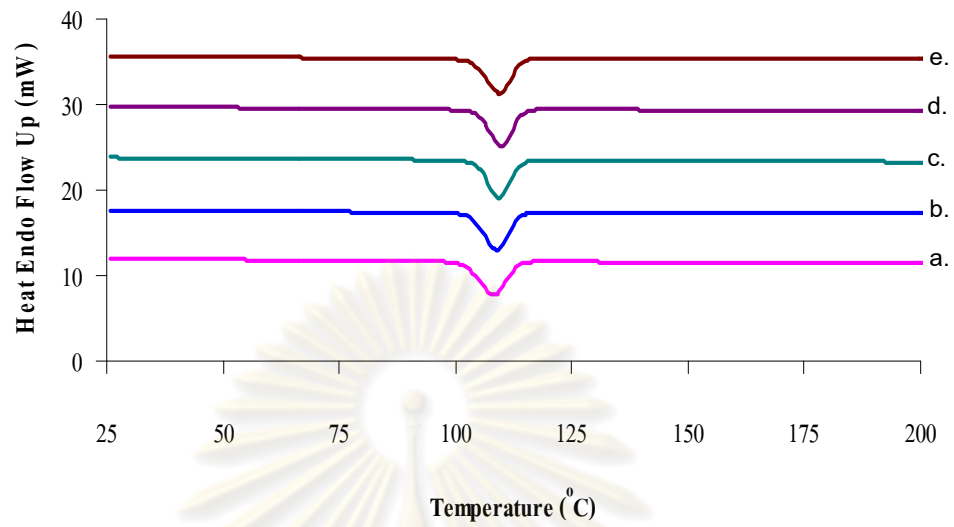
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt% และ e.) 10 wt%



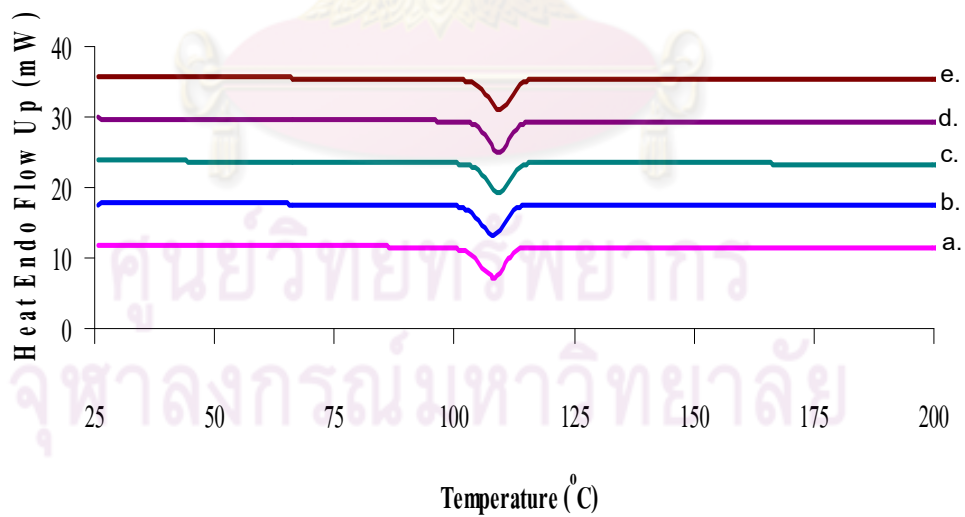
รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์

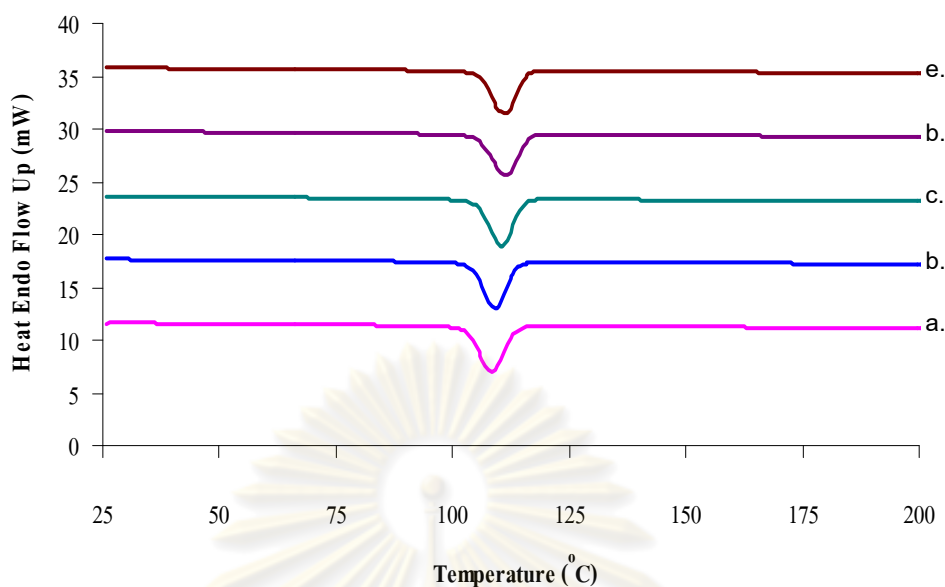
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt% และ e.) 10 wt%



รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

a.) PP, b.) 2 wt%, c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



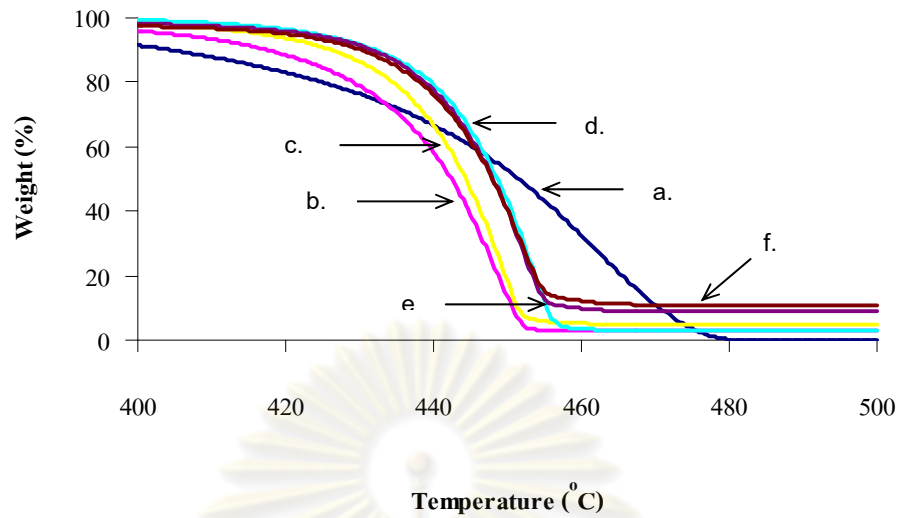
รูปที่ 4.17 เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์
a.) 2 wt%, b.) 4 wt%, c.) 6 wt%, d.) 8 wt% และ e.) 10 wt%

4.6.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิค TGA

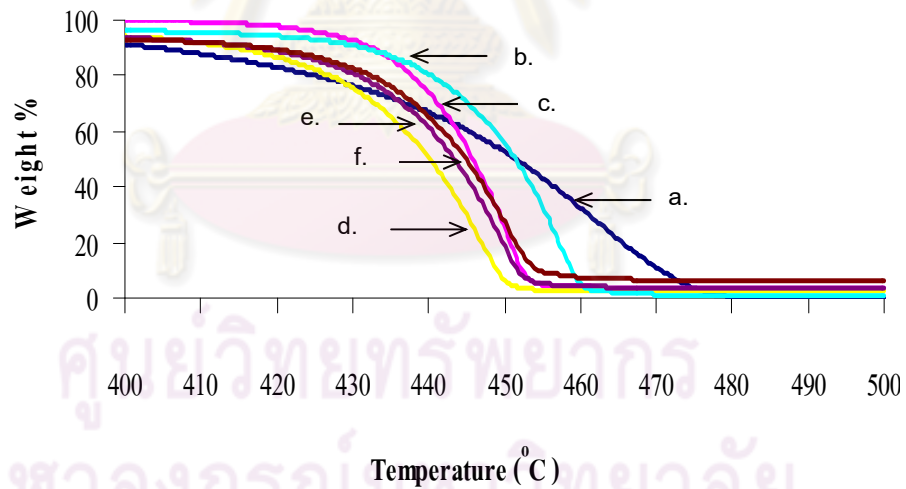
ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่เตรียมจากเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ แสดงเป็นเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.17-4.22 และตารางที่ 4.4 พบว่าพอลิโพรพิลีนเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 428.05°C ในขณะที่อุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต มีค่าสูงขึ้น อยู่ในช่วงระหว่าง $430-447^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าพอลิโพรพิลีน โดยหากพิจารณาจากชนิดของออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมจากระดับความเข้มข้นของเบนซาลโคเนียมที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.5-3.0 มิลลิโมล/กรัม จะเห็นว่าผลมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งน้อยมาก สำหรับตัวแปรที่เกิดจากปริมาณของออร์กาโนเคลย์ในเนื้อคอมพอสิต (2 wt%, 4 wt%, 6 wt%, 8 wt% และ 10 wt%) จากผลการทดสอบสามารถบ่งชี้ได้ว่า ปริมาณของออร์กาโนเคลย์สามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับพอลิโพรพิลีนได้ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตสูงกว่าพอลิโพรพิลีนประมาณ $2-10^{\circ}\text{C}$ ขึ้นอยู่กับปริมาณออร์กาโนเคลย์แต่ความเข้มข้นที่

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอลิสิต์ด้วยเทคนิค TGA

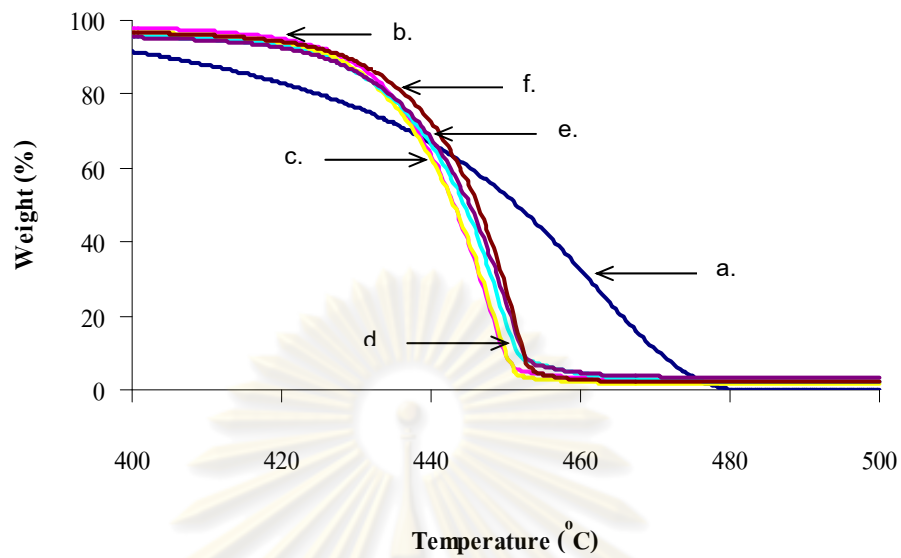
Sample		อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (T_{onset} , °C)	ร้อยละเถ้าที่เหลือที่อุณหภูมิ 1000°C
PP		428.05	-
0.5 BMMT	2%	431.48	1.51
	4%	434.09	2.41
	6%	438.91	3.57
	8%	437.06	5.25
	10%	436.28	6.68
1.0 BMMT	2%	436.28	1.41
	4%	443.40	2.62
	6%	442.12	4.37
	8%	432.10	5.98
	10%	433.72	5.98
1.5 BMMT	2%	433.91	1.30
	4%	432.53	1.74
	6%	435.11	2.96
	8%	435.79	4.44
	10%	438.48	4.44
2 BMMT	2%	430.65	1.20
	4%	431.85	1.78
	6%	433.08	2.80
	8%	435.35	4.10
	10%	434.75	4.82
2.5 BMMT	2%	435.85	1.09
	4%	439.81	2.33
	6%	438.19	2.72
	8%	435.63	4.20
	10%	428.65	4.44
3 BMMT	2%	427.35	0.90
	4%	432.69	1.80
	6%	435.54	2.74
	8%	436.79	4.12
	10%	438.82	4.58



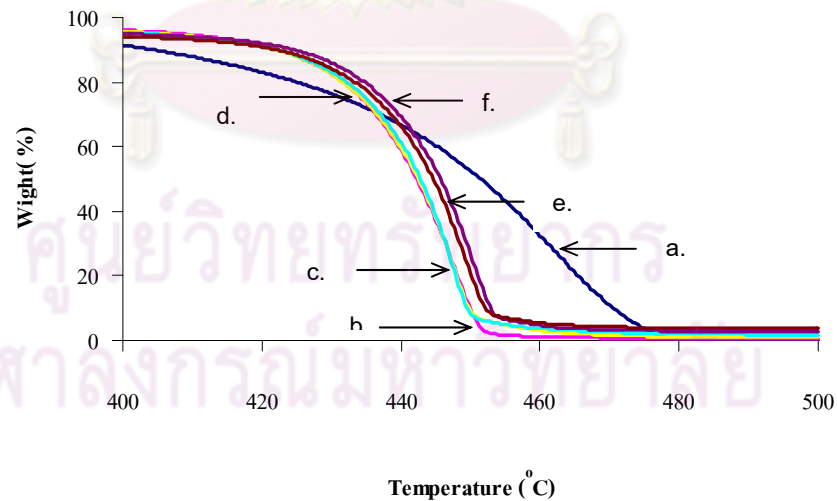
รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/ 0.5 BMNT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



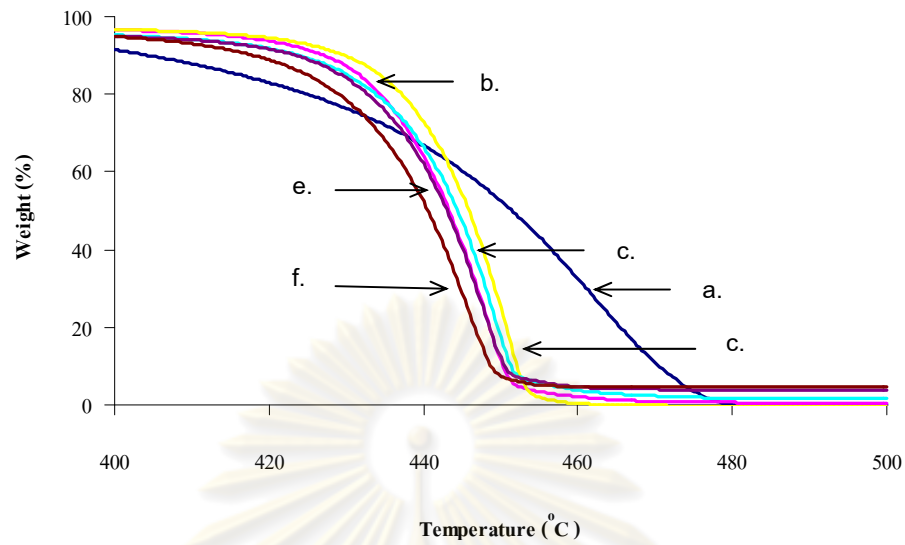
รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/1.0 BMNT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



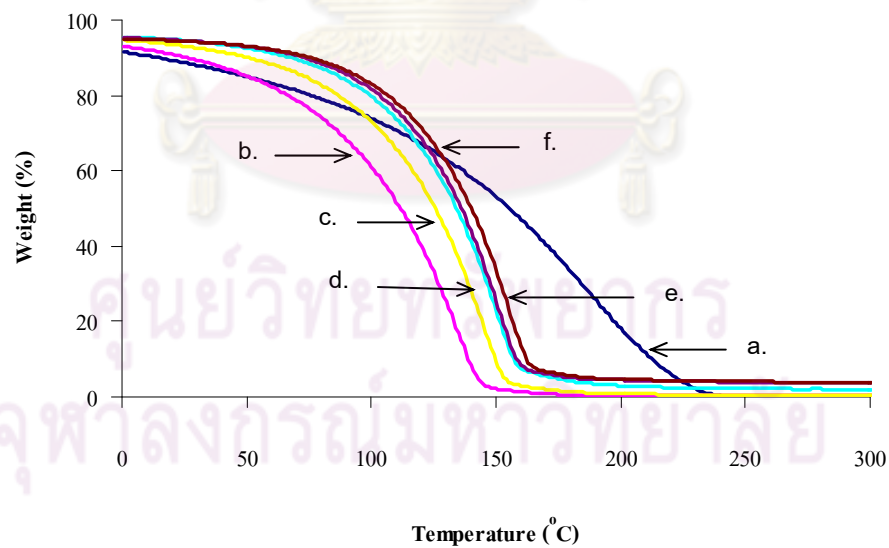
รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/1.5 BMNT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/2.0 BMNT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



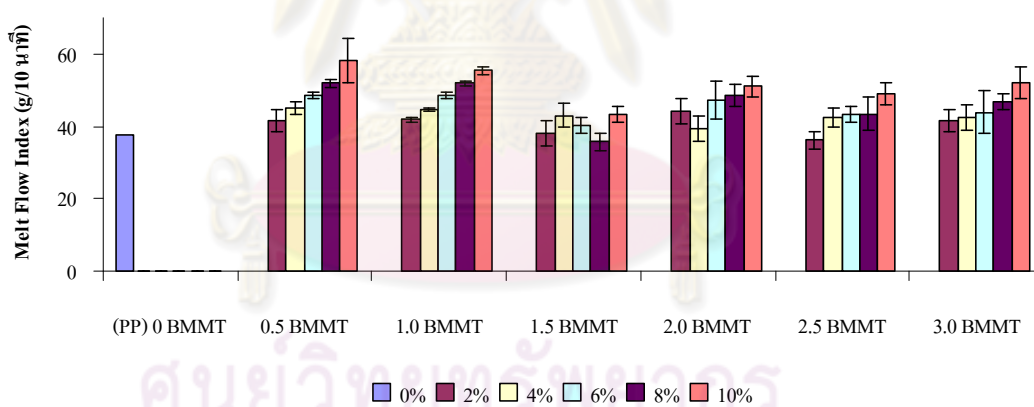
รูปที่ 4.22 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%



รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-500 °C ของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) 6 wt%, e.) 8 wt% และ f.) 10 wt%

4.7 การศึกษาดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

จากการศึกษาดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต พบว่า ดัชนีการไหลของ/BMMT นาโนคอมพอสิต มีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีน และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของออร์กาโนเคลย์ที่ใช้เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูป 4.24 เนื่องมาจากการที่แผ่นเคลย์ไปแทรกในระหว่างสายโซ่พอลิโพรพิลีนจึงทำให้ความสามารถในการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง เมื่อเกิดการหลอมเหลวจึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนผ่านกันได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวดีขึ้นค่าดัชนีการไหลจึงมีค่าสูงมากขึ้น แต่หากพิจารณาชนิดของออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมจากสารละลายเบนซาลโคเนียมที่แตกต่างกัน ระหว่าง 0.5-3.0 มิลลิโมล/กรัม จะได้ว่า ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต จะแตกต่างกันโดยไม่สามารถระบุแนวโน้มได้ จึงคาดว่าเป็นผลผิดพลาดมาจากขั้นตอนการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ในการเติม BMMT ออร์กาโนเคลย์ แล้วช่วยเพิ่มดัชนีการไหลของพอลิเมอร์เป็นผลดีที่จะทำให้สามารถนำเม็ดพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตมาใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวได้



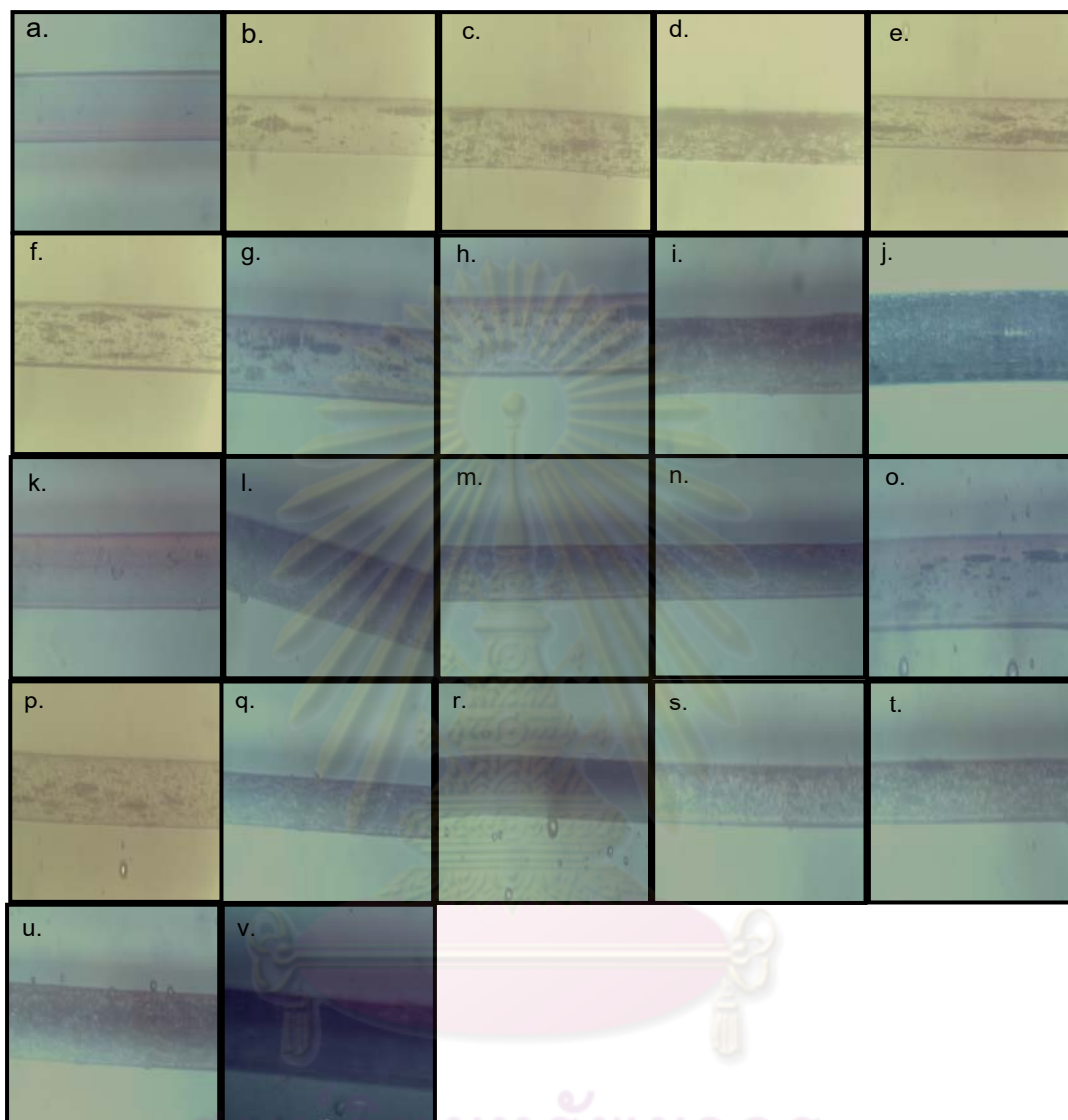
รูปที่ 4.24 ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

4.8 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/และพอลิโพรพิลีน BMMT นาโนคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผลของการฉีดเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตพบว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต ที่มีสัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ มากขึ้นเป็น 6, 8 และ 10 wt% ของเส้นใยที่สูตร 0.5 BMMT และ 1.0 BMMT ไม่สามารถฉีดขึ้นรูปเส้นใยได้แต่เส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิตที่สูตร 1.5 BMMT , 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT จะสามารถฉีดเป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องได้ยกเว้นที่สัดส่วน 10 wt% เท่านั้น โดยจะมีการขาดในระหว่างกระบวนการฉีดเส้นใยและกระบวนการม้วนเก็บ เนื่องมาจากปริมาณของออร์กาโนเคลย์ที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาคของออร์กาโนเคลย์ทำให้มีพฤติกรรมไปขวางการไหลตัวของพอลิเมอร์ ส่งผลให้การไหลของพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการหลอมเหลวไม่ต่อเนื่อง เมื่อฉีดเส้นใยจึงทำให้เส้นใยที่ได้มีผิวไม่เรียบ มีขนาดของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ โดยลักษณะภายนอกของเส้นใยและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแสดงดังตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย (mm.)						
ปริมาณออร์กาโนเคลย์	0.5 BMMT	1.0 BMMT	1.5 BMMT	2.0 BMMT	2.5 BMMT	3.0 BMMT
0% (PP)	0.09					
2%	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05
4%	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06
6%	0.08	-	0.08	0.07	0.07	0.10
8%	-	-	0.08	0.08	0.09	0.09



รูปที่ 4.25 ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
/BMMT นาโนคอมพอสิต

a.) PP, b.) 2 wt% , c.) 4 wt%, d.) และ 6 wt% 0.5 BMMT

e.) 2 wt% และ f.) 4 wt% 1.0 BMMT

g.) 2 wt%, h.) 4 wt% , i.) 6wt%,และ j.) 8 wt% 1.5 BMMT

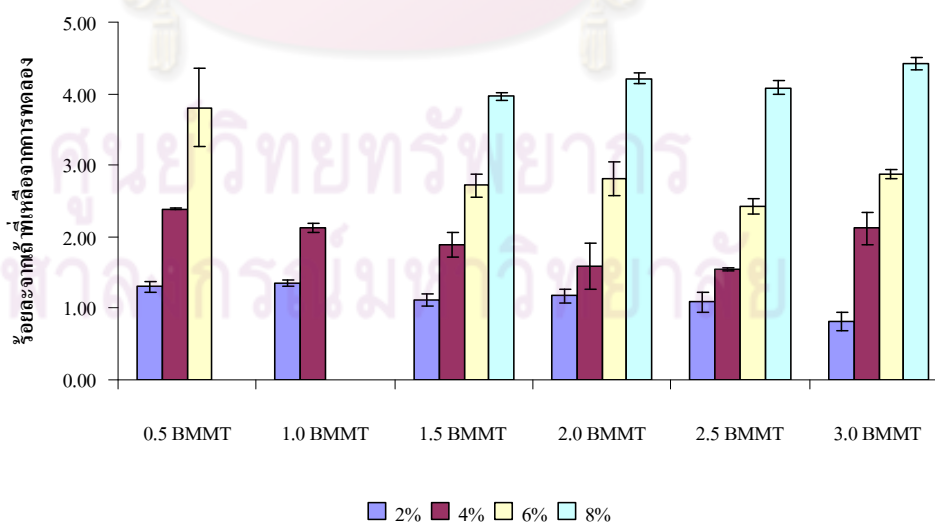
k.) 2 wt%, l.) 4 wt% , m.) 6wt%,และ n.) 8 wt% 2.0 BMMT

o.) 2 wt%, p.) 4 wt% , q.) 6wt%,และ r.) 8% wt 2.5 BMMT

s.) 2 wt%, t.) 4 wt% , u.) 6wt%,และ v.) 8% wt 3.0BMMT

4.9 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ ในเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

การกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสิ่งสำคัญมากต่อสมบัติของเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่ผ่านกระบวนการหลอมเหลว โดยการสุ่มตัวอย่างประมาณ 2.0 กรัม จำนวน 5 ตัวอย่าง แล้วนำไปเผาเพื่อหาปริมาณเถ้าที่เหลือ เมื่อพิจารณากราฟดังแสดงในรูป 4.26 พบว่าในทุกๆ สูตรผสมที่มีปริมาณแตกต่างกัน มีการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในเนื้อพอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งดูได้จากค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยที่ปรากฏ และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเถ้าหลงเหลือที่ได้จากการเผาเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต พบว่า มีร้อยละของเถ้าที่เหลือน้อยกว่าปริมาณที่ใส่ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการหายไปของอนุภาคในกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว เพราะก่อนที่เส้นใยจะอัดรีดผ่านรู spinneret ต้องผ่านตัวกรองก่อน ซึ่งทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกต่างออกๆ ทำให้อนุภาคของออร์กาโนเคลย์บางส่วนที่มีขนาดใหญ่ไปติดอยู่ที่ตัวกรองทำให้ปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีปริมาณลดลง และถ้าตัวกรองที่ผ่านการใช้งานมาแล้วหลายๆ ครั้งจะมีสิ่งกีดขวางการไหลของพอลิเมอร์มาก ยิ่งทำให้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่สามารถผ่านช่องตะแกรงออกมาได้ เส้นใยที่ได้จึงมีปริมาณออร์กาโนเคลย์น้อยลง และอาจส่งผลให้สมบัติที่ได้ของเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต เปลี่ยนไป



รูปที่ 4.26 ร้อยละของเถ้าที่เหลือจากการเผาเส้นใยโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่อุณหภูมิ 1000 °C

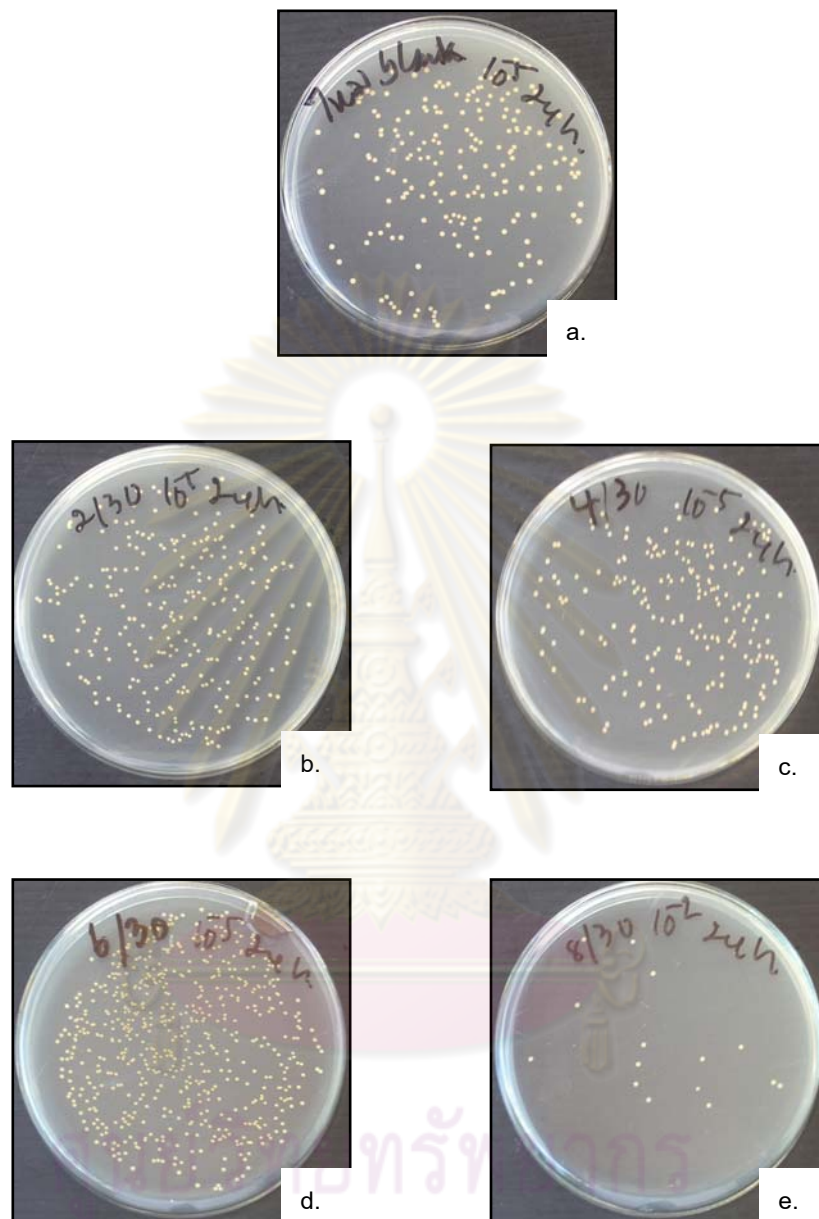
4.10 ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต

4.10.1 ศึกษาประสิทธิภาพการการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ 1.5 BMMT นาโนคอมพอสิต

จากผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีการทดสอบแบบ Shake flask method เชื้อแบคทีเรีย ชื่อ *S. aureus* ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนBMMT นาโนคอมพอสิต ที่เตรียมจากออร์กาโนเคลย์ที่สูตร 1.5 BMMT ในสัดส่วนของปริมาณออร์กาโนเคลย์ 2, 4, 6 และ 8% wt ดังรูปที่ 4.27 และคำนวณค่าได้ตาม % การลดลงของแบคทีเรีย ดังตาราง 4.6 พบว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต ในสัดส่วนของปริมาณออร์กาโนเคลย์ 2, 4 และ 6 % wt มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์เป็นศูนย์ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนเส้นใยที่มีสัดส่วนของปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8% wt ปรากฏผลการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์สูงถึงร้อยละ 99.98 จึงสามารถสรุปได้ว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้เมื่อมีปริมาณของออร์กาโนเคลย์ 8 % wt

ตารางที่ 4.6 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิต 1.5 BMMT ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	The number of bacteria CFU/ml (6 h.)	% reduction
Blank	1.9×10^8	-
2% wt	2.6×10^8	0
4% wt	2.0×10^8	0
6% wt	6.4×10^8	0
8% wt	1.4×10^4	99.98



รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ 1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต

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

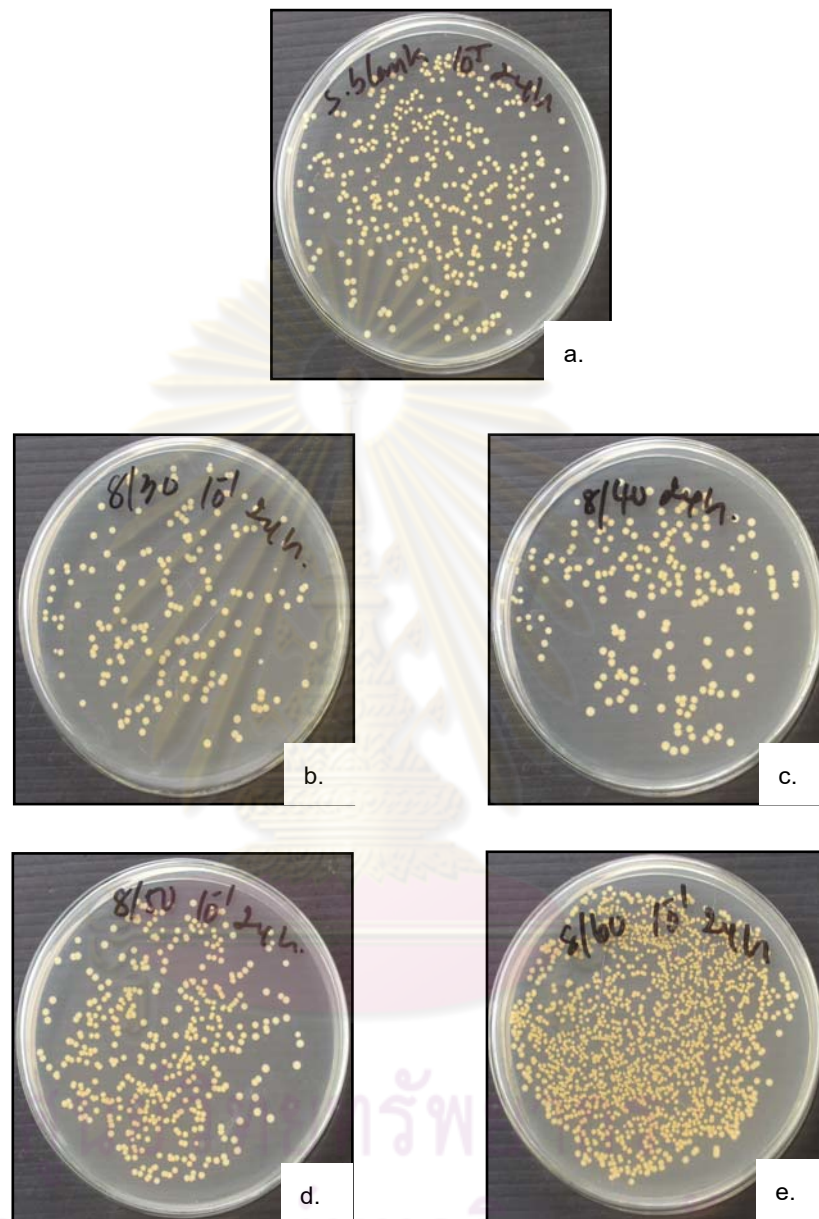
4.10.2 ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิตที่ 1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT ปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8% wt

ทำการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีการทดสอบแบบ Shake flask method เชื้อแบคทีเรีย เชื้อ *S. aureus* ที่ปริมาณของออร์กาโนเคลย์ 8% wt ที่ 1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT ดังรูปที่ 4.28 และคำนวณค่าได้ตาม % การลดลงของแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 4.7 ทั้งนี้เพราะพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต 0.5 BMMT และ 1.0 BMMT ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยจึงไม่สามารถนำมาทดสอบได้

จากผลการทดลองพบว่า เส้นใยพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT นาโนคอมพอสิต สามารถต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี โดยผลให้ปริมาณการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ลดลงมากถึงร้อยละ 99.8-99.9 และมีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ตัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ที่จะส่งผลต่อการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ควรมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 BMMT เพราะถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไปเป็น 2.0 BMMT, 2.5 BMMT หรือ 3.0 BMMT ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก็ไม่แตกต่างกับการใช้ความเข้มข้น 1.5 BMMT แต่จากรูปที่ 4.28 เส้นใยชนิด 3.0 BMMT รูปที่ e. จะเห็นว่ามีความหนาแน่นของโคโลนีที่เกิดขึ้นมากกว่าในรูป a. เนื่องจากว่าเชื้อที่นำมาเพาะเลี้ยงไม่เท่ากัน โดยรูป e. มีความเข้มข้นสูงกว่ารูป a. 10^4 ทั้งนี้ไม่สามารถใช้ระดับความเข้มข้นเท่ากันได้เพราะถ้าใช้ระดับความเข้มข้นเท่ากันจะไม่สามารถตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นได้โคโลนีที่เกิดขึ้นหนาแน่นมาก

ตารางที่ 4.7 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ 1.5 BMMT, 2.0 BMMT, 2.5 BMMT และ 3.0 BMMT นาโนคอมพอสิตปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8%wt

ปริมาณเบนซาลโคเนียมคลอไรด์	The number of bacteria CFU/ml (6 h.)	(%reduction)
Blank	3.0×10^8	0
0.5 BMMT	-	N/A
1.0 BMMT	-	N/A
1.5 BMMT	1.4×10^4	99.995
2.0 BMMT	1.8×10^4	99.994
2.5 BMMT	2.4×10^4	99.992
3.0 BMMT	4.0×10^4	99.980



รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

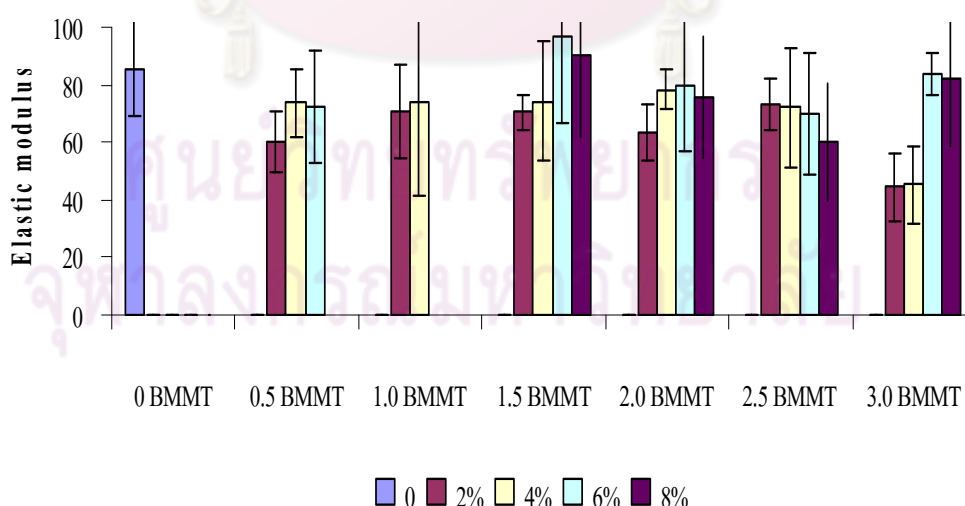
a.) blank , b.) 1.5 BMMT, c.) 2.0 BMMT, d.) 2.5 BMMT, และ e.) 3.0 BMMT

ปริมาณออร์กาโนเคลย์ 8% wt

4.11 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

4.11.1 การศึกษาค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

จากผลการทดสอบค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ด้วยเครื่องทดสอบ dynamic modulus รูปที่ 4.29 แสดงค่าผลของปริมาณ BMMT ที่มีต่อค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ใช้ draw ratio เท่ากับ 5 เท่า พบว่าการใส่อนุภาค BMMT ลงไปในพอลิโพรพิลีนที่ B0.5 BMMT, 1.0 BMMT, 2.0 BMMT, BMMT 2.50, และ BMMT 3.0 มิลลิโมล/กรัม พบว่าจะทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของอนุภาค BMMT กระจายตัวกันไม่สม่ำเสมอ ทำให้อนุภาคของเคลย์ จับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเส้นใย เมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่อง dynamic modulus คลื่นเสียงที่ส่งผ่านจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ง่ายกว่าในกรณีที่มีอนุภาคของ BMMT มีการกระจายตัวอย่างกระจัดกระจายในเนื้อพอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อความเร็วเสียงที่วัดได้จึงมีค่าลดลงและส่งผลให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสมีค่าลดลง ที่ BMMT 1.5 มิลลิโมล/กรัม จะทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสมีค่าสูงขึ้น จึงคาดว่าเป็นผลผิดพลาดมาจากขั้นตอนการทดสอบ จะเห็นได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่ามากจากการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ในการเติม BMMT ออร์กาโนเคลย์ที่เพิ่มมากขึ้นไปในพอลิโพรพิลีนจะทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อเติม BMMT ลงไปจนถึงปริมาณ 4-6 wt%



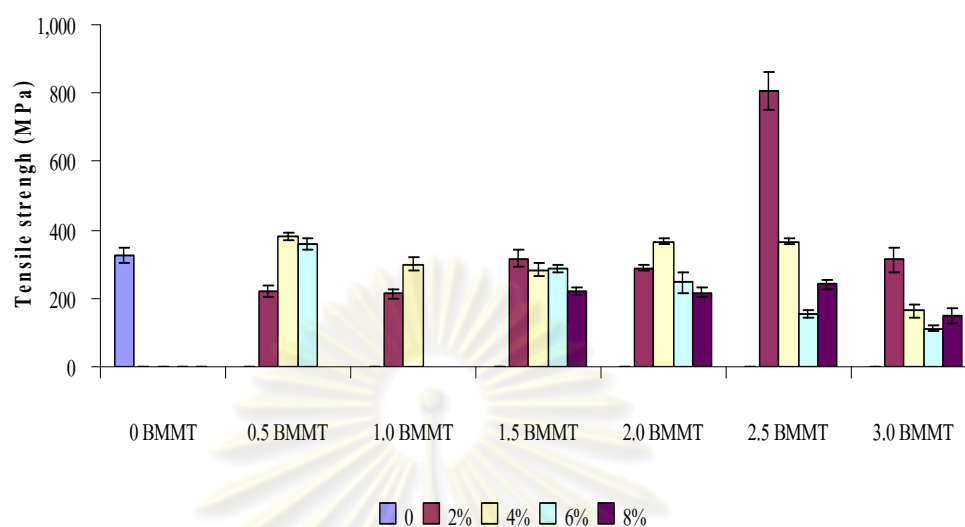
รูปที่ 4.29 ค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

จะทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อปริมาณของ BMMT เพิ่มขึ้นเป็น 8 wt% จะทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเคลย์ที่มากเกินไป ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาค BMMT ลดลง

ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาค BMMT ในเส้นใยพอลิโพรพิลีนและรูปแบบของการจัดเรียงตัวของแผ่นเคลย์ (ตั้งฉากหรือขนานกับแกนพลาเมนต์) นั้นมีความสำคัญต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์และความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ BMMT นาโนคอมพอสิต ทำให้ค่าอีลาสติคโมดูลัสที่ได้มีความแปรปรวน ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการควบคุมรูปแบบการจัดเรียงตัวของแผ่นเคลย์ในเส้นใยพอลิโพรพิลีนไม่สามารถทำได้ จึงส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยทำให้มีค่าความแปรปรวนสูง และจากการที่ปริมาณเบนซาลโคเนียมมากขึ้น ในเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่เตรียมด้วยออร์กาโนเคลย์ปริมาณร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักนั้น พบว่า ค่าอีลาสติคโมดูลัสของเส้นใยมีความแปรปรวนสูงไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าอีลาสติค โมดูลัสที่สำคัญคือการจัดเรียงตัวของอนุภาคเคลย์ในเส้นใย ซึ่งควบคุมได้ยาก

4.11.2 การศึกษาสมบัติการต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

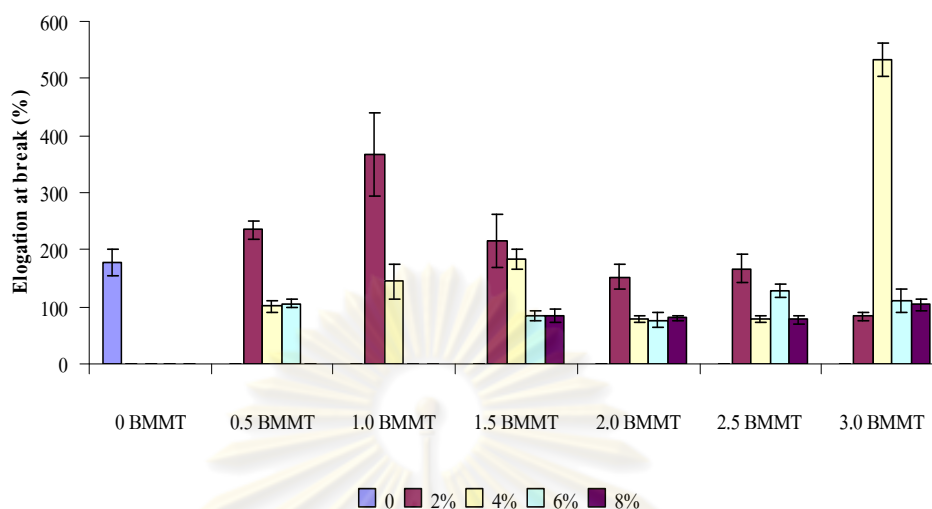
จากผลการศึกษาสมบัติการต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณ BMMT ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 พบว่าการเติมอนุภาค BMMT ลงไปในพอลิโพรพิลีนจะทำให้ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากอนุภาค BMMT ทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงให้กับเส้นใยพอลิโพรพิลีน เมื่อเส้นใยได้รับแรงดึงพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์จะส่งผ่านแรงไปยังอนุภาค BMMT ที่ทำหน้าที่รับแรง ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตสูงขึ้น



รูปที่ 4.30 ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

และจากผลการทดสอบความต้านแรงดึงของเส้นใยที่มีปริมาณ BMMT 6 และ 8 wt% พบว่าค่าความต้านแรงดึงมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมอนุภาค BMMT ที่มากเกินไป ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคเคลย์ลดลง โดยอนุภาคของ BMMT อาจมีการจับตัวกันเป็นก้อนอีกครั้งในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเส้นใย และเกิดเป็นจุดบกพร่องในเส้นใย (defect) ทำให้ค่าความต้านแรงดึงมีค่าลดลง โดยปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต อยู่ที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และปัจจัยของปริมาณความเข้มข้นของเบนซาลโคเนียมที่ใช้ในการเตรียมออร์กาโนเคลย์ไม่มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.31 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต

จากรูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต พบว่าการเติมอนุภาค BMMT จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ BMMT เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการที่ชั้นแผ่นเคลือบมีการจัดเรียงตัวทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับแกนฟิลาเมนต์ โดยไม่สามารถที่จะควบคุมการจัดเรียงตัวของชั้นแผ่นเคลือบในกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวได้ ซึ่งชั้นแผ่นเคลือบที่มีการจัดเรียงตัวตั้งฉากกับแกนฟิลาเมนต์จะขัดขวางการยืดตัวของเส้นใยทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลง นอกจากนี้เมื่อปริมาณ BMMT เพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาค BMMT เกิดการรวมกลุ่มกันจึงไปขัดขวางการยืดตัวของเส้นใยทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่มีปริมาณ BMMT ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่า ปริมาณเบนซาลโคเนียมที่แทรกสอดอยู่ในช่องแกลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์มากกว่า 1.0 มิลลิโมล/กรัมเคลือบ จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงเป็นลำดับ ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่โมเลกุลเบนซาลโคเนียมมีการจัดเรียงตัวแบบ bilayer จะมีแรงยึดระหว่างโมเลกุลจากพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการแยกแผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์ลดลง อนุภาคเกาะกันเป็นก้อน และขัดขวางการยืดตัวของเส้นใย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการเตรียมเส้นใยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ โมเลกุลของเบนซาลโคเนียมจะแทรกสอดเข้าไปในช่องแกลลลอรี่ ทำให้ได้ออร์กาโนเคลย์ที่มีโครงสร้างแบบ Intercalate

5.1.2 ความเข้มข้นของสารละลายเบนซาลโคเนียมเป็นปัจจัยสำคัญในการขยายช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์ โดยที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3.0 มิลลิโมล/กรัม เริ่มมีการเรียงตัวแบบ bilayer

5.1.3 เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต เพิ่มขึ้นเมื่อออร์กาโนเคลย์เพิ่มขึ้น

5.1.4 เส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิตสามารถเตรียมได้ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว และเบนซาลโคเนียม-มอนต์มอริลโลไนต์ ออร์กาโนเคลย์ ที่ดัดแปรด้วยสารละลายเบนซาลโคเนียมที่ความเข้มข้นมากกว่า 1.5 สามารถฉีดขึ้นรูปเส้นใยได้ และสามารถเติมปริมาณออร์กาโนเคลย์ได้มากถึงร้อยละ 8

5.1.5 เส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMT นาโนคอมพอสิต ที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 8 จึงจะมีประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ถึง 99.99 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การนำอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ มาปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยพอลิเมอรันั้นไม่สามารถควบคุมลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ได้ ดังนั้นการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้กับเส้นใยพอลิเมอรั จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อไปหรืออาจนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น เช่น แผ่นฟิล์ม หรือผ้าฝ้าย

5.2.2 ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยเส้นใยพอลิพรพิลีนนาโนคอมพอสิตควรทำการดึงยืดเส้นใยให้มากที่สุด

5.2.3 ในกระบวนการเตรียมเม็ดพลาสติกโพรพิลีนควรถูกที่จะใส่แผ่นกรองสิ่งแปลกปลอม เม็ดพลาสติกที่ได้จะได้มีสิ่งเจือปนน้อย ในช่วงของการเปลี่ยนสูตร ผสมของเม็ดพลาสติกพอลิพรพิลีนนาโนคอมพอสิตควรมีการ ใช้เม็ดสีมาสเตอร์แบชหย่อนลงไปเพื่อให้ทราบช่วงที่ต้องการเก็บเม็ดพอลิพรพิลีนของแต่ละสูตร จะได้มีปริมาณของพอลิพรพิลีนบริสุทธิ์ผสมอยู่น้อยลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [2] Wikipedia. Polypropylene [Online]. Wikipedia Foundation, Inc., 2009. Available from : <http://www.en.wikipedia.org> [2009, 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. การเตรียมนาโนคอมพอสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ 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> [2009, March 14]
- [10] Jureeporn Nantaragsa. Preparation of Biodegradable Nanocomposites From LowDensity 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 [2009, March 14]

- [12] ระพีพรรณ ทองระอา. การเตรียมนาโนคอมโพสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [13] อรรถกิต ฉัตรภูมิ. โครงสร้างดินเหนียว [Online]. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552. แหล่งที่มา: <http://www.vichakarn.com> [2009, March 16]
- [14] สิริพันธ์ วิริยะสุนทร. การเตรียมนาโนคอมโพสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากยางธรรมชาติ/แป้งสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [15] Kampeerapappun, P., Srikutkit, K., and Pentrakoon, D. Preparation of Cassava Starch Montmorillonite Nanocomposite Film. J. Sci. Res. Chula. Univ 29 (2004) : 185.
- [16] Suprakas, S. R., and Masami, O. Polymer/Layered Silicate Nanocomposites : A Review from Preparation to Processing. Progress in polymer science 28 (2003) : 1549-1571.
- [17] Pavlidou S., and Papaspyrides, C. D. A Review on Polymer Layered Silicate Nanocomposites. Progress in polymer science 33 (2008) : 1131.
- [18] D.R.Paul. Polymer/Clay nanocomposite [Online]. Texas : Department of Chemical Engineering and Texas Materials Institute, 2009. Available form: <http://www.scielo.br> [2009, March 16]
- [19] บงกช นันทบุญเลิศ. การเตรียมนาโนคอมโพสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549
- แป้งสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [20] สิริรัตน์ จารุจินดา, Textile Auxiliaries, Colourway,46(2543):46-50.

- [21] พิริยะ แก่นทับทิม.การตกแต่งผ้าฝ้ายกันยับและต้านจุลินทรีย์แบบขั้นตอนเดียวด้วย โกลออกซอลและไคโทซาน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [22] สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, สารต้านเชื้อจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ, *Colourway*, 16(2546):58-62.
- [23] ทรรศพร พิศรูป, การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์สำหรับเคลือบกระจก. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และ เทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2548
- [24] Park, J.H., Hyung, Min lee., In-Joo, Chin., Hyoung Jin Choi., Hyo, kyoung Kim. and Won, Gu Kang. Intercalated polypropylene/clay nanocomposite and its physical characteristics. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 6 (2008) :1375-1378.
- [25] Chai-Hong, Hu. and Mei-Sheng, Xia. Adsorption and antimicrobial effect of copper- exchanged montmorillonite on Escherichia coli K8. *Applied Clay Science* 31(2007):180-184.
- [26] Sehgal, V., Shetty, S., Mogra, S., Bhat, G., Eipe, M. and Jacob, S. Evaluation of antimicrobial and physical properties of orthodontic composite resin modified by addition of antimicrobial agent-an-vitro study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131(2007): 524-529.
- [27] Kuda, T. and Yano, T. Resistances to benzalkonium chloride of bacteria dried with food elements on steels steel surface. *LWT* 41(2008): 988-993.
- [28] Khajiva, R., Sattari, M. and Ashjari, A. The Antimicrobial effect of benzalkonium chloride on some pathogenic microbes observed on fibers of acrylic carpet. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10(2007): 598-601.

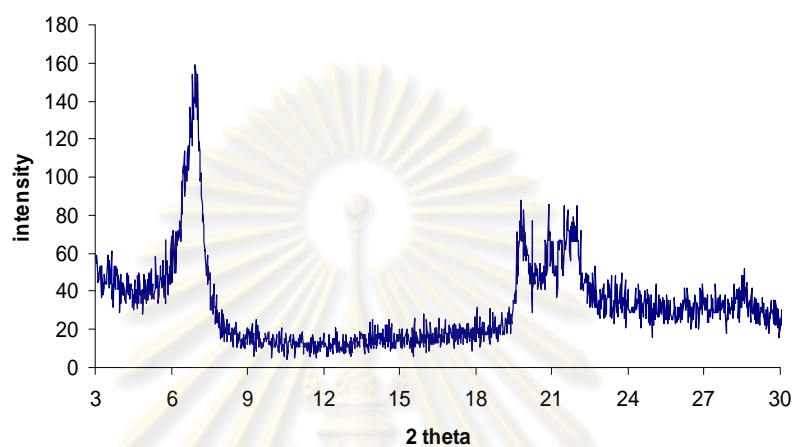


ภาคผนวก

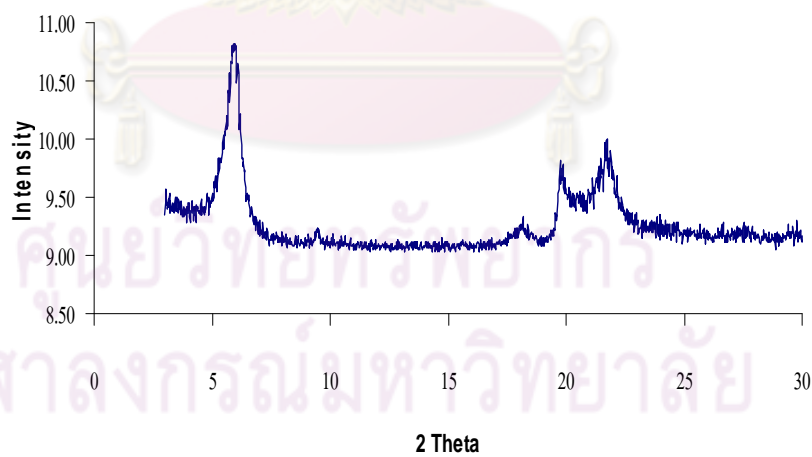
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

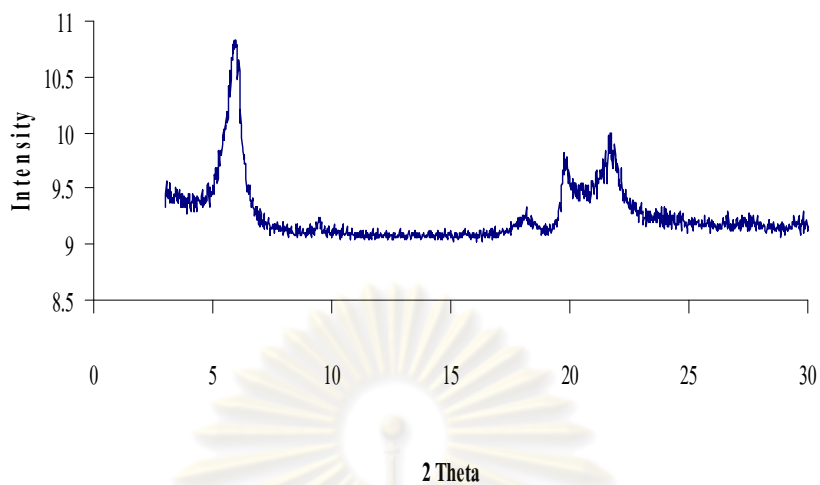
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD



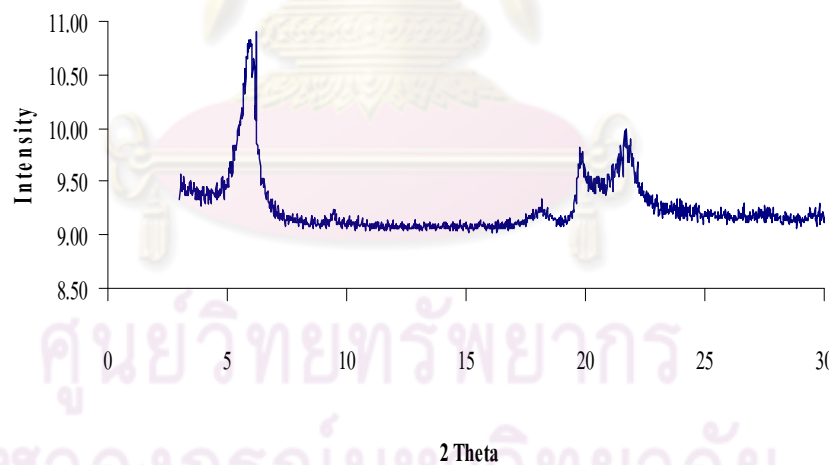
รูปที่ ก-1 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



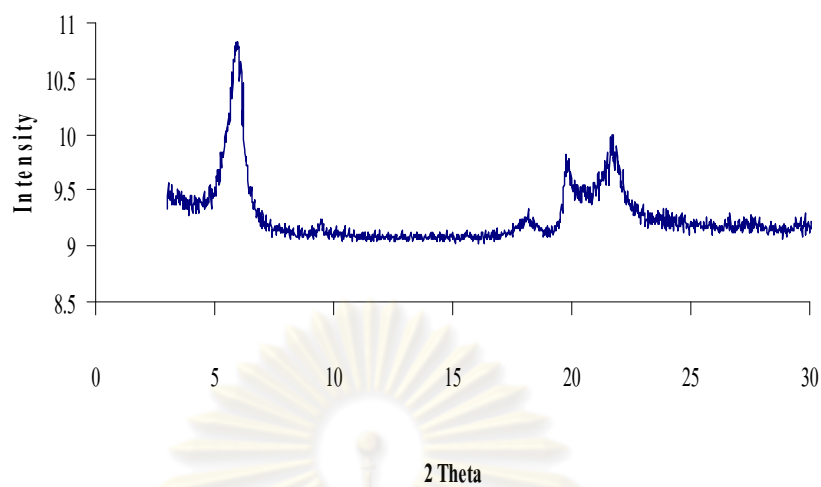
รูปที่ ก-2 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 0.5 mmol



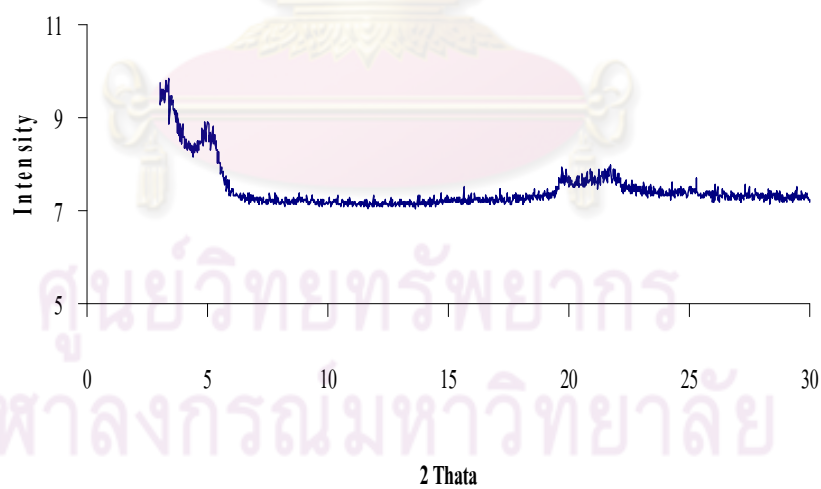
รูปที่ ก-3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 1.0 mmol



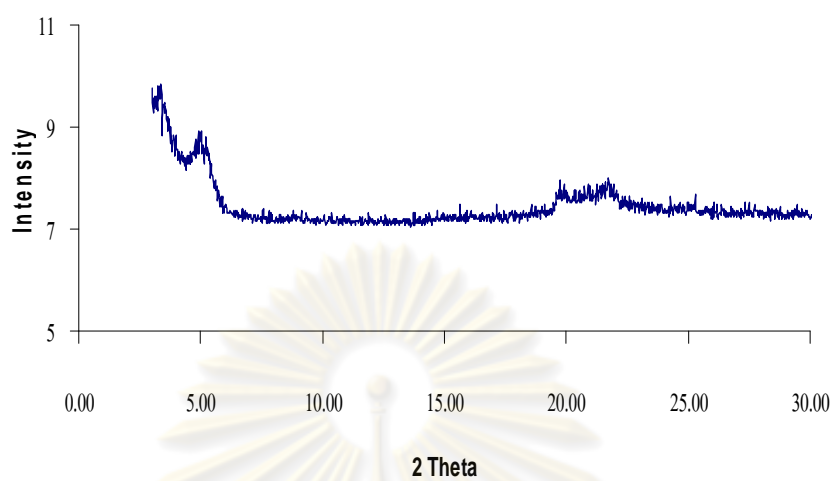
รูปที่ ก-4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 1.5 mmol



รูปที่ ก-5 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 2.0 mmol



รูปที่ ก-6 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 2.5 mmol

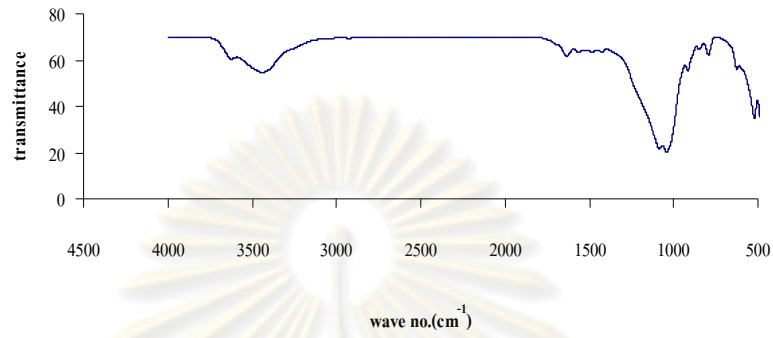


รูปที่ ก-7 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย
เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ 3.0 mmol

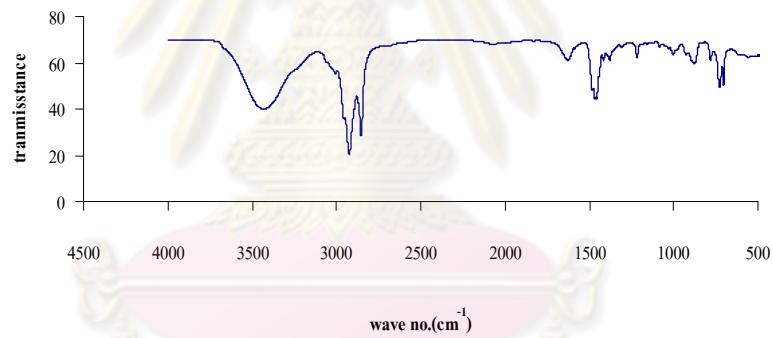
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

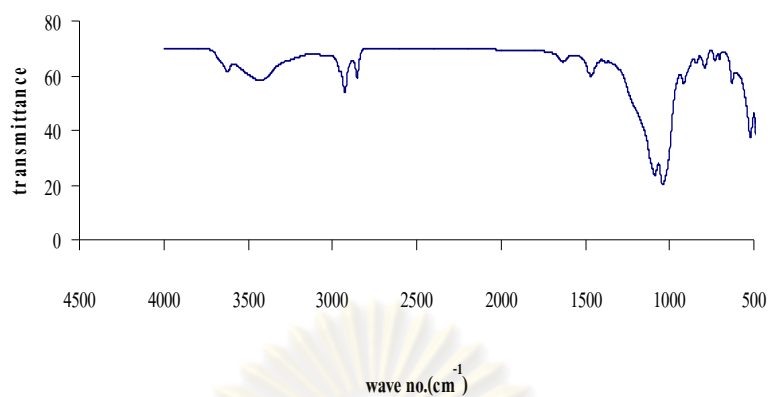


รูปที่ ข-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของมอนตัมอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



รูปที่ ข-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเบนซาลโคเนียมคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



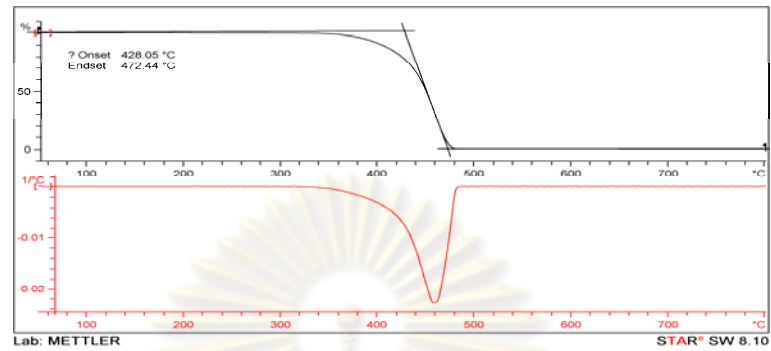
รูปที่ ๓-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของออร์กาโนเคลย์ผ่านการตัดแปรด้วยเบนซาลโคเนียมคลอไรด์



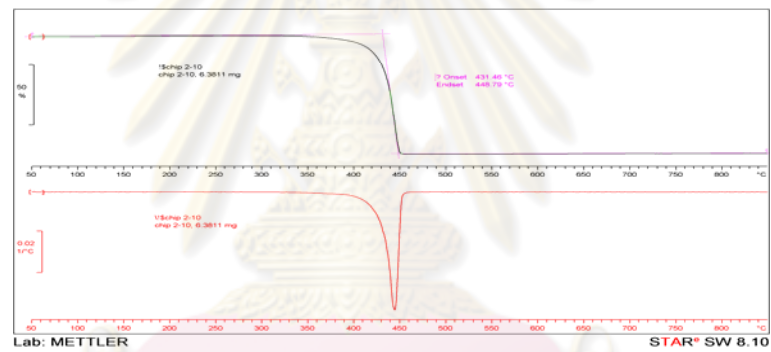
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์ฟิซีนนาโนคอมพอสิต

ด้วยเทคนิค TGA และ DSC

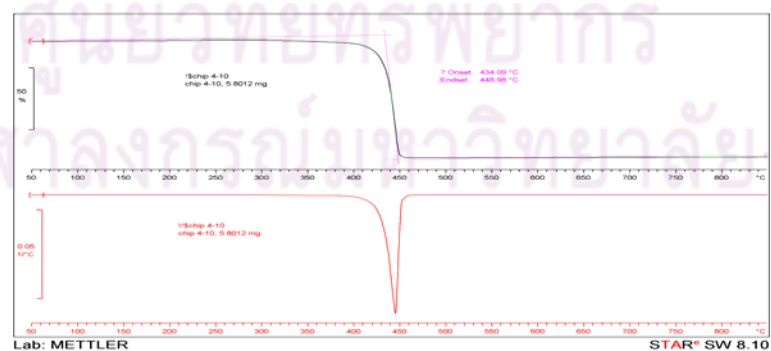


รูปที่ ค-1 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน



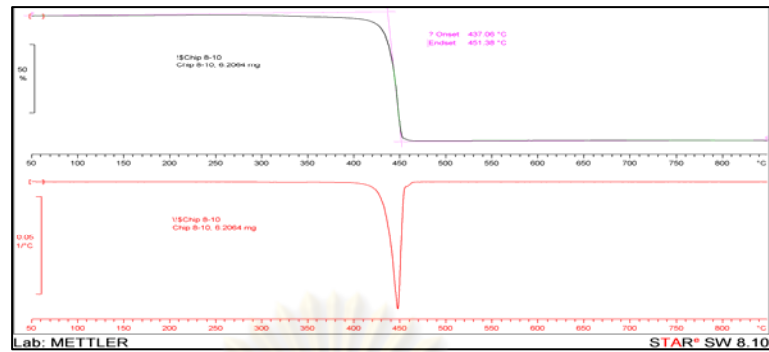
รูปที่ ค-2 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน/ 0.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 2 wt%

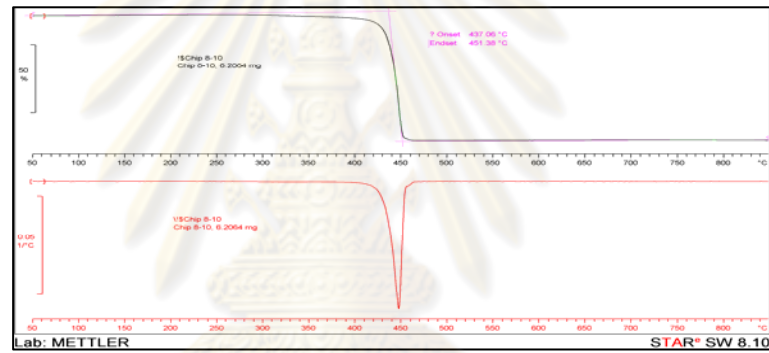


รูปที่ ค-3 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน/ 0.5 BMMT

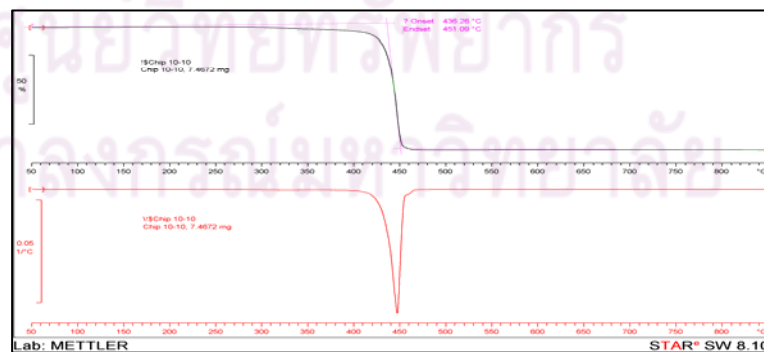
นาโนคอมพอสิต 4 wt%



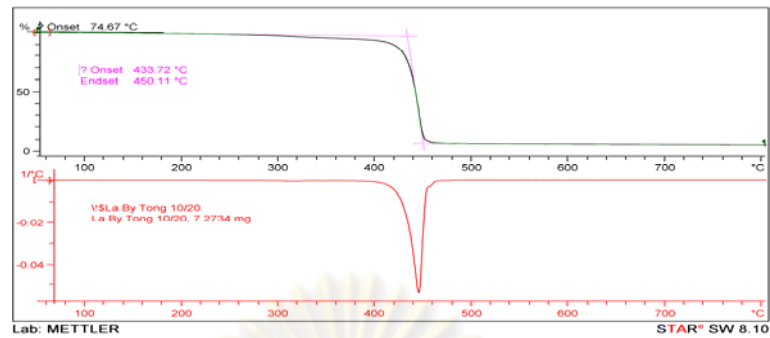
รูปที่ ค-4 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟลีน/ 0.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 6 wt%



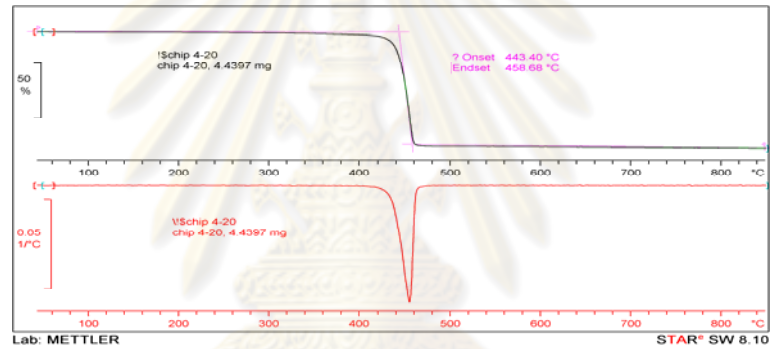
รูปที่ ค-5 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟลีน/ 0.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 8 wt%



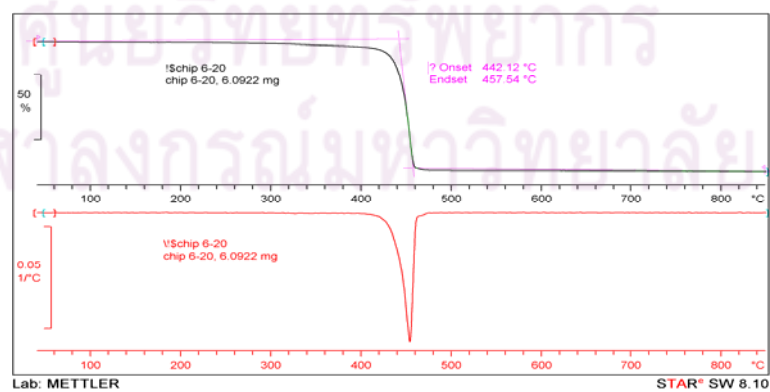
รูปที่ ค-6 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟลีน/ 0.5 BMM
นาโนคอมพอสิต 10 wt%



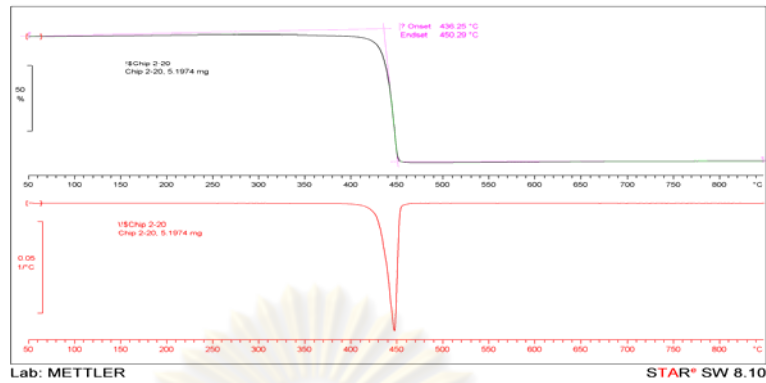
รูปที่ ค-7 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน / 1.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 2 wt%



รูปที่ ค-8 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน / 1.0BMMT
นาโนคอมพอสิต 4 wt%

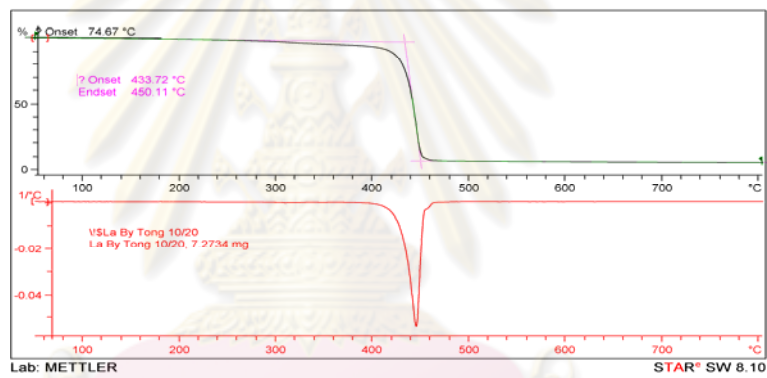


รูปที่ ค-9 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพร์ฟิซีน / 1.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 6 wt%



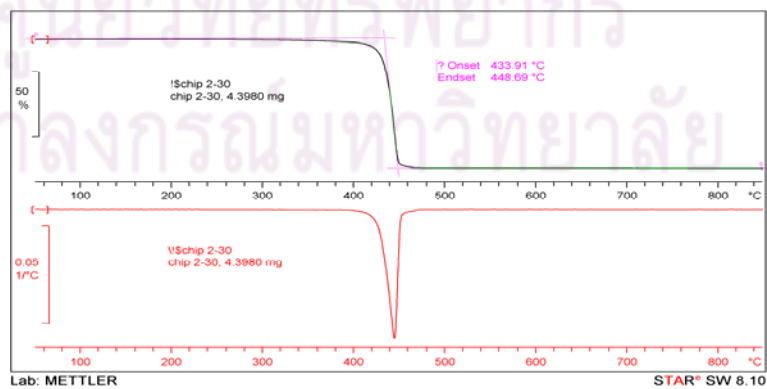
รูปที่ ค-10 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 1.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 8 wt%



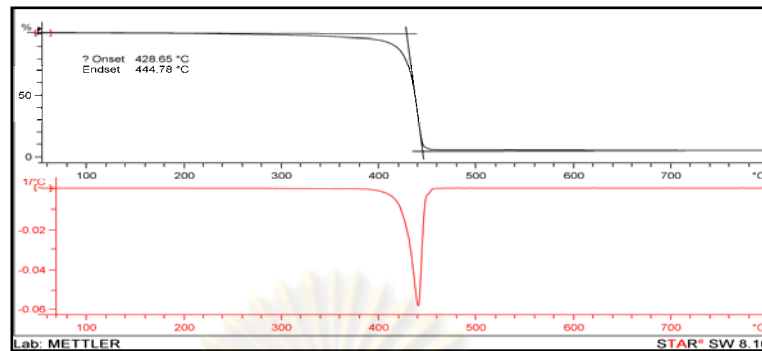
รูปที่ ค-11 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 1.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 10 wt%



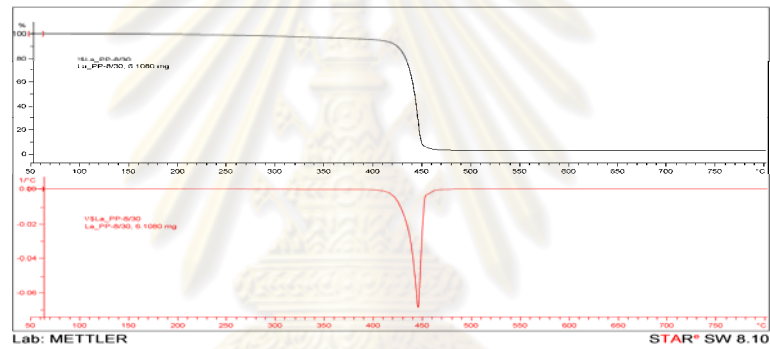
รูปที่ ค-12 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT

โนคอมพอสิต 2 wt%



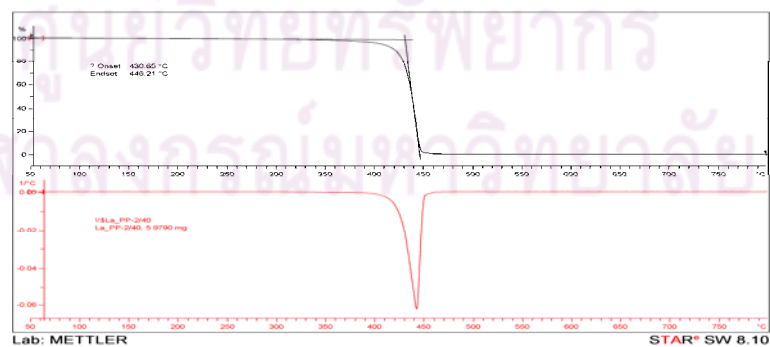
รูปที่ ค-13 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 4 wt %



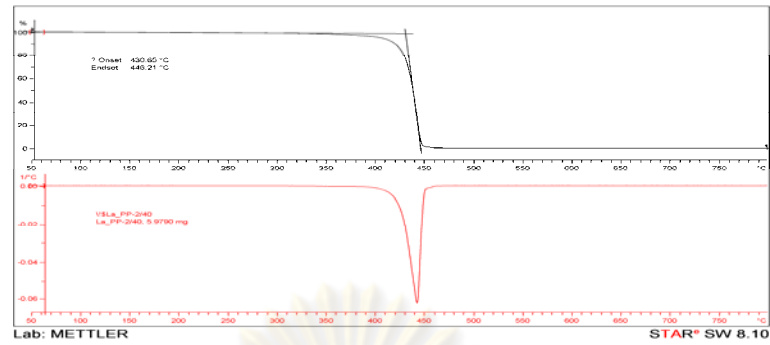
รูปที่ ค-14 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 6 wt %

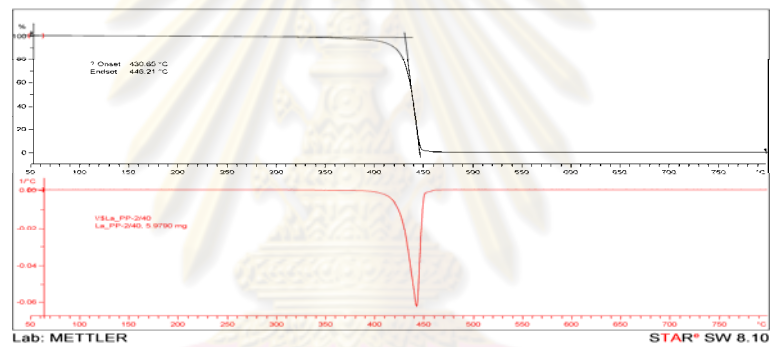


รูปที่ ค-15 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT

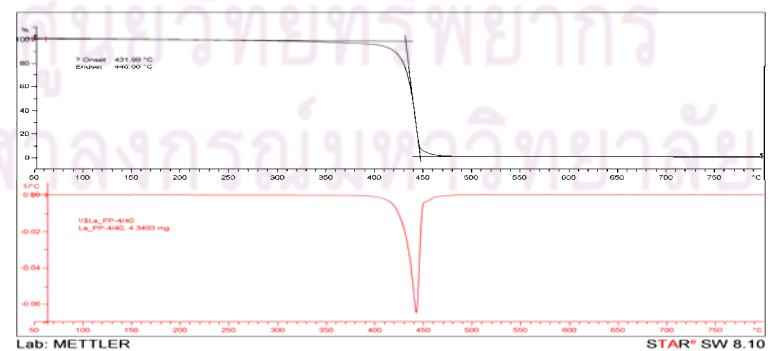
นาโนคอมพอสิต 8 wt %



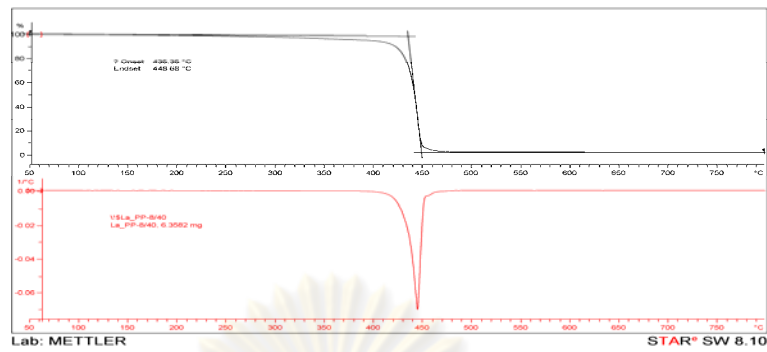
รูปที่ ค-16 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 10 wt %



รูปที่ ค-17 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 2 wt %

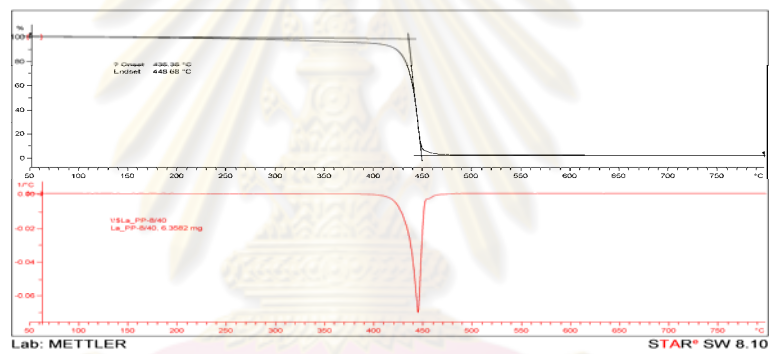


รูปที่ ค-18 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 4 wt %



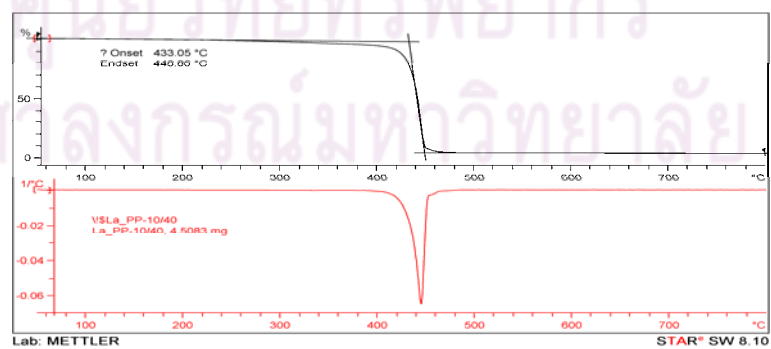
รูปที่ ค-19 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 2.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 6 wt %



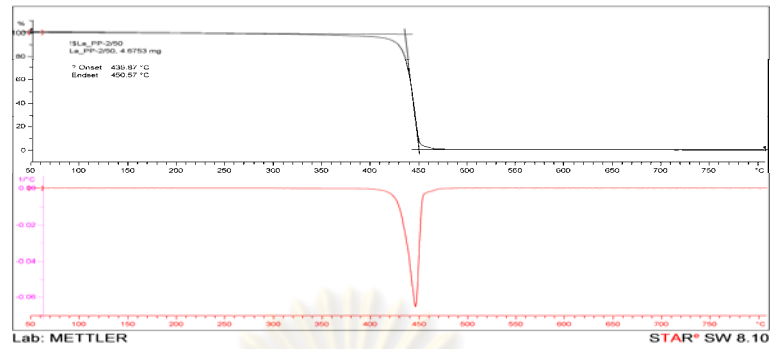
รูปที่ ค-20 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 2.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 8 wt %



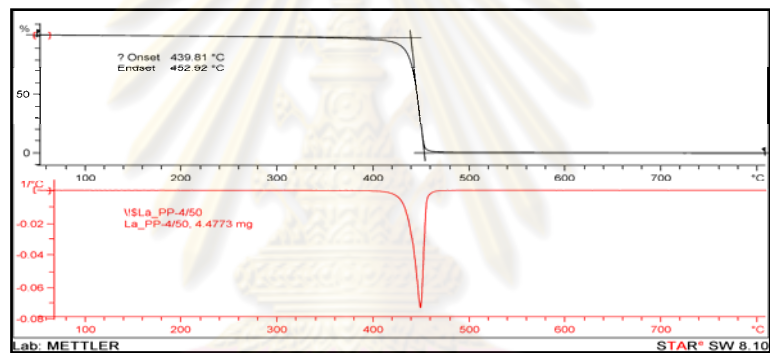
รูปที่ ค-21 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/ 2.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 10 wt %



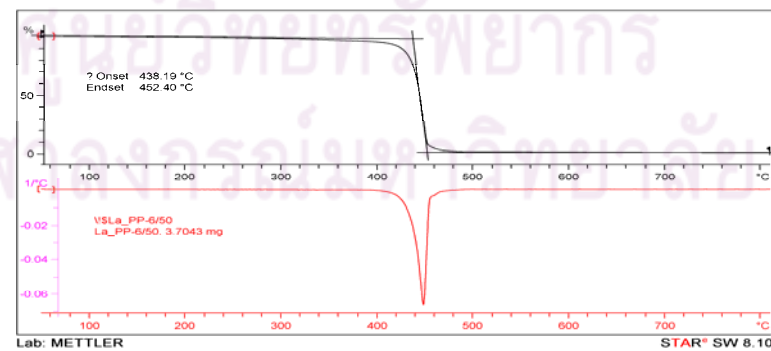
รูปที่ ค-22 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 2 wt %



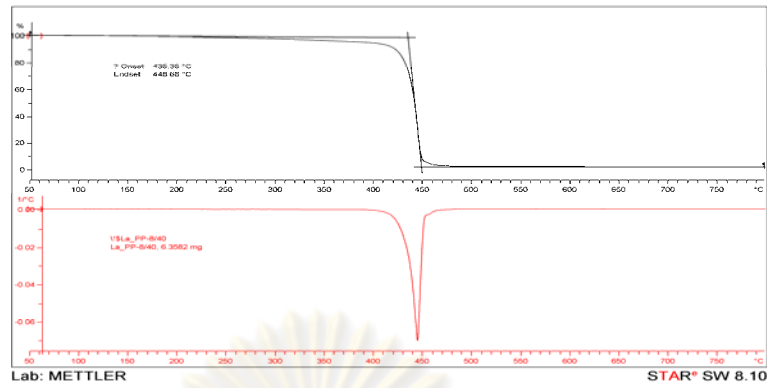
รูปที่ ค-23 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 4 wt %



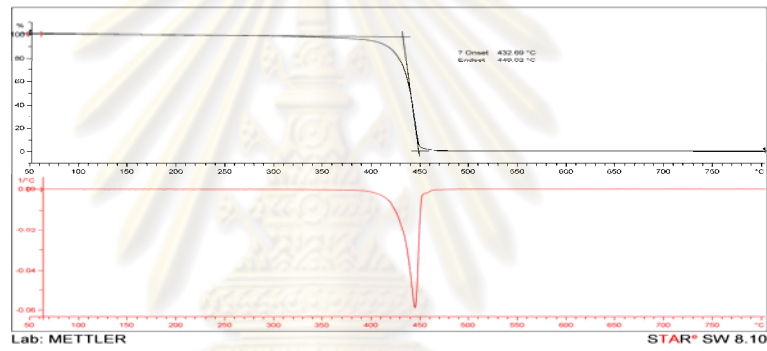
รูปที่ ค-24 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 6 wt %



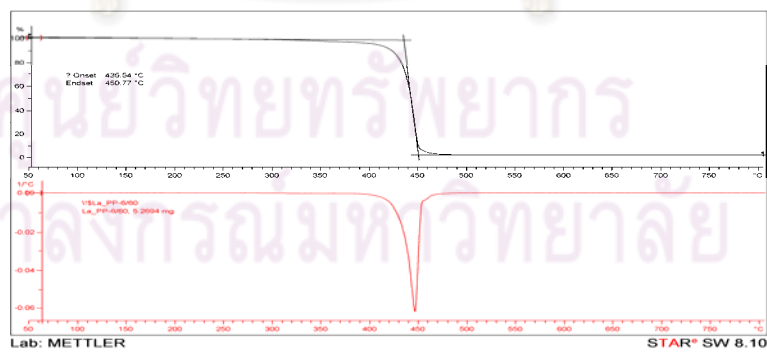
รูปที่ ค-25 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 8 wt %



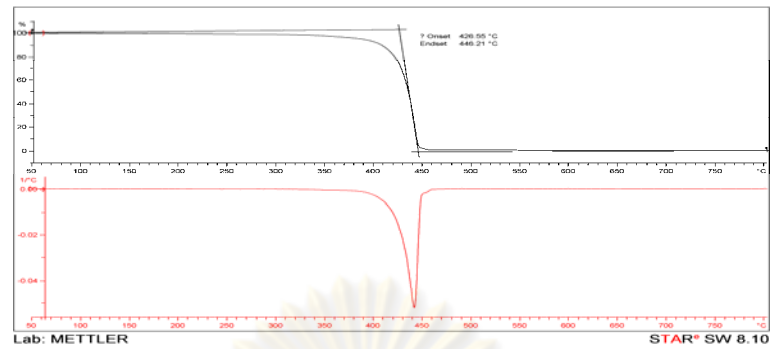
รูปที่ ค-26 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 10 wt %



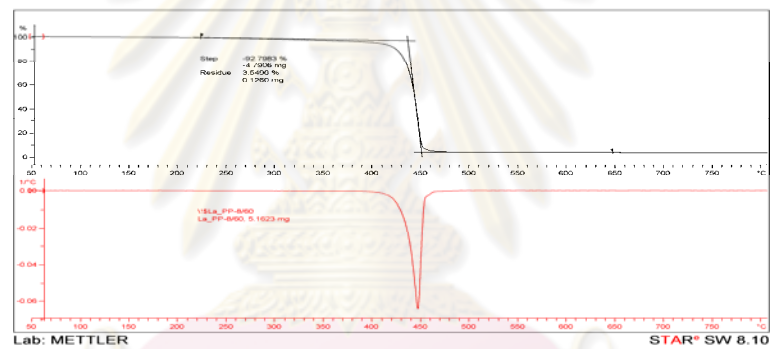
รูปที่ ค-27 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 2 wt %



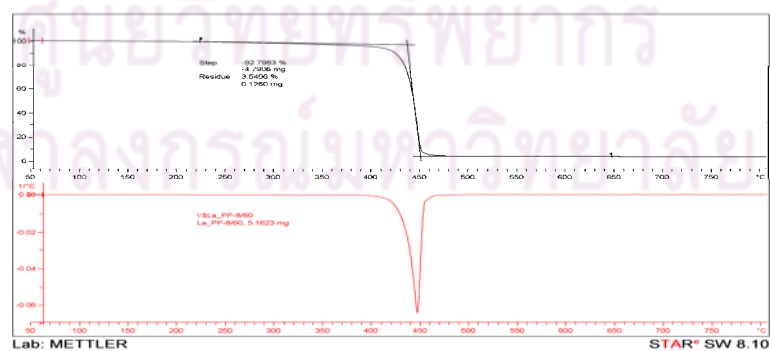
รูปที่ ค-28 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน /3.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 4 wt %



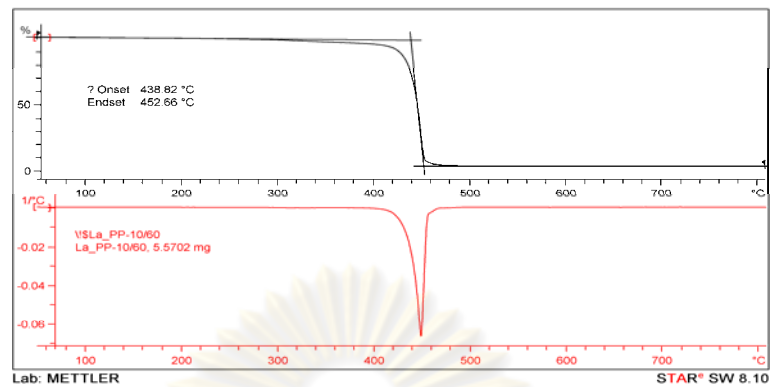
รูปที่ ค-29 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน /3.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 6 wt %

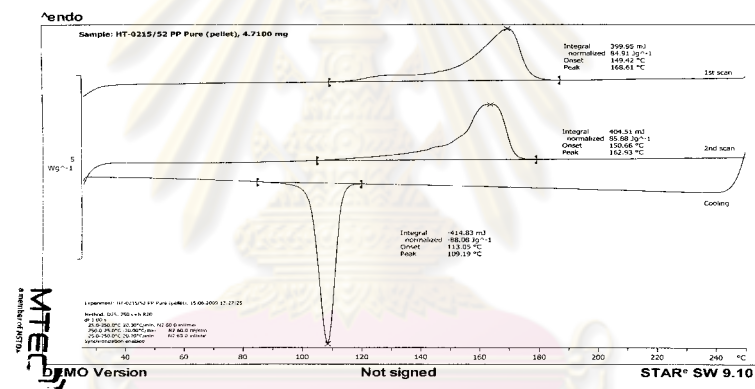


รูปที่ ค-30 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT

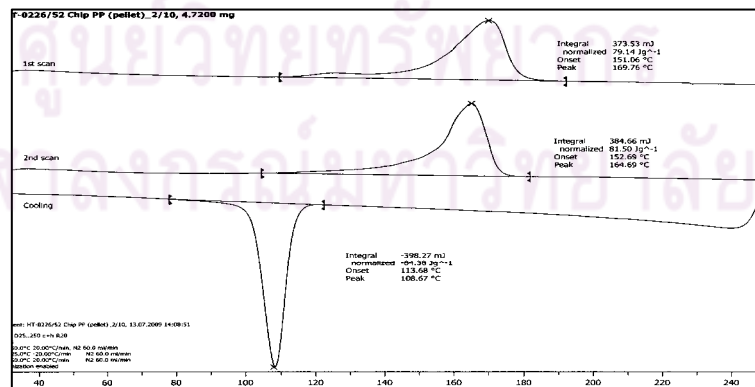
นาโนคอมพอสิต 8 wt %



รูปที่ ค-31 TG เทอร์โมแกรมของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 10 wt %

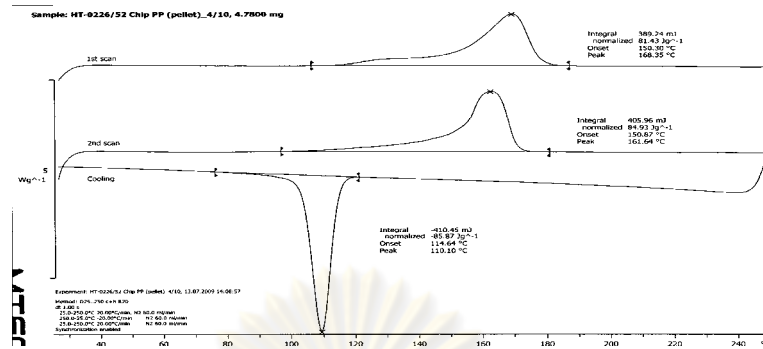


รูปที่ ค-32 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน

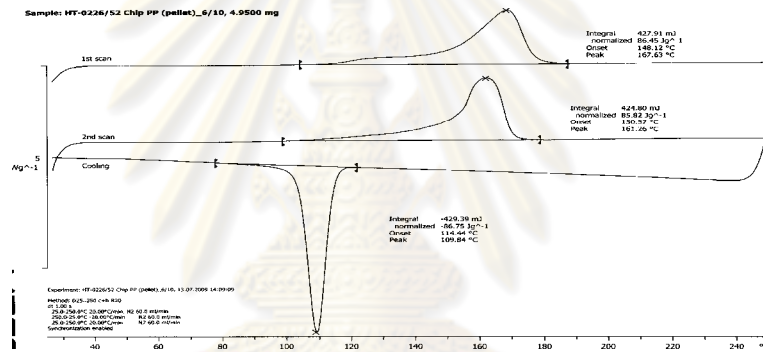


รูปที่ ค-33 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/ 0.5 BMMT

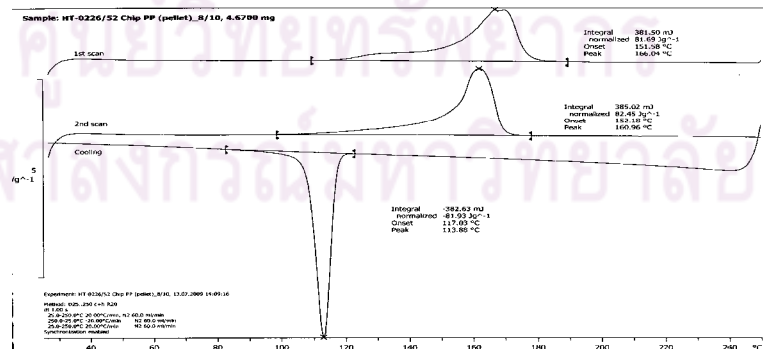
นาโนคอมพอสิต 2 wt %



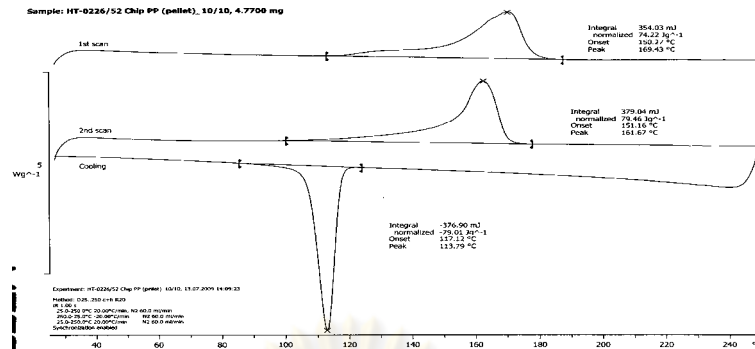
รูปที่ ค-34 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/ 0.5 BMNT
นาโนคอมพอสิต 4 wt %



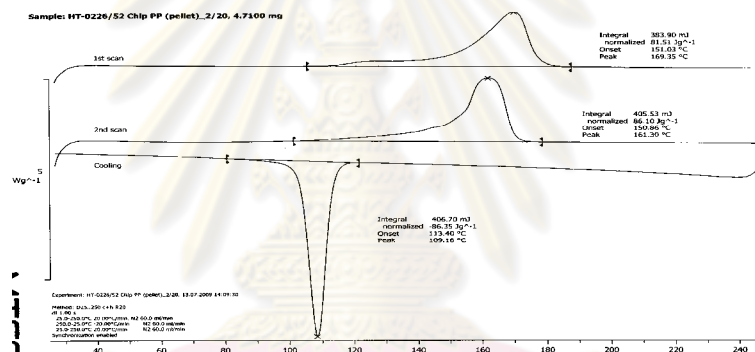
รูปที่ ค-35 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/ 0.5 BMNT
นาโนคอมพอสิต 6 wt %



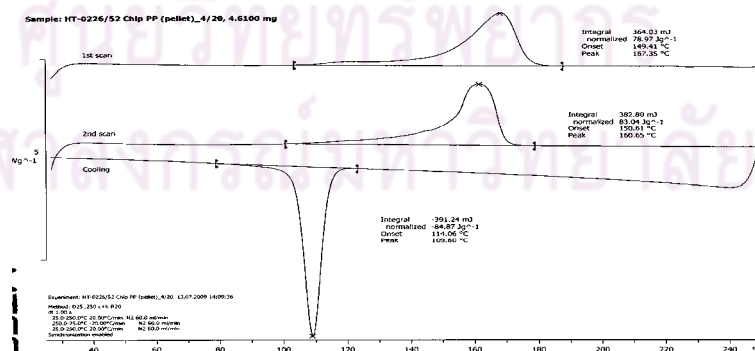
รูปที่ ค-36 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/ 0.5 BMNT
นาโนคอมพอสิต 8 wt %



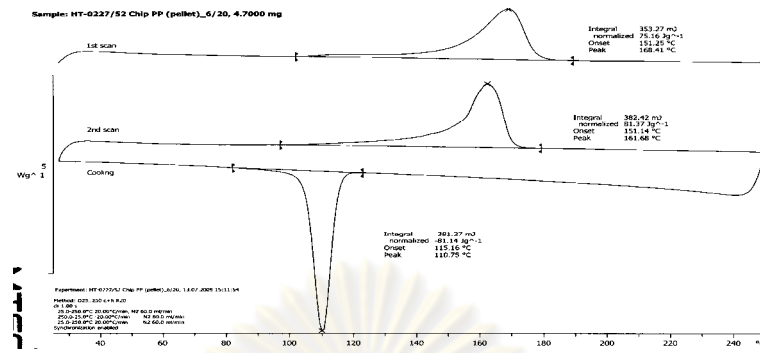
รูปที่ ค-37 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/0.5 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 10 wt %



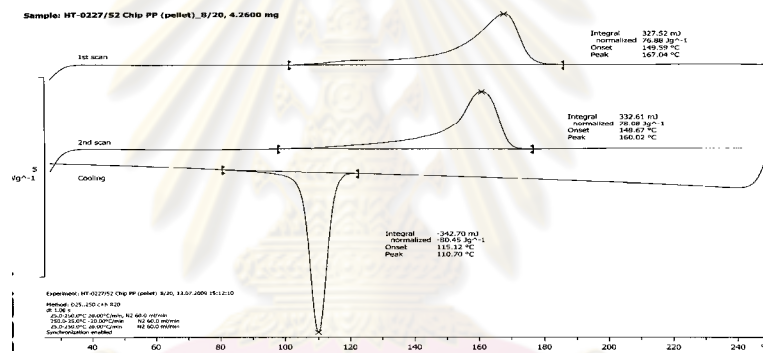
รูปที่ ค-38 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 2 wt %



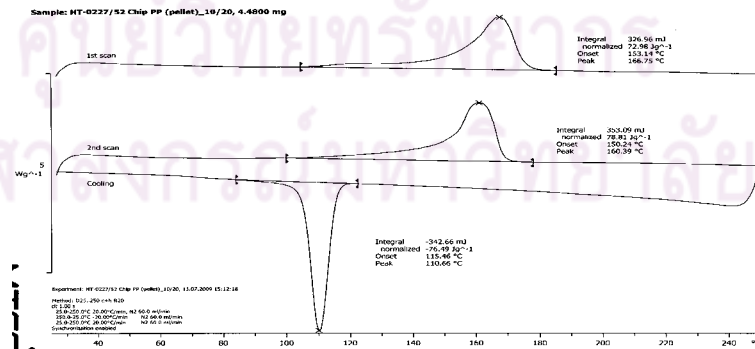
รูปที่ ค-39 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 4 wt %



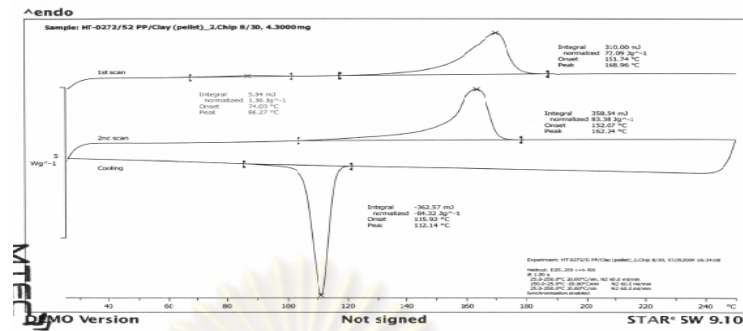
รูปที่ ค-40 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน /1.0 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 6 wt %



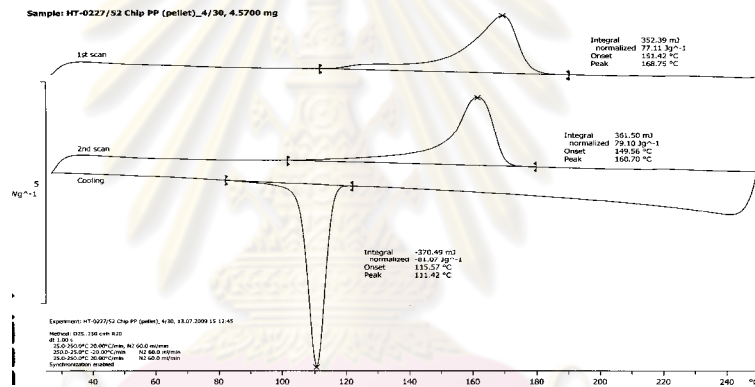
รูปที่ ค-41 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 8 wt %



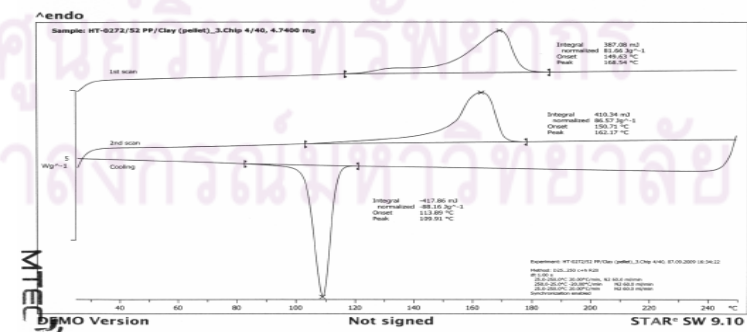
รูปที่ ค-42 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT
 นาโนคอมพอสิต 10 wt %



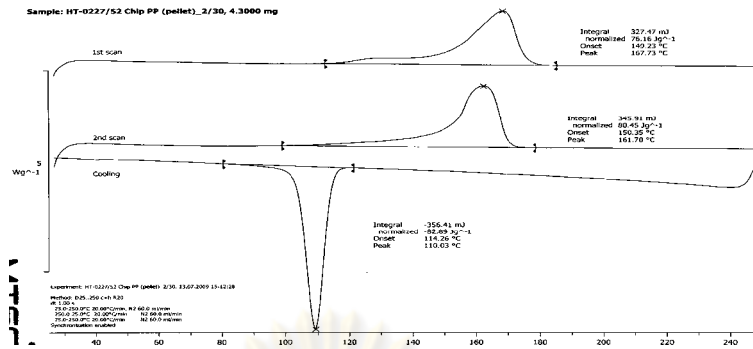
รูปที่ ค-43 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 2 wt %



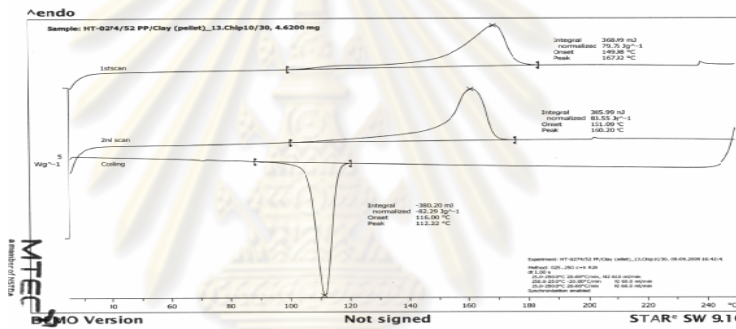
รูปที่ ค-44 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 4 wt %



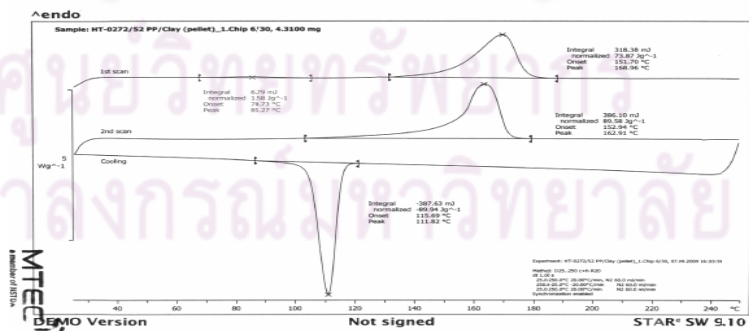
รูปที่ ค-45 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 6 wt %



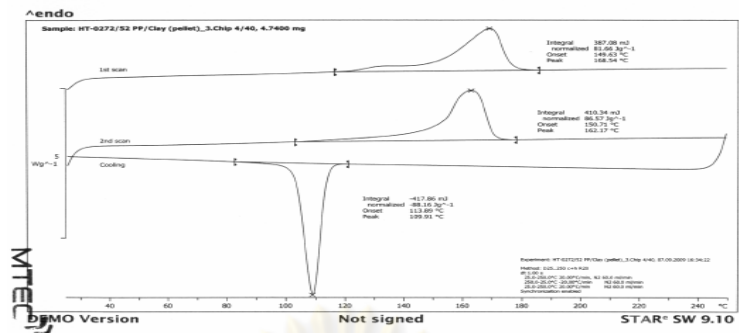
รูปที่ ค-46 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 8 wt %



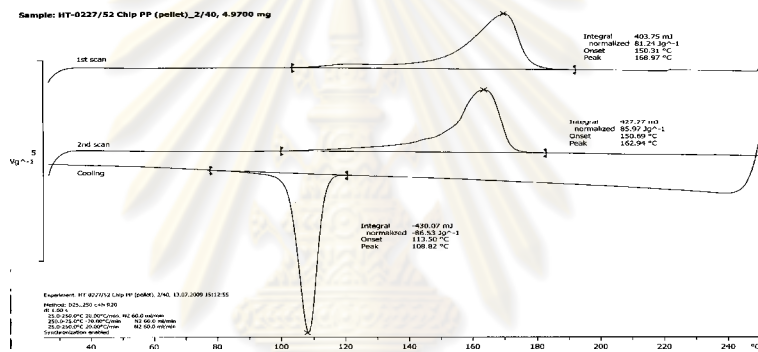
รูปที่ ค-47 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต 10 wt %



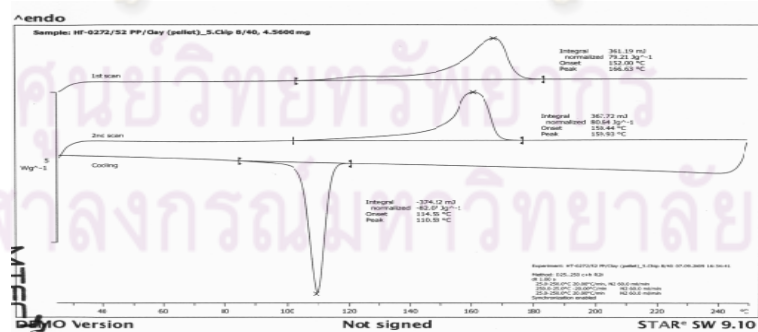
รูปที่ ค-48 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 2 wt %



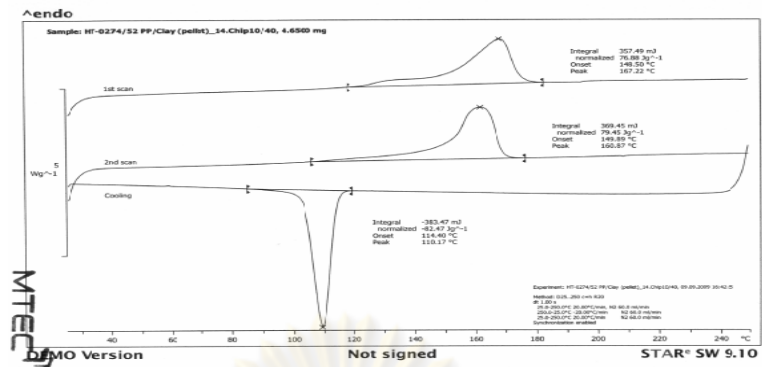
รูปที่ ค-49 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 4 wt %



รูปที่ ค-50 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 6 wt %

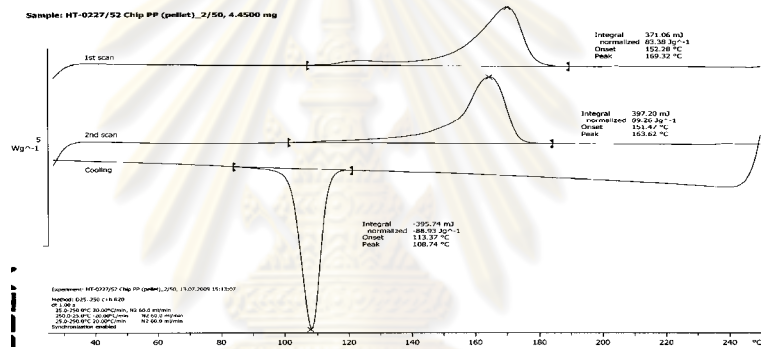


รูปที่ ค-51 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 8 wt %



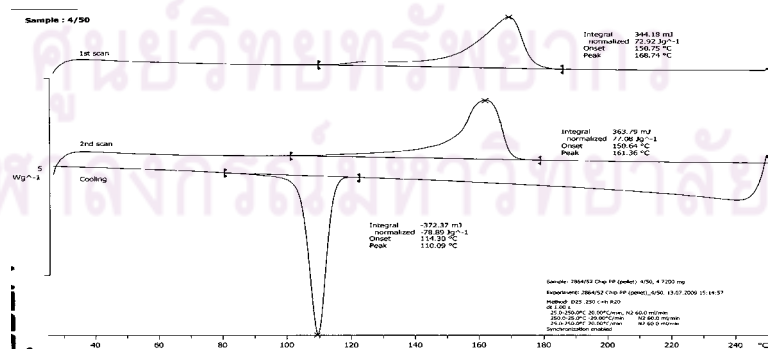
รูปที่ ค-52 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT

นาโนคอมพอสิต 10 wt %



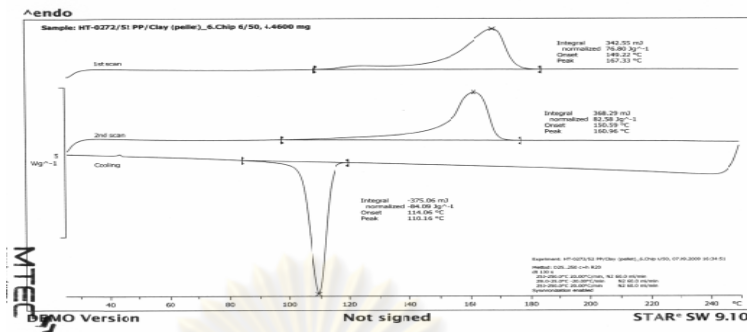
รูปที่ ค-53 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 2 wt %



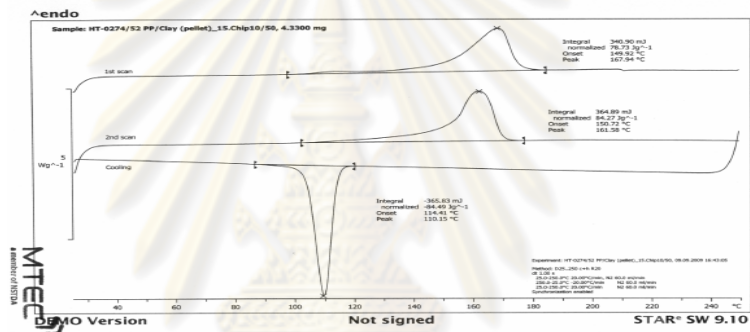
รูปที่ ค-54 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 4 wt %



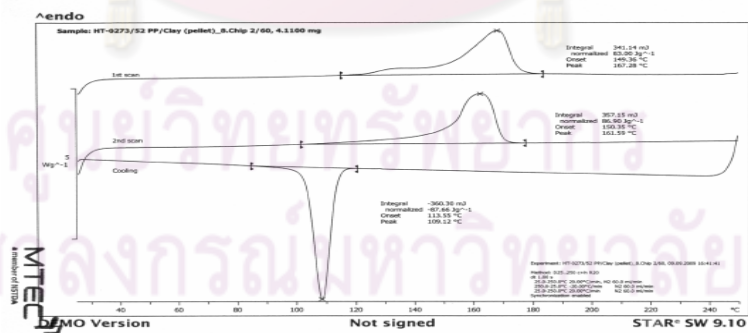
รูปที่ ค-55 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน /2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 6 wt %



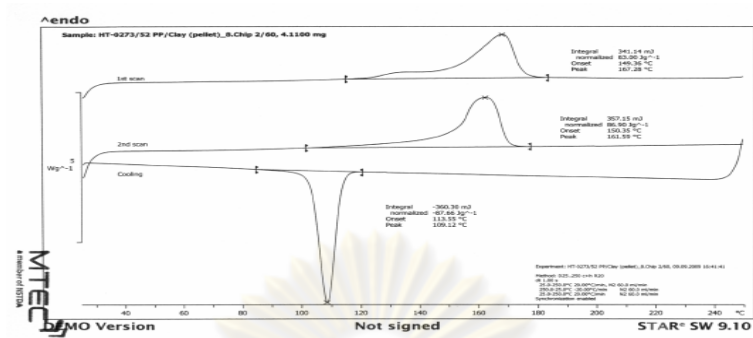
รูปที่ ค-56 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

นาโนคอมพอสิต 8 wt %

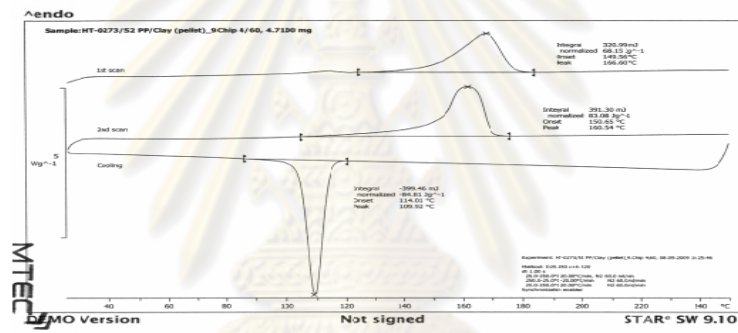


รูปที่ ค-57 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT

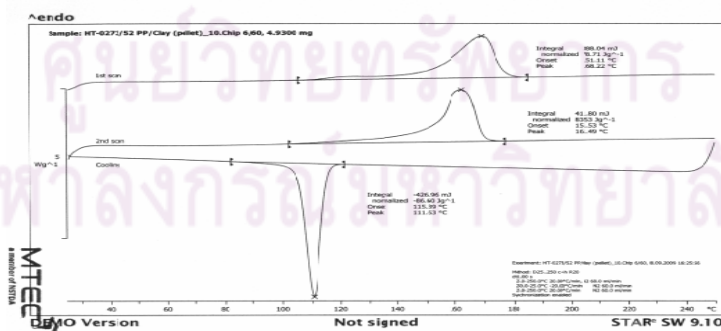
นาโนคอมพอสิต 10 wt %



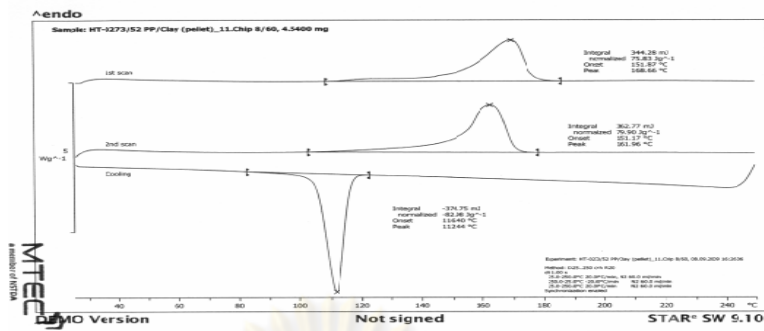
รูปที่ ค-58 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 2 wt %



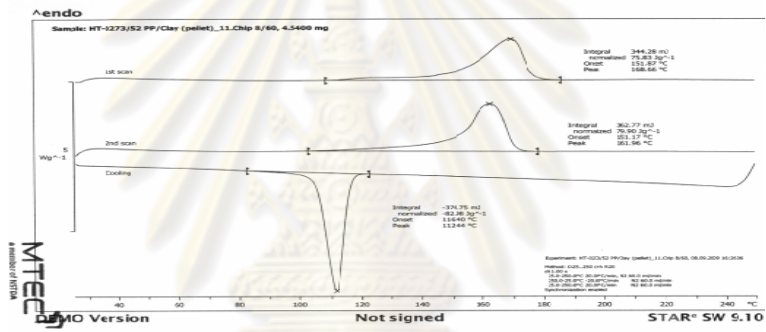
รูปที่ ค-59 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 4 wt %



รูปที่ ค-60 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/ 3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 6 wt%



รูปที่ ค-61 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 8 wt%



รูปที่ ค-62 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต 10 wt %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.2 การคำนวณหาค่าปริมาณความเป็นผลึกของ (Degree of crystallinity)

พอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\text{Enthalpy of fusion of the sample} \times 100}{\text{Enthalpy of fusion of completely crystalline PP}} \times \frac{1}{\text{weight fraction of PP}}$$

เมื่อ Enthalpy of fusion of completely crystalline PP ~ 209 J/g.

ตัวอย่าง พอลิโพรพิลีน /0.5 BMMTนาโนคอมพอสิต

$$\Delta H_m = 81.5 \text{ J/g.}$$

$$\text{Weight fraction of PP} = 98/100$$

$$\begin{aligned} \text{Degree of crystallinity} &= \frac{81.5}{209} \times 100 \times \frac{1}{(98/100)} \\ &= 39.79 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง. การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต

ตารางที่ ง-1 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน และ พอลิโพรพิลีน/0.5 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	MFI (g./10 min.)					
	PP pure	2%	4%	6%	8%	10%
1	39.08	41.92	44.65	47.36	51.49	53.55
2	40.41	42.20	47.37	48.99	52.15	65.66
3	36.51	41.82	45.68	48.52	54.20	52.78
4	38.63	40.87	46.24	48.02	50.64	54.26
5	32.08	44.90	44.06	47.75	51.48	60.39
6	40.22	33.88	41.37	48.61	52.07	54.20
7	36.71	41.68	46.34	47.22	52.01	66.74
8	34.85	42.55	43.36	49.29	51.16	54.20
9	39.08	41.92	45.91	49.22	51.91	53.17
10	37.40	43.36	44.26	49.45	51.40	66.50
เฉลี่ย	37.50	41.51	44.26	49.45	51.40	66.50
S.D	2.58	2.90	1.75	0.82	0.95	6.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMT นาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนของ
ออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	MFI (g./10 min.)				
	2%	4%	6%	8%	10%
1	39.13	42.20	46.46	46.66	45.53
2	38.53	45.32	44.92	46.13	47.84
3	34.84	36.89	45.20	47.24	51.35
4	35.39	44.78	42.52	45.89	50.50
5	32.80	41.32	45.10	43.22	50.44
6	35.30	42.11	42.33	42.91	51.08
7	37.85	40.57	39.51	39.37	48.23
8	32.80	42.52	41.93	50.27	49.54
9	36.86	42.46	42.33	37.89	42.83
10	39.12	46.16	41.93	35.61	52.91
เฉลี่ย	36.26	42.43	43.22	43.52	49.00
S.D	2.1	2.65	2.11	4.64	4.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

	2%	4%	6%	8%	10%
1	37.88	42.66	40.29	38.85	45.90
2	40.71	42.22	37.02	38.89	42.28
3	36.51	43.90	0.36	37.30	42.17
4	39.63	39.11	39.49	36.05	46.42
5	30.08	43.00	41.25	38.54	42.17
6	40.42	50.53	39.62	33.42	45.19
7	34.81	44.21	38.99	32.66	44.39
8	40.85	41.50	38.75	33.03	41.71
9	38.08	45.05	42.14	34.29	40.68
10	40.43	38.62	44.86	35.14	41.72
เฉลี่ย	37.94	42.98	40.28	35.81	43.26
S.D	3.41	3.37	2.14	2.47	2.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-4 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนของ
ออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	MFI (g./10 min.)				
	2%	4%	6%	8%	10%
1	46.64	42.20	46.46	46.66	45.43
2	52.74	45.35	44.92	46.13	47.84
3	48.03	36.89	45.20	47.29	51.35
4	49.8	44.78	42.52	45.89	50.50
5	43.33	41.32	45.10	43.22	50.44
6	42.67	42.11	42.33	42.91	51.08
7	44.6	40.57	39.51	39.37	48.23
8	46.54	42.52	41.93	50.27	49.54
9	42.38	42.46	42.33	37.89	42.83
10	48.15	46.16	46.16	35.61	52.91
เฉลี่ย	46.09	42.43	43.22	43.52	49.02
S.D	3.41	3.37	5.11	3.05	2.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-5 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนออร์กาโนเคลย์ต่าง

Sample	MFI (g./10 min.)				
	2%	4%	6%	8%	10%
1	39.13	42.20	46.46	46.66	45.53
2	38.53	45.32	44.92	46.13	47.84
3	34.84	36.89	45.20	47.24	51.35
4	35.39	44.78	42.52	45.89	50.50
5	32.80	41.32	45.10	43.22	50.44
6	35.30	42.11	42.33	42.91	51.08
7	37.85	40.57	39.51	39.37	48.23
8	32.80	42.52	41.93	50.27	49.54
9	36.86	42.46	42.33	37.89	42.83
10	39.12	46.16	41.93	35.61	52.91
เฉลี่ย	36.26	42.43	43.22	43.52	49.00
S.D	2.1	2.65	2.11	4.64	4.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-6 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMTนาโนคอมพอสิต ที่สัดส่วนของ
ออร์กาโนเคลย์ต่าง

Sample	MFI (g./10 min.)				
	2%	4%	6%	8%	10%
1	44.00	41.47	43.15	46.09	61.13
2	42.41	43.84	42.42	44.41	53.53
3	36.09	39.45	39.05	46.47	47.15
4	43.33	39.52	44.62	43.35	46.91
5	43.88	41.63	45.03	48.68	48.73
6	44.72	35.48	57.36	47.70	54.29
7	43.51	45.76	39.05	46.84	48.25
8	41.15	46.13	37.70	46.46	51.31
9	41.11	44.61	45.55	51.37	53.84
10	35.75	46.42	36.57	45.58	53.90
เฉลี่ย	41.60	42.43	43.85	46.79	51.90
S.D	3.21	3.57	5.97	2.23	4.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ. การศึกษาสมบัติปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต

ตารางที่ จ-1 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/0.5 BMMTนาโนคอมพอสิต
ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	2.0230	0.0291	98.5615
	2	2.0153	0.0326	98.3824
	3	2.0976	0.0342	98.3696
	4	2.0236	0.0314	98.4483
	5	2.1029	0.0344	98.3642
	6	2.2096	0.0308	98.6074
	7	2.0006	0.0275	98.6254
	8	2.0104	0.0320	98.4083
	9	2.2134	0.0348	98.4278
	10	2.1886	0.0281	98.7161
	average	2.0885	0.0315	98.49
	S.D.	0.0871	0.0026	0.1259
			% residue	1.51
			% residue ตามทฤษฎี	1.5366

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
4%	1	2.0230	0.0291	98.5615
	2	2.0153	0.0326	98.3824
	3	2.0976	0.0342	98.3696
	4	2.0236	0.0314	98.4483
	5	2.1029	0.0344	98.3642
	6	2.2096	0.0308	98.6074
	7	2.0006	0.0275	98.6254
	8	2.0104	0.0320	98.4083
	9	2.2134	0.0348	98.4278
	10	2.1886	0.0281	98.7161
	Average	2.0885	0.0315	98.49
	S.D.	0.0871	0.0026	0.1259
		% residue	2.41	
		% residue ตามทฤษฎี	3.0732	
6%	1	2.1472	0.0799	96.2789
	2	2.1749	0.0791	96.3631
	3	2.0433	0.0792	96.1239
	4	2.0960	0.0772	96.3168
	5	2.1173	0.0754	96.4389
	6	2.2096	0.0788	96.4337
	7	2.2357	0.0819	96.3367
	8	2.2330	0.0619	97.2279
	9	2.2150	0.0759	96.5734
	10	2.0102	0.0766	96.1894
	Average	2.1482	0.0766	96.43
	S.D.	0.0799	0.0055	0.3087
		% residue	3.57	
		% residue ตามทฤษฎี	4.6098	

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
8%	1	2.1794	0.1115	94.8839
	2	2.0763	0.1506	92.7467
	3	2.0693	0.1070	94.8292
	4	2.0415	0.1044	94.8861
	5	2.0806	0.1107	94.6794
	6	2.1453	0.0855	96.0145
	7	2.0183	0.1012	94.9859
	8	2.2097	0.1155	94.7730
	9	2.1783	0.1111	94.8997
	10	2.1302	0.1110	94.7892
	average	2.1129	0.1109	94.75
	S.D.	0.0648	0.0163	0.7986
			% residue	5.25
			% residue ตามทฤษฎี	6.1464
10%	1	2.0532	0.1411	93.1278
	2	2.1104	0.1459	93.0866
	3	2.1616	0.1412	93.4678
	4	2.1236	0.1442	93.2096
	5	2.1422	0.1391	93.5067
	6	2.2044	0.1514	93.1319
	7	2.0206	0.1279	93.6702
	8	2.0991	0.1390	93.3781
	9	2.1658	0.1424	93.4251
	10	2.0340	0.1378	93.2252
	average	2.1115	0.1410	93.32
	S.D.	0.0606	0.0061	0.1948
			% residue	6.68
			% residue ตามทฤษฎี	7.683

ตารางที่ ๑-2 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/1.0 BMMTนาโนคอมพอสิต
ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่างๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	2.0253	0.0263	98.7014
	2	2.2646	0.0294	98.7018
	3	2.0168	0.0300	98.5125
	4	2.3215	0.0280	98.7939
	5	2.3398	0.0332	98.5811
	6	2.0643	0.0315	98.4741
	7	2.0533	0.0324	98.4221
	8	2.2443	0.0320	98.5742
	9	2.0684	0.0269	98.6995
	10	2.1382	0.0344	98.3912
	average	2.1537	0.0304	98.59
	S.D.	0.1265	0.0027	0.1357
			% residue	1.41
			% residue ตามทฤษฎี	1.45
4%	1	2.1379	0.0476	97.7735
	2	2.0583	0.0499	97.5757
	3	2.1589	0.0592	97.2579
	4	2.0431	0.0545	97.3325
	5	2.0853	0.0553	97.3481
	6	2.1304	0.0586	97.2493
	7	2.2082	0.0617	97.2059
	8	2.2171	0.0538	97.5734
	9	2.1860	0.0628	97.1272
	10	2.0985	0.0561	97.3267
	average	2.1324	0.0559	97.38
	S.D.	0.0609	0.0048	0.2008
			% residue	2.62
			% residue ตามทฤษฎี	2.90

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
6%	1	2.2273	0.0992	95.5462
	2	2.0747	0.0912	95.6042
	3	2.0798	0.0887	95.7352
	4	2.0313	0.0871	95.7121
	5	2.0823	0.0931	95.5290
	6	2.1456	0.0966	95.4978
	7	2.0544	0.0896	95.6386
	8	2.2641	0.0937	95.8615
	9	2.1353	0.0963	95.4901
	10	2.0147	0.0862	95.7214
	average	2.1110	0.0922	95.63
	S.D.	0.0821	0.0043	0.1223
		% residue	4.37	
		% residue ตามทฤษฎี	4.35	
8%	1	2.1841	0.1303	94.0342
	2	2.1299	0.1279	93.9950
	3	2.0032	0.1205	93.9846
	4	2.0724	0.1203	94.1951
	5	2.2121	0.1300	94.1232
	6	2.0414	0.1222	94.0139
	7	2.0335	0.1319	93.5136
	8	2.0414	0.1199	94.1266
	9	2.0449	0.1249	93.8921
	10	2.1304	0.1202	94.3579
	average	2.0893	0.1248	94.02
	S.D.	0.0705	0.0048	0.2215
		% residue	5.98	
		% residue ตามทฤษฎี	5.80	

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
10%	1	2.1841	0.1303	94.0342
	2	2.1299	0.1279	93.9950
	3	2.0032	0.1205	93.9846
	4	2.0724	0.1203	94.1951
	5	2.2121	0.1300	94.1232
	6	2.0414	0.1222	94.0139
	7	2.0335	0.1319	93.5136
	8	2.0414	0.1199	94.1266
	9	2.0449	0.1249	93.8921
	10	2.1304	0.1202	94.3579
	average	2.0893	0.1248	94.02
	S.D.	0.0705	0.0048	0.2215
		% residue	5.98	
		% residue ตามทฤษฎี	7.247	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-3 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMTนาโนคอมพอสิต
ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่างๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	2.1819	0.0298	98.6342
	2	2.1083	0.0280	98.6719
	3	2.1308	0.0268	98.7423
	4	2.2795	0.0311	98.6357
	5	2.1053	0.0278	98.6795
	6	2.2385	0.0296	98.6777
	7	2.2490	0.0262	98.8350
	8	2.0303	0.0278	98.6307
	9	2.3325	0.0310	98.6710
	10	2.0405	0.0249	98.7797
	average	2.1697	0.0283	98.70
	S.D.	0.1029	0.0021	0.0683
				% residue
			% residue ตามทฤษฎี	1.395
4%	1	2.0276	0.0390	98.0765
	2	2.0126	0.0384	98.0920
	3	2.0171	0.0379	98.1211
	4	2.0912	0.0390	98.1350
	5	2.0079	0.0378	98.1174
	6	2.0835	0.0427	97.9506
	7	2.0460	0.0402	98.0352
	8	2.0012	0.0400	98.0012
	9	2.0534	0.0395	98.0764
	10	2.0007	2.0043	97.9957
	average	2.0341	0.2359	98.06
	S.D.	0.0332	0.6214	0.0618
				% residue
			% residue ตามทฤษฎี	4

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
6%	1	2.0198	0.0786	96.1085
	2	2.0237	0.0708	96.5015
	3	2.1530	0.0859	96.0102
	4	2.0562	0.0774	96.2358
	5	2.1019	0.0815	96.1226
	6	2.0629	0.0801	96.1171
	7	2.0383	0.0768	96.2322
	8	2.0170	0.0786	96.1031
	9	2.0857	0.0831	96.0157
	10	2.0295	0.0789	96.1123
	average	2.0631	0.0792	96.16
	S.D.	0.0438	0.0040	0.1422
			% residue	2.96
			% residue ตามทฤษฎี	4.185
8%	1	2.0198	0.0786	96.1085
	2	2.0237	0.0708	96.5015
	3	2.1530	0.0859	96.0102
	4	2.0562	0.0774	96.2358
	5	2.1019	0.0815	96.1226
	6	2.0629	0.0801	96.1171
	7	2.0383	0.0768	96.2322
	8	2.0170	0.0786	96.1031
	9	2.0857	0.0831	96.0157
	10	2.0295	0.0789	96.1123
	average	2.0588	0.0792	96.16
	S.D.	0.0438	0.0040	0.1422
			% residue	4.44
			% residue ตามทฤษฎี	5.58

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
10%	1	2.0473	0.0878	95.7114
	2	2.0444	0.0888	95.6564
	3	2.1305	0.0917	95.6958
	4	2.0844	0.0900	95.6822
	5	2.0853	0.0911	95.6313
	6	1.6723	0.0911	94.5524
	7	2.0462	0.0881	95.6945
	8	2.0664	0.0909	95.6010
	9	2.0959	0.0909	95.6630
	10	2.0750	0.0884	95.7398
	average	2.0348	0.0899	95.56
	S.D.	0.1301	0.0015	0.3572
		% residue	4.44	
		% residue ตามทฤษฎี	6.975	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-4 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMTนาโนคอมพอสิต
ที่สัดส่วนของออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	2.1007	0.0293	98.6052
	2	2.1052	0.0307	98.5417
	3	2.0519	0.0265	98.7085
	4	2.0245	0.0057	99.7184
	5	2.1280	0.0266	98.7500
	6	2.0263	0.0270	98.6675
	7	2.0145	0.0258	98.7193
	8	2.0688	0.0263	98.7287
	9	2.0366	0.0263	98.7086
	10	2.0248	0.0242	98.8048
	average	2.0581	0.0248	98.80
	S.D.	0.0404	0.0070	0.3327
			% residue	1.2
			% residue ตามทฤษฎี	1.3784
4%	1	2.1590	0.0386	98.2121
	2	2.1409	0.0394	98.1597
	3	2.0786	0.0305	98.5327
	4	2.0491	0.0371	98.1894
	5	2.1659	0.0400	98.1532
	6	2.0243	0.0370	98.1722
	7	2.0396	0.0372	98.1761
	8	2.0530	0.0370	98.1978
	9	2.0392	0.0371	98.1807
	10	2.0133	0.0362	98.2020
	Average	2.0763	0.0370	98.22
	S.D.	0.0575	0.0026	0.1122
			% residue	1.78
			% residue ตามทฤษฎี	2.7568

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
6%	1	2.0654	0.0606	97.0659
	2	2.0494	0.0592	97.1113
	3	2.0008	0.0577	97.1162
	4	2.0207	0.0586	97.1000
	5	2.0473	0.0417	97.9632
	6	2.0463	0.0583	97.1510
	7	2.1111	0.0595	97.1816
	8	2.0555	0.0591	97.1248
	9	2.0237	0.0587	97.0994
	10	2.0003	0.0581	97.0954
	average	2.0421	0.0572	97.20
	S.D.	0.0331	0.0055	0.2697
		% residue	2.8	
		% residue ตามทฤษฎี	34.53	
8%	1	0.1987	0.0842	95.9186
	2	0.2204	0.0840	95.8856
	3	0.2287	0.0826	95.8940
	4	0.2380	0.0850	95.9537
	5	0.2275	0.0867	95.8908
	6	0.2373	0.0827	95.9110
	7	0.1649	0.0869	95.9058
	8	0.2015	0.0839	95.8774
	9	0.1785	0.0837	95.8503
	10	0.2521	0.0826	95.9178
	average	0.2148	0.0842	95.90
	S.D.	0.0280	0.0016	0.0279
		% residue	4.1	
		% residue ตามทฤษฎี	5.5136	

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
10%	1	2.0552	0.0998	95.1440
	2	2.0073	0.1006	94.9883
	3	2.1026	0.1022	95.1394
	4	1.9969	0.0961	95.1875
	5	2.0751	0.0988	95.2388
	6	2.0993	0.1005	95.2127
	7	2.0047	0.0929	95.3659
	8	2.1623	0.1056	95.1163
	9	2.1013	0.1012	95.1839
	10	2.0011	0.0954	95.2326
	average	2.0606	0.0993	95.18
	S.D.	0.0568	0.0037	0.0976
			% residue	4.82
			% residue ตามทฤษฎี	6.892

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-5 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/ 2.5 BMMTนาโนคอมพอสิต
ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	0.6930	0.0239	98.8969
	2	2.0779	0.0234	98.8739
	3	2.0893	0.0239	98.8561
	4	2.0695	0.0224	98.9176
	5	2.1740	0.0251	98.8454
	6	2.0035	0.0223	98.8869
	7	2.0779	0.0223	98.9268
	8	2.0377	0.0205	98.9940
	9	2.0244	0.0203	98.9972
	10	2.0565	0.0230	98.8816
	average	1.9304	0.0227	98.91
	S.D.	0.4372	0.0015	0.0525
			% residue	1.09
			% residue ตามทฤษฎี	1.3718
4%	1	2.1036	0.0494	97.6516
	2	2.0285	0.0498	97.5450
	3	2.0325	0.0503	97.5252
	4	2.0994	0.0510	97.5707
	5	2.0288	0.0489	97.5897
	6	2.0432	0.0314	98.4632
	7	2.0964	0.0507	97.5816
	8	2.0864	0.0503	97.5891
	9	2.2458	0.0525	97.6623
	10	2.0625	0.0510	97.5273
	average	2.0827	0.0485	97.67
	S.D.	0.0649	0.0061	0.2823
			% residue	2.33
			% residue ตามทฤษฎี	2.7436

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
6%	1	2.0239	0.0556	97.2513
	2	2.0400	0.0568	97.2157
	3	2.0807	0.0551	97.3519
	4	2.0992	0.0581	97.2323
	5	2.0803	0.0548	97.3658
	6	2.3952	0.0648	97.2946
	7	2.0709	0.0628	96.9675
	8	1.9965	0.0462	97.6860
	9	2.0959	0.0566	97.2995
	10	2.0671	0.0600	97.0974
	average	2.0950	0.0571	97.28
	S.D.	0.1104	0.0051	0.1874
		% residue	2.72	
		% residue ตามทฤษฎี	4.1154	
8%	1	2.0501	0.0838	95.9124
	2	2.0520	0.0871	95.7554
	3	2.1310	0.0916	95.7015
	4	2.1609	0.0921	95.7379
	5	2.0925	0.0879	95.7993
	6	2.0130	0.0808	95.9861
	7	2.0731	0.0884	95.7359
	8	1.9997	0.0811	95.9444
	9	1.9848	0.0864	95.6469
	10	2.0103	0.0853	95.7569
	average	2.0567	0.0864	95.80
	S.D.	0.0582	0.0039	0.1121
		% residue	4.2	
		% residue ตามทฤษฎี	5.4872	

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
10%	1	2.0113	0.0876	95.6446
	2	2.0122	0.0863	95.7112
	3	2.0740	0.0890	95.7088
	4	2.0449	0.0883	95.6819
	5	2.0646	0.0888	95.6989
	6	2.0540	0.0894	95.6475
	7	2.0275	0.0891	95.6054
	8	2.1215	0.0986	95.3523
	9	2.0902	0.1020	95.1201
	10	2.0121	0.0912	95.4674
	average	2.0512	0.0910	95.56
	S.D.	0.0371	0.0051	0.1947
		% residue	4.44	
		% residue ตามทฤษฎี	6.859	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-6 แสดงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMTนาโนคอมพอสิต
ที่ปริมาณออร์กาโนเคลย์ต่าง ๆ

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
2%	1	2.0129	0.0180	99.1058
	2	2.1266	0.0126	99.4075
	3	2.1096	0.0098	99.5355
	4	2.0771	0.0211	98.9842
	5	2.0772	0.0241	98.8398
	6	2.0827	0.0235	98.8717
	7	1.9935	0.0219	98.9014
	8	2.0087	0.0229	98.8600
	9	2.0048	0.0182	99.0922
	10	2.0199	0.0129	99.3614
	average	2.0513	0.0185	99.10
	S.D.	0.0485	0.0051	0.2545
			% residue	0.9
			% residue ตามทฤษฎี	1.3388
4%	1	2.0915	0.0403	98.0732
	2	2.0033	0.0395	98.0283
	3	2.0750	0.0378	98.1783
	4	2.0314	0.0287	98.5872
	5	2.0506	0.0391	98.0932
	6	2.0549	0.0380	98.1508
	7	2.1043	0.0380	98.1942
	8	1.9843	0.0325	98.3621
	9	2.0097	0.0351	98.2535
	10	2.0733	0.0399	98.0755
	average	2.0478	0.0369	98.20
	S.D.	0.0398	0.0037	0.1681
			% residue	1.8
			% residue ตามทฤษฎี	2.6776

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
6%	1	2.0573	0.0554	97.3072
	2	2.0561	0.0561	97.2715
	3	2.1029	0.0602	97.1373
	4	2.0194	0.0525	97.4002
	5	2.1363	0.0585	97.2616
	6	2.0238	0.0542	97.3219
	7	2.0378	0.0534	97.3795
	8	2.0253	0.0573	97.1708
	9	2.0084	0.0561	97.2067
	10	2.0973	0.0609	97.0963
	average	2.0565	0.0565	97.26
	S.D.	0.0425	0.0028	0.1014
		% residue	2.74	
		% residue ตามทฤษฎี	4.0164	
8%	1	2.0513	0.0833	95.9392
	2	2.0721	0.0856	95.8689
	3	2.1506	0.0881	95.9035
	4	2.0947	0.0796	96.1999
	5	1.9997	0.0811	95.9444
	6	2.0208	0.0812	95.9818
	7	1.9889	0.0895	95.5000
	8	2.0015	0.0828	95.8631
	9	2.0292	0.0867	95.7274
	10	2.0231	0.0829	95.9023
	average	2.0432	0.0841	95.88
	S.D.	0.0503	0.0033	0.1793
		% residue	4.12	
		% residue ตามทฤษฎี	5.3552	

Sample	น.น.สารก่อนเผา(g)	น.น.สารหลังเผา(g)	% weight loss	
10%	1	2.0091	0.0942	95.3113
	2	2.0301	0.0943	95.3549
	3	2.0145	0.0947	95.2991
	4	2.2211	0.0997	95.5112
	5	2.0676	0.0890	95.6955
	6	2.0515	0.0956	95.3400
	7	2.0007	0.0933	95.3366
	8	2.0104	0.0907	95.4885
	9	2.0567	0.0916	95.5463
	10	2.0034	0.0932	95.3479
	average	2.0465	0.0936	95.42
	S.D.	0.0658	0.0029	0.1308
		% residue	4.58	
		% residue ตามทฤษฎี	6.694	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ภาคผนวก ฉ. การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต

ภาคผนวก ฉ.1 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/BMMTนาโนคอมพอสิต

ภาคผนวก ฉ.-1 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน

	Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity
PP	1	2.7	82.38
	2	2.85	91.98
	3	2.55	73.48
	4	2.48	69.50
	5	3.13	110.7
	average	2.74	85.61
	S.D.	0.26	16.49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.-2 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/0.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต

	Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity
2%	1	2.16	52.7
	2	2.03	46.57
	3	2.5	70.63
	4	2.32	60.82
	5	2.5	70.63
	average	2.30	60.27
	S.D.	0.21	10.72
4%	1	2.32	60.82
	2	2.7	82.38
	3	2.32	60.82
	4	2.7	82.38
	5	2.7	82.38
	average	2.55	73.76
	S.D.	0.21	11.81
6%	1	2.5	70.63
	2	2.37	63.47
	3	2.74	84.84
	4	2.53	72.33
	5	2.5	70.63
	average	2.53	72.38
	S.D.	0.69	19.66

ภาคผนวก จ.-3 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/1.0BMMT
นาโนคอมพอสิต

Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity	
2%	1	2.18	53.70
	2	2.55	77.48
	3	2.99	95.96
	4	2.48	69.50
	5	2.77	86.70
	Average	2.59	76.67
	S.D.	0.31	16.22
4%	1	2.48	69.5
	2	3.55	142.41
	3	2.62	77.57
	4	3.29	122.31
	5	2.16	52.72
	Average	2.82	92.90
	S.D.	0.80	32.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.-4 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต

	Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity
2%	1	2.54	72.90
	2	2.50	70.63
	3	2.62	77.57
	4	2.31	60.30
	5	2.50	70.63
	Average	2.49	70.41
	S.D.	0.11	6.32
4%	1	2.55	73.48
	2	2.32	60.82
	3	2.52	71.76
	4	2.55	73.61
	5	2.85	91.78
	Average	2.56	74.29
	S.D.	0.71	20.61
6%	1	2.50	70.63
	2	2.53	72.33
	3	2.85	91.78
	4	3.76	159.75
	5	2.80	89.08
	Average	2.89	96.71
	S.D.	0.77	29.85
8%	1	2.85	91.78
	2	2.62	77.57
	3	2.93	97.01
	4	2.85	91.78
	5	2.88	93.73
	Average	2.83	90.37
	S.D.	0.76	28.33

ภาคผนวก จ.-5 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/2.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต

Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity	
2%	1	2.20	54.69
	2	2.17	53.21
	3	1.68	31.89
	4	2.12	50.79
	5	1.68	31.89
	Average	1.97	44.49
	S.D.	0.27	11.59
4%	1	2.16	52.72
	2	2.11	50.31
	3	2.08	48.89
	4	2.02	46.11
	5	1.58	28.21
	Average	1.99	45.25
	S.D.		13.27
6%	1	2.67	80.59
	2	2.84	91.14
	3	2.61	76.98
	4	2.62	77.57
	5	2.85	91.78
	Average	2.72	83.61
	S.D.	0.12	7.30
8%	1	3.02	103.06
	2	2.55	73.48
	3	2.7	82.38
	4	2.62	77.57
	5	2.55	73.48
	Average	2.69	81.99
	S.D.	0.76	23.48

ภาคผนวก จ.-6 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT
นาโนคอมพอสิต

	Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity
4%	1	2.68	81.16
	2	2.70	82.38
	3	2.67	80.56
	4	2.42	66.18
	5	2.68	81.16
	average	2.63	78.29
	S.D.	0.12	6.80
6%	1	3.02	103.06
	2	2.55	73.48
	3	2.62	77.57
	4	2.48	69.50
	5	2.60	76.39
	average	2.65	80.00
	S.D.	0.74	22.73
8%	1	2.5	70.63
	2	2.67	80.56
	3	2.62	77.57
	4	2.62	77.57
	5	2.52	71.76
	average	2.59	75.62
	S.D.	0.71	21.50

ภาคผนวก จ.-7 การศึกษา dynamic modulus ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT
นาโนคอมพอสิต

	Sample	Sonic's velocity (km/sec)	Young's modulus of elasticity
2%	1	2.7	82.38
	2	2.5	70.63
	3	2.32	60.82
	4	2.5	70.63
	5	2.7	82.38
	Average	2.54	73.37
	S.D.	0.16	9.15
4%	1	2.16	52.72
	2	2.78	87.33
	3	2.55	73.61
	4	2.55	73.61
	5	2.55	73.61
	Average	2.52	72.18
	S.D.	0.70	20.60
6%	1	2.7	82.38
	2	2.84	91.14
	3	2.42	66.18
	4	2.08	44.89
	5	2.42	66.18
	Average	2.49	70.15
	S.D.	0.69	21.27
8%	1	2.38	64.01
	2	2.09	49.36
	3	2.49	70.06
	4	2.39	64.55
	5	2.17	53.21
	Average	2.30	60.24
	S.D.	0.67	20.43

ภาคผนวก จ. 2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง

Universal testing machine

ตาราง จ-8 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/0.5 BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	1.058	210.459	228.001	0.08
	2	1.235	245.65	263.333	0.08
	3	1.046	208.031	236.667	0.08
	4	1.087	216.335	223.334	0.08
	5	1.12	222.795	223.334	0.08
	เฉลี่ย	1.11	220.65	234.93	0.08
	S.D	0.08	15.09	16.78	0.00
4%	1	1.095	387.923	96.667	0.06
	2	1.019	360.44	96.667	0.06
	3	1.096	387.689	93.335	0.06
	4	1.062	375.697	96.667	0.06
	5	1.013	390.102	119.998	0.06
	เฉลี่ย	1.06	380.37	100.67	0.06
	S.D	0.04	12.49	10.90	0.00
6%	1	1.806	359.297	109.999	0.08
	2	1.924	382.858	116.666	0.08
	3	1.825	363.166	100	0.08
	4	1.721	342.156	100	0.08
	5	1.72	342.262	103.334	0.08
	เฉลี่ย	1.80	357.95	106.00	0.08
	S.D	0.08	16.92	7.23	0.00

ตาราง ฉ-9 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/1.0BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	1.021	203.168	353.334	0.08
	2	1.121	223.268	459.99	0.08
	3	1.071	213.163	329.999	0.08
	4	1.117	234.156	416.666	0.08
	5	0.996	198.2	276.667	0.08
	เฉลี่ย	1.07	214.39	367.33	0.08
	S.D	0.06	14.65	72.16	0.00
4%	1	1.538	306.033	173.333	0.08
	2	1.507	299.826	140	0.08
	3	1.485	295.45	109.999	0.08
	4	1.635	325.191	123.332	0.08
	5	1.367	271.881	180	0.08
	เฉลี่ย	1.51	299.68	145.33	0.08
	S.D	0.10	19.25	30.61	0.00

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฉ-10 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/1.5 BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	1	353.52	243.333	0.06
	2	0.807	285.455	170	0.06
	3	0.853	301.617	183.333	0.06
	4	0.896	317.037	199.999	0.06
	5	0.916	324.042	280	0.06
	เฉลี่ย	0.89	316.33	215.33	0.06
	S.D	0.07	25.56	45.50	0.00
4%	1	1.421	282.66	163.33	0.08
	2	1.437	285.97	186.67	0.08
	3	1.417	281.89	176.67	0.08
	4	1.459	290.34	183.33	0.08
	5	1.415	281.46	210.00	0.08
	เฉลี่ย	1.43	284.46	184.00	0.08
	S.D	0.02	3.73	17.06	0.00
6%	1	1.511	300.610	89.999	0.08
	2	1.466	291.603	96.668	0.08
	3	1.457	289.916	86.665	0.08
	4	1.477	293.778	75.119	0.08
	5	1.320	262.678	73.332	0.08
	เฉลี่ย	1.446	287.72	84.36	0.08
	S.D	0.07	14.58	9.94	0.00
8%	1	1.249	248.475	96.668	0.08
	2	1.386	275.742	96.668	0.08
	3	1.355	269.513	76.665	0.08
	4	1.154	229.667	73.332	0.08
	5	1.276	253.805	76.666	0.08
	เฉลี่ย	1.28	255.44	84.00	0.08
	S.D	0.09	18.20	11.64	0.00

ตาราง ฉ-11 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/2.0BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	0.785	277.558	136.667	0.06
	2	0.832	294.414	153.334	0.06
	3	0.845	298.956	189.999	0.06
	4	0.834	294.938	140	0.06
	5	0.794	280.708	143.334	0.06
	เฉลี่ย	0.82	289.31	152.67	0.06
	S.D	0.03	9.52	21.78	0.00
4%	1	1.368	355.431	73.332	0.07
	2	1.409	365.992	89.999	0.07
	3	1.41	366.452	76.666	0.07
	4	1.433	372.343	73.332	0.07
	5	1.437	373.49	79.998	0.07
	เฉลี่ย	1.41	366.74	78.67	0.07
	S.D	0.03	7.17	6.91	0.00
6%	1	0.963	250.177	73.332	0.07
	2	1.02	264.974	86.665	0.07
	3	1.087	282.369	89.999	0.07
	4	0.824	214.069	73.332	0.07
	5	0.844	219.215	56.666	0.07
	เฉลี่ย	0.95	246.16	76.00	0.07
	S.D	0.11	29.31	13.21	0.00
8%	1	1.177	234.183	79.998	0.08
	2	1.147	228.267	83.333	0.08
	3	1.095	217.935	79.998	0.08
	4	1.033	205.574	86.665	0.08
	5	1.004	199.699	73.332	0.08
	เฉลี่ย	1.09	217.13	80.67	0.08
	S.D	0.07	14.60	4.94	0.00

ตาราง จ-12 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/2.5 BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	2.513	888.865	173.333	0.06
	2	2.277	805.39	153.334	0.06
	3	2.163	764.883	193.33	0.06
	4	2.137	755.779	130	0.06
	5	2.309	816.764	183.33	0.06
	เฉลี่ย	2.28	806.34	166.67	0.06
	S.D	0.15	52.90	25.27	0.00
4%	1	1.368	355.431	73.332	0.08
	2	1.409	365.992	89.999	0.08
	3	1.41	366.452	76.666	0.08
	4	1.433	372.343	73.332	0.08
	5	1.437	373.49	79.998	0.08
	เฉลี่ย	1.41	366.74	78.67	0.08
	S.D	0.03	7.17	6.91	0.00
6%	1	0.567	147.221	149.998	0.07
	2	0.618	160.457	126.666	0.07
	3	0.617	160.444	126.666	0.07
	4	0.649	168.752	119.999	0.07
	5	0.529	137.383	119.999	0.07
	เฉลี่ย	0.60	154.85	128.67	0.07
	S.D	0.05	12.44	12.38	0.00
8%	1	1.605	252.257	76.666	0.09
	2	1.48	232.644	79.998	0.09
	3	1.657	260.509	89.999	0.09
	4	1.422	223.551	73.332	0.09
	5	1.482	232.982	70	0.09
	เฉลี่ย	1.53	240.39	78.00	0.09
	S.D	0.10	15.36	7.67	0.00

ตาราง ฉ-13 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3.0 BMMT draw ratio 5 เท่า

	sample	Load at Max. Load (N.)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Auto.Break (%)	Diameter (mm.)
2%	1	0.616	313.482	79.998	0.05
	2	0.594	302.506	96.668	0.05
	3	0.739	376.581	79.998	0.05
	4	0.556	283.308	76.666	0.05
	5	0.565	287.647	83.333	0.05
	เฉลี่ย	0.614	312.7048	83.3326	0.05
	S.D	0.07	37.67	7.82	0.00
4%	1	0.431	152.307	493.333	0.06
	2	0.538	190.386	533.334	0.06
	3	0.449	158.777	573.334	0.06
	4	0.414	146.31	533.334	0.06
	5	0.486	171.914	529.999	0.06
	เฉลี่ย	0.464	163.939	532.667	0.06
	S.D	0.05	17.58	28.32	0.00
6%	1	0.975	124.126	103.334	0.10
	2	0.918	116.896	119.999	0.10
	3	0.791	100.769	103.334	0.10
	4	0.872	111.026	143.333	0.10
	5	0.885	112.735	89.999	0.10
	เฉลี่ย	0.89	113.11	112.00	0.10
	S.D	0.07	8.55	20.49	0.00
8%	1	1.255	197.269	73.331	0.09
	2	1.091	171.53	79.998	0.09
	3	0.963	151.312	96.668	0.09
	4	1.21	190.191	89.999	0.09
	5	0.958	150.559	96.669	0.09
	เฉลี่ย	0.9529	149.7445	104.3361	0.09
	S.D	0.14	21.55	10.38	0.00

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสลีลา หวังสะเล็ม เกิดวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดนนทบุรี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ สาขาเคมีสิ่งทอ ภาควิชาสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีในปีการศึกษา พ.ศ. 2549 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย