

ผลของออร์กาโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิไซด์รีนต่อการดูดซึมสี่สีสเพอร์สของเส้นใยนาโนคอมพอสิต
พอลิโพรพิลีนและเคลย์



นางสาว นันทิภัทร์ สุระจรัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF POLYSTYRENE-MODIFIED ORGANOCLAY ON DISPERSE DYE
ABSORPTION OF POLYPROPYLENE/CLAY NANOCOMPOSITE FIBER



Miss Nuntipahat Surajarus

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของออร์กาโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิสดิไทรินต่อการดูดซึม
ซีดีสเพอร์สของเส้นใยนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีนและเคลย์

โดย

นางสาว นันทิภัทร์ สุระจรัส

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.สรินทร ลิ้มปนาท

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
การศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริธนวิ์ เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.สรินทร ลิ้มปนาท)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อัจจงค์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร์)

นันทิภัทร์ สุระจรัส :ผลของออร์กาโนเคลย์ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนต่อการดูดซึมสี
 ดิสเพอร์สของเส้นใยนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีนและเคลย์. (EFFECTS OF
 POLYSTYRENE-MODIFIED ORGANOCCLAY ON DISPERSE DYE ABSORPTION OF
 POLYPROPYLENE/CLAY NANOCOMPOSITE FIBER). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 รศ.ดร. กาวิ ศรีกุลกิจ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล,
 ดร. สรินทร ลิ้มปนาท, 114 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อการย้อมติดสี
 ดิสเพอร์ส ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต โดยนำออร์กาโนเคลย์ที่ผ่าน
 การดัดแปรด้วยไดออกตะเคอซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับสไตรีน
 มอนอเมอร์ในปริมาณต่างๆ รวม 5 สูตร (0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1, และ 2:1 w/w) แล้วทำการตรวจสอบ
 โครงสร้างผลึก สันฐานวิทยา ปริมาณพอลิสไตรีนและสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค XRD, FTIR, SEM และ
 TGA ผลจาก XRD และ FTIR บ่งชี้ว่าสไตรีนมอนอเมอร์สามารถแทรกสอดเข้าไปอยู่ในชั้นของออร์กาโนเคลย์
 และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้พอลิสไตรีนแทรกอยู่ระหว่างช่องแกลลลอรี่ แต่ยังไม่สามารถทำให้ช่อง
 แกลลลอรี่ของออร์กาโนเคลย์แยกออกจากกันอย่างอิสระได้ และปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถเพิ่ม
 เสถียรภาพทางความร้อนของออร์กาโนเคลย์ อนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์มีขนาดลดลงตามปริมาณของ
 พอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างจากสันฐานวิทยาของออร์กาโนเคลย์และ
 พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ เมื่อนำพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์มาผสมกับพอลิโพรพิลีนในปริมาณร้อยละ 3
 และ 5 ผ่านเครื่องอัดรีดด้วยความร้อนชนิดสกรูคู่ แล้วตรวจสอบสมบัติของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
 ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค TGA, DSC, MFI และ ร้อยละน้ำหนักที่หายไป พบว่าออร์กาโนเคลย์มีการกระจาย
 อย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอมพอสิตและมีค่าดัชนีการไหลสูงขึ้น แต่มีอุณหภูมิเริ่มสลายตัวสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย
 และไม่มีผลต่อพฤติกรรมเกิดการเกิดผลึก เมื่อนำไปจืดเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวและ
 ผ่านการดึงยืด แล้วตรวจสอบสมบัติการย้อมติดสีดิสเพอร์สและสมบัติเชิงกล ซึ่งพบว่าค่าความสามารถในการ
 ย้อมติดสี (K/S value), ค่า Young's modulus, และค่าความต้านทานแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
 ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตมีค่าสูงกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน เป็นผลมาจากปริมาณพอลิสไตรีน-
 ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรเข้าไป

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2552ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5072325223 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : POLYSTYRENE / POLYPROPYLENE / POLYPROPYLENE FIBER / CLAY /
POLYMER-CLAY NANOCOMPOSITE / DISPRESE DYES

NUNTIPHAT SURAJARUS : EFFECTS OF POLYSTYRENE-MODIFIED ORGANOCLAY
ON DISPERSE DYE ABSORPTION OF POLYPROPYLENE/CLAY NANOCOMPOSITE
FIBER. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., THESIS CO-
ADVISOR : ASST.PROF. DUANGHATHAI PENTRAKON, Ph.D., SARINTORN
LIMPANART, Ph.D.,114 pp.

This research was aimed at studying the effect of polystyrene(PS)-Organoclay loading on disperses dyeability of polypropylene (PP) / PS-Organoclay nanocomposite fibers. The modification of organoclay was carried out by an intercalation of montmorillonite (MMT) with quaternary ammonium compound and then followed by *in situ* polymerization of styrene inside the organoclay. A series of 5 batches of PS-organoclay (0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1, and 2:1 w/w) were prepared. The PS-Organoclay structure and properties including functional group, morphology and thermal stability were characterized by XRD, FTIR, SEM and TGA techniques. The XRD and FTIR results showed that the polystyrene could intercalate into clay galleries via *in situ* polymerization but could not separate clay layers. The decomposition temperature of PS-organoclay was higher (compared to organoclay) when the amount of polystyrene increased. It was observed that as a result of the *in situ* polymerization, the particle size tended to decrease despite no change in morphology. Then, PP nanocomposites with PS-Organoclay contents of 3 and 5 wt% were prepared by melt extrusion. The properties of PP/PS-Organoclay nanocomposites were characterized by TGA, DSC, MFI and %weight loss. The results indicated that the PS-Organoclay particles were well dispersed in PP according to weight loss determination and increase MFI. But, the addition of PS-organoclay exhibited a little increase in decomposition temperature and insignificant effect on crystallization behavior. Finally, the composite compounds were spun into monofilament fibers following by heat drawing treatment. PP/PS-Organoclay nanocomposite fibers were investigated for dyeability with a disperse dye and evaluated for the mechanical properties. The results showed that K/S value (a color intensity indicator), Young's modulus, and tensile strength of PP/PS-Organoclay fibers were higher than conventional polypropylene fibers due to the effect of Polystyrene-Organoclay loading.

Department: Materials Science..... Student's signature Nuntiphat Surajarus
Field of study: Applied Polymer Science and Textile technology Advisor's signature Kawee Srikulkit
Academic year: 2009..... Co-advisor's signature Duanghathai Pentrakon
Co-advisor's signature Sarintorn Limpnanart

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกันดังรายนาม ต่อไปนี้

1. รศ.ดร. กาวี ศรีภูถกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ผศ.ดร. ดวงหทัย เพ็ญตระกูล และ ดร. สรินทร์ ลิ่มปนาท อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย
4. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

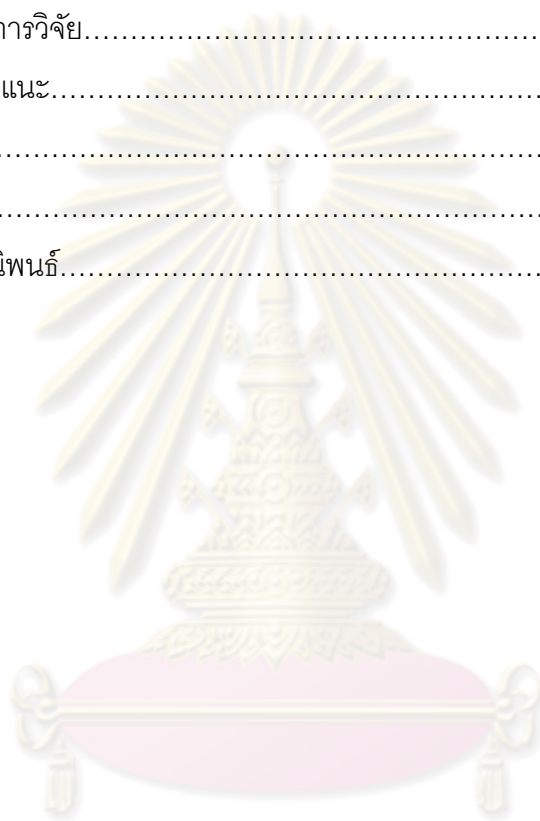
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พอลิสไตรีน.....	4
2.2 พอลิโพรพิลีน.....	8
2.3 เส้นใยพอลิโพรพิลีน.....	9
2.4 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว.....	11
2.5 แร่ดิน.....	13
2.6 นาโนคอมพอสิต.....	16
2.7 สีดีสเพอร์ส.....	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	30
3.3.1 การตัดแปรรเคลย์ด้วยไดออกไซด์เตชิลไดเมทิล- แอมโมเนียมคลอไรด์.....	30
3.3.2 การเตรียมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	31

3.3.3 การเตรียมพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
นาโนคอมพอสิต.....	32
3.3.4 การเตรียมเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
นาโนคอมพอสิต.....	34
3.3.5 การย้อมสีเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
นาโนคอมพอสิต.....	36
3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	38
3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
และโครงสร้างผลึกของเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-	
ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD.....	38
3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
เทคนิค (FT-IR).....	39
3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
ด้วยเทคนิค SEM.....	39
3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์ฟีน	
นาโนคอมพอสิต.....	40
3.4.5 การหาค่าดัชนีการหักเหของพอลิไพร์ฟีนนาโนคอมพอสิต.....	41
3.4.6 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	
พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิไพร์ฟีน.....	41
3.4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยและเส้นผ่านศูนย์กลาง	
กลางของเส้นใยด้วยกล้อง Optical microscope.....	42
3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิไพร์ฟีน	
นาโนคอมพอสิต.....	42
3.4.9 การทดสอบหาค่าความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใย	
พอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	43
3.4.10 การทดสอบหาความคงทนต่อสีของเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/	
พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	44

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค XRD.....	45
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค FT-IR....	46
4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค SEM.....	48
4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วย เทคนิค TGA.....	51
4.5 การศึกษาการกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	53
4.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	54
4.6.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA.....	54
4.6.2 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC.....	56
4.7 การศึกษาการกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ใน พอลิโพรพิลีน.....	58
4.8 การศึกษาดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	59
4.9 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	61
4.10 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	64
4.10.1 การศึกษาค่ายังมอดุลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	64
4.10.2 การศึกษาสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	65
4.10.3 การศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใย พอลิโพรพิลีนพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	66

4.11 การศึกษาความสามารถในการย่อยมดิสดีสเพอร์สของเส้นใย พอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	67
4.12 การศึกษาความคงทนของสดีสเพอร์สบนเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ต่อการซัก.....	68
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	114



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 3.1	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	32
ตารางที่ 3.2	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	34
ตารางที่ 4.1	ระยะ d_{001} ของออร์กาโนเคลย์ดัดแปร.....	46
ตารางที่ 4.2	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค TGA.....	53
ตารางที่ 4.3	การกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	54
ตารางที่ 4.4	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA.....	56
ตารางที่ 4.5	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC.....	58
ตารางที่ 4.6	การกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิโพรพิลีน.....	59
ตารางที่ 4.7	เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างพอลิสไตรีน..... 4
รูปที่ 2.2	การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์จากเบนซีน..... 5
รูปที่ 2.3	กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว..... 13
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์..... 15
รูปที่ 2.5	แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์..... 15
รูปที่ 2.6	ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์..... 16
รูปที่ 2.7	ชนิดของออร์กาโนเคลย์..... 16
รูปที่ 2.8	ชนิดของพอลิเมอร์/เคลย์ คอมพอสิต..... 17
รูปที่ 2.9	การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์ นาโนคอมพอสิตแบบ solution intercalation..... 18
รูปที่ 2.10	การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตแบบ <i>in situ</i> intercalative polymerization..... 18
รูปที่ 2.11	การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตแบบ melt intercalation..... 19
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างสีดีสเพอร์ส Disperse Orange 25 และ Disperse Red 65..... 21
รูปที่ 2.13	แสดงหน้าที่ของสารลดแรงตึงผิว..... 21
รูปที่ 2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการย้อมสีกับกลุ่มสี..... 22
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างสีกลุ่ม A..... 23
รูปที่ 2.16	ตัวอย่างสีกลุ่ม B..... 23
รูปที่ 2.17	ตัวอย่างสีกลุ่ม C..... 23
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการตัดแปรรเคลย์..... 30
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์..... 31
รูปที่ 3.3	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่..... 33
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์..... 34
รูปที่ 3.5	อุณหภูมิการหลอมเหลว 5 โชนของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว..... 35
รูปที่ 3.6	เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว..... 35

รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต.....	36
รูปที่ 3.8	เครื่องย้อม.....	37
รูปที่ 3.9	แผนภูมิขั้นตอนการย้อม.....	37
รูปที่ 3.10	แผนภูมิขั้นตอนการล้างสี.....	37
รูปที่ 3.11	เครื่อง X-ray Diffractometer.....	38
รูปที่ 3.12	เครื่อง FT-IR spectrometer.....	39
รูปที่ 3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	39
รูปที่ 3.14	เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA).....	40
รูปที่ 3.15	เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC).....	40
รูปที่ 3.16	เครื่องหาดัชนีการไหล (Melt flow index).....	41
รูปที่ 3.17	เตาเผาไฟฟ้า 1600 องศาเซลเซียส.....	41
รูปที่ 3.18	กล้อง Optical microscope.....	42
รูปที่ 3.19	เครื่อง Universal testing machine.....	43
รูปที่ 3.20	เครื่องวัดสี (Reflectance spectrophotometer).....	43
รูปที่ 3.21	เครื่องซัก Gyrowash.....	44
รูปที่ 4.1	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของอนุภาค พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนต่อเคลย์ต่างกัน.....	45
รูปที่ 4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ มอนต์มอริลโลไนต์และออร์กาโนเคลย์.....	47
รูปที่ 4.3	อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของอนุภาค พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนต่อเคลย์ต่างกัน.....	47
รูปที่ 4.4	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยา ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของอนุภาค พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนต่อเคลย์ต่างกัน.....	49
รูปที่ 4.5	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยา ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ของอนุภาค พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนต่อเคลย์ต่างกัน.....	50
รูปที่ 4.6	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์	52

รูปที่ 4.7	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์.....	52
รูปที่ 4.8	การกระจายตัวของพอลิสไตรีนในออร์กาโนเคลย์.....	54
รูปที่ 4.9	เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	55
รูปที่ 4.10	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์.....	57
รูปที่ 4.11	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	57
รูปที่ 4.12	ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	60
รูปที่ 4.13	ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	62
รูปที่ 4.14	ค่าความย่งมอดูลัสเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	64
รูปที่ 4.15	ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	65
รูปที่ 4.16	ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	66
รูปที่ 4.17	ค่า K/S value ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต.....	67
รูปที่ 4.18	ค่า K/S value ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตก่อนและหลังการซัก.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ปัจจุบันนิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและสิ่งทอ อาทิ ภาชนะบรรจุอาหาร ท่อ พิล์ม เส้นใย และอื่นๆ เส้นใยพอลิโพรพิลีนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีสมบัติที่ดีหลายประการ อาทิ มีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบา ซีดขึ้นรูปได้ง่าย ดูดซับความชื้นต่ำ ทนทานสารเคมี ทนการขูดถู รา แมลง และที่สำคัญคือ ราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามจากการที่พอลิโพรพิลีนมีข้อเสียคือ เกิดการเสื่อยรูปได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน และการที่โครงสร้างทางเคมีไม่มีขั้วทำให้มีการดูดซึ่มสีย้อมต่ำ(ในกรณีเส้นใย) ดังนั้นการนำวัสดุอื่นมาช่วยเสริมแรงในพอลิโพรพิลีนเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้ดีขึ้นจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ปัจจุบันวัสดุที่ได้รับความสนใจในการนำมาเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตก็คือ แร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ที่ผ่านการดัดแปร ทำให้สมบัติของพลาสติกเพิ่มขึ้น อาทิ ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความต้านการดัดโค้ง (flexural strength) และความทนความร้อน (heat resistance) เป็นต้น

มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) เป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มของสเมคไทต์ (smectite) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินาและชั้นซิลิกา แบบ 2 : 1 แต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.7 – 1.0 นาโนเมตร ระหว่างแผ่นยึดเกาะกันด้วยประจุบวกของไอออนโลหะ เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น จากลักษณะโครงสร้างทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับพอลิเมอร์ได้ยาก จำเป็นต้องทำการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ (modified montmorillonite) เพื่อให้สมบัติพื้นผิวของมอนต์มอริลโลไนต์เปลี่ยนเป็นไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงสามารถเข้าร่วมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น วิธีง่ายที่สุดในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ คือ การทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก เช่น ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) หรือฟอสโฟเนียม (phosphonium) จะสามารถเข้าแทนที่ไอออนโลหะ ที่อยู่ระหว่างชั้นผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้ได้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ที่เรียกว่า ออร์กาโนเคลย์ (organoclay) ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุจะทำให้ช่องแกลเลอรีของเคลย์ขยายออก ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างชั้นของเคลย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเรียกโครงสร้างเช่นนี้ว่าการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated clay) แต่ถ้าชั้นของดินเกิดการขยายมากจนทำให้เกิดการแยกชั้นแผ่นของเคลย์ออก

จากกันอย่างชัดเจน จะเรียกว่าการแยกตัวแบบเอ็กซีโฟลียเอท (exfoliated clay) ทำให้ได้อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ จะก่อให้เกิดการเสริมแรงในระดับโมเลกุล โดยทั่วไปแนวทางที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์/เคลย์นาโนคอมพอสิตจะมี 3 วิธีการ คือ 1. *in situ* (intercalated) polymerization 2. Solution blending และ 3. Melt blending

พอลิสไตรีน เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติเด่นน่าสนใจอยู่หลายอย่าง เช่น เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ราคาถูก ผสมได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำ โปร่งใส ทำแบบต่างๆ ง่าย และที่สำคัญคือพอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างอะโรมาติก ทำให้มีความสามารถในการยับยั้งการซึมของไอออนที่มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นอะโรมาติกเช่นกัน

ในงานวิจัยนี้ชอบเขตตั้งแต่การเตรียมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ การผสมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์กับพอลิโพรพิลีน และนำไปฉีดเป็นเส้นใย และศึกษาผลของการยับยั้งการซึมของไอออนของเส้นใยนาโนคอมพอสิต โดยคาดหวังว่าหมู่อะโรมาติกของพอลิสไตรีนจะมีผลต่อพฤติกรรมการยับยั้งการซึมและสมบัติเชิงกลของเส้นใยนาโนคอมพอสิต ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากพอลิโพรพิลีน ที่สามารถเลือกสีย้อม และ กำหนดปริมาณที่ต้องการได้ เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอน ภาวะและวิธีการเตรียมวิธีการดัดแปรออร์กาโนเคลย์ด้วยพอลิสไตรีน โดยการสังเคราะห์สไตรีนมอนอเมอร์เข้าไปในชั้นของเคลย์ด้วยวิธี *in situ* polymerization
2. ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์
3. ศึกษาภาวะการขึ้นรูปเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว
4. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิตที่ได้
5. ศึกษาการยับยั้งการซึมของไอออนของเส้นใยนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดัดแปรออร์กาโนเคลย์ด้วยพอลิสไตรีน โดยกระบวนการ *in situ* polymerization ให้สไตรีนมอนอเมอร์เข้าไปแทรกในชั้นของเคลย์ที่ดัดแปรแล้วเกิดการพอลิเมอไรส์ ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ต่อเคลย์ ในอัตราส่วน 0:1.0, 0.5:1.0, 1.0:1.0, 1.5:1.0 และ 2.0:1.0 ตามลำดับ
2. ศึกษาสมบัติของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ได้แก่ โครงสร้าง สัณฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชันทางเคมี และเสถียรภาพทางความร้อน
3. เตรียมเม็ดคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์โดยกระบวนการอัดรีดด้วยความร้อนและศึกษาผลของปริมาณพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติของพอลิโพรพิลีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิตในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก
4. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต และการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิโพรพิลีน
5. ขึ้นรูปเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว
6. ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิต
7. ทำการย้อมสีเส้นใยนาโนคอมพอสิตที่ได้ด้วยสีย้อมดีสเพอร์ส Foron Rubine RD-GFL 200
8. ศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

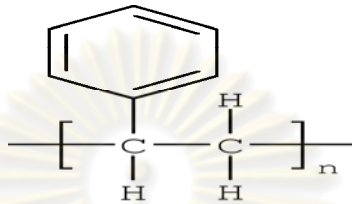
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เส้นใยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ที่มีความสามารถในการย้อมติดสีดีสเพอร์สและสมบัติเชิงกลที่ดี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) [1]



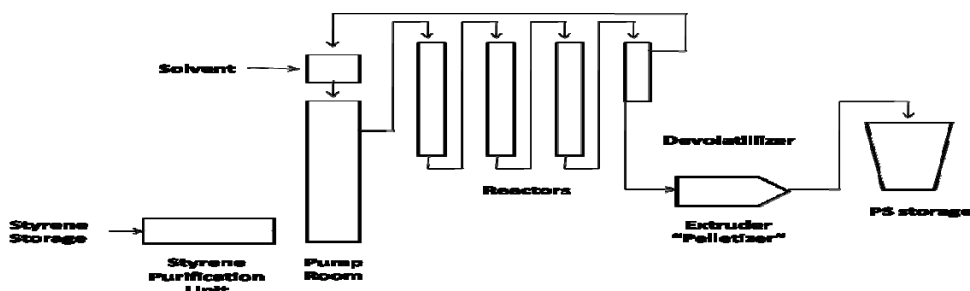
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างพอลิสไตรีน [2]

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาถูก เริ่มผลิตทางการค้าตั้งแต่ปี 1934 โดยบริษัท Dow Chemical Co., ในสหรัฐอเมริกา และบริษัท I.G.Farben ในเยอรมัน ในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 เล็กน้อยสหรัฐอเมริกาได้ผลิตสไตรีนขึ้นมาจำนวนมาก เพื่อใช้ทำยางสังเคราะห์ (ยางบิวตะไดอิน-สไตรีน) เนื่องจากประเทศมาเลเซียและกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งผลิตยางธรรมชาติถูกญี่ปุ่นยึดครองไป หลังสงครามสงบแล้วปริมาณสไตรีนเหลืออยู่มากมาย จึงได้ผลิตพอลิสไตรีนและนำมาใช้ในงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากคุณสมบัติเด่นหลายอย่าง เช่น เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ราคาถูก ผสมได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำ โปร่งใส ทำแบบต่างๆ ง่าย จึงเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมสูง มีปริมาณการใช้งานมากชนิดหนึ่ง

2.1.1 การเตรียมมอนอเมอร์ [1]

ในการสังเคราะห์จะได้สไตรีนประมาณ 37% จะมีเอธิลเบนซีน 61% และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนปนมาอีกประมาณ 2% แยกโดยการกลั่นลำดับส่วน สไตรีนมีจุดเดือด 145.2 องศาเซลเซียส ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุน ตัวมันเองเป็นตัวทำละลายของพอลิสไตรีน และยางสังเคราะห์อื่นๆ รวมทั้ง SBR มีน้ำหนักโมเลกุล 104.14

อุตสาหกรรมการเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์จากเบนซีนมีดังนี้



รูปที่ 2.2 การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์จากเบนซีน

2.1.2 พอลิเมอไรเซชัน [3, 4]

การเตรียมพอลิสไตรีนสามารถมีได้ทั้งแบบบับเบิล แบบสารละลาย แบบแขวนลอย และแบบอิมัลชัน

2.1.2.1 พอลิเมอไรเซชันแบบบับเบิล (Bulk polymerization)

เทคนิคแบบบับเบิล หรือ mass polymerization เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุดโดยการสังเคราะห์ พอลิสไตรีนด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ สารเริ่มต้นปฏิกิริยาประเภทเปอร์ออกไซด์ และอาจเติมตัวทำละลายลงไปเล็กน้อย การสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ความหนืดอาจเพิ่มขึ้นถึง 10^4 เท่า เมื่อเทียบกับความหนืดมอนอเมอร์ และเกิดการคายความร้อน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องกวนที่แข็งแรงและมีการควบคุมอุณหภูมิที่ดี หากความร้อนในระบบสูงเกินไป จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพหรือเกิดสี และมีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลช่วงกว้าง เนื่องจากเกิดการถ่ายโอนโซ่ (Chain transfer) การผลิตเชิงพาณิชย์เทคนิคบับเบิลที่เกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระไม่นิยมนำไปใช้เนื่องจากควบคุมความร้อนและความหนืดยาก ดังนั้น จึงแก้ปัญหาดังกล่าวโดยแบ่งขั้นตอนการสังเคราะห์เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก เรียกว่า ขั้นพรีพอลิเมอไรเซชัน (prepolymerization) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สไตรีนมอนอเมอร์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยความร้อน (thermal polymerization) ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน โดยปฏิกิริยาจะดำเนินไป 33-35 % และในเครื่องปฏิกรณ์จะประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์สั้นๆ และมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ในขั้นที่สองของผลผลิตที่ได้จากขั้นแรกจะถูกถ่ายไปยังหอปฏิกิริยาซึ่งสูงประมาณ 25 ฟุต ในหอปฏิกิริยาดังกล่าวของเหลวจะไหลจากด้านบนลงด้านล่าง ซึ่งแต่ละตอนของหอจากบนสู่ล่างนั้นมีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 110-180 องศาเซลเซียส ส่วนตรงกลางหามีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส และส่วนด้านล่างสุดของหามีอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิด

อย่างสมบูรณ์ และอีกเหตุผลหนึ่ง คือ เพื่อไล่มอนอเมอร์ที่เหลือติดมากับพอลิเมอร์ออก ส่วนพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะเข้าสู่เครื่องอัดรีดเพื่อทำเป็นเม็ดพอลิสไตรีนต่อไป

2.1.2.2 พอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization)

การเกิดพอลิเมอร์โดยเทคนิคแบบสารละลายนี้ สามารถแก้ปัญหาของเทคนิคแบบบัลค์ได้ เนื่องจากตัวทำละลายจะทำหน้าที่เจือจาง และส่งผ่านความร้อนในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ตัวทำละลายจะช่วยทำให้การปั่นกว้งง่ายขึ้น ความหนืดลดลง การควบคุมความร้อนทำได้ง่ายเมื่อเทียบกับแบบบัลค์ แต่การใช้ตัวทำละลายก่อให้เกิดปัญหาใหม่โดยอาจเกิดการถ่ายโอนโซ่จึงจำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม นอกจากนี้ตัวทำละลายอาจปนเปื้อนอยู่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป ทั้งมอนอเมอร์และพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สังเคราะห์ได้ สามารถละลายในตัวทำละลายที่ใช้ขณะสังเคราะห์ นอกจากนี้เทคนิคแบบสารละลายสามารถใช้กับกลไกปฏิกิริยาที่เกิดอนุมูลอิสระ สารประกอบเชิงซ้อนหรือไอออนิกได้

2.1.2.3 พอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization)

จากปัญหาความเป็นพิษและการติดไฟของตัวทำละลาย วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย จึงถูกคิดค้นขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยการนำสไตรีนมอนอเมอร์และสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยามากระจายเป็นเม็ดเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำ ด้วยการใช้ไบพัตตี และเติมสารช่วยการกระจาย (dispersant) หรือสารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer) โดยสารทั้งสองจะหุ้มเม็ดสไตรีนมอนอเมอร์เพื่อป้องกันการรวมตัว ซึ่งภายในเม็ดสไตรีนมอนอเมอร์ที่แขวนลอยจะเสมือนเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (micro reactor) และจะมีการถ่ายโอนความร้อนดีกว่ากระบวนการแบบสารละลาย โดยทั่วไปนิยมใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารช่วยกระจาย ซึ่งลักษณะและขนาดของเม็ดพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จะถูกควบคุมด้วยความเร็วของการกวน และอัตราส่วนโดยปริมาตรของสไตรีนมอนอเมอร์และน้ำที่เติมเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์

ข้อเสียของการเตรียมพอลิสไตรีนด้วยกระบวนการแบบแขวนลอย คือ ปริมาณเม็ดพอลิสไตรีนที่เตรียมได้ต่อครั้งค่อนข้างน้อย เนื่องจากปริมาตรส่วนใหญ่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นน้ำ (70%) และเม็ดพอลิสไตรีนที่ได้มีความชื้นสูง จึงต้องนำไปอบก่อนใช้งาน บางครั้งการอบด้วยความร้อนสูงอาจทำให้เม็ดพอลิสไตรีนเปลี่ยนสีได้ ซึ่งปกติวิธีนี้นิยมใช้เตรียมโฟมพอลิสไตรีน (expandable polystyrene, EPS) เป็นส่วนใหญ่ เพราะสามารถเติมสารฟู (blowing agent) เข้าไปในระหว่างการผลิตได้

2.1.2.4 พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

เทคนิคนี้ได้รับการพัฒนามาจากระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะที่เกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระ วิธีนี้ต่างจากแบบแขวนลอยตรงที่ตัวริเริ่มไม่ละลายในมอนอเมอร์ แต่ละลายในตัวกลางคือน้ำ แล้วแพร่เข้าไปในหยดมอนอเมอร์ มอนอเมอร์จะถูกปั่นกววนให้กลายเป็นหยดเล็กๆ แขวนลอยกระจายอยู่ในชั้นน้ำและมีความเสถียรเนื่องจากมีเติมสารลดแรงตึงผิว เช่น สารก่ออิมัลชันเป็นจำนวนมาก ในการเตรียมพอลิสไตรีนด้วยกระบวนการแบบอิมัลชัน สารเริ่มต้นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ $K_2S_2O_8$ (potassium persulfate) โดยเม็ดสไตรีนจะแขวนลอยอยู่ในน้ำในลักษณะของคอลลอยด์ และมีสารประเภทสบู่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ป้องกันไม่ให้เม็ดสไตรีนกลับมารวมตัวกัน

2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ [5]

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง โครงสร้างเป็นแบบอะแทกติก จึงอยู่ในรูปของอสัญฐาน มีลักษณะแข็ง เพราะ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ค่อยดูดความชื้น ไม่นำไฟฟ้า ฉีดยต่อสารเคมี ทนต่อการกัดไฮไลต์ ต่าง ตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์ สามารถถูกในเตาโดยกรดในตริก และถูกซัลโฟเนตโดยกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ 100 องศาเซลเซียส พอลิสไตรีนถูกย่อยสลายให้โมเลกุลเล็กลงได้ถ้าถูกความร้อน ซึ่งปกติจะทนต่อแรงดึงสูงถึง 8,000 psi. แต่ทนความร้อนได้ต่ำเนื่องจากอุณหภูมิ T_g ประมาณ 80 องศาเซลเซียส เท่านั้น ความหนาแน่น 1.04-1.06 g/cm^3 ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรมาติก ข้อดีของพอลิสไตรีนคือสมบัติเชิงกลไม่ค่อยดี เพราะว่าเปราะ แต่เวลาผลิตขึ้นรูปร่างต่างๆได้ง่าย นิยมใช้ในงานขึ้นรูปโดยการฉีดแบบ (injection molding)

การปรับปรุงคุณสมบัติทำได้โดยเติมสารเติมแต่งบางอย่างลงไป จะช่วยให้สมบัติของพอลิสไตรีนดีขึ้น นำไปใช้เป็นถังพลาสติก ขวดพลาสติก ภาชนะใส่อาหารชนิดใส ของเด็กเล่น ไม้บรรทัดพลาสติก ตู้โทรทัศน์ ชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนภายในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมนำไปทำเป็นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของป้องกันการแตก การกระแทก โดยนำเอาเม็ดพลาสติกที่เตรียมได้มาหลอมและอัดด้วยก๊าซเพนเทน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เม็ดพลาสติกจะขยายตัวถึง 40 เท่า แล้วอัดลงในเบ้า จะได้โฟมตามต้องการ

2.2 พอลิโพรพิลีน [5]

พัฒนาการของการสังเคราะห์พอลิโพรพิลีนได้เริ่มมาตั้งแต่ในช่วงปี พ.ศ. 2493 เป็นต้นมา จากการค้นพบการเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีน โดยศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมัน ภายใต้เทคนิคของการใช้ความดันต่ำ จะได้พอลิเอทิลีนที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น แต่ยังไม่พอสอดการใช้งานในเครื่องนึ่งนม ต่อมาศาสตราจารย์กิลลิโอ แนนตา (Prof. Giulio Natta) ชาวอิตาลีได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมันค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิโพรพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงแตกต่างกันไปซึ่งส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกันด้วย

2.2.1 ประเภทของพอลิโพรพิลีน [5]

พอลิโพรพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่อิมิตว่น้อยมาก หรือไม่มีเลย การสลัที่ของหมู่เมทิลไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันได้มากมาย โดยหมู่เมทิลเป็นตัวกำหนดโครงสร้างแทกติกซิตี (Tacticity) ของพอลิเมอร์ได้ โดยแบ่งเป็นแบบต่างๆกันดังนี้

1. แบบ Isotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่ด้านเดียวกันของสายโซ่โมเลกุล ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลทำให้การตกผลึกดีที่สุด
2. แบบ Syndiotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลงมีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย
3. แบบ Atactic เมื่อหมู่เมทิลไม่อยู่กันเป็นระเบียบบนสายโซ่โมเลกุล ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด

2.2.2 การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน [5]

การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีนโดยนิกโคล-นอร์เมอริซึ่งได้มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วน การเกิดพอลิเมอร์ของแก๊สโพรพิลีน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนนตา” ที่นิยมใช้คือ ทิเทเนียมไตรคลอไรด์กับอะลูมิเนียมไตรเอทิล อะลูมิเนียมไตริวทิลหรืออะลูมิเนียมไดเอทิลโมโนคลอไรด์ในบรรยากาศของไนโตรเจน ผ่านเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอร์ 80-85% เทคนิคการพอลิเมอร์ไรเซชันมักใช้แบบแขวนลอยมากกว่าแบบสารละลาย การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวถ่ายโอนสายโซ่ หรืออาจจะปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ

ตัวเร่งอุณหภูมิ ความดันของมอนอเมอร์หรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่วนประกอบที่อยู่ในของผสมหลังการเกิดปฏิกิริยามี ดังนี้

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

ในการแยกไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนออก ทำได้โดยการผ่านของผสมที่ได้จากเตาปฏิกรณ์ไปยัง flash drum เพื่อแยกมอนอเมอร์ที่เหลือออกไปแล้วผ่านต่อไปที่เครื่องเซนตริฟิวจ์เพื่อแยกตัวทำละลายซึ่งละลายอะแทกติกพอลิเมอร์อยู่ด้วยออกไป จากนั้นแยกตัวเร่งออกด้วยเมธานอลผสมกรดเกลือเล็กน้อย แล้วผ่านขบวนการเซนตริฟิวจ์อีกครั้งเพื่อแยกเมธานอล พอลิเมอร์ที่ได้นำไปล้างให้สะอาดและทำให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส

2.2.3 สมบัติของพอลิโพรพิลีนและการใช้ประโยชน์ [5]

พอลิโพรพิลีนที่เตรียมได้โดยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 มีความหนาแน่นประมาณ 0.90 g/cm³ อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) 164-170 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเกิน 80 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติก และคลอริเนตไฮโดรคาร์บอน มีความทนแรงดึง ความแข็งดึง และความแข็งที่สูงมาก มีความมัน (gloss) ที่ดี มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีมาก มีความเฉื่อยต่อสารเคมีและความชื้น แต่มีเสถียรภาพทางความร้อน แสงและการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน

พอลิโพรพิลีนที่ใช้ทางการค้ามักผสมสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ไยแก้ว ยาง และสารแอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งาน พอลิโพรพิลีนมักใช้ทำวัสดุของใช้ในครัว แผ่นฟิล์มสำหรับห่อ ถุงพลาสติกใส่ของร้อน เชือกปอพลาสติก กล่องเบตเตอรี กระเป๋า ถังขยะ ถังน้ำ ท่อน้ำ ชิ้นส่วนตู้เย็น เส้นใยสิ่งทอทั้งแบบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว

2.3 เส้นใยพอลิโพรพิลีน (Polypropylene fiber)

เส้นใยพอลิโพรพิลีนเป็นเส้นใยที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง มีความทนทานต่อการขีดถู ทนทานต่อสารเคมี ไม่มีปัญหาทางด้านไฟฟ้าสถิตย์ และที่สำคัญคือมีราคาถูก ในปี พ.ศ.2542 ทั่วโลกได้มีการบริโภคเส้นใยพอลิโพรพิลีนมากกว่า 5.5 ล้านตันและเป็นปริมาณร้อยละ 18 ของการ

ผลิต เส้นใยสังเคราะห์ทั่วโลก [6] ในยุคแรกของการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนยังมีขีดจำกัด เนื่องจากเหตุผลทางด้านลิขสิทธิ์จึงสามารถผลิตได้เพียงรูปแบบของเส้นใยยาวและสายเทป จนกระทั่งในช่วงต้นปีพ.ศ.2503 จึงได้มีการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนในรูปแบบของเส้นใยสั้นออกมาสู่ท้องตลาดจนในช่วงต้นปี พ.ศ. 2513 ซึ่งเป็นยุคเริ่มแรกของการนำกระบวนการอัดรีดมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มซึ่งนำไปสู่การผลิตเส้นใยในรูปแบบที่หลากหลายขึ้น [7] ในปัจจุบันการผลิตเส้นใยพอลิโพรพิลีนทำได้โดยนำเม็ดพอลิโพรพิลีนเรซินเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวผ่านหัวรีดได้เส้นใยออกมาจากนั้นนำเส้นใยยาวเข้าสู่กระบวนการดึงยืดให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบและเกิดผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะของเส้นใยที่พบมีหลากหลายรูปแบบทั้งขนาด รูปทรง ความมัน และสมบัติเฉพาะด้าน โดยขึ้นกับการใช้งานที่ต้องการ

ปัจจุบันมีการใช้งานเส้นใยพอลิโพรพิลีนเพื่อทำเป็น เชือก พรมปูพื้น สวมหม้อเทียม ผ้าคลุมดิน ใช้ทางการแพทย์ ยานยนต์ การเกษตร ผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้าน ในด้านการทำเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยพอลิโพรพิลีนสามารถนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เพื่อทำเป็นเส้นใยกีฬา เสื้อโค้ท หรือผ้าห่ม [8]

2.3.1 สมบัติของเส้นใยพอลิโพรพิลีน [9, 10]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยพื่นที่หน้าตัดกลม และเป็นแท่งยาวใส มีความมันหลายระดับตั้งแต่ทึบแสง กึ่งทึบแสง โปร่งใส พบทั้งชนิดของเส้นใยยาวและเส้นใยสั้น

ความแข็งแรง เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงดีมาก โดยขึ้นกับระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ หรือน้ำหนักโมเลกุล หากนำไปใช้งานเพื่อทำเป็นเชือกจะมีความแข็งแรงประมาณ 9.0 กรัม/ดีเนียร์ เส้นใยมีการทนต่อแรงขัดถูได้ดี

สภาพยืดหยุ่น ค่อนข้างดี โกล้เคียงกับไนลอน และถ้าได้รับแรงยืดคงที่เป็นเวลานานติดต่อกันจะเกิดผลอันเนื่องมาจากเวลาที่รับแรงทำให้เกิดการยืดตัวถาวรขึ้น

การคืนตัวจากแรงอัด เป็นสมบัติเด่นประการหนึ่งของพอลิโพรพิลีน ทำให้เหมาะกับการทำเป็นพรม

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำจึงสามารถถ่ายเทความชื้นได้ดี ทำให้เหมาะสมต่อการทำผ้าอ้อมสำหรับเด็ก

การนำความร้อน เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำกว่าเส้นใยชนิดอื่นจึงเหมาะสมควรต่อการทำผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าหรือผ้าห่มที่ให้ความอบอุ่น

ความถ่วงจำเพาะ เป็นเส้นใยที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ (0.91 g/cm^3) จึงเป็นเส้นใยที่ลอยน้ำได้

สมบัติทางเคมี

กรด พอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่ทนต่อกรดได้ดี ยกเว้นเฉพาะกรดไนตริกที่อุณหภูมิสูง

ด่าง พอลิโพรพิลีนทนต่อด่างได้ดีมาก สามารถซักล้างด้วยสบู่ น้ำยาซักผ้า โดยไม่มีผลเสียและความแข็งแรงในขณะเปียกไม่เปลี่ยนแปลง

สารซักฟอก พอลิโพรพิลีนทนต่อสารซักฟอกทั่วไปได้ดีในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 150 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ถ้าสูงกว่านั้นจะมีผลเสียทำให้ความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการซักพอลิโพรพิลีนจึงไม่ควรซักด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินไป

ราและแมลง เส้นใยพอลิโพรพิลีนมีความต้านทานต่อการเกิดราและการถูกทำลายโดยแมลง

แสง ภายใต้ภาวะปกติหากได้รับแสงโดยตรงเป็นเวลาติดต่อกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง

ข้อเสียของเส้นใยพอลิโพรพิลีน

- 1) อุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำ ทำให้มีความไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์เสียรูปทรงได้ง่าย
- 2) ย้อมสีติดยาก
- 3) มีเสถียรภาพต่อรังสียูวีและเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ
- 4) ความสามารถในการคืนตัว (resilience) ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเตอร์หรือไนลอน
- 5) แกร่งยึดเกาะกับกาวและเลเทกซ์ต่ำ
- 6) ติดไฟได้ง่ายจึงต้องการสารหน่วงไฟและสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

2.4 การผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว [9, 11]

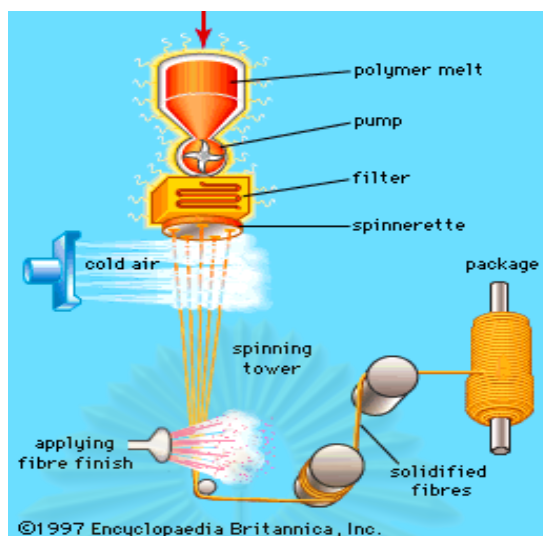
การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (melt spinning) พัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ มีความเร็วในการผลิตสูง เป็นการปั่นเส้นใยโดยตรงด้วยการทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์มีสภาพเป็นของเหลวด้วยความร้อนแล้วฉีดผ่านหัวรีด พอลิเมอร์ที่ถูกฉีดเป็นเส้นออกมา

ผ่านกระแสลมเพื่อให้เกิดการเย็นตัวลง ได้เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรง นับเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้สารเคมีหรือตัวทำละลาย อีกทั้งสามารถควบคุมพื้นที่ภาคตัดขวางได้อย่างแม่นยำ

กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวอาจเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจนออกมาเป็นเส้นใยในสายการผลิตเดียวหรือเป็นกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง โดยเริ่มจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันออกมาได้เป็นเม็ดพอลิเมอร์ (polymer chip) แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ไปฉีดเป็นเส้นใยอีกทอดหนึ่ง สมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบหลอมเหลวได้ต้องสามารถทนต่อภาวะที่ใช้ในการหลอมตัว ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพจากของแข็งเป็นของเหลว แล้วผ่านการอัดรีดและเกิดการเย็นตัวเป็นเส้นใยได้ พร้อมทั้งต้องมีการคงรูปในภาวะที่เป็นของเหลวได้ดี สำหรับกรรมวิธีที่เสร็จในขั้นตอนเดียว หรือที่เรียกว่า one step high speed spinning จะใช้ความเร็วในการผลิต ตั้งแต่ 1,000 - 6,000 เมตรต่อนาที และในการผลิตแบบ melt-blow มีการพัฒนาให้ความเร็วในการผลิตสูงขึ้นถึง 10,000 เมตรต่อนาที ปัจจุบันการผลิตเส้นยาว (filaments) เป็นที่นิยมกันมาก โดยเส้นใยที่ได้มีทั้งเส้นใย POY (partially oriented yarn) และ FDY (fully draw yarn)

การเติมสารเติมแต่งจะสามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ ให้กับเส้นใย การใช้สารเติมแต่งที่มักใช้กับงานพลาสติก ทั้งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (fillers) และสารเสริมแรง (reinforcements) เช่นการใช้เส้นใยแก้ว ไมกา (mica) ทัลค์ (talc) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล แต่อย่างไรก็ตามสารตัวเติมที่ใช้เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต มักใช้เพียงเพื่อเป็นตัว extenders ช่วยต้นทุนการผลิตลง และเพิ่มสมบัติเชิงกลเช่น stiffness และ impact strength ในปัจจุบันการนำอนุภาคนาโนมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยสังเคราะห์ กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากอนุภาคนาโนสามารถสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมเหลว [12]

2.5 แร่ดินเหนียว (clay mineral) [13]

แร่ดินเหนียวเป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังของหิน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กระดับไมครอนมีธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของแร่ดินเหนียวหรือสารประกอบแอนไฮดรัสอะลูมิโนซิลิเกต (anhydrous aluminosilicate) ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นเกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินา (alumina) และซิลิกา (silica) ระหว่างชั้นมีไอออนบวกของโลหะ เช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมหรือเหล็ก แทรกอยู่จากโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวออกเป็น 5 ประเภทคือ

1. Kaolinite มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ มีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 1:1 ประกอบด้วยชั้นซิลิกาเรียงสลับกับชั้นอะลูมินา
2. Illite มีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 2:1 โดยชั้นซิลิกา 2 ชั้น ประกบชั้นอะลูมินาอยู่ และในแต่ละหน่วยมีไอออนของโพแทสเซียมแทรกอยู่ ทำให้ดินกลุ่มนี้ไม่สามารถพองตัวในน้ำได้
3. Smectite โครงสร้างเป็นแบบชนิด 2:1 เหมือนกลุ่มอิลไลต์ แต่ในชั้นโครงสร้างมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ และไอออนบวกส่วนใหญ่ที่พบเป็น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและโซเดียม แร่กลุ่มนี้มีความสามารถในการพองตัวในน้ำได้ดี

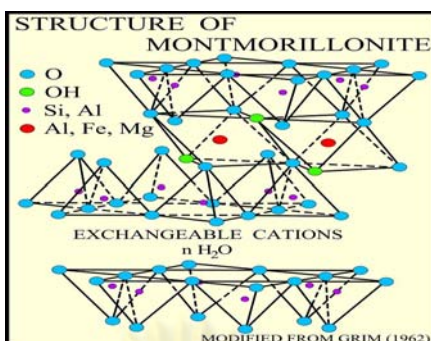
4. Vermiculite มีโครงสร้างเหมือน Smectite แต่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่า เมื่อเผาแล้วมีลักษณะคล้ายตัวหนอน
5. Palygorskite มีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่

แร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม kaolinite และ smectite โดยกลุ่ม kaolinite นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้อง ถ้วยชาม และ สุขภัณฑ์ เป็นต้น สำหรับกลุ่ม smectite ที่รู้จักกันดีได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (drilling mud) และเป็นสารหล่อลื่น เป็นต้น ปัจจุบันนี้ นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามอาศัยสมบัติของแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานให้หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวให้ได้ดินที่ชอบสารอินทรีย์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า ออร์กาโน-ฟิลิกเคลย์ (organophilic clay) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น ใช้เป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี

แร่ดินเหนียวมีจุดเด่น คือ มีโครงสร้างผลึกที่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้ว ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางและนำไปสู่เทคโนโลยีของนาโนเคลย์ (nanoclay) และนาโนคอมโพสิต (nanocomposite)

2.5.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) [13]

มอนต์มอริลโลไนต์มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $M_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{SiO}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ จัดเป็นแร่ที่นิยมนำมาใช้เตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นซ้อนกันแบบ 2:1 กล่าวคือประกอบด้วยชั้นของซิลิกา 2 ชั้น ชั้นของอะลูมินา 1 ชั้น แทรกอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยแต่ละชั้นมีความหนาเพียง 0.7-1.0 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1,000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างชั้นของโครงสร้างเรียกว่า gallery หรือ interlayer พื้นผิวของชั้นอะลูมิโนซิลิเกตมีประจุลบ ซึ่งยึดเกาะกันด้วยประจุบวกของไอออนของโลหะภายในช่องแกลลลอรี่ เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [14]

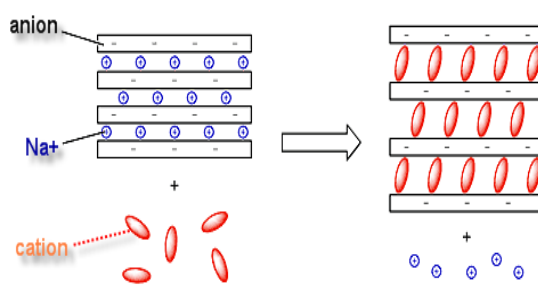


รูปที่ 2.5 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์ [15]

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

2.5.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay) [13]

ในธรรมชาติมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงจำเป็นต้องปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) กับมอนต์มอริลโลไนต์ โดยเตรียมเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (modified montmorillonite) ก่อนที่จะนำไปผสมกับพอลิเมอร์ วิธีที่ง่ายที่สุดในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ คือการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ระหว่างประจุบวกภายในช่องแกลลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์กับสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก (organic cation) เช่น เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) หรือเกลือฟอสโฟเนียม (phosphonium salt) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ [15]

มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรแล้วจะเรียกว่า “ออร์กาโนเคลย์” หรือ “ออร์กาโนฟิลิกเคลย์” โดยปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกจะทำให้ ระยะห่างของช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์หรือแกลลอรี่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เข้าไปแทนที่ ซึ่งจะเรียกออร์กาโนเคลย์ที่มีโครงสร้างเช่นนี้ว่า ออร์กาโนเคลย์แบบแทรกสอด (intercalated clay) แต่ถ้าช่องแกลลอรี่ของมอนต์มอริลโลไนต์เกิดการขยายตัวมากจนทำให้แผ่นของมอนต์มอริลโลไนต์แยกออกจากกันและกระจายกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ จะเรียกว่าออร์กาโนเคลย์แบบแยกจากกัน (exfoliated clay) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะทำได้อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร



รูปที่ 2.7 ชนิดของออร์กาโนเคลย์ [16]

2.6 นาโนคอมพอสิต [17]

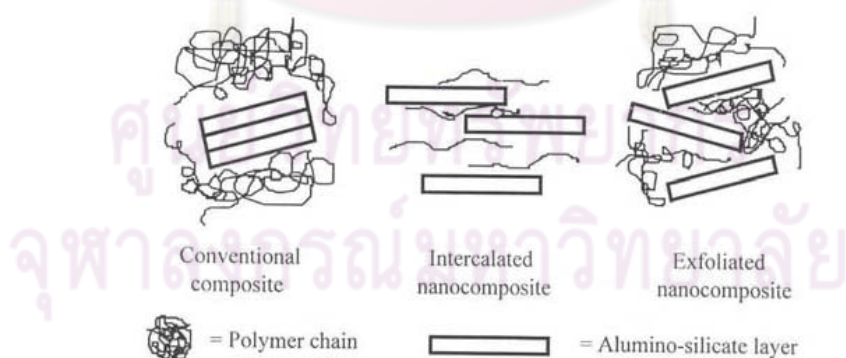
นาโนคอมพอสิต (nanocomposites) เป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่จะช่วยพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมพอสิตแบบทั่วไปทั้งทางด้านความแข็งแรง เสถียรภาพทางความร้อน สมบัติทางแสง ความทนทานต่อสารเคมี และลดความสามารถในการติดไฟ ซึ่งนาโนคอมพอสิตที่ได้รับความสนใจและพัฒนากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเป็นวัสดุที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมสารที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่

เสริมแรงให้กับพอลิเมอร์เนื่องจากจะทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และสารเสริมแรงให้มากยิ่งขึ้น

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

1. คอมพอสิตทั่วไป (conventional composite) จะประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์ที่ไม่แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกต โดยที่แต่ละชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ยังรวมกันอยู่ และเฟสของพอลิเมอร์และเฟสของเคลย์จะแยกออกจากกันอย่างชัดเจน
2. นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด (intercalated nanocomposite) ซึ่งคอมพอสิตชนิดนี้จะประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์ที่แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นซิลิเกตตั้งแต่ 1 สายโซ่ขึ้นไปทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ขยายออก แต่ชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ยังไม่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน
3. นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน (exfoliated nanocomposite) เกิดจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ จนกระทั่งชั้นซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์จะแยกจากกันอย่างชัดเจน ทำให้ได้นาโนคอมพอสิตที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและให้สมบัติที่ดีกว่านาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด

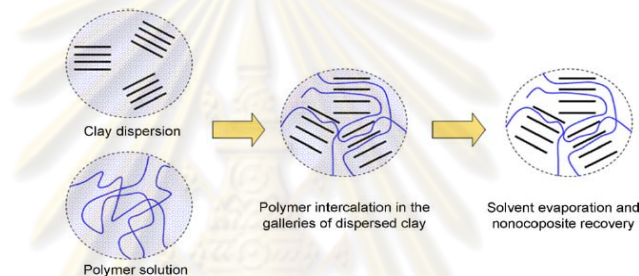


รูปที่ 2.8 ชนิดของพอลิเมอร์/เคลย์ คอมพอสิต [18]

2.6.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์ นาโนคอมพอสิต [19]

การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์ นาโนคอมพอสิตในปัจจุบันมี 3 วิธีคือ

1) Solution intercalation เป็นวิธีที่มีพื้นฐานมาจากการใช้ตัวทำละลายที่พอลิเมอร์หรือพรีพอลิเมอร์สามารถที่จะละลายได้และเป็นตัวทำละลายที่อนุภาคของเคลย์สามารถที่เกิดการบวมตัวได้ ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และโทลูอีน (Toluene) โดยวิธีนี้เมื่อพอลิเมอร์และสารละลายที่มีอนุภาคของเคลย์ที่เกิดการบวมตัวถูกผสมเข้าด้วยกัน พอลิเมอร์จะเกิดการแทรกสอดและแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายภายในชั้นของซิลิเกตของอนุภาคเคลย์ และเมื่อทำการขจัดตัวทำละลายออก จะทำให้ได้พอลิเมอร์-เคลย์ นาโนคอมพอสิตที่มีโครงสร้างแบบแทรกสอด(รูปที่ 2.9)



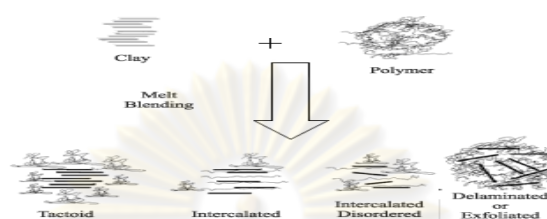
รูปที่ 2.9 การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์ นาโนคอมพอสิตแบบ solution intercalation [20]

2) In situ intercalative polymerization วิธีนี้อนุภาคของเคลย์จะเกิดการกระจายตัวในมอนอเมอร์ (monomer) หรือสารละลายของมอนอเมอร์ โดยมีการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาอินทรีย์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาให้แทรกอยู่ภายในชั้นของซิลิเกต แล้วกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้นระหว่างชั้นของซิลิเกตเมื่อได้รับความร้อนหรือการแผ่รังสี



รูปที่ 2.10 การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตแบบ
in situ intercalative polymerization [21]

3) Melt intercalation เป็นวิธีที่ทำการหลอมพอลิเมอร์ และใช้แรงเฉือนทำให้เกิดการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรเหนืออุณหภูมิอ่อนตัวของพอลิเมอร์ (รูปที่ 2.11) ซึ่งวิธีนี้จะดีกว่าสองวิธีแรกที่กำลังกล่าวมาคือ เป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ และทำการขึ้นรูปได้หลายรูปแบบทั้งแบบอัดรีด แบบฉีด แบบเป่า



รูปที่ 2.11 การเตรียมพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตแบบ melt intercalation [21]

2.6.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต [17]

1. มีความใส เพราะอนุภาคขนาดนาโนเมตรจะมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงวิสิเบิลมากแสงจึงไม่เกิดการกระเจิง จึงไม่เกิดความขุ่น ไม่ทึบแสง แต่จะโปร่งใส
2. มีความแข็งแรง โมดูลัสสูงขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงของชั้นซิลิเกต
3. มีสมบัติการสกัดกั้นการซึมผ่านของแก๊ส เนื่องจากอนุภาคเคลย์ที่กระจายในเนื้อพอลิเมอร์จะมีพื้นที่ผิวและมีค่า aspect ratio สูง ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของแก๊สเพิ่มมากขึ้น
4. ทนความร้อนสูงได้ดี เพราะความเป็นฉนวนที่ดีของชั้นซิลิเกต เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดถ่าน (char) ปกคลุมที่ผิวหน้า จึงไม่ลามไฟ และทำให้ไฟดับอย่างรวดเร็ว
5. เมื่อผสมในพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้ จะทำให้พอลิเมอร์สามารถนำไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ได้ดีขึ้น เพราะจำกัดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิเมอร์ให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการนำไฟฟ้า เช่น สายโซ่พอลิเมอร์จะถูกยึดออกมามากกว่าขดตัวทำให้เกิดเคลื่อนที่ของอิเล็กทรอนิกส์สะดวกขึ้น

2.6.3 ผลิตภัณฑ์สำคัญของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต [17]

1. ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น timing-beltting cover โครงบุใต้หลังคา คอนโซล ตัวถัง ล้อรถยนต์ และถังน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรง คงทนและทนไฟ
2. สีพ่นรถยนต์ ให้ความคงทนมากขึ้น

3. แผ่นฟิล์มกั้นออกซิเจนในขวดยา/อาหาร กระจ่บองบรจุอาหาร เพื่อป้องกันอาหารเสื่อมสภาพและยืดอายุสินค้าให้ยาวนานขึ้น
4. ขวดน้ำอัดลม เบียร์ ป้องกันการสูญเสียแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัดไว้
5. ลูกเทนนิส ลูกบอล ป้องกันการสูญเสียแก๊สภายในลูกบอล ลูกเทนนิส
6. แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ช่วยให้ทนความร้อนได้มากขึ้น การหดตัวลดลง

2.6.4 แนวโน้มการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต [22]

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

1. ชิ้นส่วนรถยนต์ ในปี 2004 บริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของโลกต่างประกาศว่า จะนำชิ้นส่วนที่ผลิตจากพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตมาใช้ในรถยนต์ โดยเชื่อว่าในอนาคตจะสามารถผลิตรถยนต์ทั้งคันที่ทำจากนาโนคอมพอสิตได้ ซึ่งจะมีความปลอดภัยสูง โดยเฉพาะจากอุบัติเหตุเพลิงไหม้
2. ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ได้แก่ ชิ้นส่วนที่ต้องทนน้ำ ด้านการซึมผ่านของแก๊ส เช่น ชิ้นส่วนลิ้นหัวใจเทียม
3. ผลิตภัณฑ์สำหรับอาหารและยา ได้แก่ ฟิล์มป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส

ประเทศไทย : มีศักยภาพที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายรูปแบบ

1. อุตสาหกรรมยานยนต์ อาทิ ชิ้นส่วนภายในรถยนต์
2. ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ อาทิ สารคอมพอสิตอุดฟัน สายยางหรือท่อต่างๆ
3. ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาตินาโนคอมพอสิต เช่น ปะเก็นล้อรถ
4. ผลิตภัณฑ์กีฬา เช่น ลูกบอล ลูกเทนนิส
5. การผลิตฟิล์มการเกษตร ฟิล์มห่อผัก ผลไม้ ฟิล์มเลี้ยงต้นอ่อน ในอุตสาหกรรมเกษตร
6. อุตสาหกรรมเสื้อผ้าโดยการผลิตเส้นใยนาโนคอมพอสิตที่ทนไฟ ให้ความอบอุ่น หรือยับยั้งกลิ่นได้ดี
7. ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม อาทิ ตัวตรวจวัดแก๊สอันตราย บำบัดน้ำเสีย สารอิเล็กทรอนิกส์ในแบตเตอรี่ของแข็ง (solid battery) เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

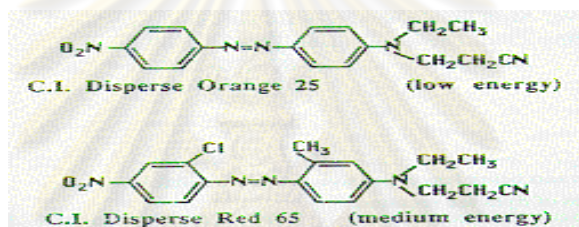
8. การผลิตฟิล์มต้านหรือเพิ่มแก๊สออกซิเจนซึมผ่านสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อลดการเสื่อมสภาพของอาหาร

2.7 สีดีสเพอร์ส (disperse dyes) [23]

สีดีสเพอร์สเป็นสีที่ไม่มีหมู่ประจุ ละลายน้ำได้น้อยและมีโมเลกุลเล็ก มีสมบัติแตกต่างจากสีประเภทอื่น คือ เกิดการระเหิดได้ และเป็นสีชนิดเดี่ยวที่ไม่สีดำ

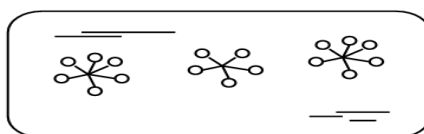
2.7.1 เคมีของสีดีสเพอร์ส [23]

ส่วนให้สีของดีสเพอร์สส่วนใหญ่จะเป็นพวกอะโซ และ อนุพันธ์ของ anthraquinone ยกตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างสีดีสเพอร์ส C.I. Disperse Orange 25 และ C.I. Disperse Red 65 [24, 25]

โดยปกติแล้วในกระบวนการย้อมจำเป็นต้องแช่เส้นใยลงไปในน้ำเหมือนกับการย้อมสีตัวอื่น ๆ เพื่อให้สีดีสเพอร์สสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้จึงต้องผสมสารช่วยให้กระจายตัว (dispersing agent ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว) ลงไปในหม้อย้อมหรือผสมมากับสีเรียบร้อยแล้ว สารลดแรงตึงผิวนั้นเป็นสารที่มีทั้งส่วนชอบน้ำและส่วนไม่ชอบน้ำอยู่ในตัวเดียวกัน ดังนั้นจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สีดีสเพอร์สแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ การเติมสารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่มักจะเติมลงในกระบวนการผลิตสี เพื่อไม่ให้โมเลกุลของสีดีสเพอร์ส ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก รวมตัวหรือจับตัวกันแน่นทำให้เกิดเป็นผลึกขึ้น อันเป็นผลให้การแตกตัวของโมเลกุลสีแยกออกจากกันยากขึ้นในขณะย้อม หน้าที่ของสารลดแรงตึงผิวสามารถอธิบายได้โดยอาศัยรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงหน้าที่ของสารลดแรงตึงผิว [23]

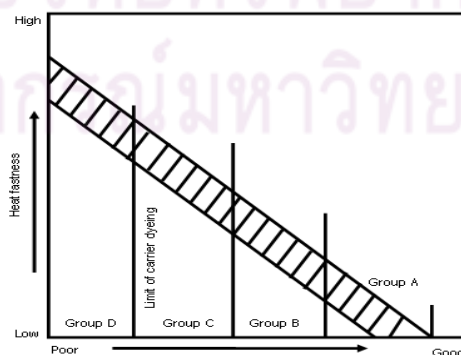
2.7.2 การจัดจำแนกสเตอริโอเพอร์ส [23]

สเตอริโอเพอร์สเป็นสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำที่มีขนาดเล็กทำให้สามารถระเหิดได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 160-215 องศาเซลเซียส อุณหภูมิระเหิดจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของสตี (stereochemistry) และลักษณะการเกิดไฮโดรเจนบอนด์ระหว่างโมเลกุลของสตี

1. ลักษณะรูปร่างของโมเลกุลสตี (stereochemistry) สตีที่มีหมู่รอบข้างสตีใหญ่ (bulky side group) และมีกิ่งก้านสาขามากจะมีอุณหภูมิระเหิดต่ำกว่าสตีที่ไม่มีกิ่งก้านสาขา ทั้งนี้สตีที่มีกิ่งก้านสาขาทำให้โมเลกุลสตีไม่เกาะติดกันแน่นทำให้สตีหลุดออกจากกันได้ง่ายเมื่อให้ความร้อน
2. ลักษณะของไฮโดรเจนบอนด์ : สตีที่มีหมู่ polar groups สามารถเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (intermolecular hydrogen bonding) ได้ จะมีอุณหภูมิระเหิดสูงกว่าสตีที่มีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (intramolecular hydrogen bonding)

การจัดจำแนกสตีตามความสามารถในการระเหิด

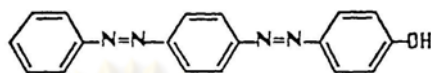
โดยทั่วไปแล้วสเตอริโอเพอร์สสามารถระเหิดได้และอุณหภูมิของสตีจะพบระหว่าง 160-215 องศาเซลเซียสแตกต่างกันไปตามแต่โครงสร้างของสตี แต่ก็สามารถรวบรวมไว้เป็นหมวดหมู่ได้ โดยอาศัยระดับพลังงานมากำหนด ซึ่งแบ่งได้เป็น low energy, medium energy และ high energy ระดับพลังงานของสตีจะเป็นตัวบ่งบอกว่าสตีนั้นมีคุณสมบัติในการยอมอย่างไร เช่น สตี low energy จะบอกให้ทราบว่าสตีตัวนั้นระเหิดได้ง่าย การแทรกซึมเข้าสู่ในเส้นใยได้ดี แต่มีความคงทนต่อความร้อนต่ำ (สตีประเภทนี้เกิด thermal migration ที่อุณหภูมิสูง) การจัดกลุ่มสตีอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ก็คือการจัดโดยใช้อักษร A, B และ D.....A จะบอกให้ทราบว่าเป็นสตีที่มีค่าพลังงานต่ำสุด และสตี class D เป็นสตีที่มีค่าพลังงานสูงที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการยอมสตีกับกลุ่มสตีแสดงได้ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการยอมสตีกับกลุ่มสตี [23]

ลักษณะเด่นของสีแต่ละกลุ่มในเชิงของการนำไปใช้งานจริง

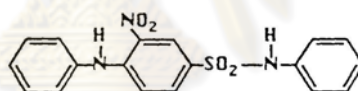
สีกลุ่ม A เหมาะสำหรับย้อมเส้นใยอะซิเตท หรือไนลอน สีกลุ่มนี้ย้อมง่าย แต่มีความคงทนต่อความร้อนต่ำ ตัวอย่างสีกลุ่ม A



C.I. Disperse Yellow 23 (low energy)

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างสีกลุ่ม A [26]

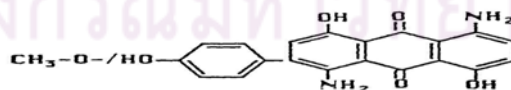
สีกลุ่ม B มีการกระจายตัวในเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ดี เหมาะสำหรับย้อมพอลิเอสเทอร์ที่มีปัญหาเกี่ยวกับ barre' เช่นเส้นใยชนิด texturised ความคงทนต่อความร้อนอยู่ในระดับปานกลาง ตัวอย่างสีกลุ่ม B



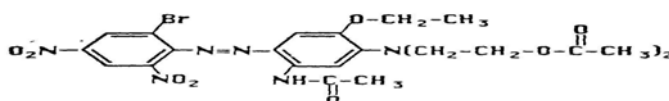
C.I. Disperse Yellow 42 (medium energy)

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างสีกลุ่ม B [27]

สีกลุ่ม C เป็นสีที่ออกแบบมาสำหรับเทคนิคการย้อมที่ต้องเติม carrier (ตัวนำสี) แต่ความคงทนของสีต่อความร้อนไม่สูง เมื่อเทียบเท่ากับสีในกลุ่ม B ตัวอย่างสีกลุ่ม C และ D



C.I. Disperse Blue 73 (medium-high energy)



C.I. Disperse Blue 79 (high energy)

รูปที่ 2.17 ตัวอย่างสีกลุ่ม C [28, 29]

สีกลุ่ม D เป็นสีที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถทนต่อความร้อนได้สูงสุดสำหรับการย้อมโดยไม่ต้องเติม carrier แต่ต้องย้อมที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน (การย้อมแบบ HT-high temperature dyeing) หรือย้อม thermosol (อบด้วยความร้อนแห้งอุณหภูมิประมาณ 180-200 องศาเซลเซียส)

2.7.3 วิธีการย้อมสีดีสเพอร์ส [23]

การย้อมสีดีสเพอร์สสามารถมีได้ทั้งแบบการย้อมโดยอาศัย Carriers, การย้อมที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน และการอบด้วยความร้อนแห้งอุณหภูมิสูง (Thermosol Process)

2.7.3.1 การย้อมโดยอาศัย Carriers

การใช้ carrier หรือ plasticizer จะช่วยทำให้สามารถย้อมเส้นใยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ได้ ตัว carrier นั้นเป็นสารไม่มีประจุเหมือนกับสีดีสเพอร์ส แต่มีโมเลกุลเล็กกว่า และไม่มีสี ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อ carrier เข้าไปอยู่ในเส้นใยแล้วก็จะไปทำลายความเป็นผลึก ของเส้นใยลงทำให้สายพอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้สะดวกขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในเส้นใยจึงทำให้สีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้สะดวกขึ้น แต่ปัญหาของการใช้ carrier คือสารประเภทนี้เป็นสารที่มีกลิ่นเหม็นและเป็นที่มีความเป็นอันตรายสูง จึงทำให้ต้องยกเลิกวิธีการย้อมแบบนี้ไป

2.7.3.2 การย้อมที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน (Pressure Dyeing)

เป็นการย้อมเส้นใยโดยไม่ต้องเติม carrier ลงไปนั้นแต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ คืออยู่ระหว่าง 120-135 องศาเซลเซียส ซึ่งการย้อมเพื่อให้ได้อุณหภูมิได้ในระดับนี้ จะต้องย้อมภายใต้ความดัน เครื่องย้อมจะต้องเป็นแบบระบบปิด อุณหภูมิระหว่าง 120-135 องศาเซลเซียสนั้นจะมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดสั่นได้ทำให้โครงสร้างเปิดออก และสีก็จะสามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้

ข้อดีของการย้อมแบบการย้อมที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน คือ

1. ไม่จำเป็นต้องใช้ carrier
2. ให้ความคงทนต่อการซักดีกว่า
3. การย้อมที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ได้ผลการย้อมสม่ำเสมอ ลดปัญหา Barreness

2.7.3.3 การอบด้วยความร้อนแห้งอุณหภูมิสูง (Thermosol Process)

เป็นการย้อมโดยใช้วิธีต่อเนื่อง ขั้นตอนการย้อมสามารถเขียนได้ดังนี้ จุ่มอัด (padding)

→ ทำแห้ง (Drying) → อบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Curing) (ที่อุณหภูมิระหว่าง 180-210 องศาเซลเซียส) น้ำสีจะมีส่วนผสมของสีดีสเพอร์ส, สารลดแรงตึงผิว และ กรดอะซิติกเพื่อปรับสภาพ pH ของน้ำสีให้อยู่ในระหว่าง 4.5-5.5 (เพราะสีดีสเพอร์สส่วนใหญ่ไม่ทนต่อด่าง) โดยปกติสีดีสเพอร์ส จะผสมสารลดแรงตึงผิวมาเรียบร้อยแล้วแต่สามารถเติมลงไปได้อีกเล็กน้อยถ้าจำเป็น การที่ในอ่างน้ำสีมีสารลดแรงตึงผิวมากเกินไปจะทำให้เปอร์เซ็นต์การติดสีลดลง เพราะสีจะจับอยู่กับสารลดแรงตึงผิวไม่เกิดการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย การทำแห้งก่อนทำอบแห้งหรือ thermofixation จะต้องทำในอุณหภูมิประมาณ 180-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 หรือ 2 นาที

2.7.4 การทำกระบวนการหลังการย้อม (reduction clearing) [23]

การทำ reduction clearing เป็นกระบวนการหลังการย้อมที่จำเป็นสำหรับการย้อมเส้นใยด้วยสีดีสเพอร์ส สารเคมีที่ใช้ทำ reduction clearing คือ sodium hydrosulphite กับ sodium hydroxide วิธีการทำก็คือ นำเส้นใยที่ย้อมแล้วไปแช่ใน reduction clearing solution ที่มีส่วนผสมของ sodium hydrosulphite และ sodium hydroxide เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจับเวลาในการทำ reduction clear ประมาณ 15-20 นาที

จุดประสงค์ในการทำ reduction clear ก็คือ

1. กัดสีที่เกาะอยู่ตามผิวของเส้นใยออก ทำให้ความคงทนต่อการซักของสีดีขึ้นนอกจากนี้ยังทำให้ได้เฉดสีที่สดใสด้วย
2. ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเล็กลง การที่ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กจะทำให้ผ้าดูเนื้อละเอียดและพริ้ว ทำให้ความรู้สึกสัมผัสดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากพอลิไพร์ฟีลีน/พอลิสไตรีน-เคลย์ ได้แก่

Xaoan Fu และ Syed Q. [30] ศึกษาการสังเคราะห์พอลิสไตรีน-เคลย์นาโนคอมพอสิตด้วยวิธี Free radical polymerization ของสไตรีนในระบบที่มีเคลย์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD และ TEM พบว่าพอลิสไตรีนที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่ตัดแปรด้วย Vinylbenzyl dodecyl ammonium chloride 7.6% จะเกิดโครงสร้างนาโนคอมพอสิตแบบแยกชั้น (Exfoliated) โดยจากเทคนิค XRD ไม่พบระยะห่างระหว่างชั้นของแผ่นของเคลย์ที่ปกติจะวัดได้ 1.98° (2θ) และวัสดุนาโนคอมพอสิตที่สังเคราะห์ได้จะมีความแข็งแรงที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มสูงขึ้น แต่จะมีค่า Glass transition temperature ที่ 96°C ซึ่งต่ำกว่าสไตรีนบริสุทธิ์เล็กน้อย

Chao D. และคณะ [31] ศึกษาการเตรียมพอลิสไตรีน/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต โดยใช้การกระบวนการสังเคราะห์ 2 ขั้นตอน คือ Emulsion polymerization และ Melt intercalation (blending) จากผลการทดลองพบว่าการสังเคราะห์พอลิสไตรีนเข้าไปแทรกสอดในชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์โดยผ่านกระบวนการสองขั้นตอน จะทำให้พอลิสไตรีนมีความสามารถแทรกเข้าไปในชั้นแกลอริของมอนต์มอริลโลไนต์ในลักษณะแบบ Intercalated ผงที่ได้จะมีความละเอียดสูงและกระจายตัวสม่ำเสมอว่าการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเพียงกระบวนการเดียว และเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่เติมลงไปพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งแรง เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิสไตรีนบริสุทธิ์ เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์จะการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีทำให้ไปช่วยในการเสริมแรงมากขึ้น

Alexander B. Morgan และ Joseph D. H [32] ศึกษาการเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตของพอลิสไตรีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิตในแบบ Exfoliated ด้วยวิธี Solution blending ผ่านกระบวนการ Sonication ร่วมกับตัวทำละลาย Chlorobenzene และใช้ 1,2-Dimethyl-3-*n*-hexadecyl imidazolium bromide (DMHDI-Br) เป็นสารลดแรงตึงผิว เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) และเทคนิค Electron microscopy (TEM) พบว่า เกิดระยะห่างระหว่างชั้นดินเพิ่มมากขึ้น โดยจะมีค่าระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์เพิ่มขึ้นประมาณ 1.94 นาโนเมตร และมีลักษณะการแยกชั้นของวัสดุนาโนคอมพอสิตเป็นแบบ exfoliated

Qinguo Fan และคณะ [33] ศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีแอซิดและสีดีสเพอร์สของฟิล์มนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีนและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม พบว่าปริมาณการติดสีของนาโนคอมพอสิตจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น ในการย้อมติดสีแอซิดเกิดขึ้นเนื่องจากพันธะไฮออนิกระหว่างประจุลบของแอซิดกับประจุบวกของควอเทอร์นารีแอมโมเนียม และอาจมีแรงวันเดอร์วาลส์กับพันธะไฮโดรเจนร่วมด้วย สำหรับในการย้อมติดสีดีสเพอร์สจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสีดีสเพอร์สและมอนต์มอริลโลไนต์ เนื่องจากมีแรงวันเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจน ในส่วนความสามารถของการย้อมติดสีนั้นจะขึ้นกับการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ในเนื้อของพอลิโพรพิลีนและระยะเวลาการผสมขึ้นรูป

Burkinshaw S.M. และคณะ [34] ศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับปรุงโครงสร้างด้วยการเติม hyperbranched polyesteramide (Hybranch PS2550) พบว่า การเติม Stearate-modified hyperbranched polymer ปริมาณร้อยละ 3 ในพอลิโพรพิลีนจะมีความสามารถในการย้อมติดสีดีสเพอร์ส (C.I. Disperse Blue 56) ดีกว่าเมื่อเทียบกับพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 72 meq/ 100 g.clay (บริษัท Southern Clay Product จำกัด)
2. สารลดแรงตึงผิวไดออกตะเดซิลไดเมทิลดีเอมโมเนียมคลอไรด์ (Akzo nobel)
3. สไตรีน ความบริสุทธิ์ 99.9% (Acros organic, USA)
4. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Panreac sintesis, EU)
5. พอลิโพรพิลีนชนิดผง (ทีเอชแอล อุตสาหกรรมจำกัด) ค่าดัชนีการไหล 25.8 กรัม/10 นาที
6. พอลิโพรพิลีนแว็กซ์ TP Licocene® PP 6102 (บริษัท คลาเรียนท์ เคมีคอลซ (ประเทศไทย) จำกัด)
7. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox® B 215(Ciba Inc., Switzerland)
8. โทลูอีน (Aldrich Chemistry, Germany)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังปฏิกริยา ขนาด 3500 มิลลิลิตร
2. เครื่องแก้ว
3. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย
4. เครื่องปั่นกวนเชิงกล ชนิดรอบความเร็วสูง (homogenizer)
5. เครื่องกรองสุญญากาศ
6. กระจกกรอง
7. ตู้อบสาร
8. ตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh
9. ตะแกรงร่อนระบบสั่นสะเทือน (vibrating sieve) (Retsch), สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) (NETZSCH STA, 409 C/CD), ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น 822 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
12. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) (Perkin Elmer, Spectrum one FT-IR spectrometer), ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. Scanning Electron Microscope (PHILIPS, XL 30 CP), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. Transmission Electron Microscope (JEOL, JEM-2100), ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. X-ray Diffractometer (PHILIPS, X'Pert PW 3710), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. เครื่องวัดดัชนีการหักเห (Kayness)
17. เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวคู่ (BETOL), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
18. เครื่องปั้นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิด สกรูเดี่ยว ยี่ห้อ Thermo Haake, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
19. Universal Testing Machine (Instron, 5583), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
20. เต้าไฟฟ้า 1600 องศาเซลเซียส (Carbolite, RHF 16/10), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
21. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, BX60), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
22. เครื่องย้อมสี LABTEC ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
23. เครื่องวัดสี (reflectance spectrophotometer) รุ่น Macbeth Color –Eye 700, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การตัดแปรเคลย์ด้วยไดออกตะเดซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Dioctadecyl dimethylammonium chloride)

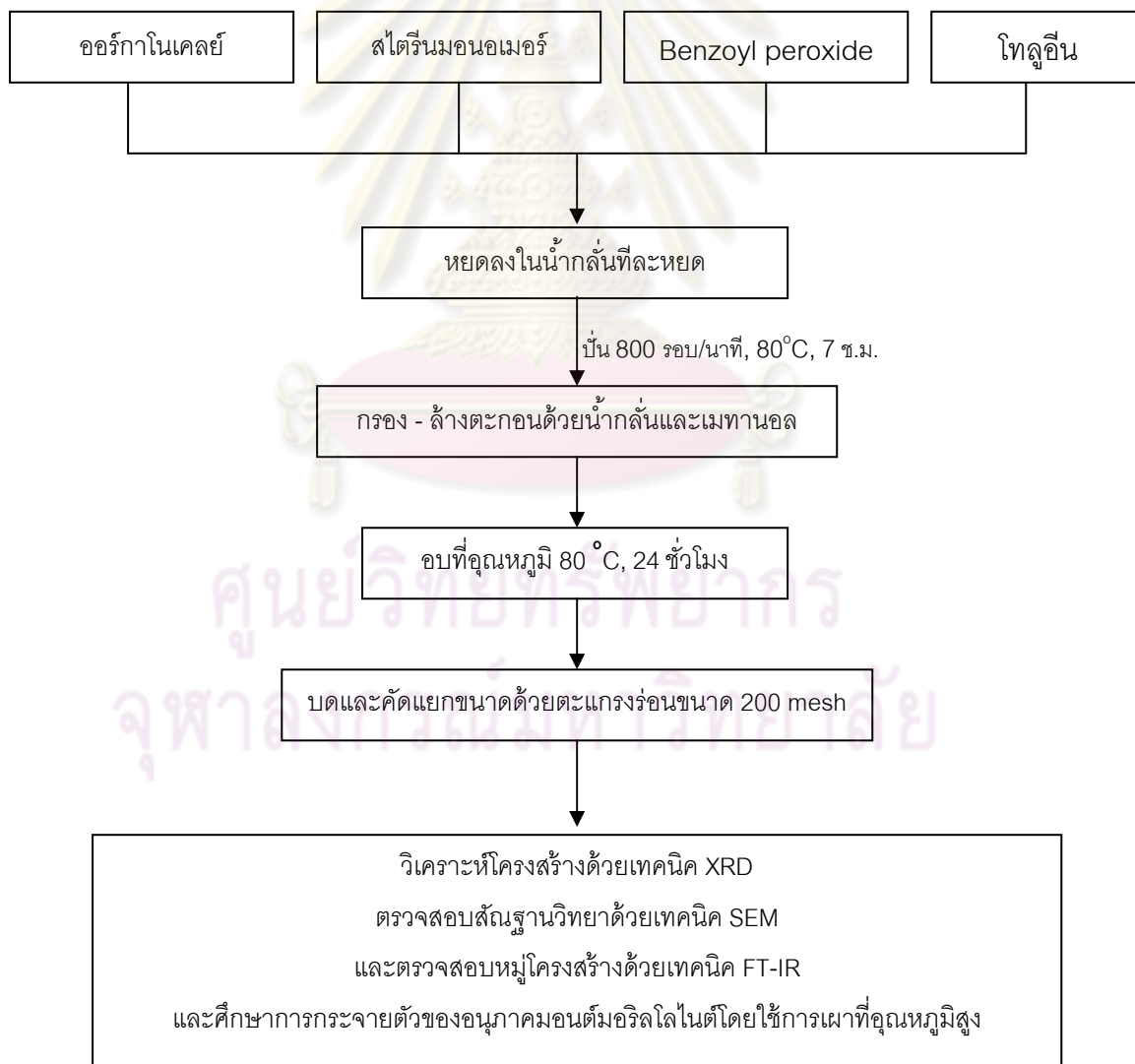
ทำการปั่นมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณ 400 กรัม ในน้ำกลั่น 20 ลิตร ภายในถังปฏิกรณ์ด้วยความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องและทำการละลายไดออกตะเดซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ปริมาณ 327.33 กรัม ในน้ำกลั่น 20 ลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไดออกตะเดซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ละลายแล้วเทลงในถังปฏิกรณ์ที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ในถังแรก แล้วปั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำการปั่นที่อุณหภูมิห้อง ต่อเป็นเวลา 30 นาที ทำการกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงบดมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการตัดแปรให้ละเอียด และคัดแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh ดังขั้นตอนรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการตัดแปรเคลย์ (ออร์กาโนเคลย์)

3.3.2 การเตรียมพอลิस्टาไรีน-ออร์กาโนเคลย์

ทำการแช่ออร์กาโนเคลย์ที่ผ่านการตัดแปรแล้วจากกระบวนการข้างต้นลงในสไตรีนมอนอเมอร์ แล้วจึงใส่ สารเร่งปฏิกิริยา Benzoyl peroxide และโทลูอีน ที่เป็นสารช่วยในการกระจายตัวของเคลย์ลงไป โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแสดงในตาราง 3.1 ทำการผสมให้เข้ากัน แล้วหยดลงในน้ำกลั่น 3 ลิตร ที่ละหยด ปั่นจนที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดำเนินปฏิกิริยาไปเป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นนำพอลิस्टาไรีนที่สังเคราะห์ได้ไปทำการกรองล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและเมทานอล นำตะกอนที่ล้างแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ทำการบดมอนอเมอร์โพลีไวนิลที่ผ่านการตัดแปรให้ละเอียด และคัดแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh ดังขั้นตอนรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมพอลิस्टาไรีน-ออร์กาโนเคลย์

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์

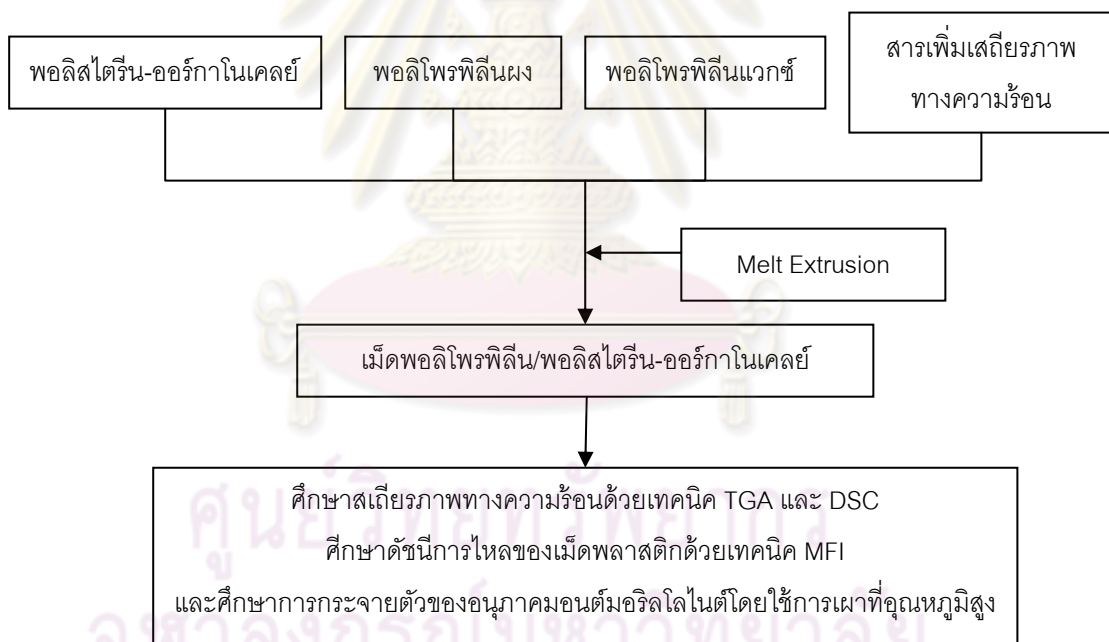
สูตร	อัตราส่วน		ปริมาณสาร (กรัม)			
	พอลิสไตรีน	ออร์กาโนเคลย์	สไตรีน	ออร์กาโนเคลย์	BPO	Toluene
PS0-OC1	0.0	1.0	0	100	0	200
PS0.5-OC1	0.5	1.0	50	100	1.5	150
PS1-OC1	1.0	1.0	100	100	3.0	100
PS1.5-OC1	1.5	1.0	150	100	4.5	50
PS2-OC1	2.0	1.0	200	100	6.0	0

3.3.3 การเตรียมพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 0:1, 0.5:1.0, 1.0:1.0, 1.5:1.0, 2.0:1.0 ในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนักสารทั้งหมด ตามลำดับ โดยในสูตรผสมประกอบด้วย พอลิโพรพิลีน พอลิโพรพิลีนแวกซ์ สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ดังตารางที่ 3.2 ทำการผสมด้วยกระบวนการอัดรีดแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ของบริษัท BETOL ดังรูปที่ 3.3 โดยใช้อุณหภูมิของ barrel zone และ die zone เท่ากับ 220 องศาเซลเซียส ใช้ความดันเท่ากับ 25.0 psi ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 100 รอบ/นาที และ motor load เท่ากับ 13 แอมแปร์ จากนั้นจึงทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค TGA และ DSC และศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคมอนต์มอริลโลต์โดยใช้กระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง ดังขั้นตอนในรูป 3.4



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมนานคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/พอลิโอสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์

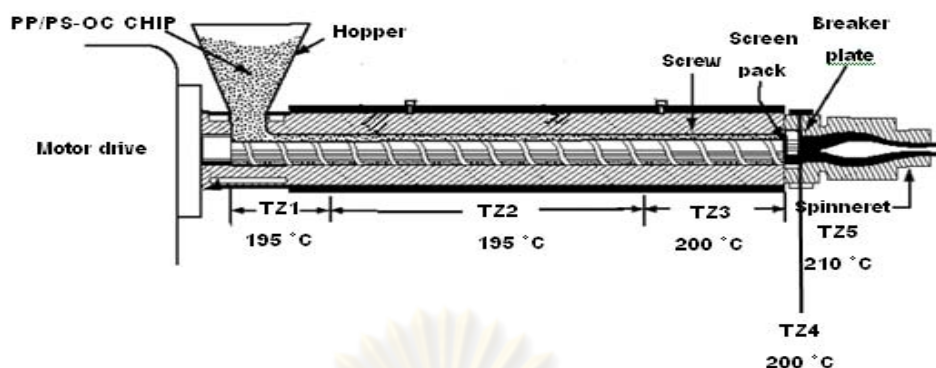
ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์

ปริมาณสาร (กรัม)	ปริมาณพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ (wt%)	
	3wt%	5wt%
พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์	9.00	15.00
พอลิโพรพิลีนชนิดผง	230.25	224.25
พอลิโพรพิลีนแวกซ์	60.00	60.00
สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน	0.75	0.75
รวม	300.00	300.00

3.3.4 การเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

ทำการปั่นเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว โดยใช้เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวด้วย ชนิด สกรูเดี่ยว ยี่ห้อ Thermo Haake คุณภูมิในการหลอมเหลวเม็ดพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตเป็นดังนี้

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

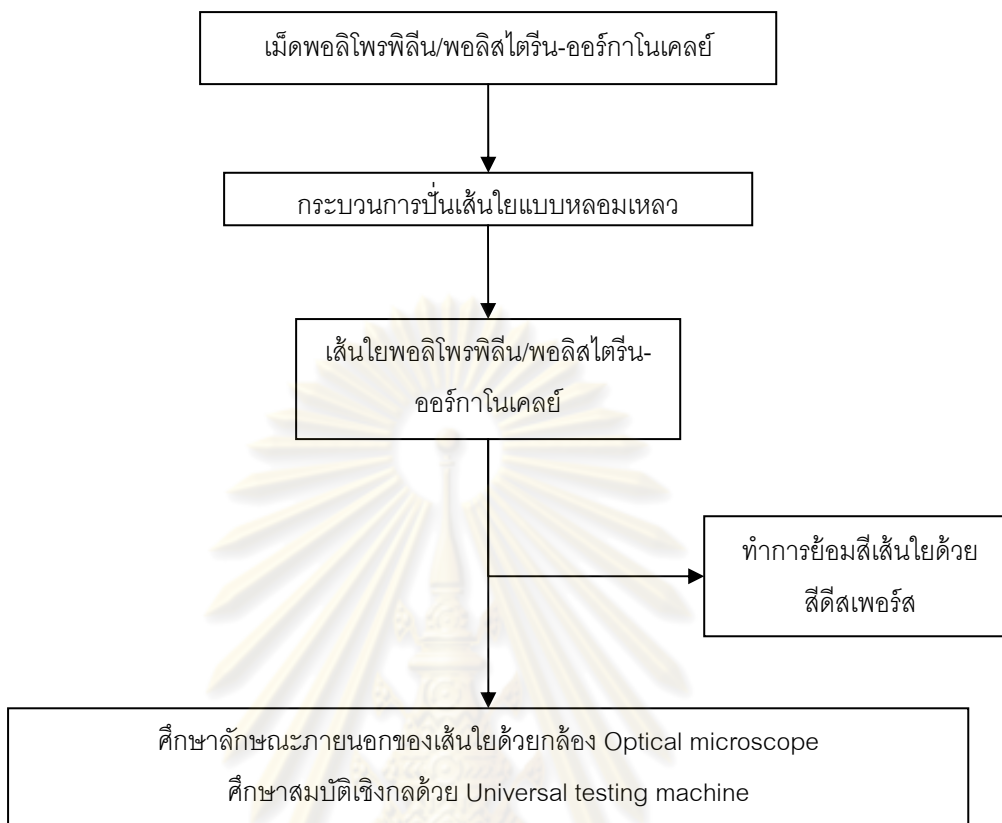


รูปที่ 3.5 อุณหภูมิการหลอมเหลว 5 โซนของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

ความเร็วรอบของสกรู 8 รอบ/นาที ความเร็วของลูกกลิ้งตัวที่ 1 เท่ากับ 10 เมตร/นาที ความเร็วรอบลูกกลิ้งตัวที่ 2 เท่ากับ 50 เมตร/นาที และความเร็วในการหมุนเก็บ เท่ากับ 50 เมตร/นาที จากนั้นวัดขนาดและศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ภายในพอลิเมอร์ด้วยกล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ศึกษาความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Instron รุ่น 5538 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD ทำการย้อมสีเส้นใยด้วยสีดีสเพอร์ส และศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีด้วยเครื่องวัดสี (reflectance spectrophotometer) รุ่น Macbeth Color –Eye 700 ดังขั้นตอนในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 เครื่องปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวชนิดสกรูเดี่ยว



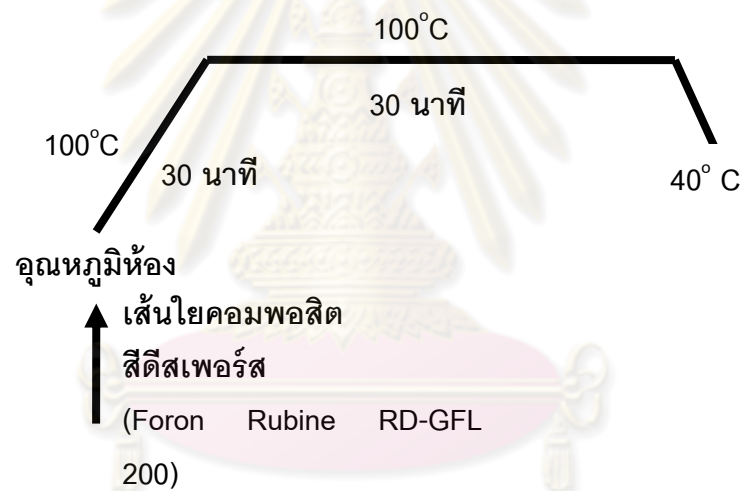
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยพอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิต

3.3.5 การย้อมสีเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิไตรอิน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

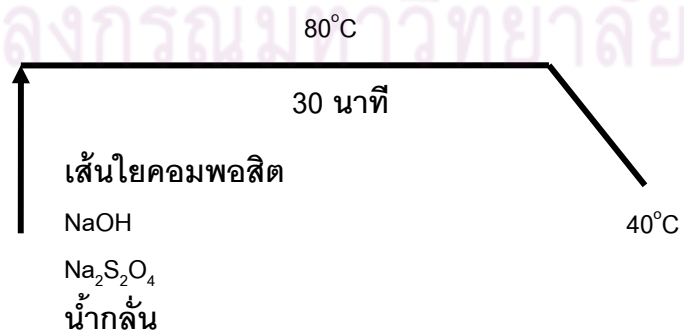
ทำการย้อมสีเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิไตรอิน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต และเส้นใยพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่องย้อมสี LABTEC รุ่น H-244 (รูปที่ 3.8) โดยใช้สีย้อมดีสเพอร์ส Foron Rubine RD-GFL 200 จากบริษัท Clariant ปริมาณร้อยละ 1 (เทียบกับน้ำหนักเส้นใย) อัตราส่วนน้ำ: เส้นใย (1:20) ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยขั้นตอนแสดงดังรูป 3.9 และนำเส้นใยที่ผ่านกระบวนการย้อมแล้วมาทำการล้างด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 5 ตามลำดับ ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยขั้นตอนแสดงดังรูป 3.10 จากนั้นนำเส้นใยที่ย้อมสีแล้วมาทำการทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยด้วยเครื่องวัดสี (reflectance spectrophotometer) รุ่น Macbeth Color-Eye 700



รูปที่ 3.8 เครื่องย่อย



รูปที่ 3.9 แผนภูมิขั้นตอนการย่อย



รูปที่ 3.10 แผนภูมิขั้นตอนการล้างสี

3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ

3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิไทรอิน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค XRD

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของพอลิไทรอิน-ออร์กาโนเคลย์ และเส้นใยพอลิไพรีน/พอลิไทรอิน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD โดยใช้เครื่องของบริษัท PHILIPS รุ่น X'Pert PW 3710 ดังแสดงในรูปที่ 3.11

โดยใช้ภาวะของการวิเคราะห์เป็นดังนี้

หลอดรังสีเอกซ์ : Cu

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ : CuK_{α}

โดยเครื่องเริ่มทำการที่มุม 2θ ตั้งแต่ 3 องศา ถึง 40 องศา อัตราความเร็ว 1.2 องศา/วินาที
คำนวณระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของมอนตม์อริโดไลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยสมการของแบรกก์ (Bragg's equation) ดังนี้

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

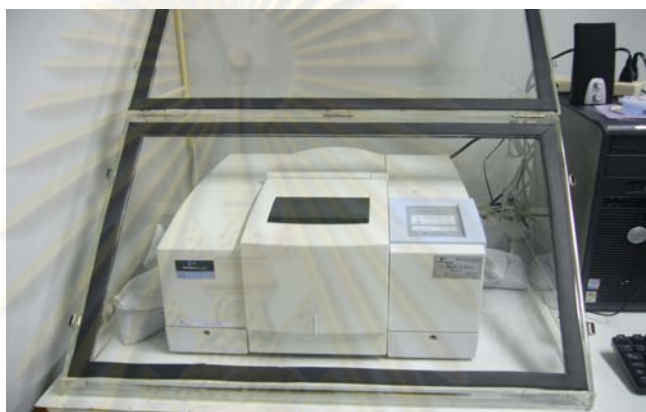
โดย	d	คือ	ระยะห่างของชั้นระหว่างผลึก
	n	คือ	ตัวเลขจำนวนเต็ม
	λ	คือ	ความยาวคลื่นของแสง ($\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$)
	θ	คือ	มุมที่รังสีเอกซ์ตกกระทบผิวของผลึก



รูปที่ 3.11 X-ray Diffractometer

3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคมอนต์พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค (FT-IR) โดยใช้เครื่องของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum one FT-IR spectrometer ดังแสดงในรูป 3.12 โดยการนำสารตัวอย่างมาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นชั้นทดสอบ จากนั้นนำมาหาแถบการดูดกลืนที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งสามารถบอกถึงโครงสร้างทางเคมีของสารได้



รูปที่ 3.12 เครื่อง FT-IR spectrometer

3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค SEM

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ PHILIPS รุ่น XL 30 CP (รูปที่ 3.13) กำลังขยาย 5,000 และ 10,000 เท่า ใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิต

Thermal gravimetric analysis (TGA)

ศึกษาสมบัติเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA โดยใช้เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ของบริษัท NETZSCH STA รุ่น 409 C/CD ดังแสดงในรูป 3.14 โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 15 มิลลิกรัม 10-15 มิลลิกรัม ใส่ในถาดอะลูมินาโดยใช้สภาวะในการทดสอบเริ่มจากอุณหภูมิ 20-800 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 3.14 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

Differential scanning calorimetry (DSC)

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น 822 ดังแสดงในรูป 3.15 สถานที่ทดสอบ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 25-250 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที แล้วทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราการทำให้เย็น 20 องศาเซลเซียส/นาที หลังจากนั้นให้ความร้อนถึง 250 องศาเซลเซียส อัตราการทำให้เย็น 20 องศาเซลเซียส/นาที อีกครั้ง



รูปที่ 3.15 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

3.4.5 การหาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

หาค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ตามมาตรฐาน ASTM D1230 โดยใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวเท่ากับ 230 องศาเซลเซียส และน้ำหนักไหลต่อเท่ากับ 2.15 กิโลกรัม โดยใช้เครื่อง Melt flow index ของบริษัท Kayness ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่อง Melt flow index

3.4.6 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิโพรพิลีน

ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิโพรพิลีนโดยใช้การเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จำนวน 10 ตัวอย่าง น้ำหนักแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 2.0 กรัม โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า 1600 องศาเซลเซียส ของบริษัท Carbolite รุ่น RHF 16/10 ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เตาเผาไฟฟ้า 1600 องศาเซลเซียส

3.4.7 การศึกษาลักษณะภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)

ศึกษาลักษณะภายนอกและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต โดยใช้กล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ที่กำลังขยายเท่ากับ 10 เท่า และ 20 เท่า และถ่ายภาพด้วย Moticam 2200 ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กล้อง Optical microscope

3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

ทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตตามมาตรฐาน ASTM D3822 ด้วยเครื่อง Universal testing machine ของบริษัท Instron รุ่น 5538 ดังแสดงในรูป 3.19 โดยใช้ความยาวเส้นด้ายทดสอบ (gauge length) เท่ากับ 25 มิลลิเมตร อัตราเร็วของการดึง (crosshead speed) เท่ากับ 250 มิลลิเมตร/นาที น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ในการดึงเท่ากับ 5 kN ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.19 เครื่อง Universal testing machine

3.4.9 การทดสอบหาค่าความสามารถในการยึดติดสีของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

การทดสอบนี้เป็นการวัดเพื่อหาค่าการติดสีของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ที่มีปริมาณของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตหลังการยึดด้วยสีดีสเพอร์ส จะถูกนำมาทำการวัดค่าการติดสี (K/S value) ด้วยเครื่องวัดสี (Reflectance spectrophotometer) รุ่น Macbeth-700 (รูปที่ 3.20) โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากเครื่องวัดสี โดยค่าความเข้มของสีจะวัดที่จุดความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{MAX}) ของสีที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละสีมีสมบัติการดูดแสงและสะท้อนแสงให้เห็นสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของค่าความยาวคลื่นสูงสุดของแต่ละสีที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 10 นาโนเมตร



รูปที่ 3.20 เครื่องวัดสี (Reflectance spectrophotometer)

3.4.10 การทดสอบความคงทนของสีย้อมดิสเพอร์เตอร์ต่อการซักของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อศึกษาความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/
พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต หลังการย้อมตามกระบวนการในข้อที่ 3.3.5 ถูก
นำมาวัดความคงทนของสีต่อการซักด้วยเครื่อง เครื่องวัดสี (Reflectance spectrophotometer)
รุ่น Macbeth-700

โดยการนำเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต มาซักในน้ำ
สบู่มาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 0.34 โดยปริมาตร ในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเส้นใยต่อน้ำสบู่
1:200 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องซัก Gyrowash (รูปที่ 3.21) นาน 45 นาที เมื่อซัก
เสร็จแล้วให้นำชิ้นทดสอบมาล้างในน้ำกลั่น 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 ± องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1
นาที จากนั้นตากให้แห้ง ซึ่งการทดสอบจะทำ 1 ชิ้นต่อตัวอย่าง และทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว
แล้ววัดค่าความคงทนต่อการซักเพื่อวัดความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลง



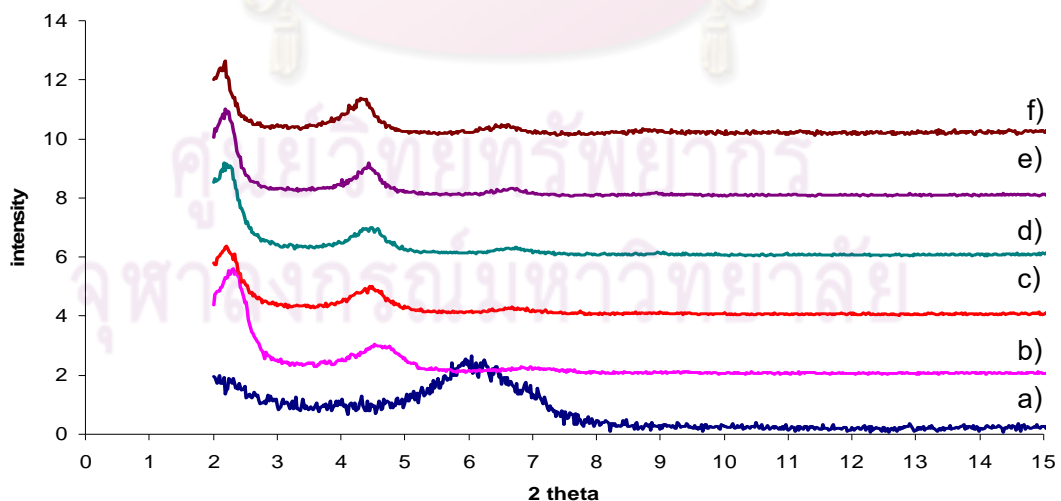
รูปที่ 3.21 เครื่องซัก Gyrowash

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค XRD

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์และออร์กาโนเคลย์ตั้งแต่ 0.5 : 1, 1 : 1, 1.5 : 1 และ 2 : 1 ที่มีต่อการดัดแปรออร์กาโนเคลย์ โดยกำหนดให้ PS0-OC1 หมายถึง ออร์กาโนเคลย์ที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน และ PS0.5-OC1, PS1-OC1, PS1.5-OC1 และ PS2-OC1 หมายถึง ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 0.5 : 1, 1 : 1, 1.5 : 1 และ 2 : 1 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบชั้นโครงสร้างของเคลย์ด้วยเทคนิค XRD เปรียบเทียบกับเคลย์ที่ไม่ได้ดัดแปร ดังรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า เคลย์ก่อนดัดแปรมีระยะห่างของชั้นโครงสร้างในระนาบ 001 เท่ากับ 14.17 Å และเมื่อดัดแปรด้วยสารประกอบอัลคิลแอมโมเนียมเป็นออร์กาโนเคลย์ ระยะห่างของชั้นโครงสร้างในระนาบ 001 ขยายเพิ่มขึ้นเป็น 37.24 Å และออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนในอัตราส่วนที่ค่อยๆเพิ่มสัดส่วนของพอลิสไตรีนขึ้น จะได้ค่าระยะห่างของชั้นโครงสร้างในระนาบ 001 เพิ่มขึ้นเป็น 39.59, 39.94, 39.23 และ 40.31 Å ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากผลการศึกษาข้างต้นชี้ได้ว่าปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่มากขึ้นจะแทรกสอดเข้าไปในชั้นโครงสร้างของเคลย์และเกิดการพอลิเมอไรเซชันได้พอลิสไตรีนแทรกสอดอยู่ในชั้นโครงสร้างของเคลย์มากขึ้นด้วยตามลำดับ



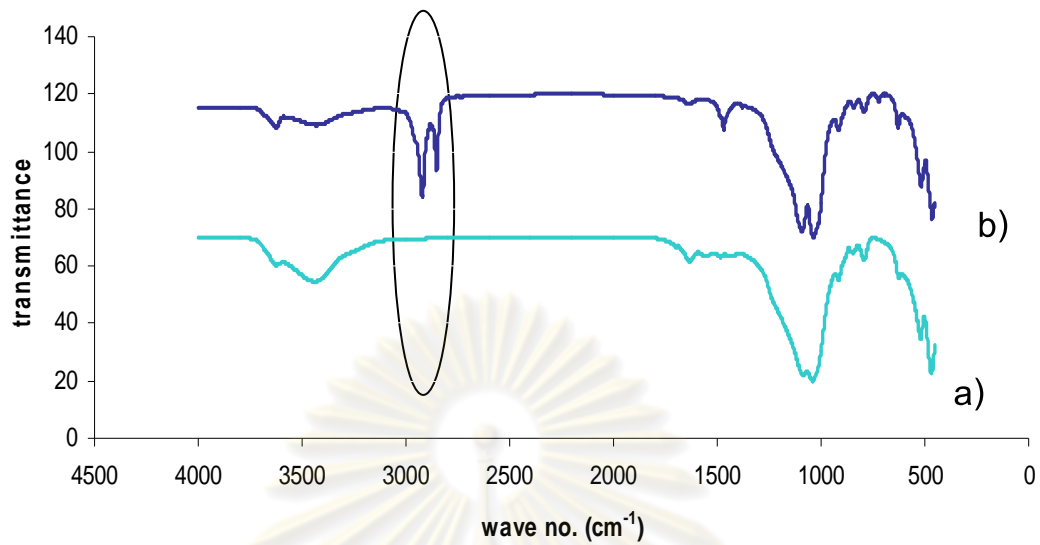
รูปที่ 4.1 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ a.) Montmorillonite, b.)PS0-Clay, c.) PS0.5-OC1, d.) PS1-OC1, e.) PS1.5-OC1 และ f.) PS2-OC1

ตารางที่ 4.1 ระยะ d_{001} ของออร์กาโนเคลย์ดัดแปร

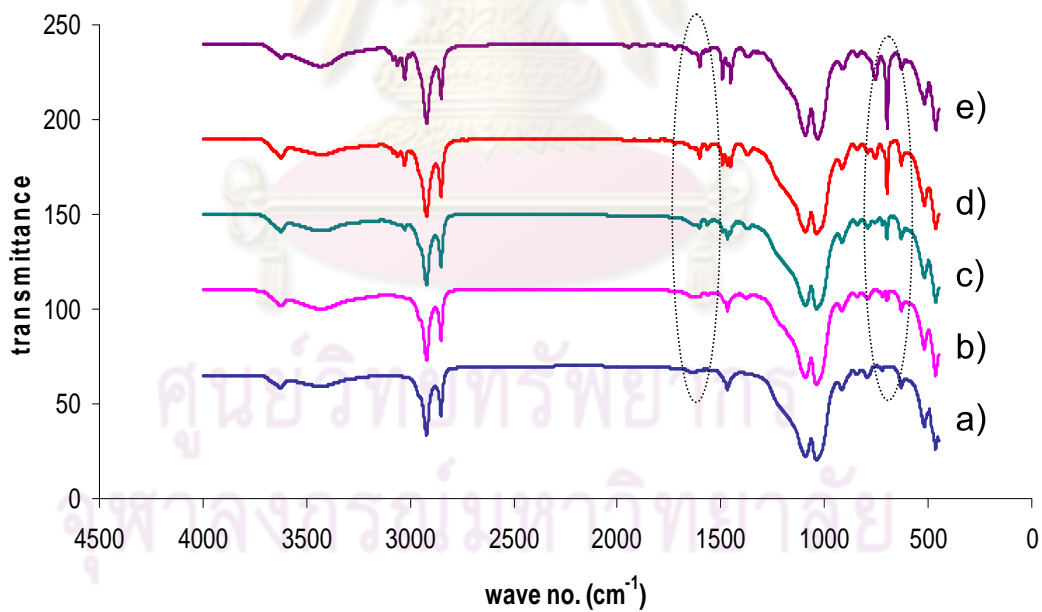
สูตร	สัดส่วนของ สไตรีนมอนอเมอร์ : ออร์กาโนเคลย์	ค่า d_{001} (Å)
Clay	-	14.17
PS0-OC1	0 : 1.0	37.24
PS0.5-OC1	0.5 : 1.0	39.59
PS1-OC1	1.0 : 1.0	39.94
PS1.5-OC1	1.5 : 1.0	39.23
PS2-OC1	2.0 : 1.0	40.31

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค FT-IR

จากผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ (เคลย์) และ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรแล้ว (ออร์กาโนเคลย์) ด้วยไดออกตะเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ปรากฏพีการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง $2,918 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง $-\text{CH}_2-$ asymmetric stretching ตำแหน่ง $2,850 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง CH_3- symmetric stretching และ $1,448 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง CH_3 -asymmetric deformation แสดงถึงการแทรกสอดของโมเลกุลไดออกตะเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียม $((\text{CH}_3)_2\text{N}^+(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17})_2)$ ในชั้นของเคลย์ เมื่อทำการเติมพอลิสไตรีนโดยอัตราส่วนสไตรีนต่อออร์กาโนเคลย์เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ โดยผ่านกระบวนการ *in situ* polymerization พบว่าผลของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ทดสอบได้ แสดงดังรูปที่ 4.3 ปรากฏพีการดูดกลืนรังสีที่เพิ่มขึ้นจากอินฟราเรดสเปกตรัมของออร์กาโนเคลย์ที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนคือ $1,492$ และ $1,452 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง CH aromatic และตำแหน่ง 906 และ 697 cm^{-1} แสดงถึง C-C aromatic stretch ซึ่งตำแหน่งที่ปรากฏขึ้นทั้งหมดสามารถบ่งชี้ได้ว่าพอลิสไตรีนสามารถแทรกสอดอยู่ในชั้นของออร์กาโนเคลย์ และความเข้มของพีการตำแหน่งที่ปรากฏข้างต้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ
a.) Montmorillonite b.) Organoclay



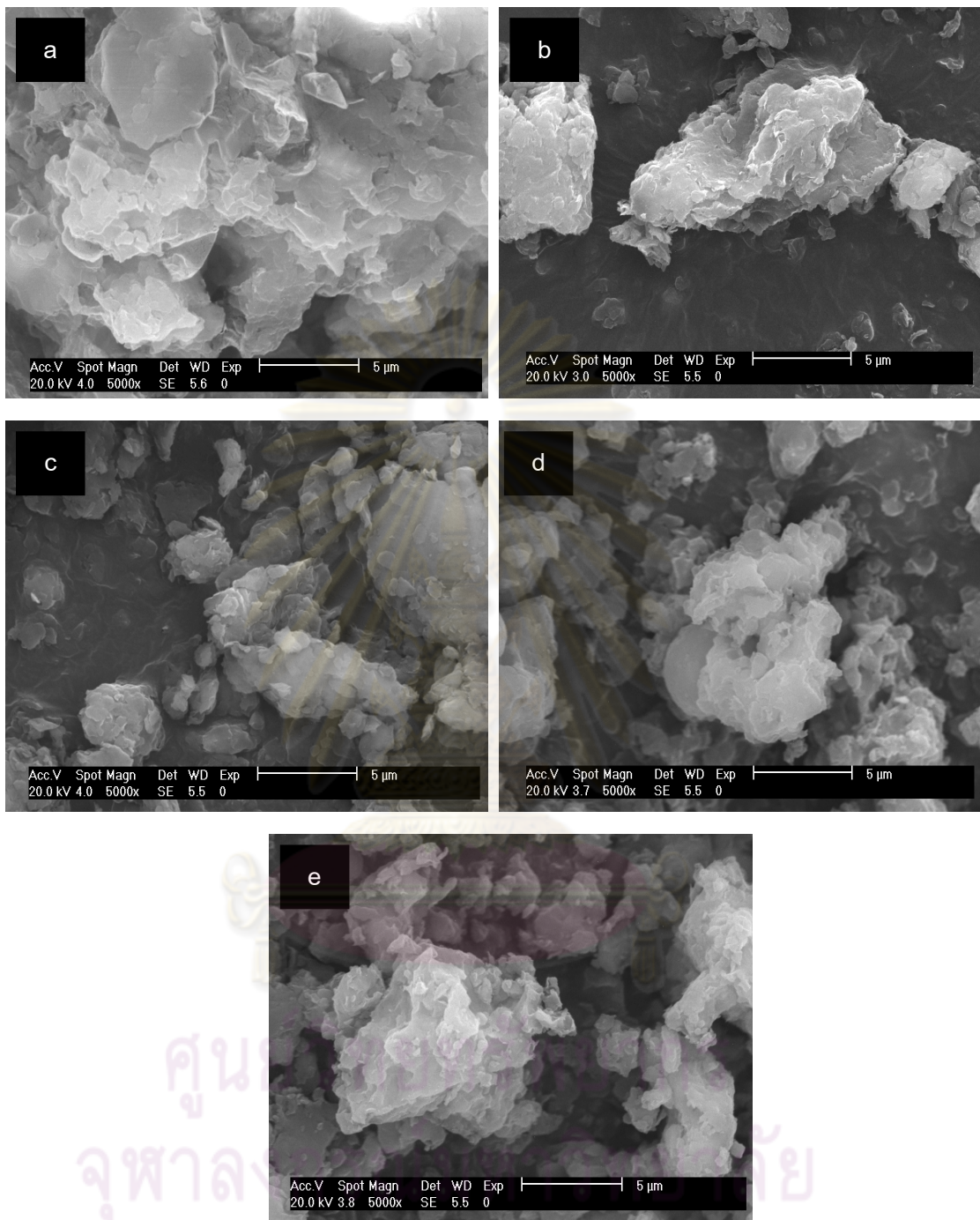
รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์
a.) PS0-OC1 b.) PS0.5-OC1, c.) PS1-OC1, d.) PS1.5-OC1 และ e.) PS2-OC1

4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค SEM

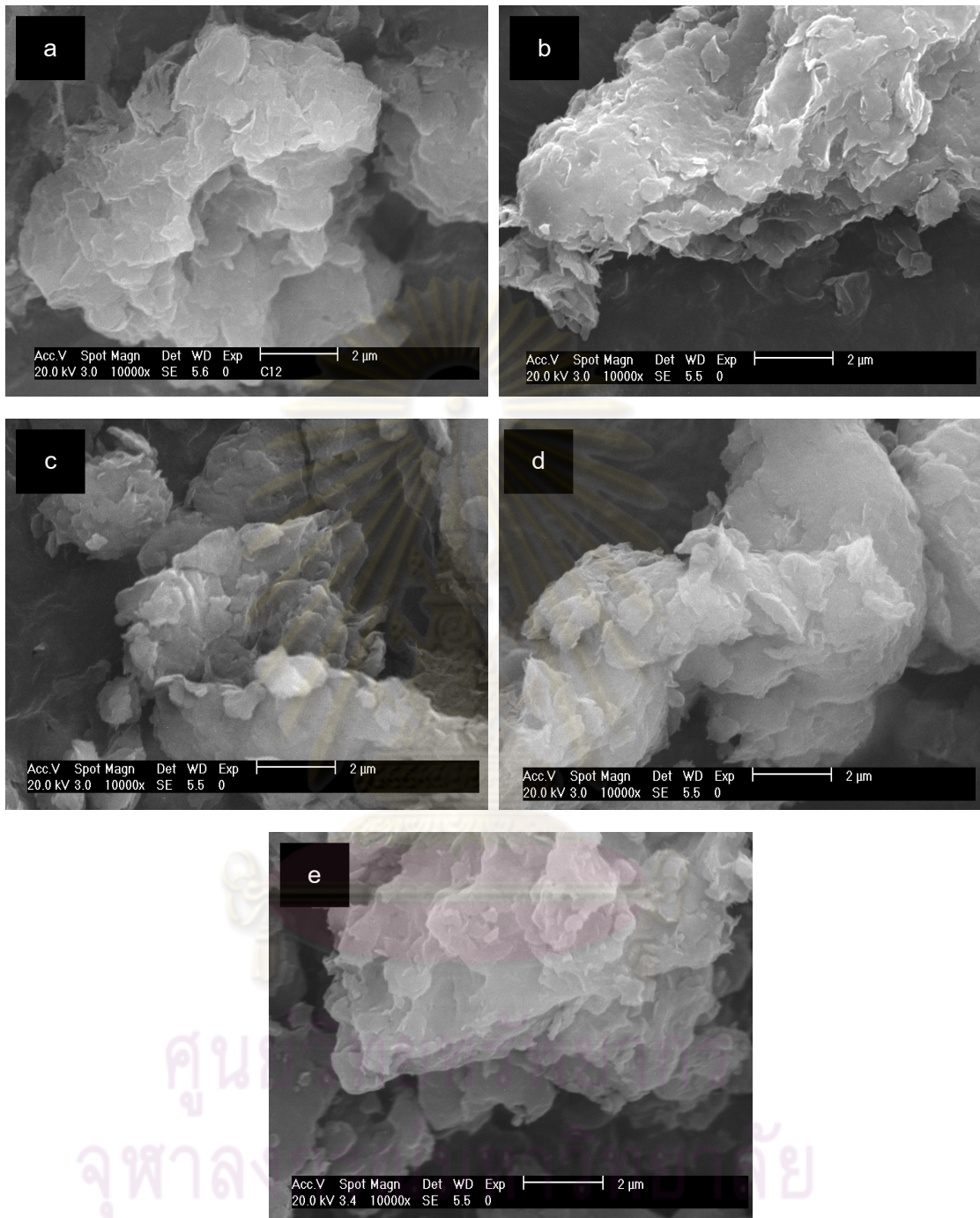
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ด้วยเทคนิค SEM ที่อัตราส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์:ออร์กาโนเคลย์ เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นในแต่ละสูตร ทำให้ออนุภาคของเคลย์มีขนาดที่เล็กลง (สังเกตจากกลุ่มก้อนของอนุภาคเคลย์ที่มีขนาดเล็กกระจายอยู่โดยรอบ) แต่ในกรณีลักษณะของชั้นแผ่นเคลย์ที่มีพอลิสไตรีนเข้าไปแทรกสอดนั้นมีลักษณะที่คล้ายกันทุกกรณี นั่นคือซ้อนกันอย่างหนาแน่น และการกระจายของกลุ่มก้อนของออร์กาโนเคลย์เหล่านี้ มีลักษณะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ XRD ที่ให้ค่า d_{001} แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคของพอลิสไตรีนที่เกิดการพอลิเมอไรเซชันภายในช่องแกลลลารีไม่สามารถทำให้ชั้นของออร์กาโนเคลย์แยกออกจากกันอย่างอิสระได้



คุรุณย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



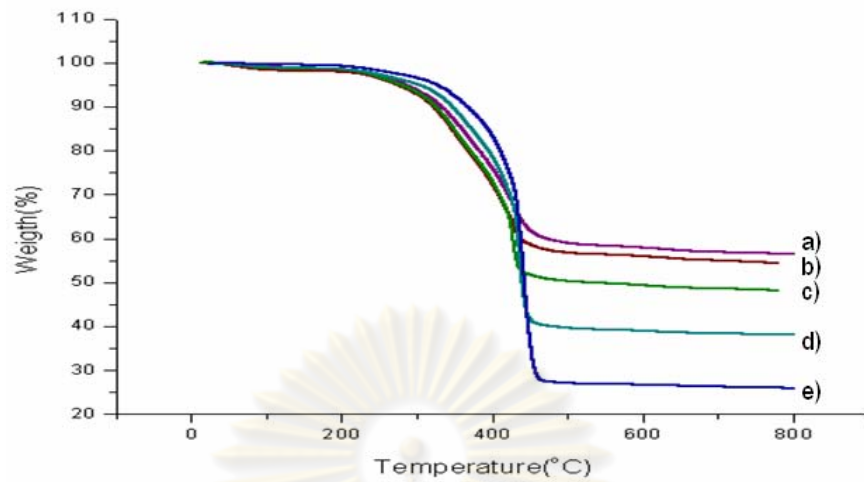
รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของ
 a.) PS0-OC1, b.) PS0.5-OC1, c.) PS1-OC1, d.) PS1.5-OC1 และ e.) PS2-OC1



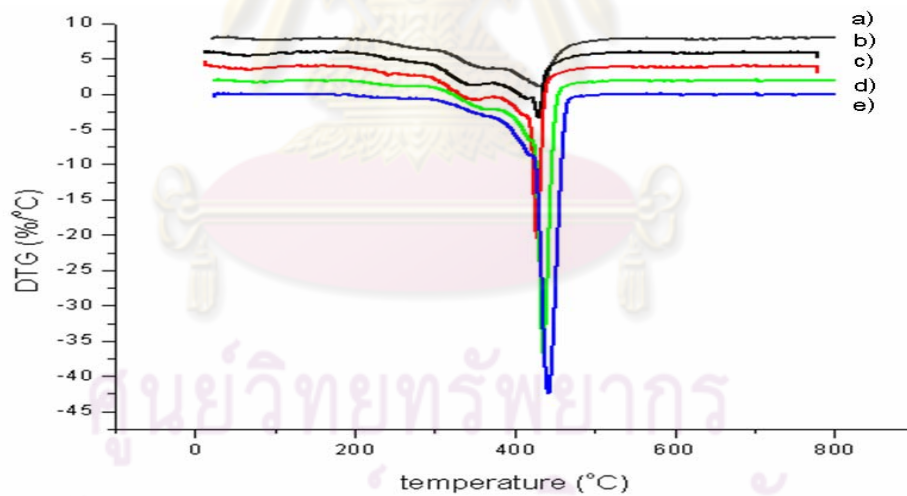
รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ของ
 a.) PS0-OC1, b.) PS0.5-OC1, c.) PS1-OC1, d.) PS1.5-OC1 และ e.) PS2-OC1

4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ด้วยเทคนิค TGA

จากการเปรียบเทียบ TG และ DTG เทอร์โมแกรมของออร์กาโนเคลย์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนกับออร์กาโนเคลย์ที่ไม่ได้ดัดแปร ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าออร์กาโนเคลย์ในสูตร PS0-OC1 ที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเกิดขึ้นสองช่วง คือช่วงแรกมีอุณหภูมิการสลายตัวประมาณ $364.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นการสลายตัวของโมเลกุลอัลคิลแอมโมเนียมที่อยู่ภายนอกชั้นแกลลอรี่ของเคลย์ มีการยึดเกาะกันด้วยแรงวันเดอร์วาลทำให้เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำ และช่วงที่สองคือ $430.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงการสลายตัวของโมเลกุลของสารอัลคิล-แอมโมเนียมที่อยู่ภายในชั้นแกลลอรี่ของเคลย์และมีการยึดเกาะกันด้วยพันธะไอออนิกซึ่งมีความแข็งแรงกว่าจึงเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น [35] สำหรับ DTG เทอร์โมแกรมของออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน จะมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเป็นสามช่วงอุณหภูมิ คือ ช่วงแรก $345\text{-}348\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงที่สอง $410\text{-}415\text{ }^{\circ}\text{C}$ และช่วงที่สาม $420\text{-}445\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังตารางที่ 4.2 โดยในช่วงที่สามคาดว่าเป็นการสลายตัวของพอลิสไตรีนที่แทรกสอดในชั้นแกลลอรี่ของเคลย์ภายหลังจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแล้ว ดังจะเห็นได้จากความเข้มของพีกช่วงที่สามจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณของพอลิสไตรีนที่เกิดจากการดัดแปรที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ และจากปริมาณร้อยละของเถ้าที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะมีค่าลดลงเป็นลำดับ จึงช่วยยืนยันได้ว่าการดัดแปรออร์กาโนเคลย์ด้วยสไตรีนมอนอเมอร์นั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในชั้นโครงสร้างของออร์กาโนเคลย์ และปริมาณการเกิดพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 40-800°C ของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ที่อัตราส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์:ออร์กาโนเคลย์ต่างๆ a.) PS0-OC1 b.) PS0.5-OC1, c.) PS1-OC1, d.) PS1.5-OC1 และ e.) PS2-OC1



รูปที่ 4.7 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ที่อัตราส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์:ออร์กาโนเคลย์ต่างๆ a.) PS0-OC1, b.) PS0.5-OC1, c.) PS1-OC1, d.) PS1.5-OC1 และ e.) PS2-OC1

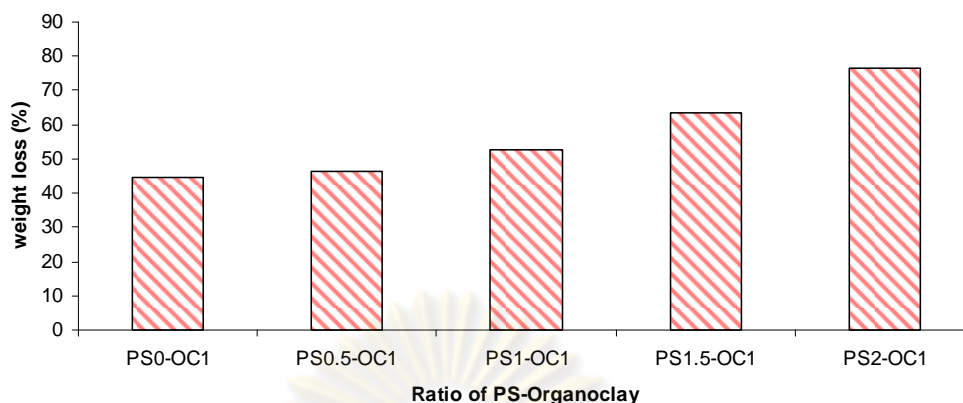
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของออร์กาโนเคลย์

ชิ้นงานคอมพอสิต	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่3
PS0-OC1	364.5 (mass change:16.91%)	430.9 (mass change:25.22%)	-
PS0.5-OC1	347.4 (mass change:14.90%)	415.0 (mass change:13.31%)	429.9 (mass change:19.92%)
PS1-OC1	348.0 (mass change:16.45%)	410.0 (mass change:9.82%)	428.0 (mass change:20.07%)
PS1.5-OC1	345.4	411.0	435.5 (mass change:60.59%)
PS2-OC1	346.5	412.5	442.3 (mass change:73.41%)

จากผลการวิเคราะห์ TGA สามารถเป็นหลักฐานหนึ่งในการยืนยันได้ว่า ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนโดยใช้อัตราส่วนสไตรีนมอนอเมอร์ต่อเคลย์เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นและส่งผลให้มีค่าสเถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย

4.5 การศึกษาการกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีนในออร์กาโนเคลย์ ที่อัตราส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์:ออร์กาโนเคลย์ เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสารที่เตรียมได้จากกระบวนการ *in situ* polymerization จำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 2.0 กรัม และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณเถ้าที่หลงเหลืออยู่ ผลของปริมาณเถ้าที่หลงเหลือของแต่ละตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.3 และภาคผนวก จ ซึ่งจากน้ำหนักของเถ้าที่หลงเหลือหลังการเผาในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีสัดส่วนปริมาณพอลิสไตรีนต่อเคลย์ในตัวอย่างสุ่มในแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณเถ้าลดลงตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์:ออร์กาโนเคลย์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิสไตรีนมีการกระจายตัวอยู่ในอนุภาคของเคลย์สม่ำเสมอ และเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์



รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของพอลิสไตรีนในออร์กาโนเคลย์

ตารางที่ 4.3 การกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์

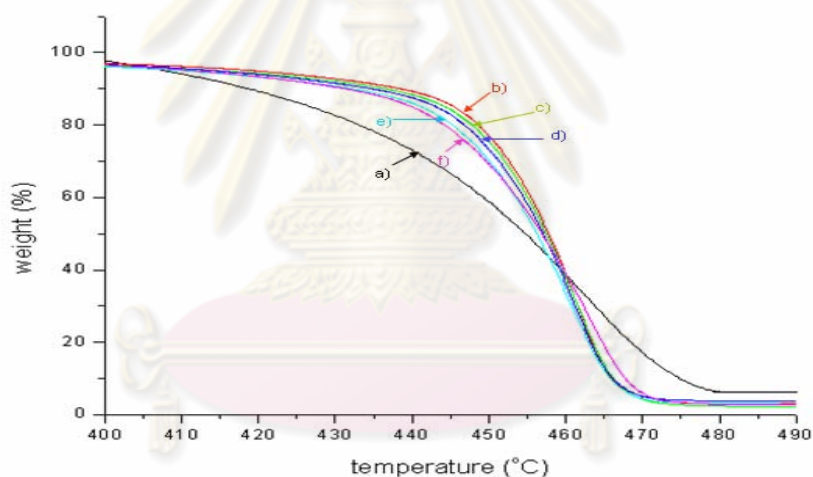
สัดส่วนของ พอลิสไตรีน : ออร์กาโนเคลย์	ร้อยละของ น้ำหนักที่หายไป	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
PS0-OC1	44.76	± 0.04
PS0.5-OC1	46.23	± 0.04
PS1-OC1	52.70	± 0.18
PS1.5-OC1	63.41	± 0.02
PS2-OC1	76.32	± 0.05

4.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิต

4.6.1 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

จากการนำพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ มาผสมกับผงพอลิโพรพิลีนอัดรีดด้วยความร้อนผ่านเครื่องรีดเกลียวคู่ โดยเลือกปริมาณของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ที่ร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผลจากการวิเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อนำคอมพอสิตที่มีปริมาณออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มาวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า ค่าเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ แต่เมื่อเทียบกับระหว่างพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ สูตรต่างๆ จะเห็นว่าสูตร PS0-OC1 มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง

ที่สุด แสดงว่า PS0-OC1 มีความสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิโพรพิลีน เมื่อเติม PS-Clay ที่มีสัดส่วนของพอลิสไตรีนสูงขึ้น ค่าเสถียรภาพทางความร้อนของคอมพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่า PS-Clay มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิโพรพิลีนต่ำกว่าออร์กาโนเคลย์ ทำให้มี interface ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิสไตรีน วัสดุจึงเกิดการสลายตัวได้ง่ายกว่า ในบางกรณีเช่น PS1-OC1 พบว่าปริมาณแก้วแร่เคลย์สูงกว่าความน่าจะเป็นตามสัดส่วนทฤษฎี จึงทำให้มีค่าเสถียรภาพทางความร้อนสูงตามไปด้วย เนื่องจากผลมาจากตัวแร่เคลย์ที่มีสมบัติดูดพลังงานความร้อนได้ ความมีเสถียรภาพทางความร้อนลดลงสำหรับพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอลิเมอร์ที่มีสัดส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ส่วนหนึ่งยังมาจากสาเหตุจากสัดส่วนของเคลย์(ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับความร้อน) ที่อยู่ในเนื้อคอมพอลิเมอร์มีปริมาณลดลง ดังปริมาณร้อยละของแก้วที่เหลือหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-490 °C ของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ a.)PP, b.) PS0-OC1 c.) PS0.5-OC1, d.) PS1-OC1, e.) PS1.5-OC1 และ f.) PS2-OC1

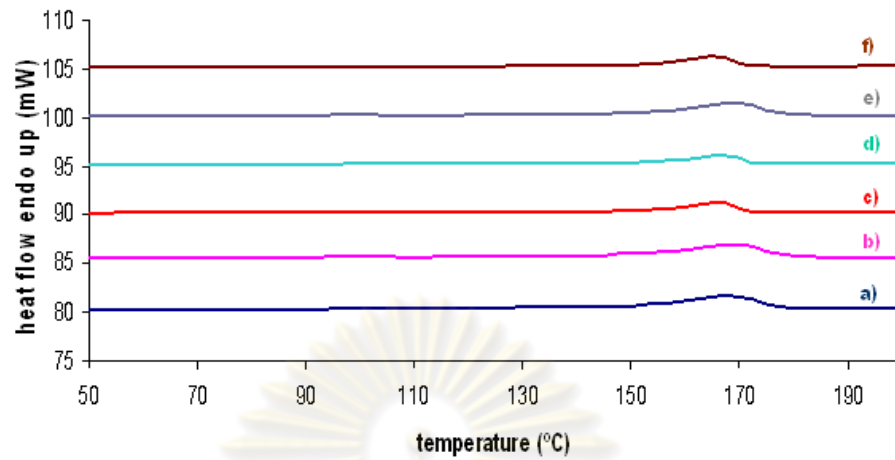
ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

พอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (T_{onset} , °C)	ร้อยละเถ้าที่เหลือ หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 °C
PP	432.60	-
PP/PS0-OC1	445.2	2.30
PP/PS0.5-OC1	445.4	1.56
PP/PS1-OC1	445.6	3.23
PP/PS1.5-OC1	443.7	2.28
PP/PS2-OC1	443.5	1.91

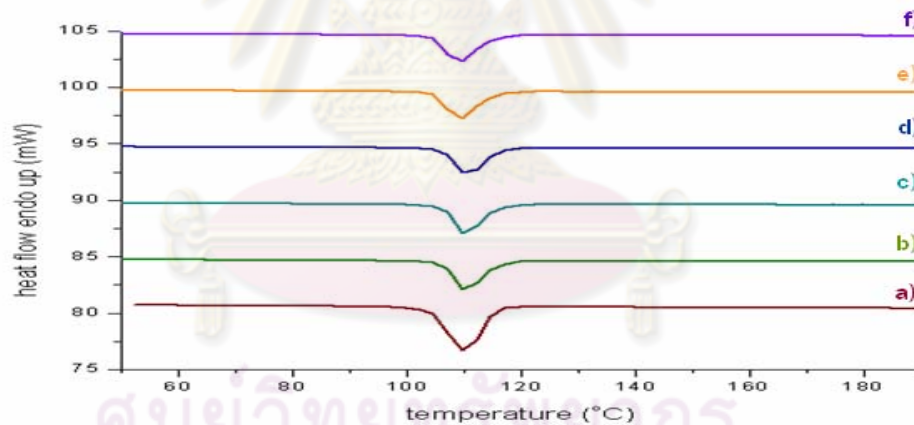
**4.6.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์
นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC**

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ดังรูปที่ 4.10, 4.11 และตารางที่ 4.5 พบว่าอนุภาคของ
พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรลงไปส่งผลให้อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ
นาโนคอมพอสิตมีค่าสูงขึ้นกว่าพอลิโพรพิลีนเล็กน้อยและการดัดแปรอนุภาคของพอลิสไตรีน-
ออร์กาโนเคลย์ลงไปไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน ซึ่ง
สามารถบ่งชี้ได้ว่าอนุภาคของคอมพอสิตที่ดัดแปรลงไปนั้นไม่ได้เป็นสารก่อผลึกให้กับ
พอลิโพรพิลีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ a.) PP, b.)PP/ PS0-OC1, c.) PP/PS0.5-OC1, d.) PP/PS1-OC1, e.) PP/PS1.5-OC1, และ f.) PP/PS2-OC1



รูปที่ 4.11 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต a.) PP, b.)PP/ PS0-OC1, c.) PP/PS0.5-OC1, d.) PP/PS1-OC1, e.) PP/PS1.5-OC1, และ f.) PP/PS2-OC1

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC

ชิ้นงานคอมพอสิต	T _c (Peak) (°C)	T _c (Onset) (°C)	T _m (Peak) (°C)	T _m (Onset) (°C)	ΔH _f (J/g)	Degree of crystallinity
PP	109.22	113.64	162.16	149.83	78.68	50.36
PP/PS0-OC1	109.54	113.58	169.88	151.52	92.62	59.29
PP/PS0.5-OC1	109.57	113.12	166.73	156.90	60.79	39.91
PP/PS1-OC1	109.41	113.73	167.28	157.83	58.84	37.66
PP/PS1.5-OC1	109.88	113.49	168.66	151.25	74.09	47.42
PP/PS2-OC1	108.36	111.84	165.60	159.86	60.13	38.48

4.7 การศึกษาการกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิต

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในคอมพอสิต ที่เติม PS(0-2.0)-Clay 1 ในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการเผาหาปริมาณเถ้าหลงเหลือ ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 2.0 กรัม พบว่าเถ้าที่เหลือหลังเผาที่มีปริมาณใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แสดงว่าอนุภาคของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์อัตราส่วนต่างๆ ที่ใส่เข้าไปเกิดการกระจายตัวในคอมพอสิตได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ เมื่อนำไปวัดหาปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่มีอยู่จริง เทียบกับสูตรคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าออร์กาโนเคลย์ที่ใส่เข้าไปมีการสูญหายไปในการบวนการผสม โดยพบการสูญหายอยู่ระหว่างร้อยละ 5 – 20 ในกรณีของการเตรียมพอลิเมอร์/เคลย์ นาโนคอมพอสิตที่เติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และร้อยละการสูญหายถึงเกือบร้อยละ 40 ในกรณีเติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่ปริมาณร้อยละ 5

ตารางที่ 4.6 การกระจายตัวของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในพอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต	ปริมาณ ออร์กาโนเคลย์ (wt%)	ร้อยละของ น้ำหนักที่ หายไป	ปริมาณ เคลย์ที่เหลือ หลังการเผา	ร้อยละของ ออร์กาโนเคลย์จากการ คำนวณตามทฤษฎี
PP/PS0-OC1	3	99.02	0.98	1.77
PP/PS0.5-OC1	3	98.46	1.34	2.86
PP/PS1-OC1	3	98.97	1.03	2.18
PP/PS1.5-OC1	3	98.92	1.08	2.95
PP/PS2-OC1	3	99.37	0.63	2.66
PP/PS0-OC1	5	98.15	1.85	3.35
PP/PS0.5-OC1	5	98.47	1.53	2.85
PP/PS1-OC1	5	98.19	1.81	3.83
PP/PS1.5-OC1	5	98.88	1.12	3.06
PP/PS2-OC1	5	99.04	0.96	4.04

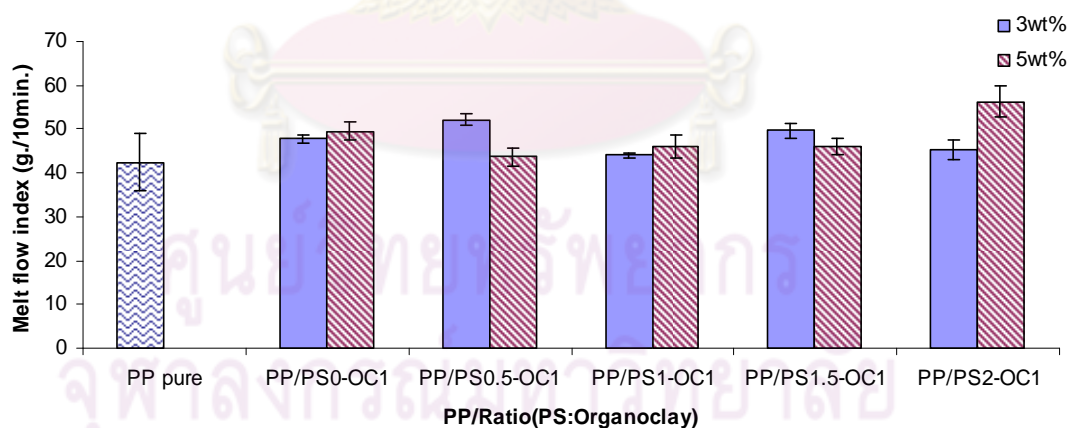
4.8 การศึกษาดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

การศึกษาดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต โดยทำการสุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.12) พอลิโพรพิลีนมีค่าดัชนีการไหลเฉลี่ยที่ 42.45 กรัม/10 นาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น (25.8 กรัม/10 นาที) เนื่องจากการเติมพอลิโพรพิลีนแกนในสัดส่วนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการเติมอนุภาค พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ลงในพอลิโพรพิลีน ในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 44-56 กรัม/10 นาที

พิจารณาอัตราการไหลของ PP/PS0-OC1 ซึ่งเป็นพอลิโพรพิลีน/ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากเคลย์ดัดแปรด้วยโมเลกุลของอัลคิลแอมโมเนียมที่ไม่มีความเป็นขั้ว ทำให้มีความเข้ากันได้กับพอลิโพรพิลีนมากกว่า และจากปริมาณอัลคิลแอมโมเนียมที่มีมากเกินไปกว่าค่า CEC ในชั้นโครงสร้างของเคลย์ จะทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่น ช่วยทำให้อนุภาคเคลย์เกิดการกระจายตัวได้ดี มีขนาดอนุภาคเล็กลง ไม่เกิดการขัดขวางการไหล จึงส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น

กรณีที่มีผสมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ชนิด PS0.5-OC1 ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักใน พอลิโพรพิลีน พบว่าดัชนีการไหลมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยหลักการเดียวกันกับพอลิโพรพิลีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิตของ PS0-OC1 เพราะจากการวิเคราะห์ TGA จะเห็นว่าในชั้นโครงสร้างของ ออร์กาโนเคลย์มีโมเลกุลของอัลคิลแอมโมเนียมและพอลิสไตรีน ดังนั้นโมเลกุลของอัลคิล แอมโมเนียมนี้จึงทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นที่ช่วยเพิ่มดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน/เคลย์ นาโน คอมพอสิต และจากการที่ PP/PS0.5-OC1 มี T_m ต่ำกว่า PP/PS0-OC1 ทำให้ค่าดัชนีการไหลของ PP/PS0.5-OC1 สูงกว่า PP/PS0-OC1 เล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณออร์กาโนเคลย์เพิ่มมากขึ้นเป็น ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก อนุภาคออร์กาโนเคลย์นี้จะไปขัดขวางการไหลของสายโซ่โมเลกุลของ พอลิโพรพิลีนทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลง

สำหรับการเติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ชนิด PS1-OC1, PS1.5-OC1 และ PS2-OC1 ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่า ในแต่ละสูตรที่มีปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้น ค่า ดัชนีการไหลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงอาจกล่าวได้ว่าพอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ในอัตราส่วนตั้งแต่ 1-2 เท่าของออร์กาโนเคลย์ จะ ไม่มีผลต่อดัชนีการไหล แต่กรณีผิดปกติในสูตร PS2-OC1 มีค่าดัชนีการไหล 56 กรัม/10 นาที ซึ่ง สูงผิดปกติ น่าจะเป็นผลการผิดพลาดจากการทดสอบ

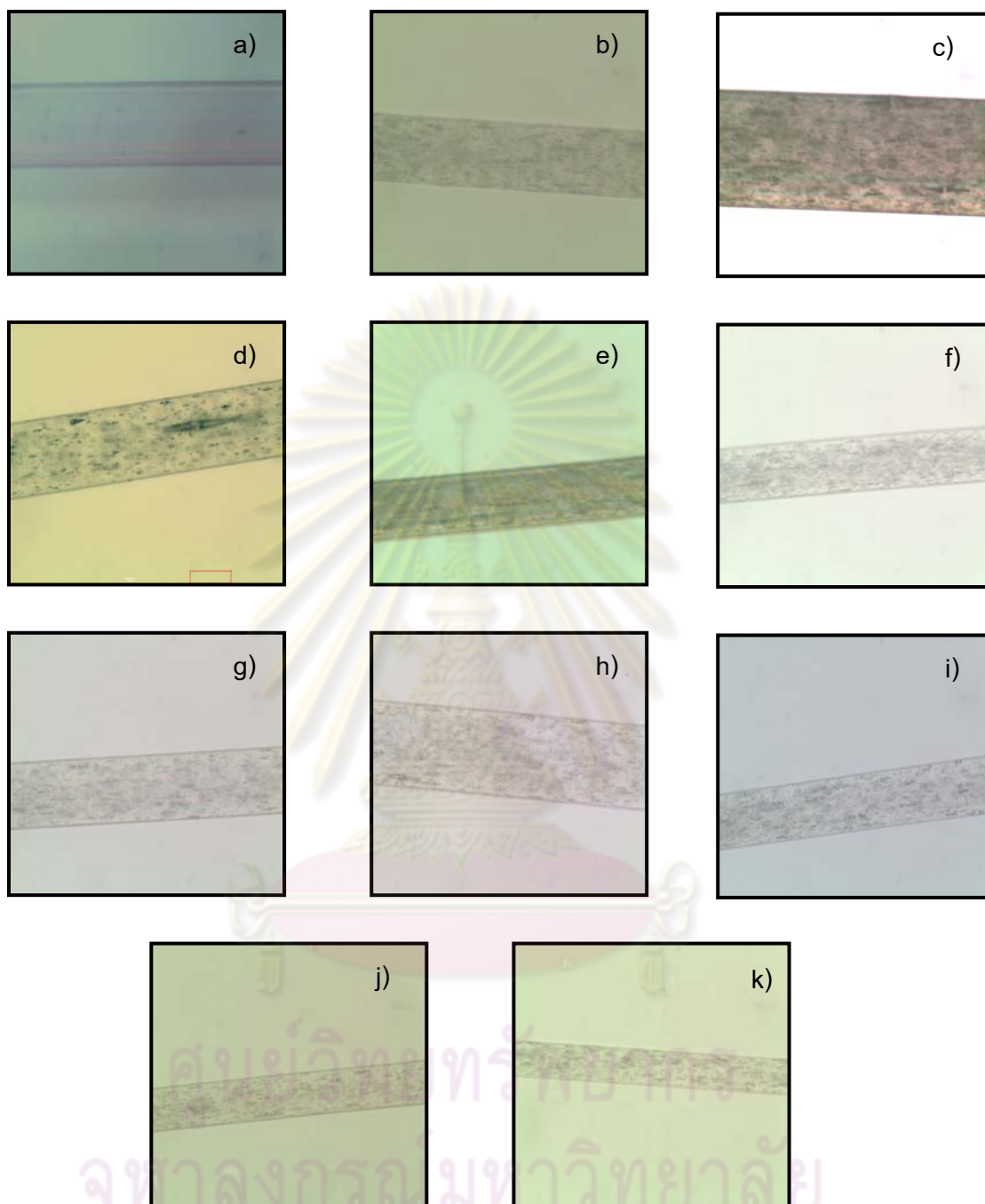


รูปที่ 4.12 ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ต่างๆ กัน

4.9 การศึกษาลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิตต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในงานวิจัยนี้ได้นำอนุภาคของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ PS0-OC1, PS0.5-OC1, PS1-OC1, PS1.5-OC1, PS2-OC1 (อัตราส่วนสไตรีน : ออร์แกนิกเคลย์ เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ) มาดัดแปรกับพอลิโพรพิลีนในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน ทำการฉีดขึ้นรูปเส้นใยที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และใช้อัตราในการยืดดึงเส้นใย 5 เท่า ในระหว่างกระบวนการการฉีดเส้นใยและกระบวนการม้วนเก็บนั้น เส้นใย PS0-OC1, PP/PS0.5-OC1 และ PS1-OC1 ที่มีอัตราส่วน 0:1, 0.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ จะเกิดการขาดเป็นช่วงๆใน ลักษณะเส้นใยที่ได้จะมีผิวที่ขรุขระและมีขนาดของเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อดูลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่า รูปที่ 4.13 b), c), d) และ e) มีลักษณะทึบแสงซึ่งเป็นผลจากอนุภาคเคลย์ที่มีขนาดใหญ่กระจายอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ทำให้แสงไม่สามารถส่องผ่านได้ เมื่อเทียบกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน ในรูปที่ 4.13 a)

และเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิสไตรีนเข้าไปในอัตราส่วนของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์มากขึ้นจะทำให้เส้นใยฉีดได้ง่ายขึ้นเกิดการขาดน้อยลงและมีผิวที่เรียบขึ้น ซึ่งจากผลที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่าปริมาณของพอลิสไตรีนที่ดัดแปรเข้าไปนั้นมีส่วนไปช่วยทำให้อนุภาคของเคลย์เกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้นและมีขนาดสม่ำเสมอขึ้น เส้นใยที่ได้จึงมีผิวที่เรียบขึ้นและมีการขาดที่น้อยลง



รูปที่ 4.13 ลักษณะภายนอกของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
 ออร์แกนอเคลย์ นาโนคอมพอสิต a.) PP, b.) 3wt% PP/PS0-OC1, c.) 3wt% PP/PS0.5-OC1,
 d.) 3wt% PP/PS1-OC1, e.) 3wt% PP/PS1.5-OC1, f.) 3wt% PP/PS2-OC1, g.) 5 wt%
 PP/PS0-OC1, h.) 5wt% PP/PS0.5-OC1, i.) 5wt% PP/PS1-OC1,
 j.) 5wt% PP/PS1.5-OC1, k.) 5wt% PP/PS2-OC1

ตารางที่ 4.7 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์
นาโนคอมพอสิต

พอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต	ปริมาณ ออร์กาโนเคลย์ (wt%)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย (mm.)
0 (PP)	-	0.090
PP/PS0-OC1	3	0.093
PP/PS0.5-OC1	3	0.110
PP/PS1-OC1	3	0.099
PP/PS1.5-OC1	3	0.072
PP/PS2-OC1	3	0.065
PP/PS0-OC1	5	0.078
PP/PS0.5-OC1	5	0.083
PP/PS1-OC1	5	0.064
PP/PS1.5-OC1	5	0.042
PP/PS2-OC1	5	0.031

จากตารางที่ 4.7 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย บ่งชี้ว่าที่ปริมาณ
ออร์กาโนเคลย์เท่ากันการเพิ่มปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ส่งผลให้ขนาดเส้นใยลดลง และ
อัตราส่วนสไตรีนมอนอเมอร์ 2 เท่า มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด

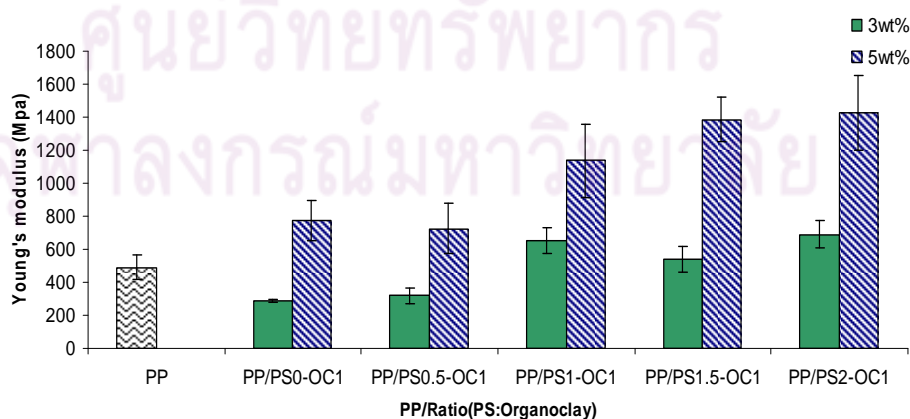
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.10 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิต

4.10.1 การศึกษาค่ายังมอดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิต

จากผลการทดสอบค่ายังมอดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีนเปรียบเทียบกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิต ที่ผสมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์จากการดัดแปรด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 และผ่านการดัดแปรที่อัตรา 5 เท่า พบว่า การเติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ (PS-OC) ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักลงในเส้นใยพอลิโพรพิลีน ทำให้ค่ายังมอดูลัสของเส้นใยนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.14 เพราะด้วยสมบัติของพอลิสไตรีนมีค่ายังมอดูลัส 3-3.5 GPa [36] ซึ่งสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเกือบ 2 เท่า สำหรับเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากออร์กาโนเคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร PS0-OC1 และที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน PS0.5-OC1 (อัตราส่วน 0.5:1) มีค่ายังมอดูลัสต่ำกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการที่อนุภาคเคลย์ซึ่งไม่มีพอลิสไตรีนหรือมีปริมาณน้อยนี้ไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนขณะดัดแปร ทำให้ความเป็นผลึกของเส้นใยนาโนคอมพอสิตต่ำกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน

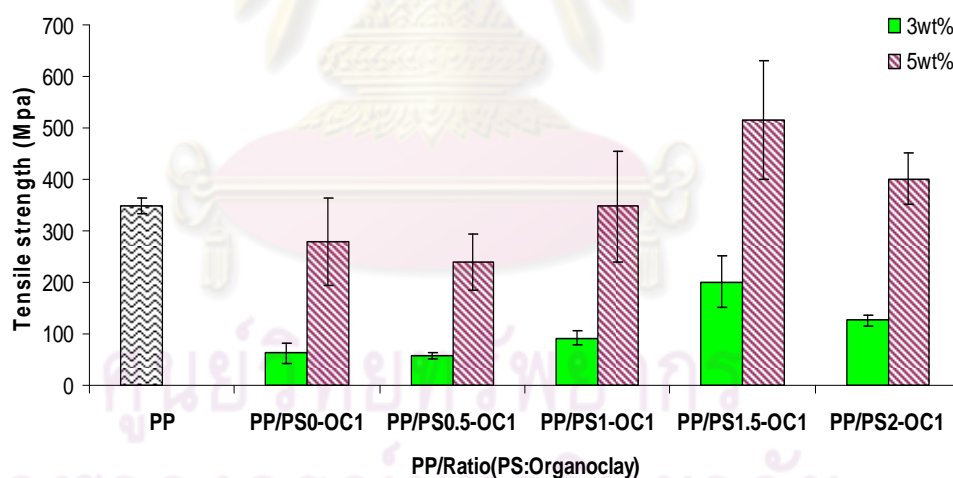
เมื่อปริมาณออร์กาโนเคลย์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของเส้นใย อนุภาคของออร์กาโนเคลย์ทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงให้เส้นใยมีค่ายังมอดูลัสสูงขึ้น โดยออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วยพอลิสไตรีนในอัตราส่วนสไตรีนมอนอเมอร์ต่อเคลย์ ตั้งแต่ 0.5:1 – 2:1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่ายังมอดูลัสของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตแปรผันตามปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการดัดแปร



รูปที่ 4.14 ค่าความยังมอดูลัสเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์นาโนคอมพอสิต

4.10.2 การศึกษาสมบัติด้านการต้านทานแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

จากการศึกษาสมบัติการต้านทานแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิต ที่ผสมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ (จากการตัดแปรด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1) และใช้อัตราการดึงยึดเส้นใยเท่ากับ 5 เท่า พบว่า เส้นใยพอลิโพรพิลีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิต ทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมได้จากการเติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณออร์กาโนเคลย์เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เส้นใยพอลิโพรพิลีน/เคลย์นาโนคอมพอสิตจะมีค่าต้านทานแรงดึงสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.15 โดยจะเห็นได้ว่าความแข็งแรงของเส้นใยจะแปรผันตามปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะออร์กาโนเคลย์ที่ตัดแปรด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 1.5 และ 2.0 เท่าของออร์กาโนเคลย์ และปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับเส้นใยพอลิโพรพิลีนต้องมีปริมาณมากถึง ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

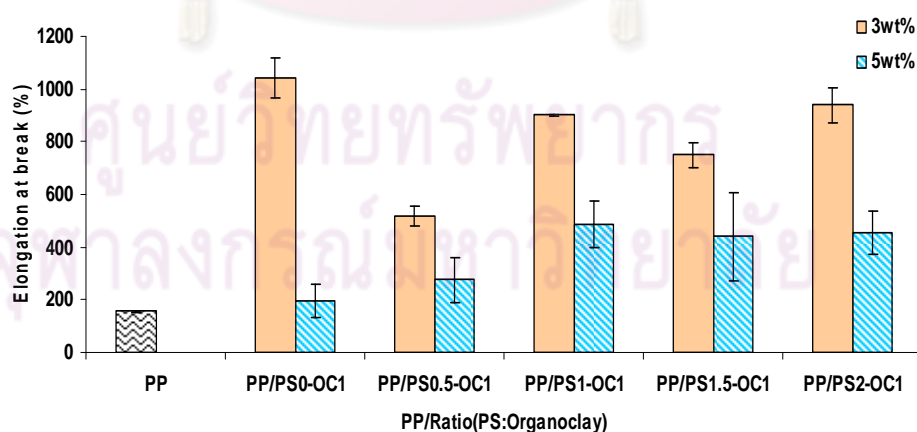


รูปที่ 4.15 ค่าความต้านทานแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

4.10.3 การศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลในด้านของการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต (อัตราส่วน 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1 ตามลำดับ) และทำการดึงยืดที่อัตราเร็ว 5 เท่า พบว่า เมื่อเติมอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนักของเส้นใยพอลิโพรพิลีน จะมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยมีค่าสูงกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีน ดังรูปที่ 4.16 เนื่องจากอนุภาคของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ที่เติมลงไปนั้นจะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลของพอลิโพรพิลีน ความเป็นผลึกต่ำ เกิดการจัดเรียงตัวที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อมีแรงยืดมากกระทำสายโซ่โมเลกุลจึงสามารถยืดตัวออกไปได้อีกเป็นสาเหตุทำให้ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ที่ทดสอบได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

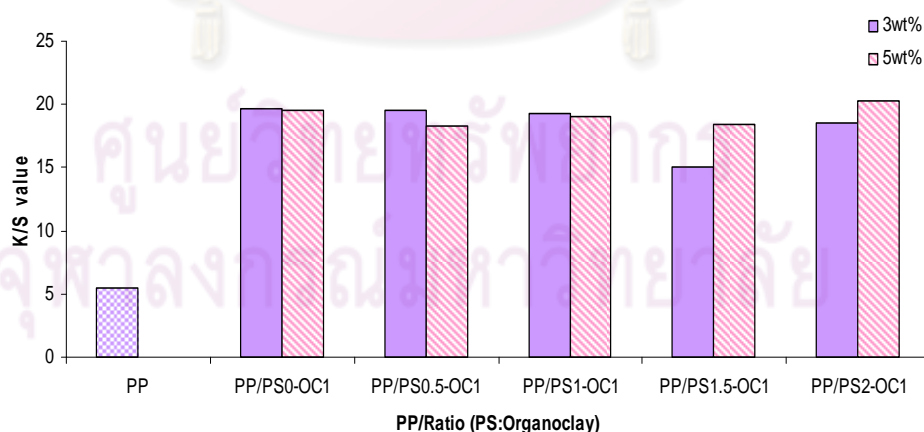
อย่างไรก็ตาม ปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยนั้นต่ำกว่าในกรณีการเติมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่าในการเติมพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักนั้น มีปริมาณมาก และจากผิวสัมผัสของพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนที่มีความเข้ากันได้ไม่ดี จึงเกิดเป็นพื้นผิวสัมผัสที่ไม่สม่ำเสมอและเป็นจุดบกพร่องในเส้นใย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เส้นใยเกิดความเปราะและขาดง่ายเมื่อมีแรงยืดมากกระทำ



รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

4.11 การศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีดีสเพอร์สของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/ พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

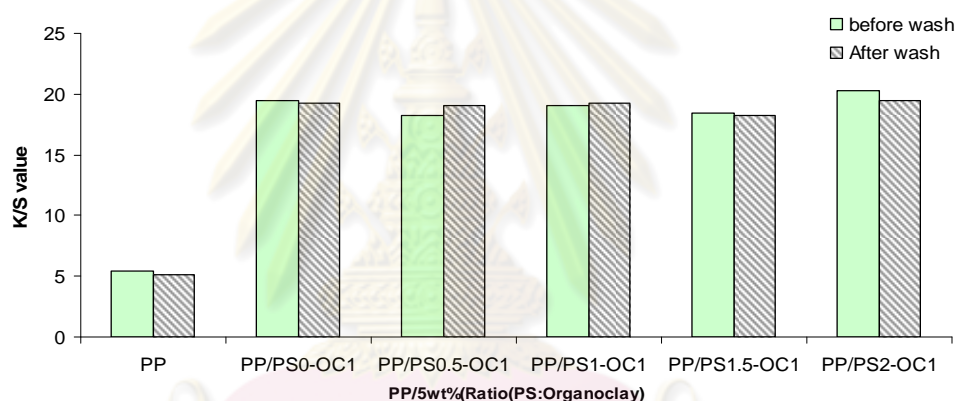
จากการศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยพอลิโพรพิลีนเทียบกับเส้นใยพอลิโพรพิลีนดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ โดยใช้อัตราส่วนปริมาณสไตรีนต่อน้ำหนักออร์กาโนเคลย์ เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีนมีค่าความสามารถในการย้อมติดสี (K/S value) อยู่ที่ 5.46 ในขณะที่เส้นใยพอลิโพรพิลีนดัดแปรด้วยพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ มีค่าความสามารถในการย้อมติดสี (K/S value) อยู่ที่ช่วงประมาณ 19-20 จะเห็นได้ว่าเส้นใยที่ผ่านการดัดแปรแล้วมีค่าความสามารถในการย้อมติดสีสูงกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีนธรรมดา จากผลการทดลองนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าการดัดแปรอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ลงในพอลิโพรพิลีนทำให้เกิด interfacial phase ขึ้นรอบๆอนุภาคและเมื่อทำการย้อมเส้นใยนาโนคอมพอสิตด้วยสีดีสเพอร์ส โมเลกุลของสีจะสามารถสอดแทรกเข้าไปตาม interfacial phase ที่เกิดขึ้นและสีที่เข้าไปนั้นจะไปอาศัยอยู่ตาม interfacial phase ดังกล่าว ในขณะที่พอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ดัดแปรนั้นไม่มี interfacial phase จึงย้อมติดสีได้น้อยกว่าเพราะเกิดเฉพาะผิวด้านนอกของเส้นใยเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการย้อมติดสีกับอัตราส่วนของปริมาณสไตรีนและปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรลงในพอลิโพรพิลีนดังแสดงในรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสไตรีนและปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีที่ติดในเส้นใยพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 4.17 ค่า K/S value ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์
นาโนคอมพอสิต

4.12 การศึกษาความคงทนของสีย้อมของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตต่อการซัก

จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสีบนเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ที่อัตราส่วน สไตรีน : ออร์กาโนเคลย์ เท่ากับ 0:1, 0.5:1, 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ระหว่างก่อนการซักและหลังการซัก ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าสีที่ทำการย้อม เส้นใยนั้นติดอยู่ที่เพียงแค่ผิวหรือแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของเส้นใย ผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าสีย้อมที่ติดอยู่บนเส้นใยหลังการผ่านการซักแล้วมีค่าความเข้มของการติดสี (K/S value) ไม่แตกต่างไปจากค่าที่วัดได้ก่อนการซักล้าง ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าสีย้อมที่ย้อมนั้นเข้าไปอยู่ภายในเนื้อของเส้นใยและไม่หลุดลอกออกมาหลังจากการซัก



รูปที่ 4.18 ค่า K/S value ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตก่อนและหลังการซัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการดัดแปรออร์กาโนเคลย์ด้วยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสไตรีนมอนอเมอร์ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการเตรียมเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/เคลย์ นาโนคอมพอสิตสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 จากการสังเคราะห์พอลิสไตรีนด้วยวิธี *in situ* polymerization สไตรีนมอนอเมอร์สามารถแทรกสอดเข้าไปอยู่ในชั้นของออร์กาโนเคลย์ และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ พอลิสไตรีนแทรกอยู่ระหว่างช่องแกลลหรืออย่างสม่ำเสมอ แต่ยังไม่สามารถทำให้ช่องแกลลหรือของออร์กาโนเคลย์แยกออกจากกันอย่างอิสระได้

5.1.2 ปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อนุภาคของออร์กาโนเคลย์นั้นมีขนาดที่เล็กลง และในขณะเดียวกันปริมาณของไดออกไซด์เตทราไฮโดรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ก็ลดลงเช่นกัน โดยมีพอลิสไตรีนเข้าไปแทนที่

5.1.3 อนุภาคของพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ที่ดัดแปรสามารถปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไพร์ฟีนเพิ่มขึ้น 10-12 °C แต่เมื่อปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นจะทำให้เสถียรภาพทำความร้อนลดลงเล็กน้อยด้วยเนื่องจากปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่ลดลง

5.1.4 การเตรียมพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต ทั้งที่มีปริมาณอนุภาคพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ร้อยละ 3 และ 5 ด้วยวิธีการอัดรีดด้วยความร้อนมีการกระจายตัวของออร์กาโนเคลย์อย่างสม่ำเสมอ มีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยต่ำกว่า 0.2

5.1.5 ขนาดอนุภาคของพอลิสไตรีนจะส่งผลให้เส้นใยพอลิไพร์ฟีนมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยเฉพาะ PS1.5-Clay 1 และ PS2-Clay 1 ค่าต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นใยพอลิไพร์ฟีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต (ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) สูงกว่าเส้นใยพอลิไพร์ฟีน

5.1.6 เส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิตมีความสามารถในการข้อมติคัสตี้สเพอร์สได้มากกว่าเส้นใยพอลิโพรพิลีนถึง 4 เท่า โดยโมเลกุลของสียจะแทรกเข้าไปยึดติดใน interfacial phase ระหว่างอนุภาคออร์กาโนเคลย์และพอลิโพรพิลีน และมีความคงทนต่อการซักล้างได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำพอลิสไตรีนมาตัดแปรร่วมกับอนุภาคของออร์กาโนเคลย์ แล้วนำไปผสมกับพอลิโพรพิลีน พบว่าจะมีผลให้พอลิโพรพิลีนคอมพอสิตที่ได้นั้นมีสมบัติเชิงกลที่ลดลง เนื่องจากความเข้ากันได้ของพอลิโพรพิลีนนั้นไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีข้อเสนอแนะว่าไม่ควรนำเอาพอลิสไตรีนมาตัดแปรด้วยออร์กาโนเคลย์สำหรับผสมเข้ากับพอลิโพรพิลีน แต่แนะนำให้นำไปผสมกับพอลิสไตรีน เนื่องจากจะมีความเข้ากันได้ที่ดีกว่า



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. สงขลา: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547
- [2] Wikipedia. Polystyrene [Online]. Wikipedia Foundation, Inc., 2009. Available from: <http://www.en.wikipedia.org> [2009, March 14]
- [3] Chuayjuljit, S., Moolsin, S., and Potiyaraj, P. Use of Natural Rubber-g-Polystyrene as a Compatibilizer in Casting Natural Rubber/Polystyrene Blend Films. Journal of Applied Polymer Science 95 (2005): 826-831.
- [4] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. เคมีพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [5] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [6] Sheng, Z., and Harrocks, A. R. A Review of Flame Retardant Polypropylene Fiber. Progress in Polymer Science 28 (2003): 1518.
- [7] Ahmed, M. Polypropylene fiber-science and technology. Amsterdam: Elsevier, 1982.
- [8] วลัยกร นิตยพัฒน์. การเตรียมนาโนคอมพอสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [9] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [10] Nattaporn Aimampaiwong. Nanoclay/Polypropylene Nanocomposite Dyed Fiber. Master's thesis, Polymer Science Program The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, 2008.
- [11] Gupta, V. B., and Kothari V. K. Manufactured Fiber Technology. London : Chapman & Hall, 1997.

- [12] Encyclopedia Britannica. Melt Spinnig Process [Online]. Encyclopedia Britannica, 2009. Available from: <http://library.thinkquest.org/C005271F/chemistry.html> [2009, March 14]
- [13] Jureeporn Nantaragsa. Preparation of Biodegradable Nanocomposites From Low Density Polyethylene/Cassava Starch/Montmorillonite. Master thesis, Materials Science Faculty of Science Chulalongkorn University, 2006.
- [14] 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]
- [15] ระพีพรรณ ทองระอา. การเตรียมนาโนคอมโพสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [16] อรรถกิต ฉัตรภูมิ. โครงสร้างดินเหนียว [Online]. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552. แหล่งที่มา: <http://www.vichakarn.com> [2009, March 16]
- [17] สิรินันท์ วิริยะสุนทร. การเตรียมนาโนคอมโพสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากยางธรรมชาติ/แป้งสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [18] Piyaporn, K., Kawee, S. and Duanghathai, P. Preparation of Cassava starch montmorillonite nanocomposite film. Journal Science Research Chulalongkorn University 29 (2004): 185.
- [19] Pavlidou, S., and Papaspyrides, C. D. A Review on Polymer Layered Silicate Nanocomposites. Progress in polymer science 33 (2008): 1131.
- [20] 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]

- [21] บงกช นันทบุญเลิศ. การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และ เทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [22] Joshi, M., Viswanathan, V., High-performance filaments from compatibilized polypropylene/clay nanocomposites, Journal of Applied Polymer Science 102 (2006): 2164-2174.
- [23] กาวี ศรีกุลกิจ. การย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพอซ. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [24] Chemicalbook. C.I. disperse orange 25 [online]. Chemicalbook, Inc., 2007. Available from: http://www.chemicalbook.com/ProductChemicalProperties/CB0699059_EN.htm [2009,September 13]
- [25] Chemicalbook. C.I. disperse Red 25 [online]. Chemicalbook, Inc., 2007. Available from: http://www.chemicalbook.com/ProductChemicalProperties/CB6852896_EN.htm [2009,September 13]
- [26] Chemicalbook. C.I. disperse yellow 23 [online]. Chemicalbook, Inc., 2007. Available from: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB0927213.htm [2009,September 13]
- [27] Chemicalbook. C.I. disperse yellow 42 [online]. Chemicalbook, Inc., 2007. Available from: http://www.chemicalbook.com/ProdSupplierGWCB6875363_EN.htm [2009,September 13]
- [28] Chemicalbook. C.I. disperse Blue 73 [online]. Chemicalbook, Inc., 2007. Available from: http://www.chemicalbook.com/ProductChemicalProperties/CB8263058_EN.htm [2009,September 13]
- [29] ChemBlink. C.I. disperse Blue79 [online]. ChemBlink, Inc., 2007. Available from: <http://www.chemblink.com/products/12239-34-8.htm> [2009, September 13]
- [30] Xaoan F. and Syed. Synthesis of polystyrene clay nanocomposites. Materials Letters 42 (2000): 12-15.

- [31] Chao, D., Baochun, G., Hui H., Demin, J. and Haoqun, H. Preparation and structure of highly confined intercalated polystyrene/montmorillonite nanocomposite via a two-step method. European Polymer Journal 41 (2005): 1781-1786.
- [32] Alexander, B.M. and Joseph, D.H. Exfoliated polystyrene-clay nanocomposites synthesized by solvent blending with Sonication. Polymer 45 (2004): 8695-8703.
- [33] Qinguo, F., et al. Dyeable Polypropylene via Nanotechnology, NTC Annual 2004.
- [34] Burkinshaw, S.M., Froehlingb, P.E. and Mignanelia, M. The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibres. Dyes and Pigments 53 (2002): 229-235.
- [35] สรินทร ลิ้มปนาท. การดัดแปรพื้นผิวของดินชนิคมอนต์มอริลโลไนต์สำหรับเตรียมนาโนคอมพอสิตพอลิเมอร์-เคลย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [36] Wikipedia. Polystyrene [Online]. Wikipedia Foundation, Inc., 2009. Available from: <http://www.en.wikipedia.org> [2009, September 27]
- [37] Joshi, M., Viswanathan, V., High-performance filaments from compatibilized polypropylene/clay nanocomposites, Journal of Applied Polymer Science 102 (2006): 2164-2174.

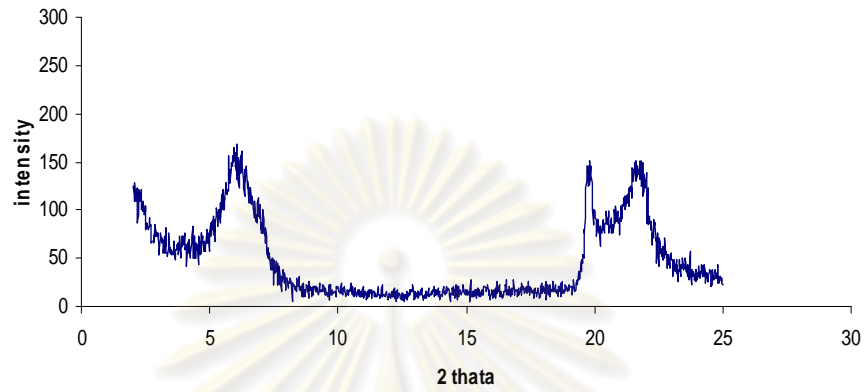


ภาคผนวก

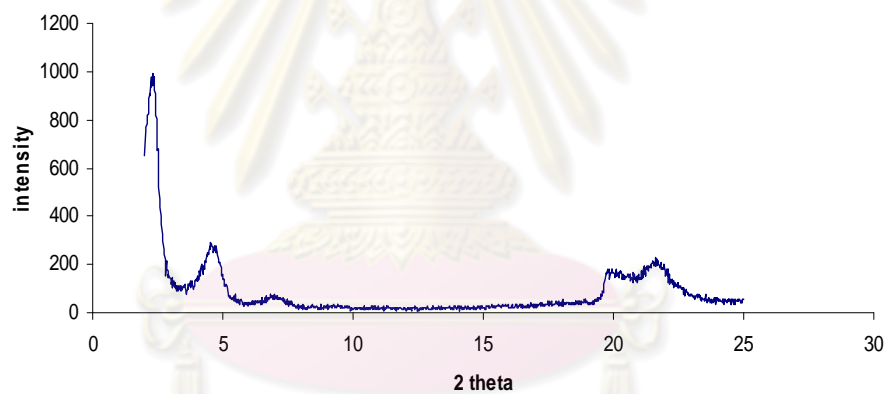
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

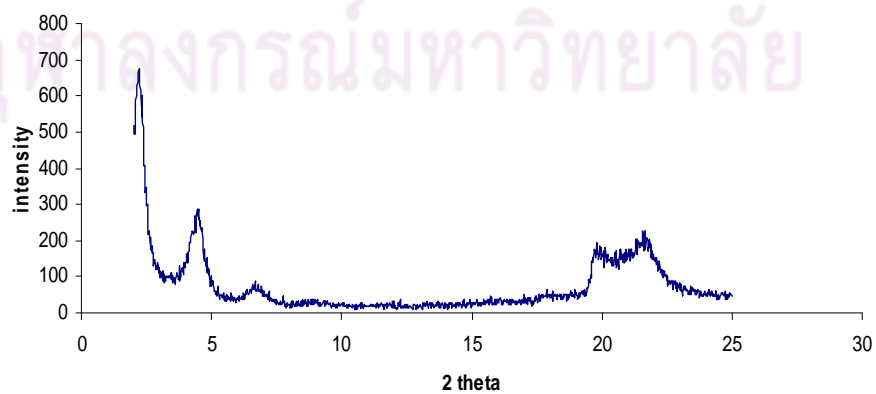
ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD



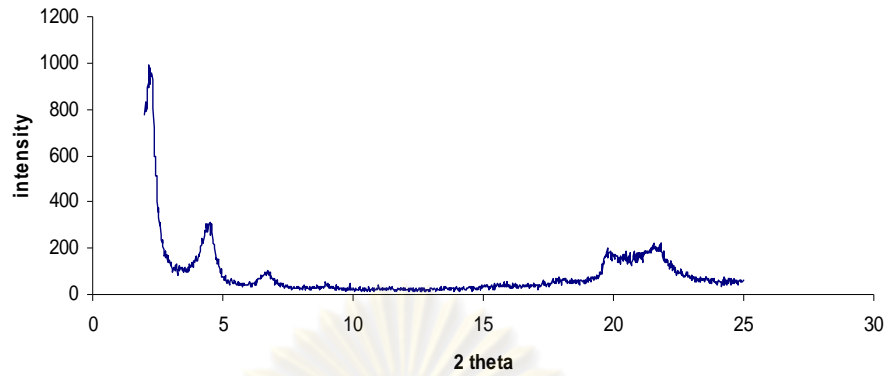
รูปที่ ก-1 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



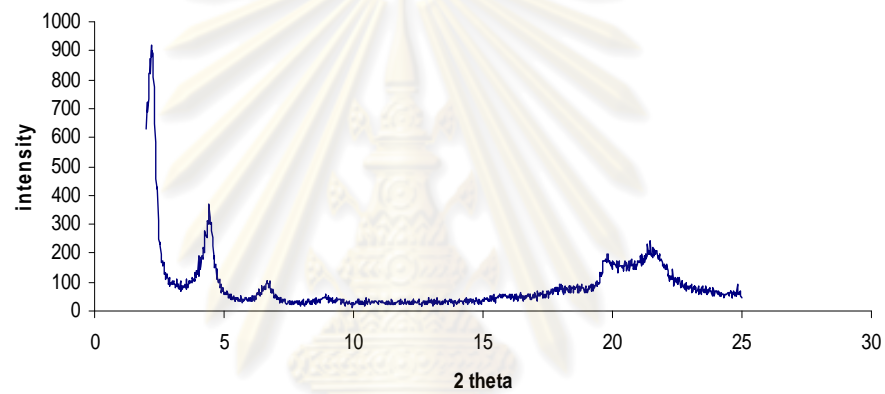
รูปที่ ก-2 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย ไดออกตะเดซิลไดเมทิลแอมโมเนียมเมทิลเมคริลอไรด์ (ออร์กาโนเคลย์)



รูปที่ ก-3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 0.5:1.0



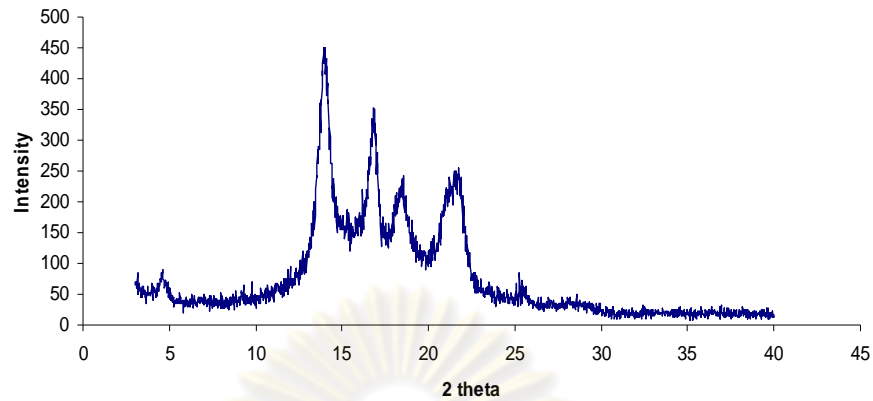
รูปที่ ก-4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 1.0:1.0



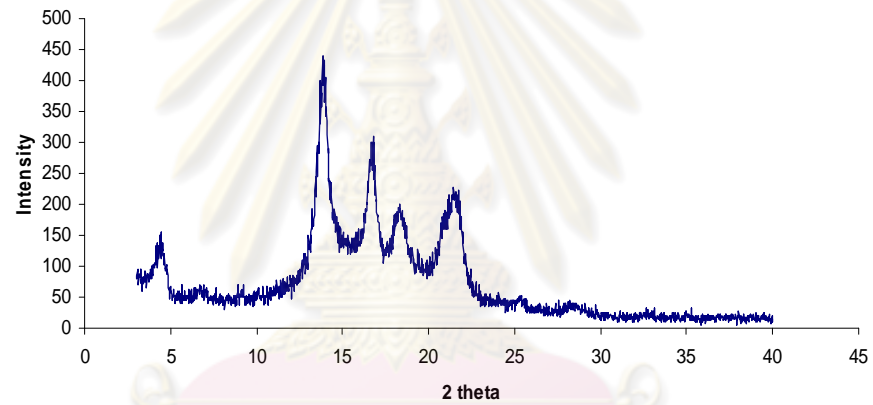
รูปที่ ก-5 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 1.5:1.0



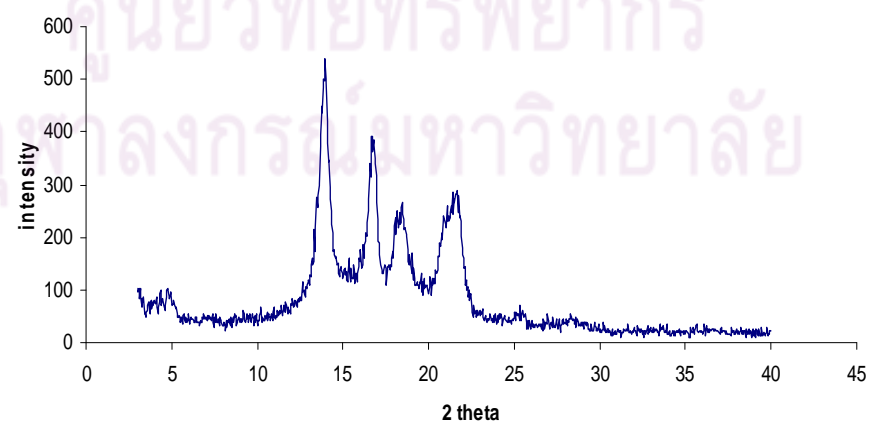
รูปที่ ก-6 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 2.0:1.0



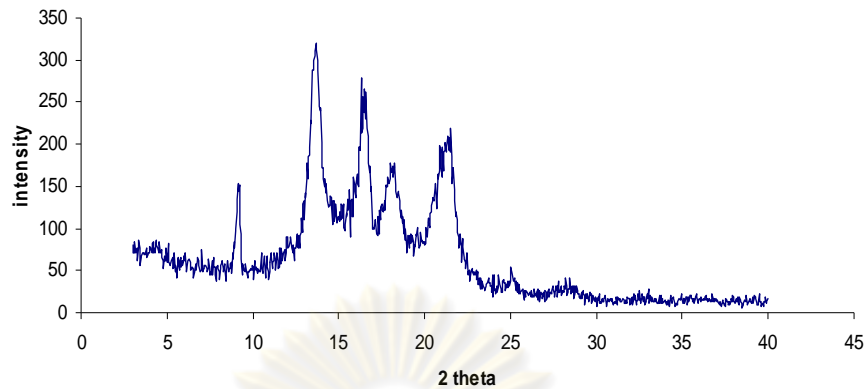
รูปที่ ก-7 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
ออร์กาโนเคลย์ draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



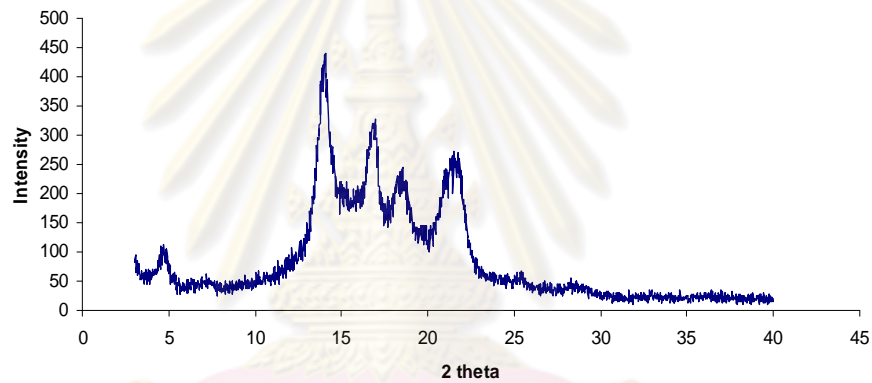
รูปที่ ก-8 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
ออร์กาโนเคลย์ draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



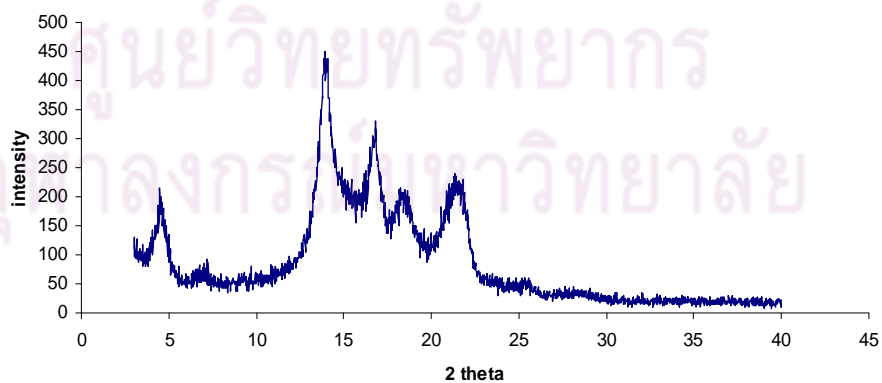
รูปที่ ก-9 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt%
ออร์กาโนเคลย์ draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



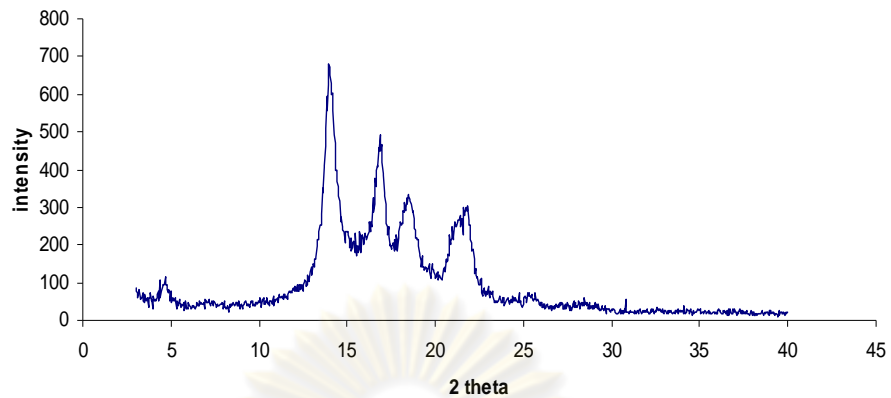
รูปที่ ก-10 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt%
ออร์กาโนเคลย์ draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



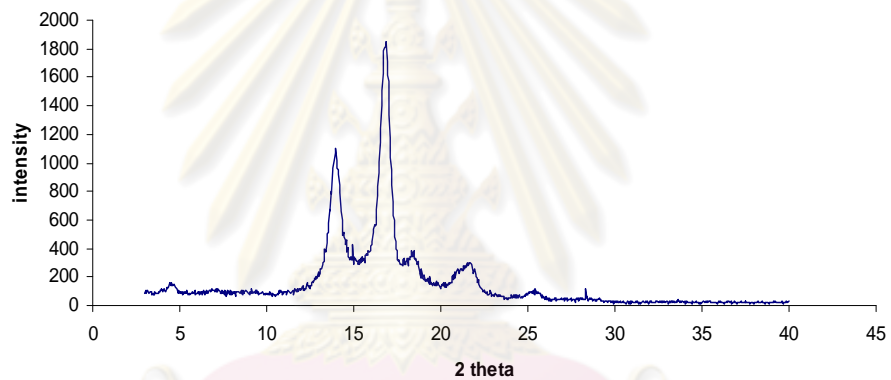
รูปที่ ก-11 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 4 เท่า



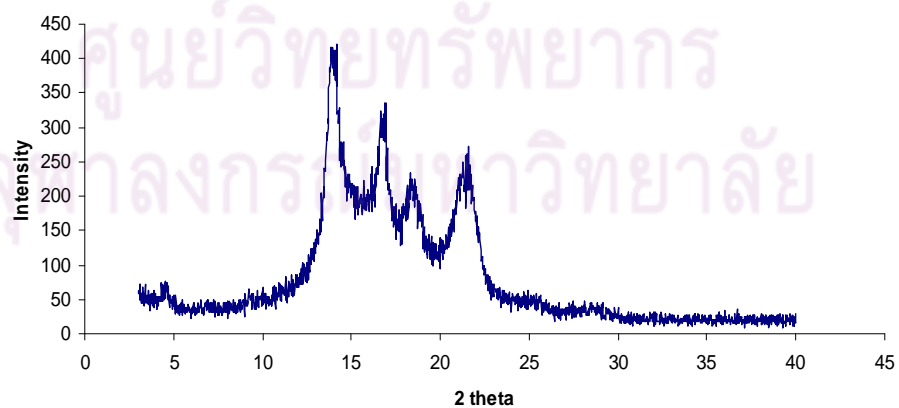
รูปที่ ก-12 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



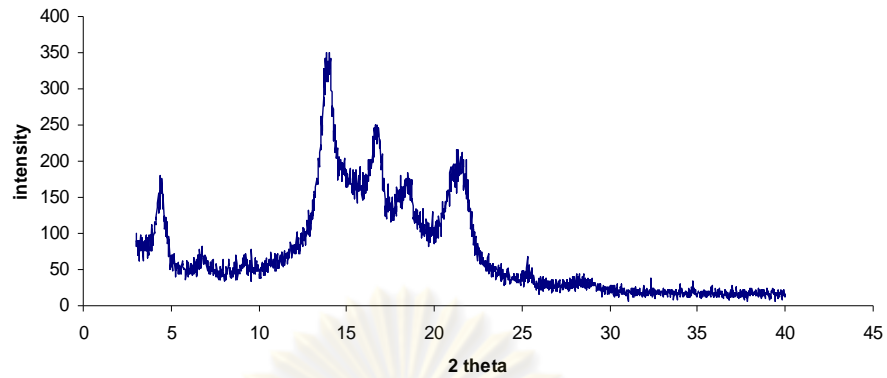
รูปที่ ก-13 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 4 เท่า



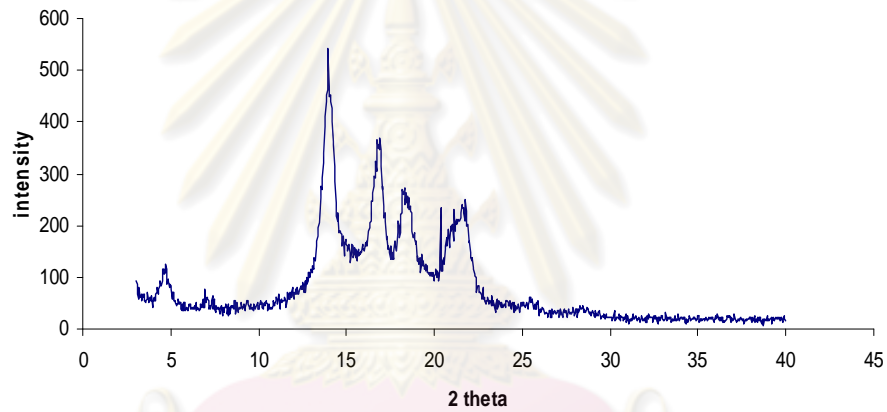
รูปที่ ก-14 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



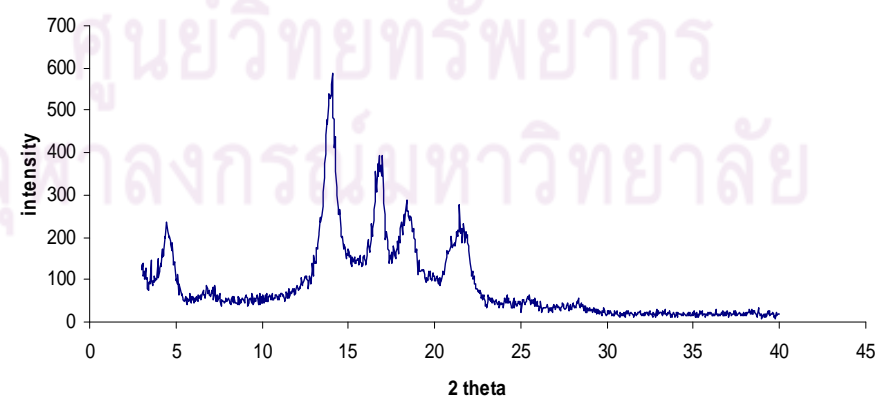
รูปที่ ก-15 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



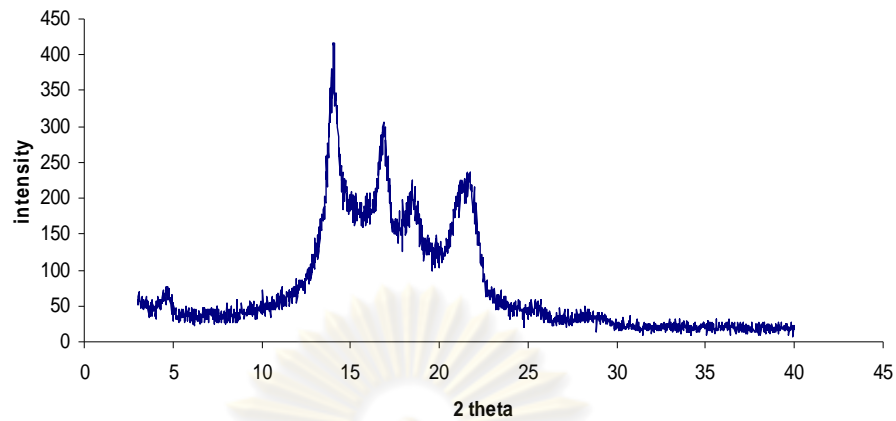
รูปที่ ก-16 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



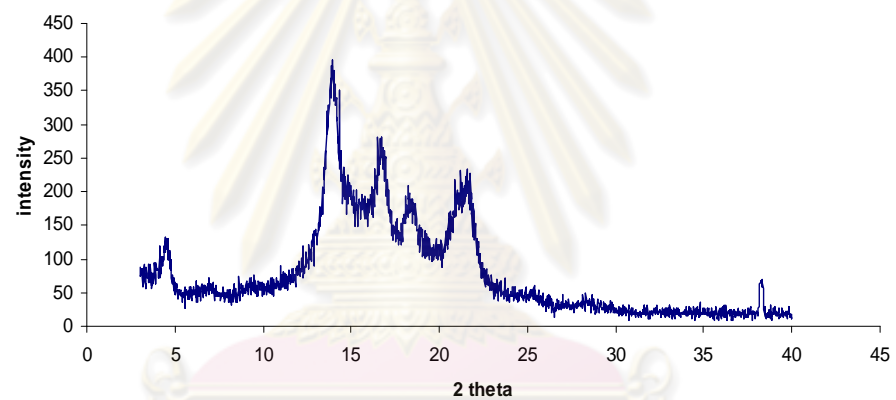
รูปที่ ก-17 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



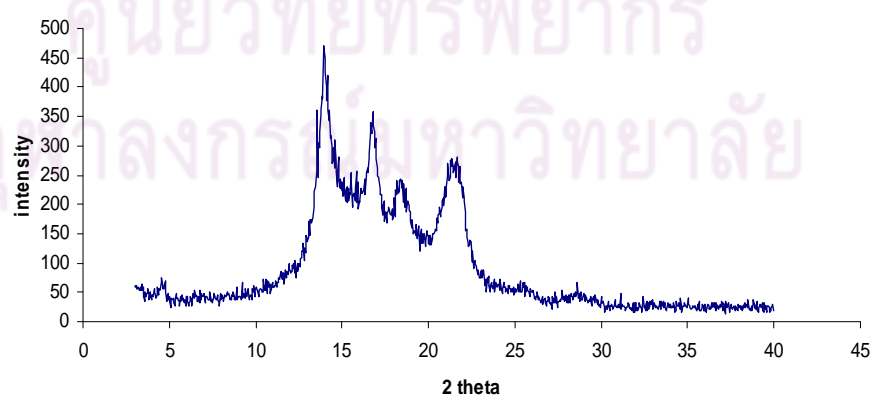
รูปที่ ก-18 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



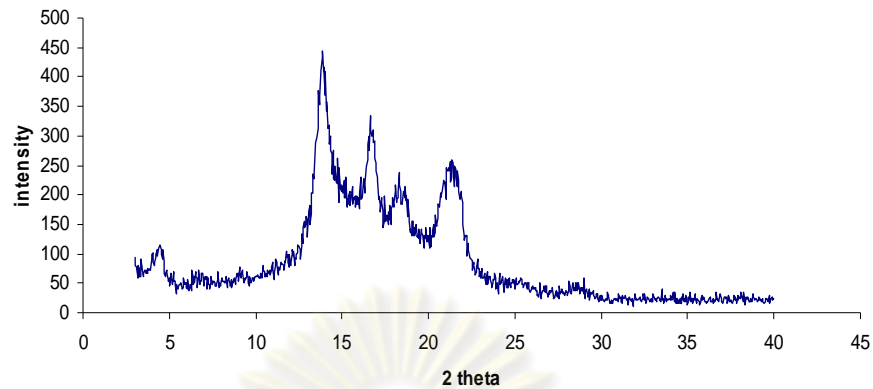
รูปที่ ก-19 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



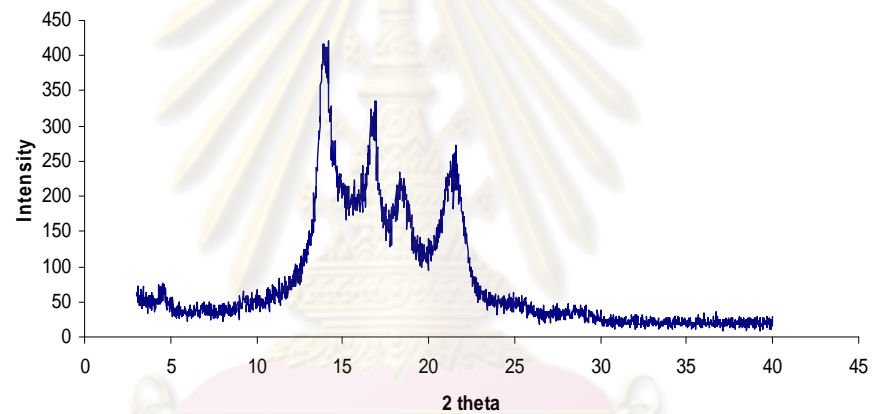
รูปที่ ก-20 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



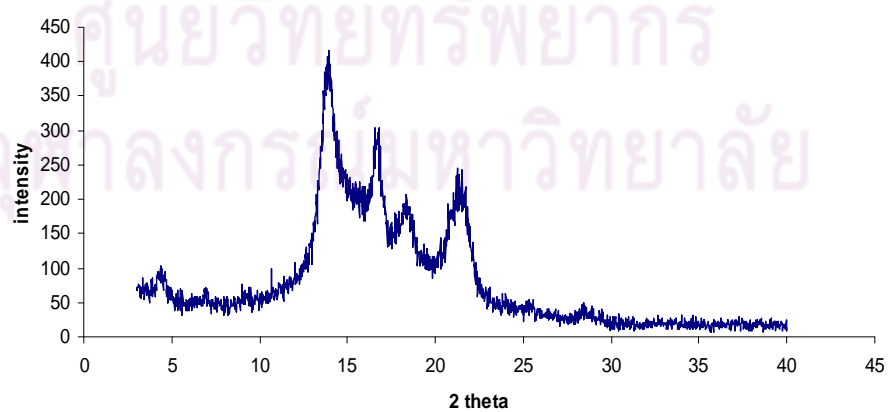
รูปที่ ก-21 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



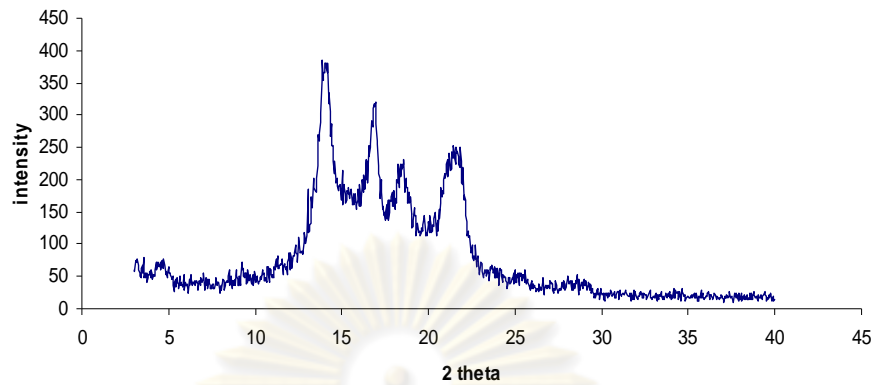
รูปที่ ก-22 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



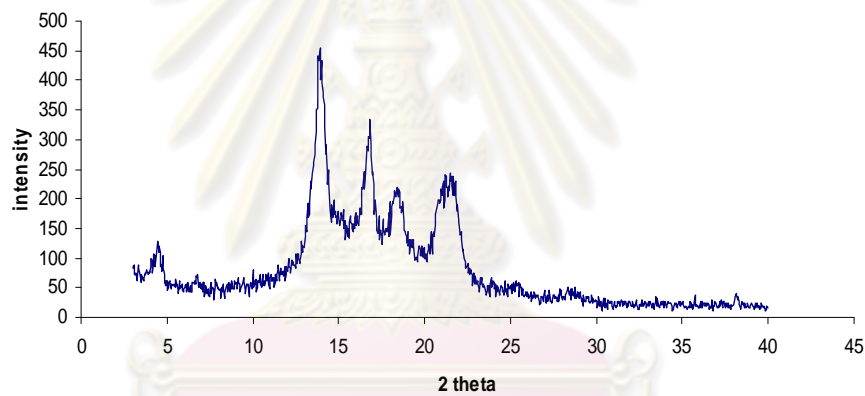
รูปที่ ก-23 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



รูปที่ ก-24 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/3wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า



รูปที่ ก-25 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามความยาวของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า

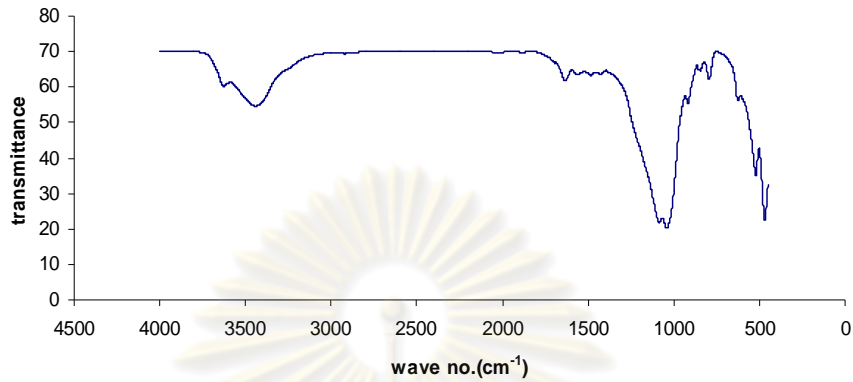


รูปที่ ก-26 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมตามตั้งฉากกับเส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0)) draw ratio เท่ากับ 5 เท่า

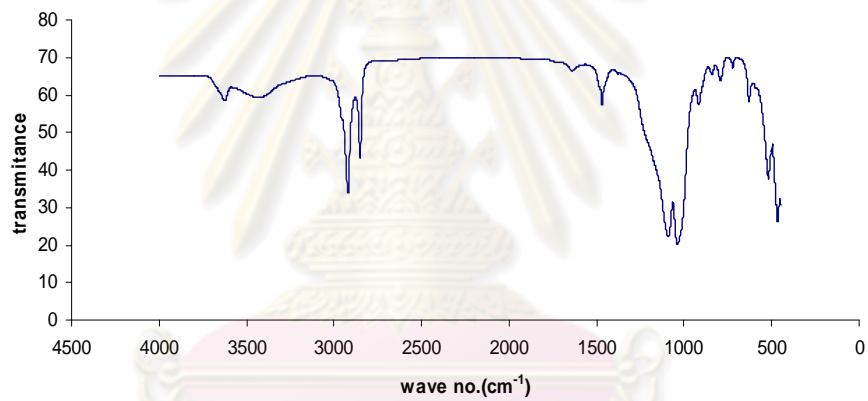
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

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



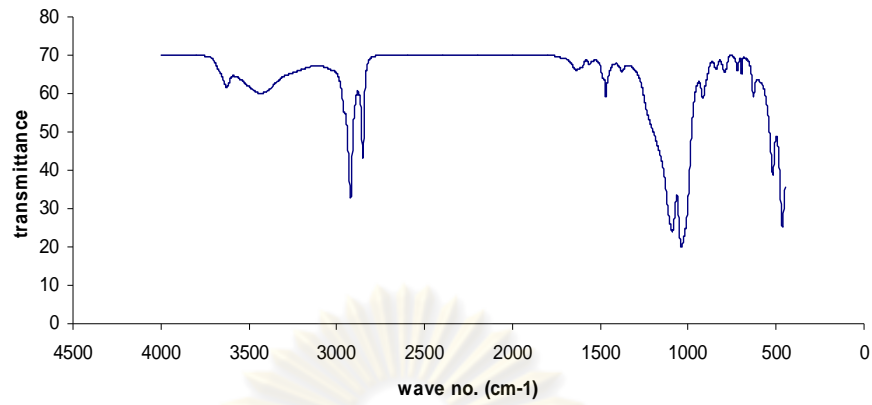
รูปที่ ข-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



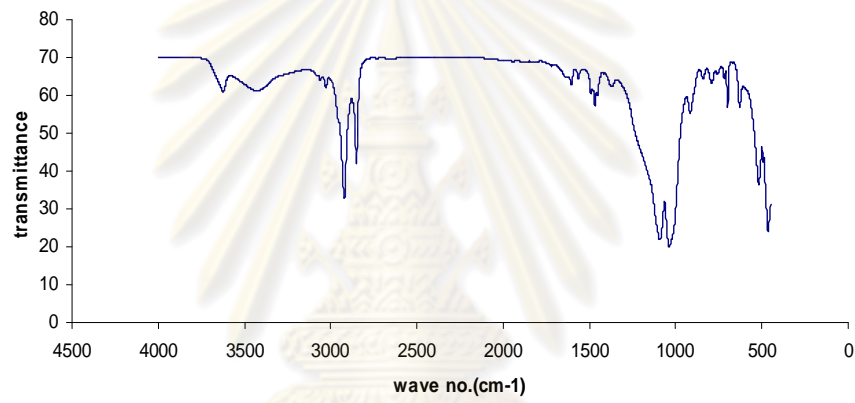
รูปที่ ข-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย

ไดออกตะเดซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (ออร์กาโนเคลย์)

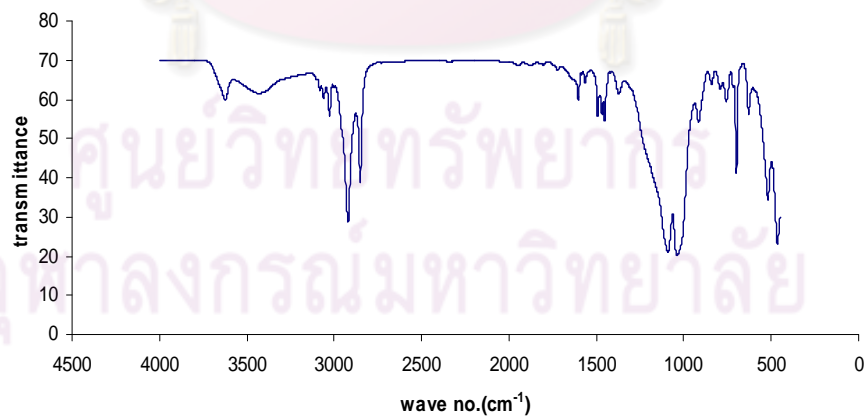
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



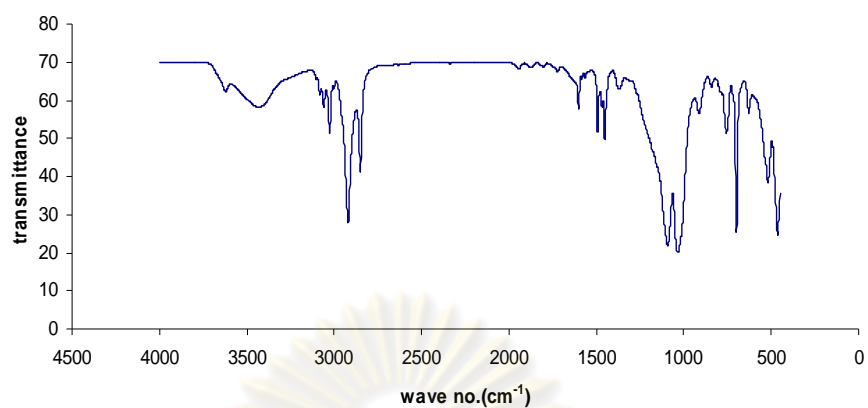
รูปที่ ข-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 0.5:1.0



รูปที่ ข-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 1.0:1.0



รูปที่ ข-5 อินฟราเรดสเปกตรัมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 1.5:1.0

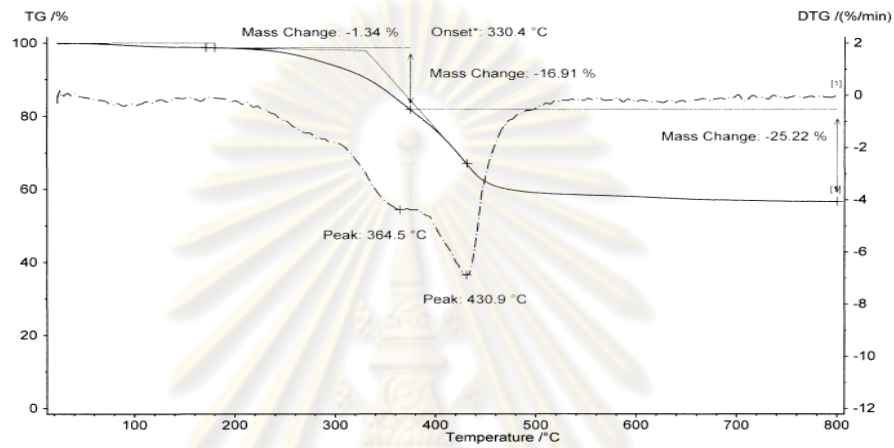


รูปที่ ๗-6 อินฟราเรดสเปกตรัมของPS-Organoclay ที่อัตราส่วน 2.0:1.0

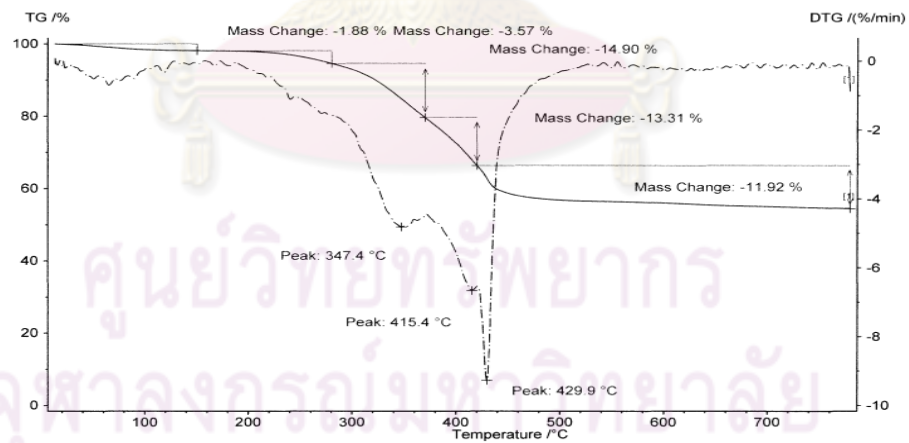
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

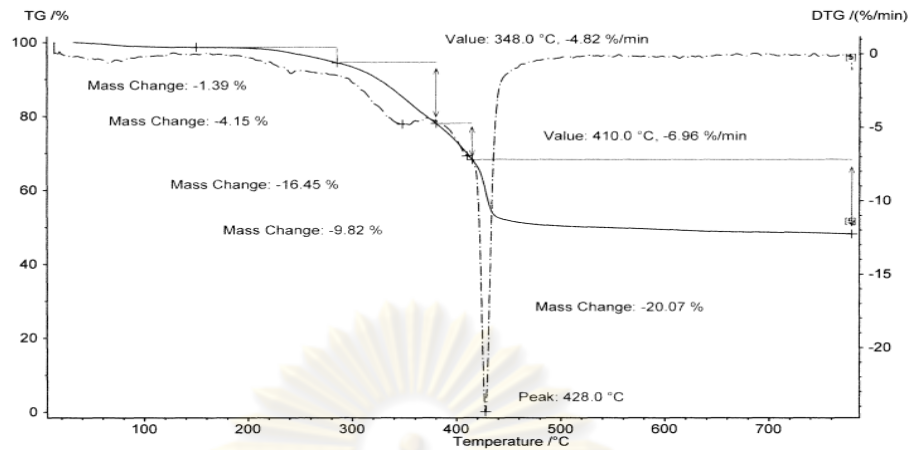
ภาคผนวก ค.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิไพร์ฟีนนาโนคอมพอสิตและเส้นใย
พอลิไพร์ฟีนนาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิค TGA และ DSC



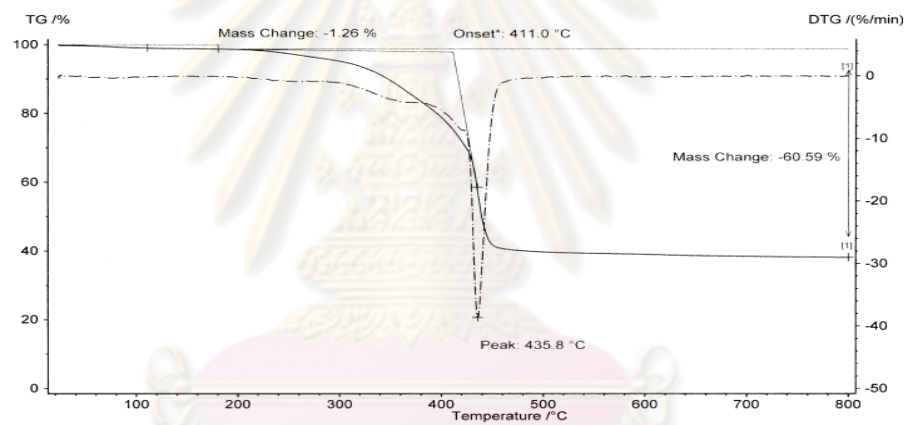
รูปที่ ค-1 TG เทอร์โมแกรมของ ออร์กาโนเคลย์



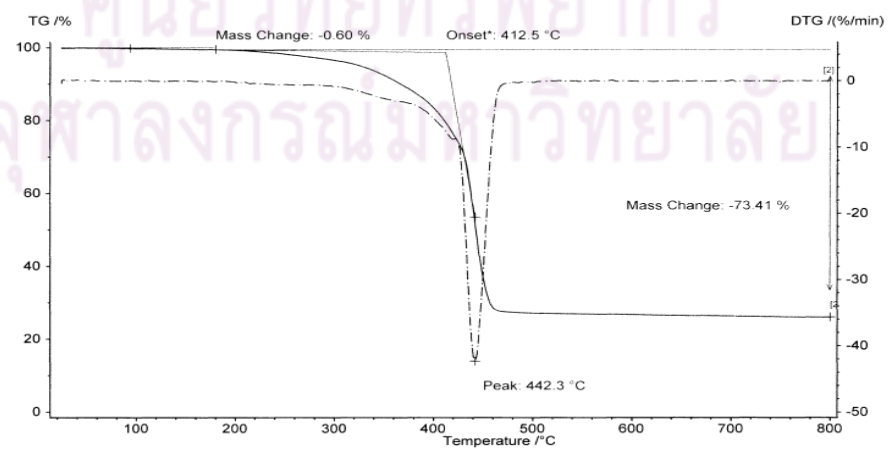
รูปที่ ค-2 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิไพร์ฟีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0)



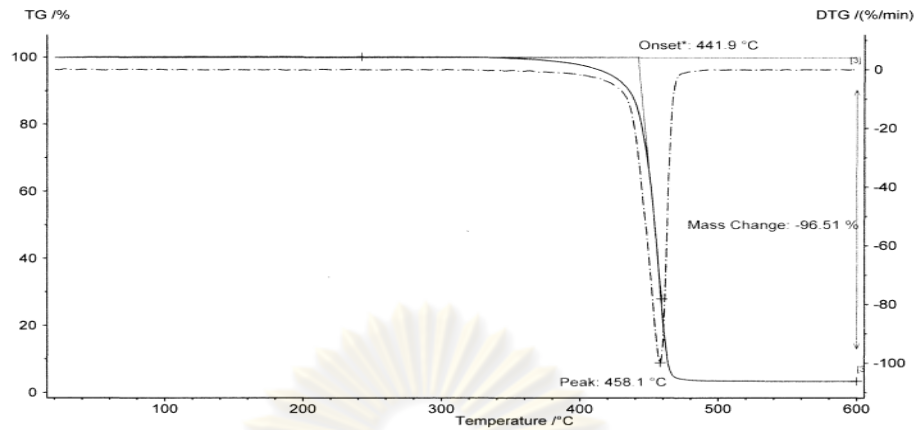
รูปที่ ค-3 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิอิมไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0)



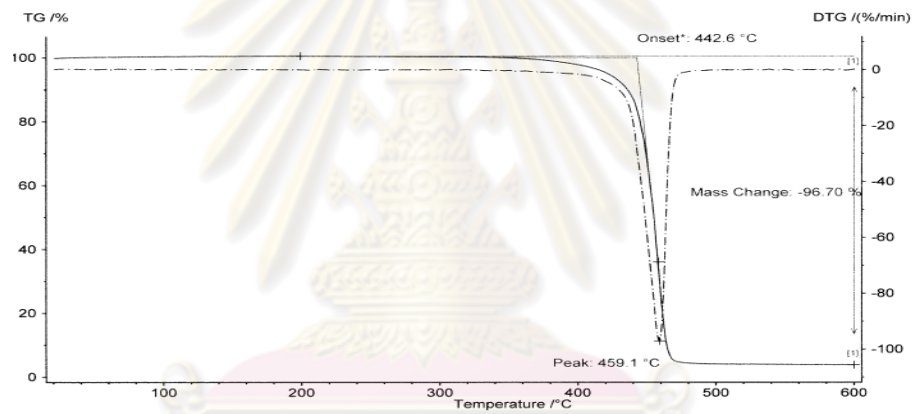
รูปที่ ค-4 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิอิมไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0)



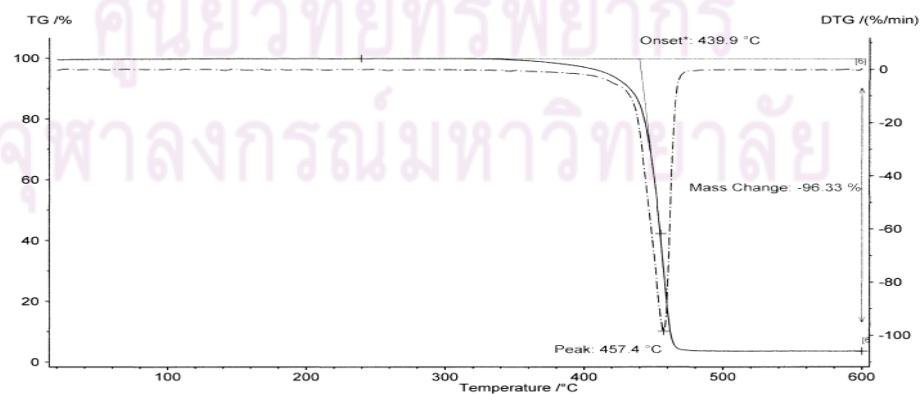
รูปที่ ค-5 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิอิมไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0)



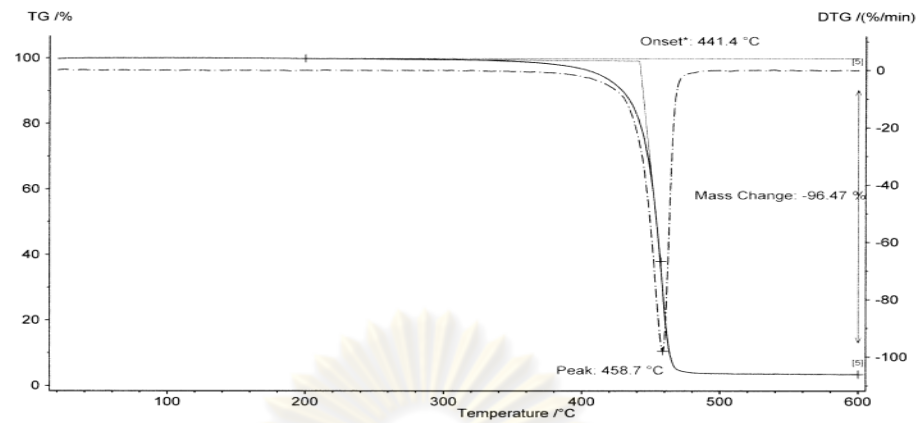
รูปที่ ค-6 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิไพร์พิดีน/3wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.0:1.0))



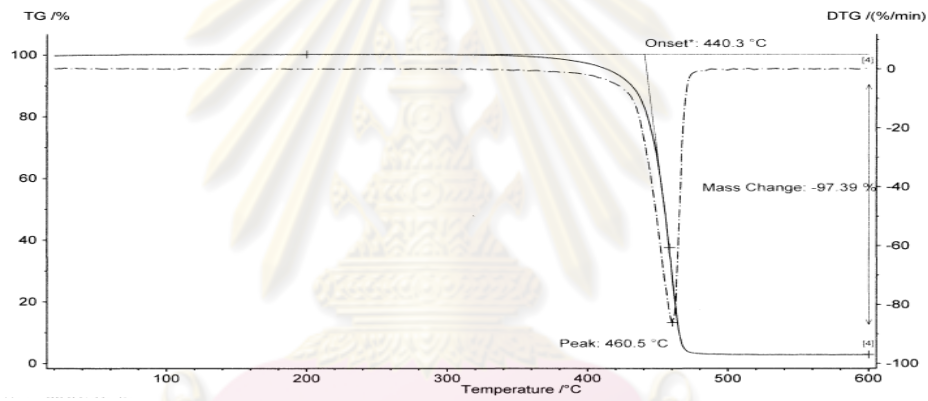
รูปที่ ค-7 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิไพร์พิดีน/3wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0))



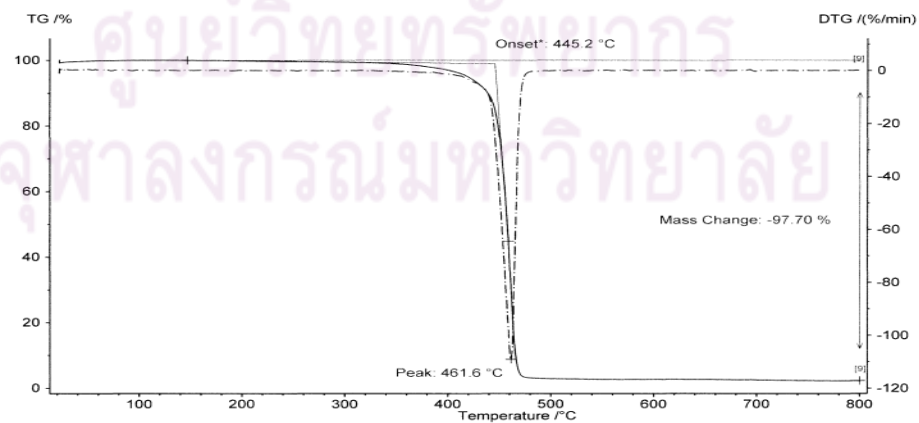
รูปที่ ค-8 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิไพร์พิดีน/3wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0))



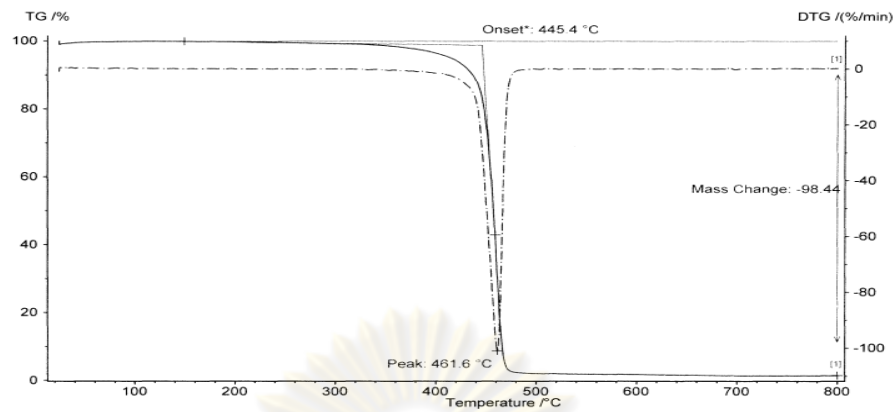
รูปที่ ค-9 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/3wt%(พอลิไอโซบิวทีเร็น:ออร์กาโนคลอไรด์ในอัตราส่วน (1.5:1.0))



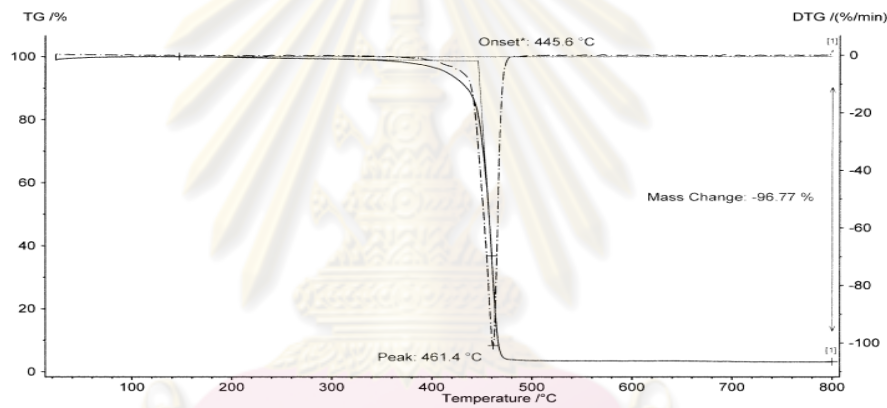
รูปที่ ค-10 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/3wt%(พอลิไอโซบิวทีเร็น:ออร์กาโนคลอไรด์ในอัตราส่วน (2.0:1.0))



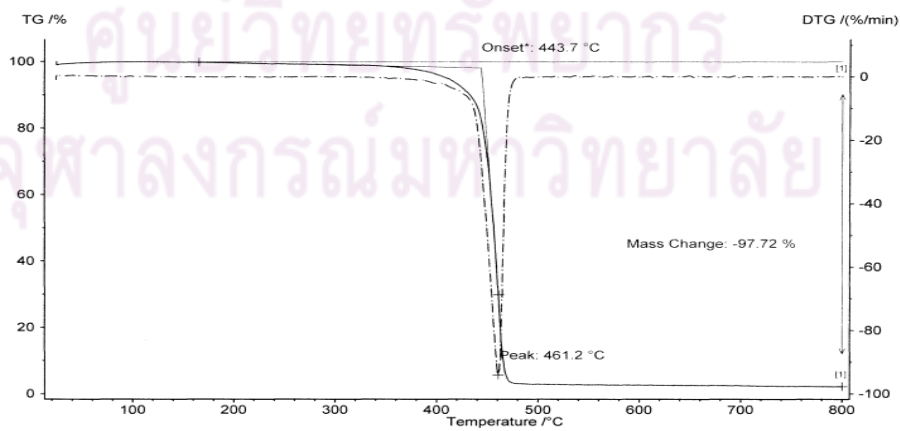
รูปที่ ค-11 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิไอโซบิวทีเร็น:ออร์กาโนคลอไรด์ในอัตราส่วน (0.0:1.0))



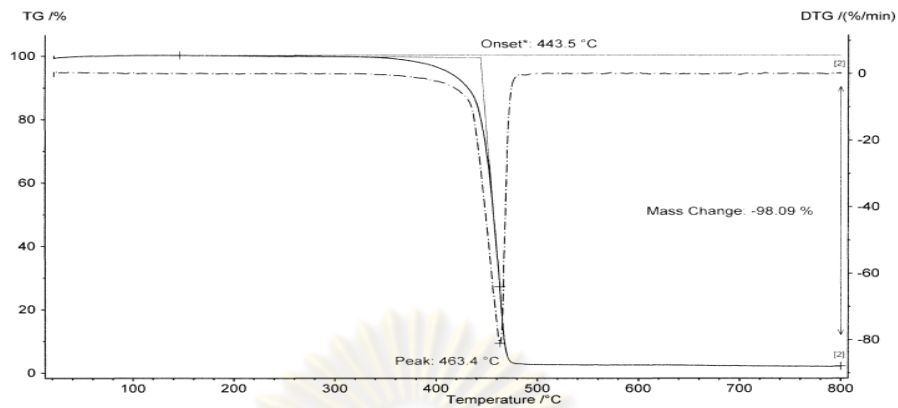
รูปที่ ค-12 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิอิสโตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0))



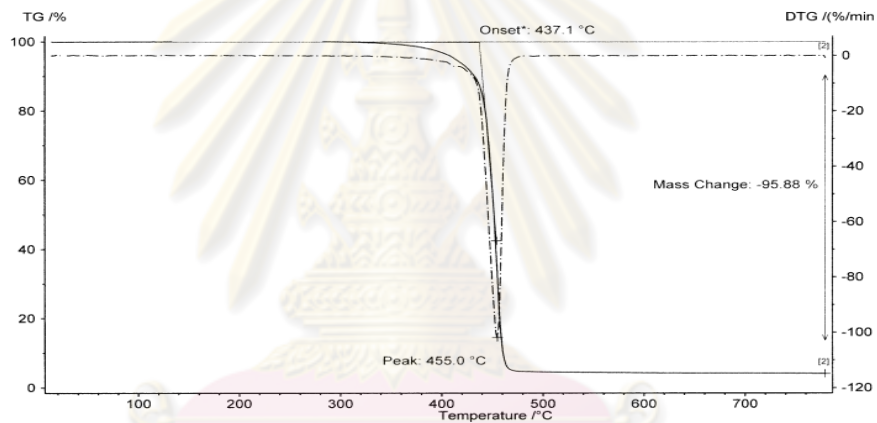
รูปที่ ค-13 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิอิสโตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0))



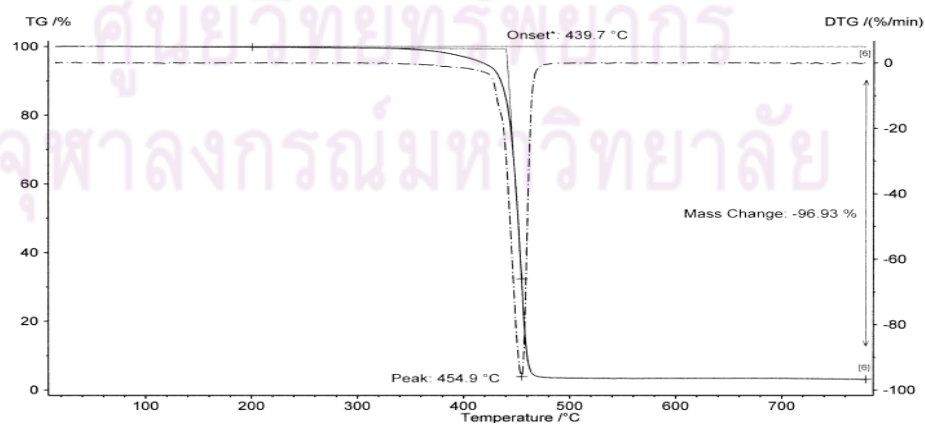
รูปที่ ค-14 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิอิสโตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0))



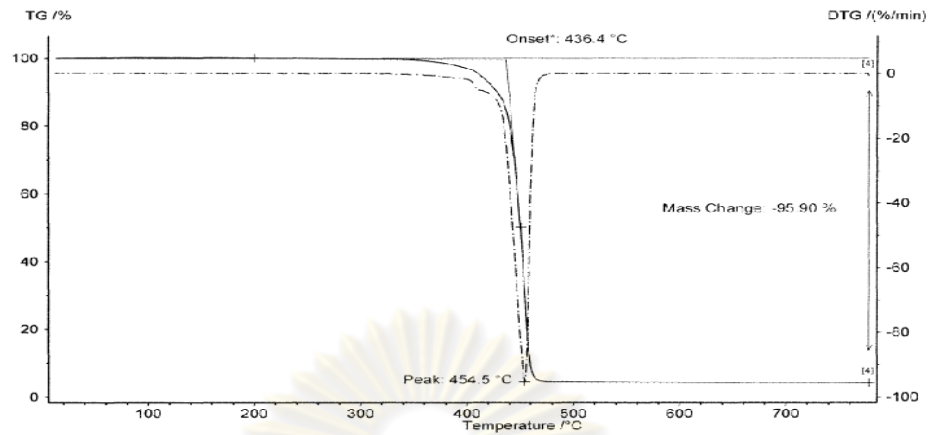
รูปที่ ค-15 TG เทอร์โมแกรมของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0))



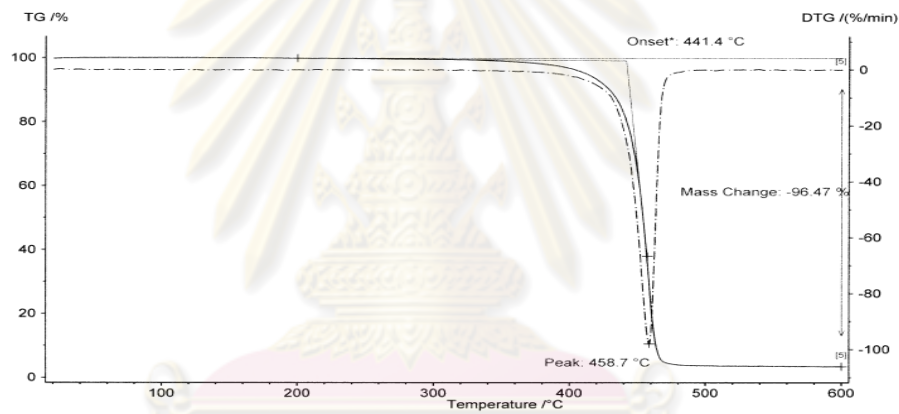
รูปที่ ค-16 TG เทอร์โมแกรมของ เส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.0:1.0))



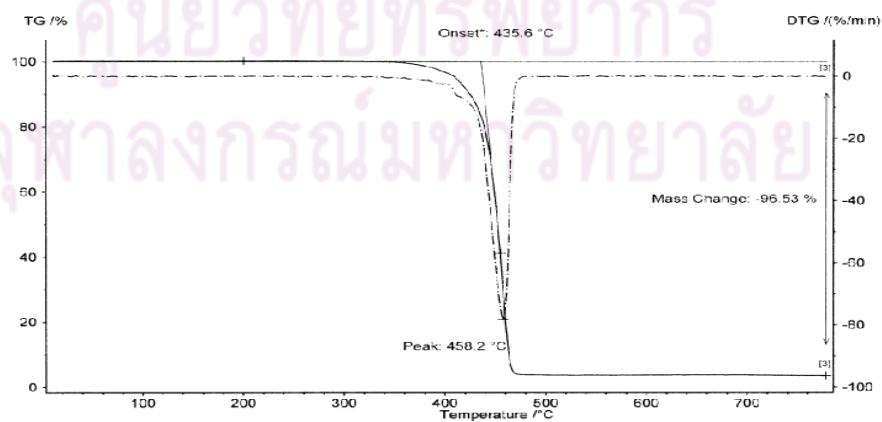
รูปที่ ค-17 TG เทอร์โมแกรมของ เส้นใยพอลิโพรพิลีน/5wt% (พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0))



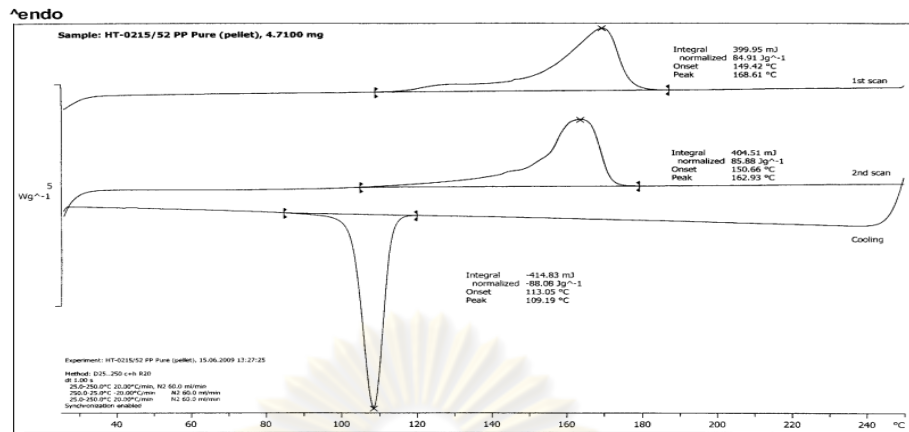
รูปที่ ค-18 TG เทอร์โมแกรมของ เส้นใยพอลิไพโรฟิซีน/5wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์แกนิกเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0))



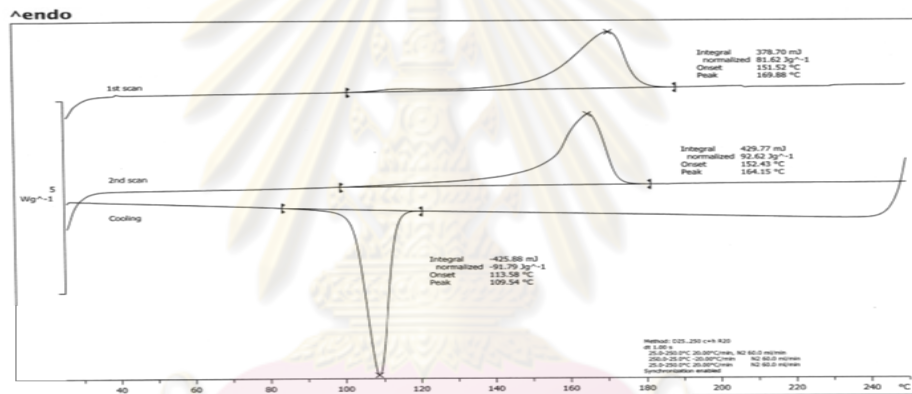
รูปที่ ค-19 TG เทอร์โมแกรมของ เส้นใยพอลิไพโรฟิซีน/5wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์แกนิกเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0))



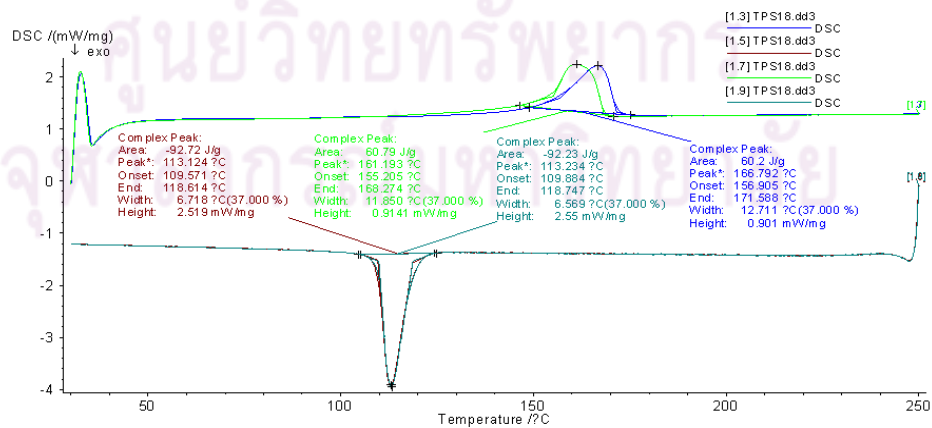
รูปที่ ค-20 TG เทอร์โมแกรมของ เส้นใยพอลิไพโรฟิซีน/5wt%
(พอลิสไตรีน:ออร์แกนิกเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0))



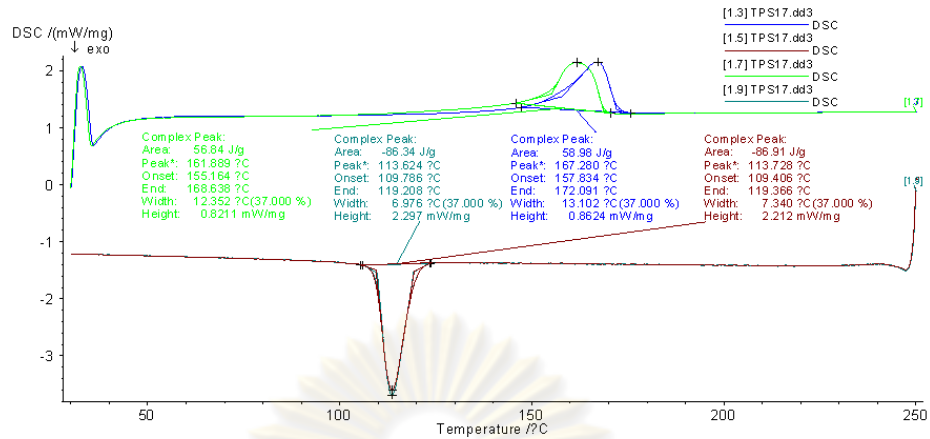
รูปที่ ค-21 กราฟ DSC ของ พอลิโพรพิลีน



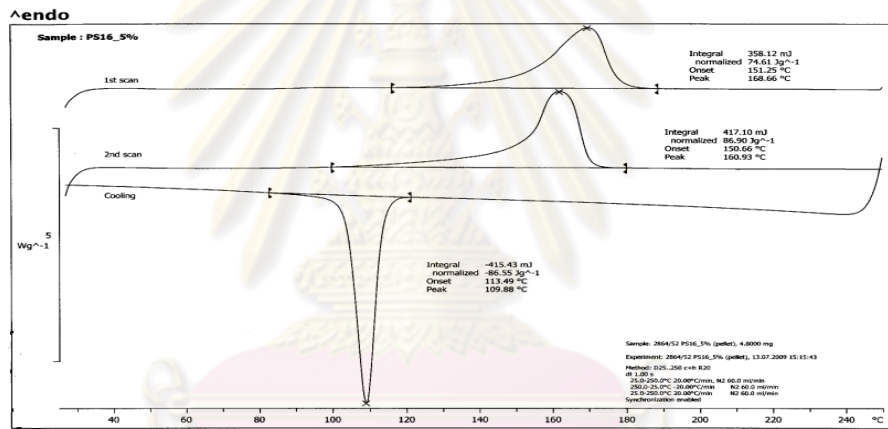
รูปที่ ค-22 กราฟ DSC ของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.0:1.0))



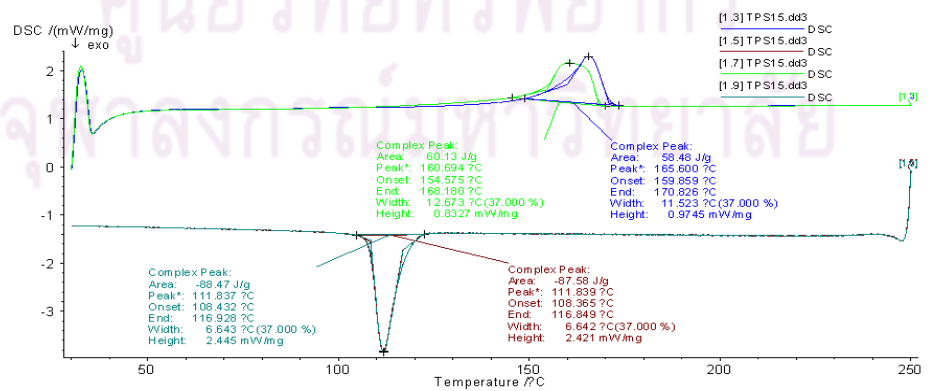
รูปที่ ค-23 กราฟ DSC ของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (0.5:1.0))



รูปที่ ค-24 กราฟ DSCของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.0:1.0))



รูปที่ ค-25 กราฟ DSCของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (1.5:1.0))



รูปที่ ค-26 กราฟ DSCของ พอลิโพรพิลีน/5wt%(พอลิสไตรีน:ออร์กาโนเคลย์ในอัตราส่วน (2.0:1.0))

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. [37]

ตัวอย่าง พอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต 5 wt% พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ ในอัตราส่วน (0.5:1)

$$\Delta H_m = 60.79 \text{ J/g.}$$

$$\text{Weight fraction of PP} = 95/100$$

$$\begin{aligned} \text{Degree of crystallinity} &= \frac{60.79 \times 100}{209} \times \frac{1}{(95/100)} \\ &= 39.91 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง. การหาค่าดัชนีการไหลของ 3wt% พอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต

Sample	MFI (g./10 min.)					
	PP	Organoclay	0.5PS: 1.0Organoclay	1.0PS: 1.0Organoclay	1.5PS: 1.0Organoclay	2.0PS: 1.0Organoclay
1	45.16	47.02	51.11	43.22	48.08	44.43
2	48.96	48.97	51.85	44.00	50.86	43.52
3	30.02	48.46	50.20	44.83	47.24	43.70
4	41.92	48.74	53.63	44.15	48.26	43.86
5	43.33	46.58	52.55	44.42	49.96	48.49
6	48.36	47.87	54.47	44.90	51.16	48.64
7	44.56	47.86	51.61	44.09	49.97	45.43
8	42.29	46.78	52.91	43.28	52.31	48.76
9	32.44	46.51	52.12	44.60	47.54	43.40
10	47.42	49.19	51.29	43.95	51.44	43.88
Average	42.45	47.80	52.17	44.14	49.68	45.41
S.D.	6.41	1.02	1.26	0.58	1.79	2.29

ภาคผนวก ง-2 การหาค่าดัชนีการไหลของ 5wt% โพลีโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต

Sample	MFI (g./10 min.)					
	PP	Organoclay	0.5PS: 1.0Organoclay	1.0PS: 1.0Organoclay	1.5PS: 1.0Organoclay	2.0PS: 1.0Organoclay
1	45.16	51.276	42.25	46.41	47.30	55.31
2	48.96	48.222	45.94	42.77	45.18	56.65
3	30.02	46.53	45.16	48.91	45.13	54.20
4	41.92	47.95	45.61	42.60	49.77	55.03
5	43.33	50.73	43.01	51.48	44.78	50.07
6	48.36	50.56	46.18	44.21	48.55	52.07
7	44.56	52.62	43.83	44.72	44.96	59.27
8	42.29	49.77	40.02	46.16	45.61	60.04
9	32.44	46.42	42.53	47.54	45.17	60.55
10	47.42	50.93	42.37	45.44	44.20	60.02
Average	42.45	49.50	43.69	46.02	46.06	56.32
S.D.	6.41	2.11	2.01	2.75	1.84	3.63

ศูนย์วิทยุทันตกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ. การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค พอลิไทรีน-ออร์กาโนเคลย์

ภาคผนวก จ.1 การกระจายตัวของอนุภาค พอลิไทรีน-ออร์กาโนเคลย์ ตามทฤษฎี

$$\text{ปริมาณของพอลิไทรีน-ออร์กาโนเคลย์} = \frac{\text{ปริมาณสาร(กรัม)} \times \text{ปริมาณPS-Organoclay (wt\%)}}{100}$$

ตัวอย่าง ปริมาณ PS-Organoclay ในพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต 3 wt% PS-organoclay ปริมาณ 2.000 กรัม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ PS-Organoclay} &= \frac{2.000 \times 3}{100} \\ &= 0.06 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ.2 การหาปริมาณเถ้าหลงเหลือ

ตาราง จ-1 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา Organoclay

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.943	1.074	44.708
2	1.961	1.084	44.728
3	1.951	1.077	44.807
4	1.949	1.076	44.788
5	1.955	1.080	44.768
average	1.952	1.078	44.760
S.D.	0.007	0.004	0.041
		% residue	55.240

ตาราง จ-2 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 0.5PS:1.0Organoclay

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.952	1.050	46.219
2	1.957	1.051	46.297
3	1.956	1.052	46.186
4	1.966	1.057	46.252
5	1.961	1.055	46.206
average	1.958	1.053	46.232
S.D.	0.005	0.003	0.044
		% residue	53.768

ตาราง จ-3 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 1.0PS:1.0Organoclay

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.994	0.928	53.460
2	1.982	0.923	53.468
3	1.983	0.922	53.492
4	2.095	1.037	50.795
5	1.947	0.929	52.280
average	2.000	0.946	52.699
S.D.	0.056	0.047	1.183
		% residue	47.301

ตาราง จ-4 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 1.5PS:1.0Organoclay

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.024	0.741	63.381
2	2.004	0.733	63.409
3	2.013	0.736	63.420
4	2.023	0.740	63.426
5	1.998	0.731	63.419
average	2.012	0.736	63.411
S.D.	0.011	0.004	0.018
		% residue	36.589

ตาราง จ-5 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 2.0PS:1.0Organoclay

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.01	0.475	76.389
2	2.001	0.474	76.314
3	2.001	0.475	76.251
4	2.001	0.476	76.212
5	2.001	0.475	76.283
average	2.003	0.475	76.290
S.D.	0.004	0.000	0.053
		% residue	23.710

ตัวอย่าง จากตารางจ-1 จากการทดลองพบว่า การเผา พอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์ จะมีปริมาณเถ้าหลงเหลือ 55.240 %

การหาปริมาณเถ้าหลงเหลือในพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตตามทฤษฎี

$$\% \text{ เถ้าหลงเหลือตามทฤษฎี} = \frac{\text{ปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผา} \times 100}{\text{ปริมาณสารที่เหลือจากการเผาพอลิสไตรีน-ออร์กาโนเคลย์}}$$

ตัวอย่าง % เถ้าหลงเหลือในพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต 3 wt% Organoclay ปริมาณ 2.000 กรัม

$$\% \text{ เถ้าหลงเหลือตามทฤษฎี} = \frac{0.979 \times 100}{55.240} = 1.77\%$$

ตาราง ๑-6 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 3wt%(Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.002	0.021	98.951
2	2.003	0.019	99.046
3	2.009	0.019	99.029
4	2.003	0.020	99.012
5	1.999	0.020	98.980
6	2.003	0.019	99.042
7	1.999	0.020	99.005
8	2.004	0.019	99.032
9	2.001	0.019	99.060
10	2.002	0.019	99.051
average	2.003	0.020	99.021
S.D.	0.114	0.007	0.364
		% residue	0.979
		% residue ตามทฤษฎี	1.77

ตาราง ๑-7 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 5wt%(Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.999	0.044	97.794
2	2.002	0.043	97.847
3	1.997	0.042	97.896
4	1.995	0.039	98.045
5	1.999	0.038	98.120
6	1.979	0.018	99.095
7	1.997	0.036	98.187
8	2.000	0.036	98.195
9	1.996	0.037	98.166
10	1.635	0.031	98.134
average	1.960	0.036	98.148
S.D.	0.003	0.001	0.034
		% residue	1.852
		% residue ตามทฤษฎี	3.35

ตาราง ๑-8 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 3wt%(0.5PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.001	0.028	98.600
2	2.002	0.028	98.621
3	2.000	0.027	98.649
4	1.998	0.027	98.628
5	1.999	0.026	98.684
6	2.004	0.025	98.728
7	2.026	0.026	98.719
8	2.026	0.027	98.657
9	2.006	0.026	98.694
10	2.004	0.027	98.668
average	2.004	0.029	98.664
S.D.	0.009	0.001	0.042
		% residue	1.336
		% residue ตามทฤษฎี	2.86

ตาราง ๑-9 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 5wt%(0.5PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.978	0.030	98.463
2	1.979	0.031	98.418
3	1.981	0.032	98.389
4	1.981	0.030	98.480
5	1.983	0.032	98.371
6	1.990	0.028	98.593
7	1.983	0.033	98.356
8	1.982	0.030	98.471
9	1.988	0.031	98.441
10	1.985	0.031	98.438
average	1.983	0.031	98.442
S.D.	0.004	0.001	0.068
		% residue	1.558
		% residue ตามทฤษฎี	2.85

ตาราง จ-10 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการ 3wt%(1.0PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.999	0.023	98.835
2	1.999	0.021	98.939
3	2.011	0.023	98.836
4	1.997	0.021	98.938
5	2.002	0.021	98.951
6	2.003	0.019	99.012
7	2.003	0.019	99.036
8	2.000	0.019	99.020
9	2.001	0.019	99.050
10	2.002	0.018	99.091
average	2.002	0.021	98.971
S.D.	0.004	0.002	0.086
		% residue	1.029
		% residue ตามทฤษฎี	2.18

ตาราง จ-11 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 5wt%(1.0PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.004	0.036	98.194
2	2.007	0.036	98.191
3	1.690	0.034	97.977
4	2.007	0.035	98.246
5	2.006	0.034	98.305
6	2.004	0.036	98.189
7	2.006	0.036	98.201
8	2.008	0.035	98.252
9	2.010	0.037	98.164
10	2.011	0.036	98.190
average	1.975	0.0357	98.191
S.D.	0.100	0.001	0.086
		% residue	1.809
		% residue ตามทฤษฎี	3.83

ตาราง จ-12 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 3wt%(1.5PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.996	0.016	99.203
2	1.998	0.017	99.159
3	1.992	0.017	99.162
4	1.993	0.017	99.157
5	1.998	0.017	99.164
6	1.999	0.019	99.054
7	1.996	0.016	99.188
8	1.998	0.017	99.169
9	1.998	0.017	99.154
10	1.995	0.017	99.153
average	1.996	0.017	99.156
S.D.	0.002	0.001	0.039
		% residue	1.082
		% residue ตามทฤษฎี	2.95

ตาราง จ-13 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 5wt%(1.5PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.003	0.023	98.831
2	3.004	0.023	99.221
3	2.001	0.022	98.906
4	1.998	0.025	98.725
5	2.000	0.023	98.835
6	1.999	0.021	98.935
7	2.002	0.025	98.771
8	2.005	0.022	98.892
9	2.004	0.024	98.782
10	2.001	0.022	98.870
average	2.002	0.023	98.838
S.D.	0.002	0.001	0.064
		% residue	1.123
		% residue ตามทฤษฎี	2.66

ตาราง จ-14 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 3wt%(2.0PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	1.985	0.012	99.395
2	1.993	0.014	99.323
3	1.989	0.012	99.412
4	1.987	0.012	99.406
5	1.987	0.013	99.356
6	1.991	0.013	99.372
7	1.985	0.013	99.335
8	1.994	0.012	99.388
9	1.997	0.014	99.319
10	1.990	0.012	99.392
average	1.989	0.013	99.370
S.D.	0.004	0.001	0.035
		% residue	0.630
		% residue ตามทฤษฎี	0.711

ตาราง จ-15 ปริมาณเถ้าหลงเหลือจากการเผา 5wt%(2.0PS:1.0Organoclay)/PP

sample	นน.สาร(g.)	นน.สารหลังเผา (g.)	%weight loss
1	2.005	0.017	99.147
2	2.001	0.017	99.141
3	2.008	0.022	98.924
4	2.005	0.019	99.062
5	2.001	0.017	99.131
6	2.004	0.017	99.137
7	2.006	0.015	99.232
8	2.003	0.015	99.231
9	2.001	0.018	99.124
10	2.013	0.017	99.135
average	2.005	0.017	99.126
S.D.	0.004	0.002	0.087
		% residue	0.874
		% residue ตามทฤษฎี	4.04

ภาคผนวก จ.

ภาคผนวก จ. การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง

Universal testing machine

ตาราง จ-1 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีน draw ratio 5 เท่า

Sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	402.07	350.23	113.33	0.09
2	543.38	330.58	113.33	0.09
3	545.99	370.78	113.33	0.09
4	539.55	348.57	116.67	0.09
5	412.98	343.58	123.33	0.09
Average	488.79	348.75	155.99	0.09
S.D.	74.32	14.53	4.35	0.000

ตาราง จ-2 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (Organoclay) 3wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	292.22	39.26	976.67	0.093
2	295.18	92.29	986.67	0.093
3	278.97	55.32	1006.67	0.093
4	275.85	69.54	1133.33	0.093
5	297.30	59.50	1119.99	0.093
average	287.90	63.18	1044.67	0.093
S.D.	9.81	19.59	75.77	0.000

ตาราง จ-3 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (Organoclay) 5wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	650.88	261.822	146.66	0.078
2	842.13	253.53	156.67	0.078
3	888.02	303.81	156.67	0.078
4	626.03	168.25	216.67	0.078
5	855.05	403.16	300.00	0.078
average	772.42	278.11	195.33	0.078
S.D.	123.75	85.49	64.75	0.000

ตาราง จ-4 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (0.5PS:1.0Organoclay) 3wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	356.40	58.27	466.67	0.110
2	318.31	60.21	483.33	0.110
3	247.43	62.26	536.67	0.110
4	361.58	64.01	536.67	0.110
5	313.68	49.14	553.35	0.110
average	319.48	58.78	515.34	0.110
S.D.	45.72	5.80	37.91	0.000

ตาราง จ-5 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (0.5PS:1.0Organoclay) 5wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	786.63	231.29	160.00	0.083
2	580.22	187.81	249.99	0.083
3	540.85	190.04	256.67	0.083
4	838.43	308.55	323.33	0.083
5	877.33	278.13	386.66	0.083
average	724.69	239.16	275.33	0.083
S.D.	153.90	53.49	85.13	0.000

ตาราง จ-6 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (1.0PS:1.0Organoclay) 3wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	744.73	92.47	903.33	0.099
2	690.89	115.19	906.67	0.099
3	589.63	93.90	900.00	0.099
4	546.83	76.20	900.00	0.099
5	679.85	83.50	903.33	0.099
average	650.38	92.25	902.67	0.099
S.D.	80.35	14.69	2.79	0.000

ตาราง จ-7 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (1.0PS:1.0Organoclay) 5wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	1195.50	275.58	386.67	0.064
2	1248.42	463.84	400.00	0.064
3	918.57	236.99	523.33	0.064
4	1419.04	462.45	523.33	0.064
5	900.62	296.71	590.00	0.064
average	1136.43	347.11	484.67	0.064
S.D.	223.03	108.06	87.83	0.000

ตาราง จ-8 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (1.5PS:1.0Organoclay) 3wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	407.42	255.98	676.67	0.072
2	542.47	196.01	730.00	0.072
3	597.91	211.77	750.00	0.072
4	597.76	118.93	783.33	0.072
5	539.08	223.46	803.33	0.072
average	536.92	201.23	748.67	0.072
S.D.	77.82	50.99	49.30	0.000

ตาราง จ-9 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (1.5PS:1.0Organoclay) 5wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	1531.28	560.01	309.99	0.042
2	1395.24	390.13	316.67	0.042
3	1464.94	390.13	356.67	0.042
4	1372.56	624.90	530.00	0.042
5	1169.32	606.87	693.33	0.042
average	1386.67	514.41	441.33	0.042
S.D.	136.52	115.90	166.83	0.000

ตาราง ฉ-10 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (2.0PS:1.0Organoclay) 3wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	632.95	114.35	823.34	0.065
2	582.63	115.67	943.33	0.065
3	793.15	142.77	963.33	0.065
4	705.36	128.40	970.00	0.065
5	733.66	128.40	990.00	0.065
average	689.55	125.92	938.00	0.065
S.D.	83.01	11.57	66.23	0.000

ตาราง ฉ-11 ค่าสมบัติด้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิต ปริมาณ

PP/ (2.0PS:1.0Organoclay) 5wt% draw ratio 5 เท่า

sample	Modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% strain at Break (%)	Diameter (mm.)
1	1612.16	362.91	383.33	0.031
2	1049.96	484.54	393.33	0.031
3	1417.75	406.89	436.67	0.031
4	1554.34	379.49	466.67	0.031
5	1496.59	373.08	586.67	0.031
average	1426.16	401.38	453.33	0.031
S.D.	222.25	49.26	81.75	0.000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

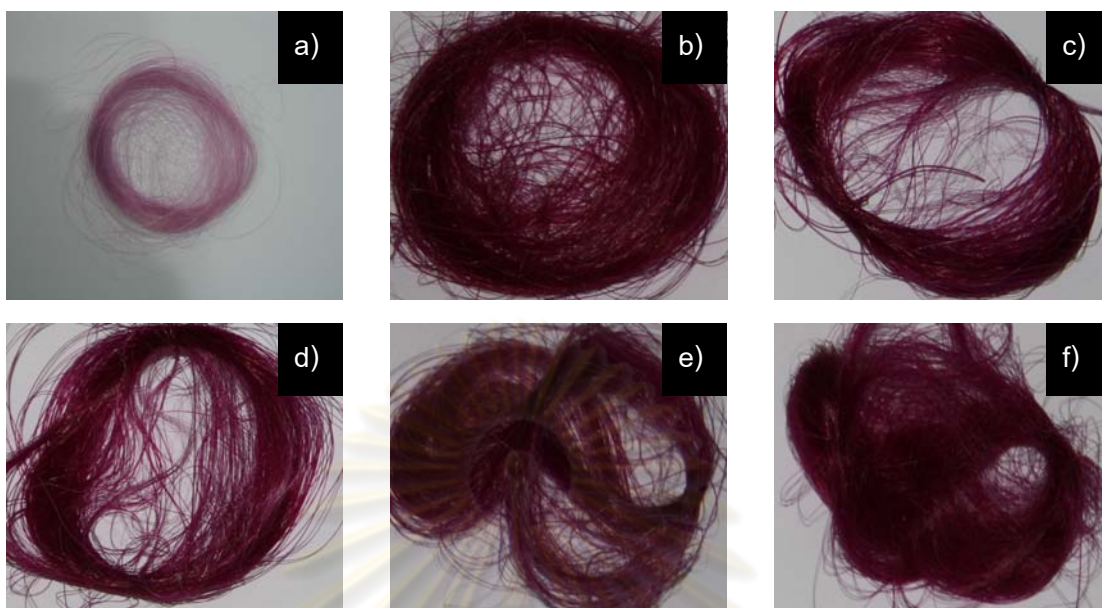
ภาคผนวก ช

ภาคผนวก ช การศึกษาความสามารถในการยึดติดสีของของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน-
ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

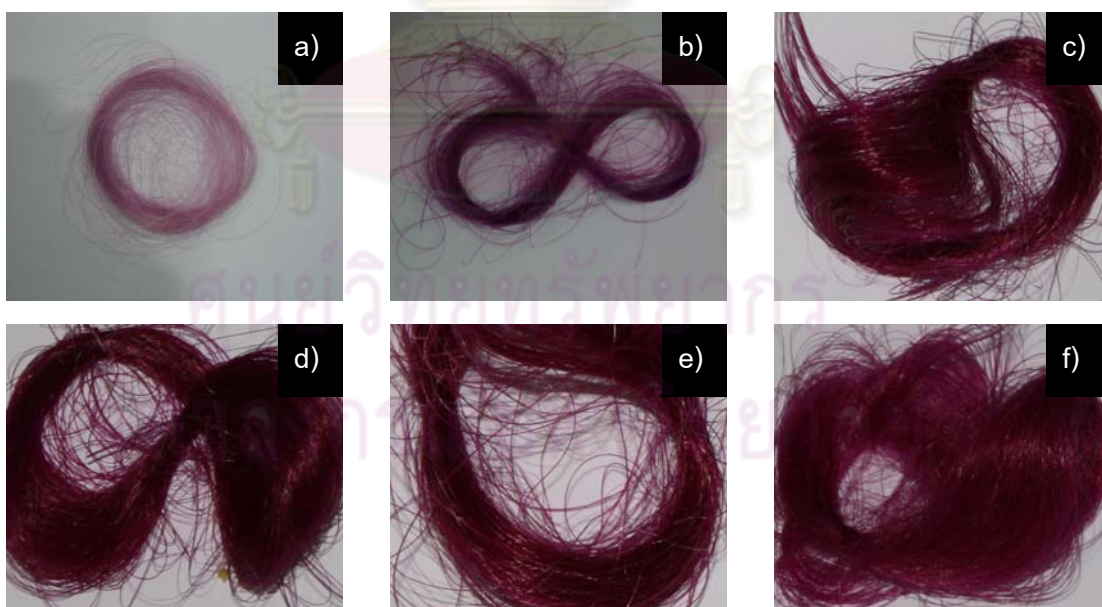
ตาราง ช-1 ค่า K/S value ของเส้นใยพอลิโพรพิลีน/พอลิสไตรีน- ออร์กาโนเคลย์ นาโนคอมพอสิต

ชนิด	วัดรอบที่1	วัดรอบที่2	Average
PP pure	5.44	5.48	5.46
3% (Organoclay)/PP	19.50	19.76	19.63
3% (0.5PS:1.0Organoclay)/PP	19.34	19.67	19.51
3% (1.0PS:1.0Organoclay)/PP	19.42	19.09	19.26
3% (1.5PS:1.0Organoclay)/PP	14.99	15.09	15.04
3% (2.0PS:1.0Organoclay)/PP	18.54	18.42	18.48
5% (Organoclay)/PP	19.42	19.59	19.51
5% (0.5PS:1.0Organoclay)/PP	18.24	18.32	18.28
5% (1.0PS:1.0Organoclay)/PP	19.09	19.09	19.09
5% (1.5PS:1.0Organoclay)/PP	18.78	18.02	18.40
5% (2.0PS:1.0Organoclay)/PP	20.20	20.38	20.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑-1 ภาพการย้อมติดสีดีสเพอร์สของเส้นใยนาโนคอมพอสิต a.) 3wt%PP/PS0-Clay 1, b.) 3wt%PP/PS0.5-Clay 1, c.) 3wt%PP/PS1-Clay 1, d.) 3wt%PP/PS1.5-Clay 1 และ e.) 3wt%PP/PS2-Clay 1



รูปที่ ๑-2 ภาพการย้อมติดสีดีสเพอร์สของเส้นใยนาโนคอมพอสิต a.) 5wt%PP/PS0-Clay 1, b.) 5wt%PP/PS0.5-Clay 1, c.) 5wt%PP/PS1-Clay 1, d.) 5wt%PP/PS1.5-Clay 1 และ e.) 5wt%PP/PS2-Clay 1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว นันทิภัทร์ สุระจรัส เกิดวันที่ 4 มกราคม 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย