สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิลกับออร์แกโนเคลย์ด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลาย

(Preparing Nanocomposites with Recycled HIPS and Organoclay by Solution Blending Technique)

T107829

เทียนชัย โดน้อย
ธีรพล กาญจนธัญรัตน์
อนัญญา เริ่มยินดี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107829
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b 12212076
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparing Nanocomposites with Recycled HIPS and Organoclay by Solution Blending Technique

Tianchai Donoi
Teerapon Kanjanatanyarat
Ananya Rermyindee

A Special Project Submitted in Patial Fulfillment of the Requirement
the Degree of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิลกับออร์แกโนเคลย์ด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลาย
นักศึกษา	นายเทียนชัย โดน้อย
	นายธีรพล กาญจนธัญรัตน์
	นางสาวอนัญญา เริ่มยินดี
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์
	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิลกับออร์แกโนเคลย์ ด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลาย

นักศึกษา นายเทียนชัย โดน้อย
นายธีรพล กาญจนธัญรัตน์
นางสาวอนัญญา เริ่มยินดี

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์
ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิล (R-HIPS) กับออร์แกโนเคลย์ที่ทำการดัดแปรโครงสร้างด้วย ด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลาย จากการพิสูจน์ออร์แกโนเคลย์ที่ได้ พบว่าระยะห่างของชั้นออร์แกโนเคลย์เพิ่มขึ้น และมีประจุบวกของเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์เข้าไปแทรกตัวอยู่ในชั้นออร์แกโนเคลย์ประมาณ 26 % โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการเตรียมแผ่นวัสดุประกอบนาโนโดยใช้คลอโรเบนซีนเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นของ R-HIPS เป็น 20 % โดยน้ำหนัก และใช้ออร์แกโนเคลย์ ในปริมาณ 0.5% 1.0% 1.5% และ 2.0 % โดยน้ำหนักของ R-HIPS แผ่นวัสดุประกอบนาโนที่ได้มีความหนาประมาณ 0.45 มิลลิเมตร จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย FESEM พบว่าเมื่อใส่ออร์แกโนเคลย์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคของพอลิบิวทาไดอีนมีขนาดเล็กลงและกระจายตัวได้มากขึ้น ซึ่งวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้มีความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้น เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น และทนความร้อนได้เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Preparing Nanocomposites with Recycled HIPS and Organoclay by Solution Blending Technique
Student	Mr.Tianchai Donoi
	Mr.Teerapon Kanjanatanyarat
	Miss Ananya Rermyindee
Major	Chemistry
Minor	Industrial Chemistry
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Punnama Siripunnon
Project Co-adviser	Asst.Prof.Dr. Chonlada Ritvirulh
	Asst.Prof.Dr. Suparat Rukchonlatee

Abstract

This project studied preparation of nanocomposite between recycled high impact polystyrene (R-HIPS) and modified organoclay (H-MMT) using a solution blending technique. The clay modifier was hexadecyltrimethylammoniumbromide (HDTMAB). After the modification, the basal spacing of d_{001} between clays layers was increased and the amount of HDTMAB in H-MMT was about 26% by weight. The sheet of H-MMT/R-HIPS nanocomposite was prepared using chlorobenzene as a solvent with the R-HIPS concentration was 20% by weight and the H-MMT loadings were 0.5-2.0% by weight of R-HIPS. The composite sheet thickness was about 0.45 mm. The morphological study performed using FESEM revealed that the increase of H-MMT contents results in smaller polybutadiene particles and their better distribution. In addition, tensile strength, modulus, flame retarding time and decomposition temperature of the nanocomposite sheets were improved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี ที่กรุณาแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่คอยเป็นกำลังใจ เป็นกำลังสนับสนุนในทุกๆเรื่อง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ ซึ่งให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา กำลังใจและสร้างแรงจูงใจที่มีส่วนทำให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เทียนชัย โดน้อย

ธีรพล กาญจนธัญรัตน์

อนัญญา เริ่มยินดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 วัสดุประกอบนาโน	3
2.1.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน	4
2.1.2 ลักษณะสำคัญของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์และเคลย์	5
2.1.3 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์กับเคลย์	6
2.2 พอลิสไตรีน	6
2.2.1 การสังเคราะห์พอลิสไตรีน	6
2.2.2 ประเภทของพอลิสไตรีน	7
2.2.3 สมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก	8
2.2.4 การประยุกต์ใช้งานของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก	9
2.3 เคลย์	9
2.4 สารลดแรงตึงผิว	11
2.4.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว	12
2.4.2 การใช้ประโยชน์ของสารลดแรงตึงผิว	12
2.4.3 เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	18
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	18
3.3 วิธีการทดลอง	20
3.3.1 เตรียม HIPS ชนิดรีไซเคิลจากขวดยาคูลท์	20
3.3.2 การดัดแปรโครงสร้างของออร์แกโนเคลย์	21
3.3.3 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสม	22
3.3.4 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน	23
3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน	25
3.3.6 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุประกอบนาโน	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติการไหลของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก	26
4.2 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของออร์แกโนเคลย์	26
4.3 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมวัสดุประกอบนาโน	27
4.4 ความหนาของวัสดุประกอบนาโน	27
4.5 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโน	28
4.6 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบนาโน	29
4.7 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน	30
4.7.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน	30
4.7.2 เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน	31
4.7.3 ค่ามอดุลัสของวัสดุประกอบนาโน	31
4.8 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติการเผาไหม้ของวัสดุประกอบนาโน	32
4.9 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	39
ภาคผนวก ข. สัณฐานวิทยา	43
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงข้อมูล	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) 8
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของพอลิสไตรีนกับพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก 8
ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของออร์แกโนเคลย์และ R-HIPS ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโน 23
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า Melt Flow Index (MFI) ของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก 26
ตารางที่ 4.2 ความหนาของแผ่นวัสดุประกอบนาโน 28
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุประกอบนาโน 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะของวัสดุประกอบนาโนชนิดต่าง ๆ	3
รูปที่ 2.2	การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD ของออร์แกโนเคลย์วัสดุประกอบนาโน	4
รูปที่ 2.3	(a) โครงสร้างของมอนอเมอร์สไตรีน (b) โครงสร้างของพอลิสไตรีน	6
รูปที่ 2.4	การกระจายตัวของกลุ่มก้อนพอลิบิวทาไดอีนในพอลิสไตรีน	7
รูปที่ 2.5	โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว	10
รูปที่ 2.6	แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก	11
รูปที่ 2.7	สีเขียว - ออร์แกโนเคลย์ที่มีประจุเดิม สีแดง - ถูกแทนที่ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์	11
รูปที่ 2.8	สูตรโครงสร้างของเฮกซะเดกซิลไตรแอมโมเนียมโบรไมด์ (HDTMAB)	13
รูปที่ 3.1	แผนงานแสดงขั้นตอนการเตรียม R-HIPS จากขวดยาคูลท์	20
รูปที่ 3.2	แผนงานแสดงขั้นตอนการดัดแปรโครงสร้างของออร์แกโนเคลย์	21
รูปที่ 3.3	แผนงานแสดงขั้นตอนการหาตัวทำละลายที่เหมาะสม	22
รูปที่ 3.4	แผนงานแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบนาโน	24
รูปที่ 4.1	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (a) ออร์แกโนเคลย์ก่อนการดัดแปร และ (b) ออร์แกโนเคลย์หลังการดัดแปร	26
รูปที่ 4.2	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบนาโนระหว่าง R-HIPS กับออร์แกโนเคลย์ (a) R-HIPS + Organoclay 0.5% wt (b) R-HIPS + Oragnoclay 1.0% wt (c) R-HIPS + Organoclay 1.5% wt	28
รูปที่ 4.3	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบนาโน (a) R- HIPS (ไม่ผ่านการละลาย) (b) R- HIPS (c) R- HIPS + Organoclay 0.5% wt (d) R- HIPS + Organoclay 1.0% wt (e) R- HIPS + Organoclay 1.5% wt (f) R- HIPS + Organoclay 2.0% wt	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.4	ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน	30
รูปที่ 4.5	ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน	31
รูปที่ 4.6	ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่ามอดุลัสของวัสดุประกอบนาโน	32
รูปที่ 4.7	ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อเวลาในการเผาไหม้ของวัสดุประกอบนาโน	33
รูปที่ 4.8	ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่ออัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงานวิจัย

ในปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากทั้งในด้านอุปโภคบริโภคไปจนถึงด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย อีกทั้งยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ และจากปริมาณการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นทำให้มีแนวโน้มของขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการกำจัดขยะพลาสติกทำได้ยากต้องใช้เวลานานและพลาสติกบางชนิดเมื่อเผาไหม้แล้วทำให้เกิดก๊าซที่เป็นอันตราย ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และสามารถปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นได้โดยการใส่สารเติมแต่ง (Additive) ชนิดที่เป็นสารตัวเติม (Fillers) ซึ่งอาจเป็นสารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรง (Reinforcing fillers) หรือสารตัวเติมไม่ช่วยเสริมแรง (Non-reinforcing fillers) เพื่อทำให้พลาสติกมีสมบัติบางประการดีขึ้น

การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกโดยการใช้ออร์แกโนเคลย์เป็นสารตัวเติมทำให้พลาสติกมีสมบัติหลายประการดีขึ้นอย่างมาก เนื่องจากออร์แกโนเคลย์เป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรงมีอนุภาคขนาดนาโน โดยออร์แกโนเคลย์มีโครงสร้างเป็นผลึกลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันอยู่ โดยมีสารอินทรีย์แทรกตัวอยู่ระหว่างแผ่นผลึก ทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นผลึกมีค่ามาก ดังนั้นเมื่อผสมลงในพอลิเมอร์หากพอลิเมอร์สามารถแทรกตัวไประหว่างแผ่นผลึก อาจทำให้แผ่นผลึกแยกออกจากกัน ซึ่งลักษณะโครงสร้างดังกล่าว ช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น ความแข็งแรงและค่ามอดุลัสสูงขึ้น เสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น เป็นต้น

โครงงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกจากชนิดรีไซเคิล (Recycle grade high impact polystyrene, R-HIPS) กับออร์แกโนเคลย์ ซึ่ง HIPS จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกที่สามารถทนแรงกระแทกได้ดี มีความคงทนสูง ราคาถูก การใช้พอลิเมอร์ชนิดรีไซเคิลนอกจากจะช่วยลดขยะพลาสติกแล้วการนำออร์แกโนเคลย์ไปเติมใน R-HIPS น่าจะทำให้สมบัติของ R-HIPS ดีขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น เช่น นำไปทำบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรับแรงได้มากขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิลกับออร์แกโนเคลย์ชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยวิธีการผสมแบบสารละลาย
2. เพื่อทราบผลของปริมาณของออร์แกโนเคลย์ ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและอัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่าง R-HIPS กับออร์แกโนเคลย์ชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรโครงสร้างด้วยเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (H-MMT) จากนั้นหาตัวทำละลายที่เหมาะสม (Solvent screening) ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนด้วยการผสมแบบสารละลาย แล้วขึ้นรูปแผ่นวัสดุประกอบนาโนด้วยการหล่อแบบสารละลาย ศึกษาสภาวะปริมาณ H-MMT ที่ใช้ในการผสมเป็น 0.5% 1.0% 1.5% และ 2.0% โดยน้ำหนักของ R-HIPS จากนั้นทำการศึกษาสัณฐานวิทยา พิสูจน์เอกลักษณ์ ทดสอบสมบัติเชิงกลและอัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่าง R-HIPS กับออร์แกโนเคลย์ โดยใช้เทคนิคการผสมแบบสารละลาย
2. ทราบสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโน
3. สามารถนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อเป็นการลดขยะและมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
4. วัสดุประกอบนาโนจะมีสมบัติที่ดีขึ้นซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วัสดุประกอบนาโน (Nanocomposites) [1-2,9-14]

วัสดุประกอบนาโน เป็นวัสดุประกอบที่มีอนุภาคของสารเติมแต่งในพอลิเมอร์เมตริกซ์ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. วัสดุประกอบแบบดั้งเดิม (Conventional composites)

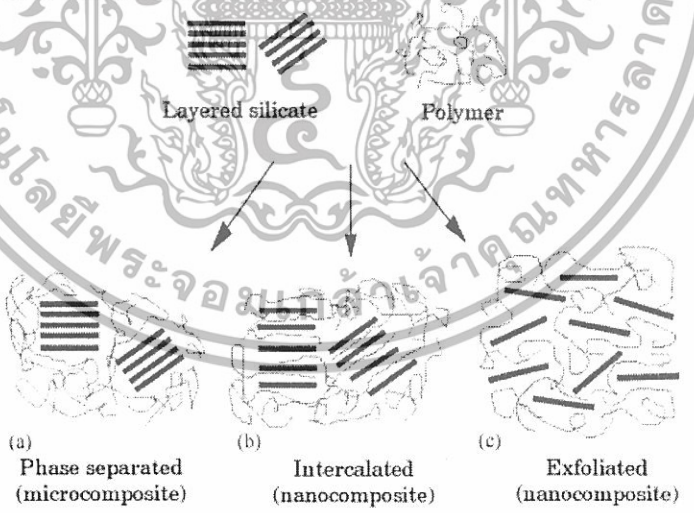
วัสดุประกอบแบบดั้งเดิมเป็นโครงสร้างของวัสดุประกอบระดับไมครอน ซึ่งสายโซ่ของพอลิเมอร์จะไม่แทรกตัวเข้าไประหว่างชั้นของเคลย์

2. วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated nanocomposites)

วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัวเป็นวัสดุประกอบนาโนที่ยังคงมีโครงสร้างของชั้นซิลิเกตที่เรียงซ้อนอย่างหลวม ๆ แต่ชั้นของซิลิเกตไม่แยกออกจากกัน อยู่เป็นระเบียบภายในพอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยสายโซ่ของพอลิเมอร์จะแทรกอยู่ระหว่างชั้นของซิลิเกต

3. วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated nanocomposites) [12-13]

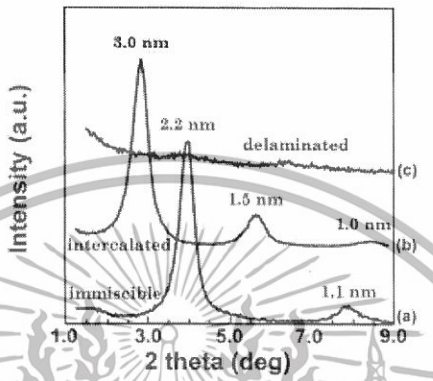
วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิงเป็นวัสดุประกอบที่ทำให้ชั้นของซิลิเกตแตกกระจายแยกออกจากกันเป็นชั้นเดี่ยว กระจายอย่างอิสระในเนื้อพอลิเมอร์ วัสดุประกอบนาโนชนิดนี้จะมีสมบัติที่ดีมาก แม้จะใช้สารตัวเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.1 ลักษณะของวัสดุประกอบนาโนชนิดต่าง ๆ [2]
(a) วัสดุประกอบแบบดั้งเดิม
(b) วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว
(c) วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิสูจน์เอกลักษณ์เคลย์ในวัสดุประกอบนาโนอาศัยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งในการตรวจวิเคราะห์ว่าวัสดุประกอบนาโนเป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated) หรือเป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated) ซึ่งโดยปกติแล้วการแทรกตัวของพอลิเมอร์เข้าไประหว่างชั้นเคลย์ จะทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์เพิ่มขึ้น จะทำให้พีกของเคลย์ที่ระนาบ (100) เลื่อนไปยังตำแหน่ง 2θ ที่ต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD ของออร์แกโนเคลย์วัสดุประกอบนาโน [9]
(a) วัสดุประกอบแบบดั้งเดิม
(b) วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว
(c) วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง

จากการเลื่อนของพีก XRD สามารถระบุได้ว่า เคลย์ในวัสดุประกอบมีลักษณะเป็นชนิดแทรกตัว (Intercalated) หรือ ชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated)

2.1.1 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน [9-12,14]

วิธีการในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์มีหลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่นิยมมี 3 วิธี ดังนี้

1. การผสมแบบสารละลาย (Solution method) [12]

การเตรียมแบบสารละลายเป็นเทคนิคที่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรโครงสร้างและพอลิเมอร์ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ หรือกระจายตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ เทคนิคนี้จะช่วยลดการรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (Agglomeration) ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรโครงสร้างแล้ว การเตรียมวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิคนี้ สายโซ่ของพอลิเมอร์สามารถกระจายตัวได้ง่ายในระหว่างชั้นของซิลิเกต หลังจากนั้นเทหล่อสารละลายดังกล่าวในแม่พิมพ์ และระเหยตัวทำละลายอินทรีย์หรือตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การผสมแบบหลอมเหลว (Melt blending) [10-11]

เทคนิคนี้จะผสมเคลย์และพอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยให้ความร้อนทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว สายโซ่ของพอลิเมอร์จะหลอมเหลว และค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าไประหว่างชั้นของเคลย์ เนื่องจากแรงเฉือน ทำให้ได้วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated) หรือชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated)

3. In situ intercalative polymerization [11,14]

เทคนิคนี้ชั้นของเคลย์จะบวมตัวอยู่ในมอนอเมอร์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน พอลิเมอร์จะอยู่ระหว่างชั้นของเคลย์ ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสามารถริเริ่มได้ด้วยความร้อน รังสี หรือด้วยตัวริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันต่าง ๆ

2.1.2 ลักษณะสำคัญของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์และเคลย์ [1]

1. มีความใส เพราะอนุภาคขนาดนาโนเมตรจะเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง UV- Visible มาก จึงไม่ทำให้แสงแตกกระเจิง ไม่เกิดความขุ่น ไม่ทึบแสง แต่จะโปร่งใส
2. มีความแข็งแรง มอดุลัสสูงขึ้น
3. มีสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากโครงสร้างผลึกที่หนาแน่น และมี Aspect ratio สูงทั้งสองมิติ จึงเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของก๊าซ
4. ทนความร้อนสูงได้ดี เพราะซิลิเกตเป็นฉนวนที่ดี การเผาไหม้จะให้ถ่าน (Char) ปกคลุมที่ผิวหน้า จึงไม่ลามไฟ และไฟดับรวดเร็ว (ดินเหนียวใช้เป็นสารทนไฟมานานแล้ว) แสดงให้เห็นว่าปริมาณถ่านจะสูงขึ้นตามปริมาณออร์แกโนเคลย์
5. เมื่อผสมในพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้ จะทำให้นำไฟฟ้าหรือนำอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น เพราะจำกัดการจัดตัวของโมเลกุลให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการนำไฟฟ้า เช่น สายโซ่โมเลกุลจะถูกยืดออกมากกว่าจะขดตัว ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสะดวกขึ้น

สมบัติเหล่านี้เห็นได้ชัดทันทีเพียงมีส่วนผสมของออร์แกโนเคลย์แค่ 1% เท่านั้น จึงเป็นการเพิ่มสมบัติของพอลิเมอร์ในการใช้งานเฉพาะทางต่าง ๆ ได้ จึงนับเป็นแนวทางพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์โดยนาโนเทคโนโลยีที่สำคัญ

ผลพลอยได้ที่ตามมา คือ สามารถลดต้นทุนการผลิตโดยรวมได้มาก ส่วนผสมไม่ยุ่งยาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเบามากขึ้น เมื่อเทียบกับการใส่สารตัวเติม (Fillers) อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์กับเคลย์ [1]

1. ชิ้นส่วนรถยนต์ ทำให้มีความแข็งแรง คงทน
2. สีพ่นรถยนต์ ให้มีความคงทนมากขึ้น
3. แผ่นฟิล์มป้องกันก๊าซออกซิเจน สำหรับบรรจุอาหารและยา
4. แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีความทนต่อความร้อนสูงขึ้น และหดตัวน้อยลง

2.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) [3]

พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) ได้ถือกำเนิดขึ้นในทศวรรษที่ 1930 โดยบริษัท I.G. Farbenindustrie ในประเทศเยอรมัน และบริษัท Dow chemical ในสหรัฐอเมริกา ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้ผลิตมอนอเมอร์สไตรีน เพื่อใช้เตรียมโคพอลิเมอร์ของสไตรีนและบิวทาไดอีน เพื่อใช้งานเป็นยางสังเคราะห์สำหรับการทำสงคราม เมื่อสงครามโลกสิ้นสุดลงทำให้มีมอนอเมอร์สไตรีนเหลือเป็นปริมาณมาก จึงได้ริเริ่มหาทางนำสไตรีนไปใช้ประโยชน์มากขึ้น

พอลิสไตรีน สังเคราะห์ได้จากมอนอเมอร์สไตรีน ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสี แต่มีกลิ่น โดยปกติสไตรีนสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นพอลิสไตรีนได้เอง (Self-Polymerisation) หากอยู่ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลานาน ๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืดอายุการดำรงสภาพของมอนอเมอร์ให้นานมากขึ้น นิยมเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา (Inhibitor) ผสมประมาณไม่เกิน 1% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 2.3 (a) โครงสร้างของมอนอเมอร์สไตรีน
(b) โครงสร้างของพอลิสไตรีน

2.2.1 การสังเคราะห์พอลิสไตรีน

มอนอเมอร์สไตรีนสามารถเกิดพอลิเมอไรเซชันได้พอลิสไตรีนด้วยลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย เช่น ใช้แสงแดดกระตุ้น ใช้ความร้อน ใช้สารเคมี เป็นต้น มีวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิสไตรีน ได้แก่ พอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization) พอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension Polymerization) พอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) และ พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 **ประเภทของพอลิสไตรีน** [3-4]

การใช้พอลิสไตรีนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. **พอลิสไตรีนใช้งานทั่วไป** (General Purpose Polystyrene, GPPS)

พอลิสไตรีนกลุ่มนี้เมื่อนำไปแปรรูปทำเป็นชิ้นงานได้ชิ้นงานที่มีความใส มีความแข็งแต่เปราะ การใช้พอลิสไตรีนกลุ่มนี้มีได้หลายหลากลักษณะ เช่น บรรจุภัณฑ์คงรูป แผ่นพลาสติกใส พอลิสไตรีน กลุ่มนี้สามารถนำไปแปรรูปด้วยวิธีการแปรรูปได้หลายหลากลักษณะตั้งแต่การเทหล่อจนกระทั่งการฉีดขึ้นรูป

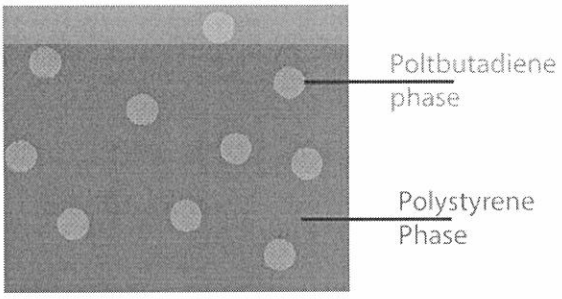
2. **พอลิสไตรีนโฟม** (Expandable polystyrene, EPS)

พอลิสไตรีนกลุ่มนี้ ผลิตขึ้นเพื่อการขนส่งโดยหลักใหญ่ ได้แก่ วัสดุกันการกระแทกต่าง ๆ ทั้งที่เป็นชิ้นงานเล็ก ๆ เพื่อการปกคลุมสิ่งของเพื่อทำหน้าที่กันการกระแทกตลอดจนทำเป็นชิ้นงานเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์กันกระแทกเพื่อการขนส่งโดยตรง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพื่อการใช้งานในลักษณะอื่น ๆ ด้วยที่สำคัญ คือ ภาชนะใส่อาหารเพื่อรักษาอุณหภูมิหรือเก็บความร้อน หรือเป็นวัสดุกันเสียง โดยวางแทรกอยู่ระหว่างฝ้าหรือผนังของตึก อาคารหรือห้องพัก

3. **พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก** (High impact polystyrene, HIPS) [4]

พอลิสไตรีนชนิดถูกผสมสารเติมแต่งบางอย่าง หรือผสมกับพวกยาง เช่น บิวทาไดอีน อะคริโลไนไตรล์ ในสัดส่วนร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนัก ซึ่งยางทำหน้าที่เป็นสารรับแรงกระแทกให้กับพอลิสไตรีน นอกจากการผสมโดยตรงเพื่อเพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทกแล้ว การนำมอนอเมอร์บางชนิดมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันร่วมกับมอนอเมอร์สไตรีน จะได้พอลิเมอร์ร่วมที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นหรือสามารถเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกกลายเป็นยางได้ (ขึ้นกับสัดส่วนของหน่วยสไตรีนในพอลิเมอร์ร่วม) แต่จะสูญเสียความใส และอุณหภูมิใช้งานจะต่ำลง

พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยพอลิบิวทาไดอีนจะแยกวัฏภาคกระจายตัวอยู่ในพอลิสไตรีน ส่งผลให้เกิดสมบัติที่ดี โดยพอลิเมอร์จะมีความยืดหยุ่นมากขึ้นไม่เปราะ และสามารถทนแรงกระแทกได้ดีกว่าพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป (GPPS)



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของพอลิบิวทาไดอีนในพอลิสไตรีน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) [5]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS)

• ลักษณะโครงสร้าง	อสัณฐาน
• ความถ่วงจำเพาะ	1.04
• เปอร์เซ็นต์การดึงยืด	55 %
• ความแข็งแรงดึง	4,000 psi
• ความแข็งแรงกด	7,500 psi
• ความแข็งแรงโค้งงอ	8,700 psi
• ค่ามอดุลัสโค้งงอ	280,000 psi
• ค่าทนแรงกระแทก (IZOD)	2 ft. lbs/in
• ความแข็งพื้นผิว	Rockwell 65
• อุณหภูมิหลอมเหลว	85 °C
• สัมประสิทธิ์การขยายตัว	0.000042
• ค่าความต้านทานไฟฟ้า	100 Ω
• ค่าความเป็นฉนวน	18 kV/mm
• ความใส	กึ่งโปร่งใส
• การทนกรด	ทนกรดอ่อน, ถูกทำลายโดย Oxidizing acids ได้
• ทนด่าง	ได้
• ทนสารละลาย	ละลายได้ใน Aromatics และ Chlorinated HC

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของพอลิสไตรีนกับพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก

สมบัติ	General Purpose Polystyrene (GPPS)	High Impact Polystyrene (HIPS)
การทนแรงกระแทก	ไม่ได้	ได้
ความเหนียว-เปราะ	เปราะ	เหนียว
ความใส	ใส	กึ่งโปร่งใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 **การประยุกต์ใช้งานพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก** (HIPS)

1. งานบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดยาคูลท์
2. ผนังประตูตู้เย็น
3. กล่องไฟในตู้เย็น
4. ป้ายโฆษณา
5. White Board
6. ถาดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.3 เคลย์ [1-2,6,9-10,12-14]

เคลย์ (Clay) หมายถึง ดินเหนียว ดินโคลน ประกอบด้วยแร่ธาตุหลากชนิด ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด องค์ประกอบที่สำคัญในดิน ได้แก่ สารอินทรีย์, สารอนินทรีย์ และความชื้น (น้ำ) ในส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์นี้มีแร่ธาตุหรือแร่ดินเหนียวที่สำคัญหลากหลายชนิด ที่สำคัญที่สุดคือ กลุ่มแร่ซิลิเกต แร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีกหลายแบบขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ชนิดโครงสร้างผลึกหรืออัญรูป เป็นต้น

แร่ดินเหนียวที่สำคัญนำไปสู่เทคโนโลยีของออร์แกโนเคลย์ และวัสดุประกอบนาโน ก็คือกลุ่มแร่ดินเหนียวที่มีจุดเด่นคือ มีโครงสร้างผลึกที่แผ่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ชั้นผลึกเหล่านี้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้ว เรียกว่ากลุ่มสเมกไทต์ (Smectite) และแร่ดินเหนียวที่ได้รับการพัฒนามากที่สุดในกลุ่มนี้ก็คือ แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT)

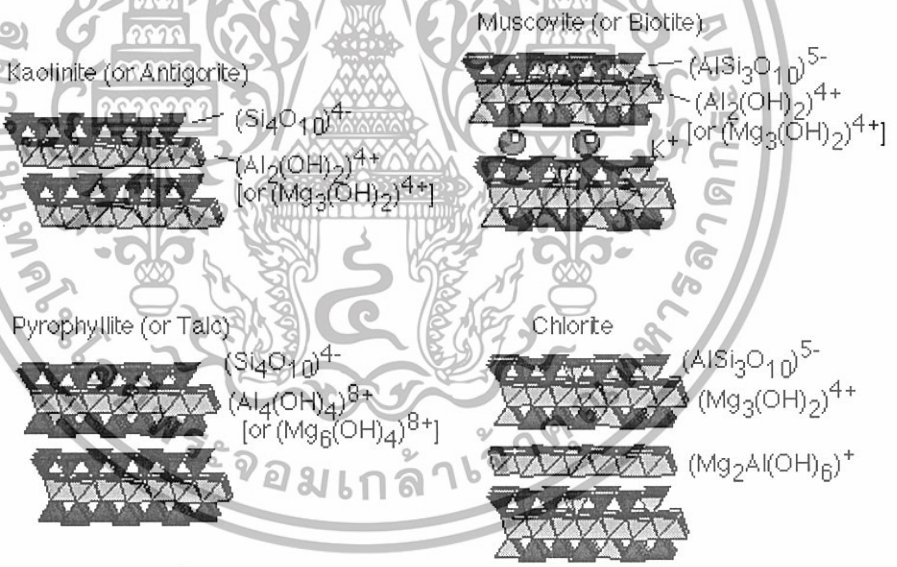
โครงสร้างของแร่กลุ่มนี้ประกอบด้วยชั้นซิลิกา 2 ชั้น และชั้นอะลูมินา 1 ชั้น ซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นซิลิกาทั้งสอง อะตอมซิลิกอนและอะลูมิเนียม ในชั้นเหล่านั้นต่างก็ใช้อะตอมออกซิเจนร่วมกัน ประกอบกันเป็นผลึกของแร่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นโครงสร้างประเภท 2:1 ผลึกของแร่นี้จะซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เช่นเดียวกับแร่คาโอลิไนต์ (Kaolinite) แต่ต่างกันตรงที่ช่องระหว่างชั้นผลึกอาจขยายกว้างหรือหดแคบลงได้ จึงทำให้แร่นี้มีระยะห่างระหว่างชั้นผลึก (Basal spacing) ไม่คงที่แน่นอน ตั้งแต่ 9-21 อังสตรอม การที่ระยะห่างของช่องว่างระหว่างชั้นผลึกมีค่าไม่คงที่เนื่องมาจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างชั้นผลึกที่ซ้อนทับกันอยู่ เพราะทั้งด้านบนและด้านล่างของช่องว่างนี้ (คือชั้นนอกสุดของซิลิกา) ต่างก็มีอะตอมออกซิเจนของแผ่นซิลิกาจึงไม่เกิดพันธะไฮโดรเจน แต่จะเกิดแรงยึดเกาะระหว่างอะตอมออกซิเจนด้วยกันแทน ซึ่งเป็นแรงยึดเกาะที่อ่อนมากจึงไม่สามารถยึดช่องระหว่างชั้นผลึกให้มีระยะคงที่ได้ สมบัติของแร่ซิลิเกตกลุ่มนี้คือ เมื่อเปียกน้ำจะเหนียว โครงสร้างของผลึกไม่แข็งแรง จะแตกสลายได้ง่ายมาก ขอบผลึกจะฉีกง่ายจนไม่อาจเห็นขอบผลึกที่ชัดเจน อนุภาคแร่กลุ่มนี้มีขนาดเล็กมากระหว่าง 0.01 – 1.00 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ซิลิเกตในกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ นี้จะมีสูตรโครงสร้างทางทฤษฎีเหมือนกันคือ $Si_8A_{l4}O_{20}(OH)_4$ แต่จะต่างกันที่ปริมาณการถูกไล่ของอะตอมซิลิกอนหรืออะลูมิเนียมในโครงสร้างของผลึกด้วยธาตุอื่น ๆ ซึ่งเรียกการแทนที่แบบนี้ว่าการแทนที่ด้วยธาตุอื่น (Isomorphous substitution)

มอนต์มอริลโลไนต์มีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไป $Na_{0.2}Ca_{0.1}Al_2Si_4O_{10}(OH)_2(H_2O)_{10}$ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เบนโทไนท์ (Bentonite) หรือเบนโทน (Bentone) ซึ่งอยู่ในตระกูลไพโรซิลิเกต (Phyllosilicate) มีต้นกำเนิดจากฝุ่นภูเขาไฟ แหล่งที่พบมากอยู่ในอเมริกาเหนือ จีน ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส

แร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ ในกลุ่มนี้ที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นออร์แกโนเคลย์ ได้แก่ ซาโปไนต์ (Saponite) เวอร์เมอร์คิวไลต์ (Vermiculite) มอนต์มอริลโลไนต์มีลักษณะโครงสร้างชั้นผลึกที่เรียกว่า 2:1 ประกอบด้วยชั้น อะลูมินาออกตระฮีดรอล (Octahedral) ที่ถูกประกบอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นซิลิเกตเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) ความหนารวมของชั้นผลึก 2:1 ประมาณ 0.7-1.0 นาโนเมตร ในขณะที่ความยาวด้านข้างเป็นไมครอน มีประจุลัพธ์เป็นลบจึงมักจะมีประจุบวกของแมกนีเซียม อะลูมิเนียม โซเดียม หรือแคลเซียม และอื่นๆ เข้ามาแทรกอยู่ระหว่างชั้นผลึกเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของประจุ (ไม่มีประจุ)



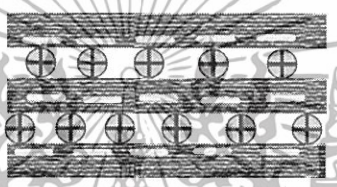
รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว [6]

เนื่องจากสมบัติความมีขั้ว ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์ชอบน้ำ (โดยทั่วไปพบว่าความหนาของชั้นผลึกขยายจนถึง 1.2 นาโนเมตร เมื่อมีความชื้น) และดูดน้ำได้มาก เพราะสามารถขยายตัวได้มาก จึงเป็นที่รู้จักดีและนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเป็นเวลานานแล้วทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เคมีภัณฑ์ เครื่องสำอาง เพราะสามารถดูดพิษต่างๆ ได้ดี ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเพื่อปรับความหนืด หรือใช้เป็นสารดูดกลิ่น (ในถาดปฏิกูลของสัตว์เลี้ยง เช่น แมว) รวมถึงในงานบำบัด

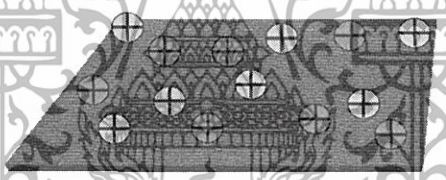
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเสีย ปัจจุบันสามารถสังเคราะห์แร่ดินเหนียวขึ้นมาได้โดยเลียนแบบโครงสร้างในธรรมชาติ ทำให้สามารถเปลี่ยนชนิดประจุได้ เช่น ประจุบวก

เมื่อแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนท์ ซึ่งมีความมีขั้วหรือชอบน้ำ ถูกเปลี่ยนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือชอบสารอินทรีย์แทนโดยการแทนที่ประจุต่าง ๆ ด้วยประจุของสารอินทรีย์ จะได้แร่ดินเหนียวที่เรียกว่า เคลย์ดัดแปร (Modified clay) หรือออร์แกโนฟิลลิกเคลย์ (Organophilic clay) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ออร์แกโนเคลย์ (Organoclay) ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ มีความชอบสารอินทรีย์อยู่ด้านในระหว่างชั้นซิลิเกต แต่ขอบนอกของแผ่นซิลิเกตยังมีความเป็นขั้วเหลืออยู่ เกิดการขยายตัวของระยะห่างระหว่างชั้นผลึก ทำให้ชั้นผลึกห่างกัน เกาะกันอย่างหลวมๆ ประมาณว่าเป็นอนุภาคขนาดนาโนเมตรของซิลิเกต (เพราะชั้นซิลิเกตแต่ละแผ่นมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร) ที่มีสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา (Aspect ratio) สูงมากในสองมิติ



รูปที่ 2.6 แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก [1]



รูปที่ 2.7 สีเขียว - ออร์แกโนเคลย์ที่มีประจุเดิม สีแดง - ถูกแทนที่ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์ [1]

หลักการนี้จึงเป็นกลไกสำคัญในการเตรียมอนุภาคขนาดนาโนเมตรจากธรรมชาติ จึงเรียกว่าออร์แกโนเคลย์ ซึ่งมีประโยชน์มากในงานบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ โลหะหนัก สีย้อมผ้า เป็นต้น ออร์แกโนเคลย์ จะชอบสารอินทรีย์มาก ดังนั้น เมื่อเติมสารอินทรีย์อื่นที่มีขนาดเล็กลงไป ทำให้สามารถแทรกสอดเข้าไปในพื้นที่ระหว่างชั้นผลึกซิลิเกตได้ง่าย ทำให้ชั้นผลึกซิลิเกตขยายตัวกว้างออก (Intercalation) จนถึงขั้นแตกกระเจิง (Exfoliation)

2.4 สารลดแรงตึงผิว [7]

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่มาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และพอลิเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด

2.4.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ซึ่งแบ่งตามลักษณะหรือประจุของส่วนที่ชอบน้ำ ได้แก่

1.สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactant) ได้แก่ เฮกซะเดกซิลไตรเมทิล-แอมโมเนียมโบรไมด์ ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3^+Br^-$ สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกมักจะพบในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน ครีมนวดผม และน้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น

2.สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) ได้แก่ โซเดียมโดเดกซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulphate, SDS) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$ มักจะเป็นส่วนประกอบในผงซักฟอกและสบู่ เป็นต้น

3.สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) ได้แก่ พอลิออกซีเอทิลแอลกอฮอล์ (Polyoxyethylene alcohol) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $(C_nH_{2n+1}(OCH_2CH_2)_mOH)$ สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุนี้มักจะนำไปผสมในสบู่เหลวล้างหน้า

4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Zwitterionic surfactant) ได้แก่ β-N-Alkylaminopropionic Acids มีสูตรโมเลกุล คือ $RN^+H_2CH_2CH_2COO^-$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง สารป้องกันการกัดกร่อน และสารยับยั้งแบคทีเรีย เป็นต้น

2.4.2 การใช้ประโยชน์ของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ในร่างกายมนุษย์ก็มีสารลดแรงตึงผิวประกอบอยู่ เช่น Gall Acid ซึ่งจะย่อยสารประเภทไขมันได้ สารลดแรงตึงผิวมีประโยชน์หลาย ๆ ด้าน โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด
2. สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางและครีมกันแดด
3. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ ผลิตยา
4. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสัตว์ การผลิตเนยเทียม เค้กและไอศกรีม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย เป็นต้น
6. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมันออกจากน้ำ เป็นต้น
7. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น นาโนเทคโนโลยี เทคโนโลยีชีวภาพ งานพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องบันทึกแถบแม่เหล็ก เป็นต้น

2.4.3 เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ [8,13-14]

เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyltrimethylammonium Bromide, HDTMAB) หรือเรียกว่า Cetrimonium bromide, Cetyl trimethyl ammonium bromide, CTAB, N, N, N-trimethylhexadecanammonium bromide, Trimethylhexadecylammonium) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก มีสูตรโมเลกุล $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3^+Br^-$ สูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (HDTMAB) [8]

2.4.3.1 สมบัติของเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ [7]

เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์เป็นผงของแข็งสีขาว เป็นสารอิเล็กโตรไลต์เสถียรที่อุณหภูมิห้อง เป็น Hydrophilic ดูดความชื้นได้ง่าย

-	น้ำหนักโมเลกุล	364.48	g/mol
-	จุดเดือด	237 - 243	°C
-	จุดวาบไฟ	244	°C
-	อุณหภูมิสลายตัว (T_d)	230	°C
-	ช่วง pH ที่ใช้งาน	4 - 10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 การนำเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ไปใช้ประโยชน์

เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทบำรุงผม ยาระงับกลิ่นกาย เนื่องจากสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ อีกทั้งยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพวกสารซักล้าง และใช้เป็นสารดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

C. Dazhu และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาเรื่องพฤติกรรมการไหลและการดันออกของวัสดุประกอบนาโน ระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) กับออร์แกโนเคลย์ โดยวัสดุประกอบนี้จะเตรียมได้โดยใช้กระบวนการหลอมเหลวโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ การแยกชั้นของออร์แกโนเคลย์ในเมตริกซ์ HIPS จะแสดงได้ใน X-ray diffractrometer (XRD) และ Transmission Electron Microscopy (TEM) โดยจะมุ่งศึกษาไปยังพฤติกรรมการไหลและการดันออกของวัสดุประกอบนี้ โดยผ่านทางท่อรูเล็กของเครื่องวัดความหนืด ซึ่งจะมีสภาวะคล้ายกับกระบวนการที่ใช้จริง สำหรับการผลิตเส้นใย ข้อมูลการไหลของวัสดุประกอบที่ได้จะแสดงได้โดยความสัมพันธ์ของ Power-law สำหรับการไหลและการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนของพอลิเมอร์เมตริกซ์ จากการที่ออร์แกโนเคลย์นั้นสามารถเพิ่มการรับแรงได้ ค่าดัชนีการไหล (Flow behavior index, η') มีค่าลดลง ที่อุณหภูมิและค่าแรงเฉือนคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ค่า Appear shear viscosity, η_a มีค่าลดลงด้วย ค่า η_a ขึ้นกับอุณหภูมิ ที่สอดคล้องกับสมการของ Arrhenius-Eyring ผลของการเติมออร์แกโนเคลย์เข้าไปทำให้วัสดุประกอบนาโนเกิดการบวมตัวและความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าลดลง

G. Chiwada และคณะ [11] ได้วิจัยเรื่องการเตรียมวัสดุประกอบจากพอลิสไตรีนและเคลย์ที่ทำการดัดแปรโครงสร้างสมบัติโดยการใช้ Biphenyl โดยออร์แกโนเคลย์ที่ใช้คือมอนต์มอริลโลไนต์ เป็นเคลย์ที่ดัดแปรโครงสร้างสมบัติโดยเกลือแอมโมเนียม ซึ่งมี 4-acetylbiphenyl อยู่ เคลย์ชนิดนี้ (BPNC16 clay) จะใช้เตรียมวัสดุประกอบร่วมกับพอลิสไตรีน (PS) อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) และพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) วัสดุประกอบนาโนของพอลิสไตรีนนี้เตรียมได้โดยวิธี In situ bulk polymerization และการผสมแบบหลอมเหลว โดย ABS และ HIPS จะเตรียมเฉพาะการผสมแบบหลอมเหลวเท่านั้น โดยการพิสูจน์เอกลักษณ์จะใช้เทคนิค XRD และ TEM และทำการวิเคราะห์เสถียรภาพต่อความร้อนโดยเทคนิค TGA และความสามารถในการทนไฟโดย Cone calorimetry จากผลของการวิเคราะห์ TGA นั้นแสดงให้เห็นว่าเคลย์ทำให้วัสดุประกอบพอลิสไตรีนมีเสถียรภาพต่อความร้อนเพิ่มขึ้น แต่จาก Cone calorimetry แสดงให้เห็นว่าพีกของความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นสังเกตได้จากน้ำหนักของวัสดุประกอบนาโนที่หายไป

A. B. Morgan และ J. D. Harris [12] ได้วิจัยเรื่องการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนและเคลย์ สามารถเตรียมได้โดยใช้วิธีการผสมแบบสารละลาย (Solvent blending) โดยการให้แรงด้วยเครื่องอัลตราโซนิคอย่างรุนแรง เพื่อเตรียมวัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Exfoliated nanocomposites) พิจารณาผลกระทบเนื่องจากชนิดของเคลย์ที่ผ่านการให้แรงสั่นด้วยเครื่องอุลตราโซนิคอย่างรุนแรงระหว่างการทำ Solvent blending ที่ส่งผลต่อการเกิดการแตกกระเจิงของเคลย์ ผลจากการทดลองนี้แสดงถึงเคลย์เพียงชนิดเดียว คือ มอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) เนื่องจากให้ผลการทดลองที่ดีกว่าชนิดอื่นๆ (Fluorinated synthetic mica, FSM) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของเคลย์รวมถึงพลังงานในการผสมเป็นสิ่งที่ควบคุมการเกิดการแตกกระเจิงของเคลย์เมื่อเทคนิค Solvent blending และการทดสอบเอกลักษณ์ของวัสดุประกอบโดยใช้เทคนิค TEM และ XRD ซึ่งใช้วัดองศาการเกิดการแตกกระเจิงของตัวอย่าง การให้แรงด้วยเครื่องอัลตราโซนิคในขณะทำ Solvent blending กับ มอนต์มอริลโลไนต์ ที่ดัดแปรโครงสร้างด้วย Imdazolium พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิสไตรีนและเคลย์ชนิดแตกกระเจิง

X.A. Fu และ S. Qutubuddin [13] ได้ศึกษาการบวมตัวของออร์แกโนเคลย์ในสไตรีน และศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated) โดยศึกษาผลของสารซึ่งใช้ในการดัดแปรโครงสร้าง MMT ที่แตกต่างกันออกไป ที่ส่งผลกระทบต่อการบวมตัวของออร์แกโนเคลย์ที่เตรียมได้ในสไตรีน การศึกษาเริ่มจากการดัดแปรโครงสร้างของ MMT ด้วยสารดังต่อไปนี้ Octadecylamine (ODA), Hexadecyltrimethyl ammomiun bromide (HTAB), Benzalkonium chloride (BAC) และ Vinylbenzylalkyl dimethyl ammonium chloride (VDAC) เคลย์ที่ผ่านการกำจัดสิ่งแปลกปลอมแล้ว เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ลงไป เพื่อปรับไอออนของ MMT ให้เป็นชนิดเดียวกัน (Homoionic) ทำให้ได้ Na^+-MMT แล้วดัดแปรโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์ข้างต้น ด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) จากนั้นกรองตะกอนแล้วอบให้แห้งเพื่อนำมาใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโน โดยผสมออร์แกโนเคลย์ในมอนอเมอร์สไตรีน แล้วทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้ 2,2′-azobisisobutyronitrile (AIBN) เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า Na^+- MMT มีระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์เท่ากับ 12.4 อังสตรอม แต่หลังจากการอบด้วยตู้อบสุญญากาศพบว่า Na^+- MMT จะมีระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์ลดลงเป็น 9.9 อังสตรอม และเมื่อผ่านการดัดแปรโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของเคลย์ด้วย พบว่า Na^+-MMT ที่ดัดแปรโครงสร้างด้วย ODA-MMT จะมีระยะห่างระหว่างชั้นของเคลย์มากที่สุด (21.6 อังสตรอม) และการศึกษาสมบัติของวัสดุประกอบนาโนโดยเติมออร์แกโนเคลย์ 3.2% โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อใช้สารดัดแปรโครงสร้าง MMT ต่างชนิดกันจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่าวัสดุประกอบนาโน PS-VDAC-MMT เป็นวัสดุประกอบชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated) และพบว่าวัสดุประกอบสามารถทนต่อแรงดึงได้สูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

J.Ma และคณะ [14] ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิไดเมทิลไซลอก-เซน Polydimethylsiloxane (PDMS) และโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ (Na^+-MMT) ซึ่งดัดแปรโครงสร้างด้วยเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (HDTMAB) จะได้ออแกโนมอนต์มอริล-โลไนต์(Org-MMT) ทำการแช่ Org-MMT 5 กรัม ในคลอโรฟอร์ม 50 ml นาน 5 ชั่วโมง แล้วเติมมอนอเมอร์ไดเมทิลไดคลอโรไซเลน (Dimethydichlorosilane monomer) ลงไป 25 กรัม นำไปให้แรงด้วยเครื่องอัลตราโซนิคนาน 1 ชั่วโมง และทำการผสมเมทานอล 30 ml น้ำ 10 ml คลอโรฟอร์ม 30 ml ในขวดสามคอแล้วค่อยๆ หยดสารละลายข้างต้นลงไปด้วยอัตราเร็ว 1 หยดต่อนาที ที่อุณหภูมิ 0 °C ทำการปั่นกวนแล้วล้างสารละลายที่ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเติมเททระ-ไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran, THF) 200 ml ลงไปในสารละลายดังกล่าว ปั่นกวนนาน 5 นาที และนำสารละลายไปตกตะกอนโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง นำตะกอนที่ได้ละลายคลอโรฟอร์ม 500 ml และปั่นกวน 10 นาที สารละลายที่ได้จะเรียกว่าออร์แกโนมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดปรับปรุง (Treated-org-MMT) เท Treated-org-MMT ลงในขวดสามคอและเติมพอลิเมอร์ PDMS ลงไปปั่นกวนนาน 1 ชั่วโมง ตกตะกอนสารละลายด้วยเมทานอล วิเคราะห์ Treated-org-MMT ด้วย เทคนิค XRD โดยนำสารละลายของ Treated-org-MMT ระเหยให้แห้งในตู้อบสุญญากาศ พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเตรียมวัสดุประกอบนาโนผ่านเทคนิค In situ polymerization ทำให้ได้วัสดุประกอบนาโนระหว่าง PDMS/Org-MMT และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมได้เป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง (Exfoliated nanocomposites) ซึ่งปกติแล้วพีกของ MMT จะขึ้นที่มุม 2θ เท่ากับ 4-5 องศา คือมีระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 1.97 nm แต่เมื่อเตรียมเป็นวัสดุประกอบแล้วจะไม่พบพีกที่ตำแหน่งดังกล่าว จากผลการวิเคราะห์ด้วย TGA พบว่า วัสดุประกอบ PDMS/ 10% MMT ที่เตรียมได้ ทนความร้อนได้ดีขึ้นกว่า PDMS บริสุทธิ์ คือจะเสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 395.4 °C แต่เมื่อเตรียมเป็นวัสดุประกอบแล้วพบว่าสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 463.6 °C ซึ่งสูงขึ้นถึง 68.2 °C

107829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) ชนิดรีไซเคิลจากขวดยาคูลท์
2. เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyltrimethylammonium bromide, Centrimonium bromide, $C_{19}H_{42}BrN$, HDTMAB) บริษัท ACROS ORGANICS Co,Ltd. เกรดวิเคราะห์
3. มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT ชื่อทางการค้าคือ Mac gel®) บริษัท Thai Nippon Chemical Industry Co,Ltd. โดยมีค่าการแทนที่ของประจุ (CEC) ประมาณ 100 – 120 meq / 100 g
4. คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene, C_6H_5Cl) บริษัท CARLO ERBA REAGENTI Co,Ltd. เกรดวิเคราะห์
5. ไซลีน (Xylene, $C_6H_4(CH_3)_2$) บริษัท CARLO ERBA REAGENTI Co,Ltd. เกรดวิเคราะห์
6. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate, $AgNO_3$) บริษัท CARLO ERBA REAGENTI Co,Ltd. เกรดวิเคราะห์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractrometer, XRD) บริษัท Bruker FG รุ่น D8 Advance
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Field Emission Scanning Electron microscope, FESEM) บริษัท JEOL รุ่น JSM-6301F
3. เครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมทริก (Thermogravimetric analyzer, TGA) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

ช่วงอุณหภูมิในการวิเคราะห์	: 50-800 °C
อัตราการให้ความร้อน	: 10 °C/ min
อัตราการไหลก๊าซไนโตรเจน	: 20 cm^3/ min
อัตราการไหล Air zero	: 40 cm^3/ min
ปริมาณสารที่ใช้ในการวิเคราะห์	: 20-30 mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing maching)
5. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscopy) บริษัท CANNON
6. เครื่องกรองลดความดัน บริษัท Buchi รุ่น B-169
7. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) บริษัท Denver Instrument รุ่น 225
8. เครื่องอัลตราโซนิค บริษัท Fisher Scientific Worldwide รุ่น ULTRAsonik
9. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument รุ่น TC-254
10. เครื่องให้ความร้อนชนิดแผ่น (Hot plate) บริษัท Fisher Scientific
11. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific รุ่น Isoterm
12. แม่พิมพ์กระจกขนาด 19.0 x 12.5 x 0.5 cm^3
13. กล่องพลาสติกขนาด 16 x 22 x 12 cm^3
14. นาฬิกาจับเวลา
15. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
16. โกร่งบดสาร
17. ไมโครมิเตอร์
18. เวอร์เนียร์
19. ตะเกียงบุนเสน
20. คีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียม HIPS ชนิดรีไซเคิลจากขวดยาคูลท์

1. เก็บขวดยาคูลท์ที่ใช้แล้วนำมาล้างทำความสะอาด
2. นำขวดยาคูลท์ที่ทำความสะอาดแล้วมาอบให้แห้ง
3. ตัดส่วนที่เป็นสีแดงออกจากขวด
4. นำขวดที่ตัดสีแดงออกแล้วมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3 x 3 ตารางมิลลิเมตร

รูปที่ 3.1 แผนงานแสดงขั้นตอนการเตรียม HIPS ชนิดรีไซเคิลจากขวดยาคูลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การดัดแปรโครงสร้างของออร์แกโนเคลย์

1. ชั่ง MMT ในอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำกลั่นเป็น 1:250
2. ชั่งเฮกซะเดกซิลไตรแอมโมเนียมโบรไมด์ (HDTMAB) ละลายในน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ปริมาณเป็นอัตราส่วนโดยปริมาตรต่อน้ำกลั่นข้อที่ 1 เป็น 1:60
3. ค่อย ๆ เติมสารละลาย HDTMAB ลงใน MMT ผสมให้เข้ากัน
4. กรองตะกอนที่ได้ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น
5. ตรวจสอบน้ำล้างตะกอนด้วย $AgNO_3$ จนไม่เกิดความขุ่น (pH = 7)
6. อบ H-MMT ที่ 80 °C ให้แห้ง
7. พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD และ TGA

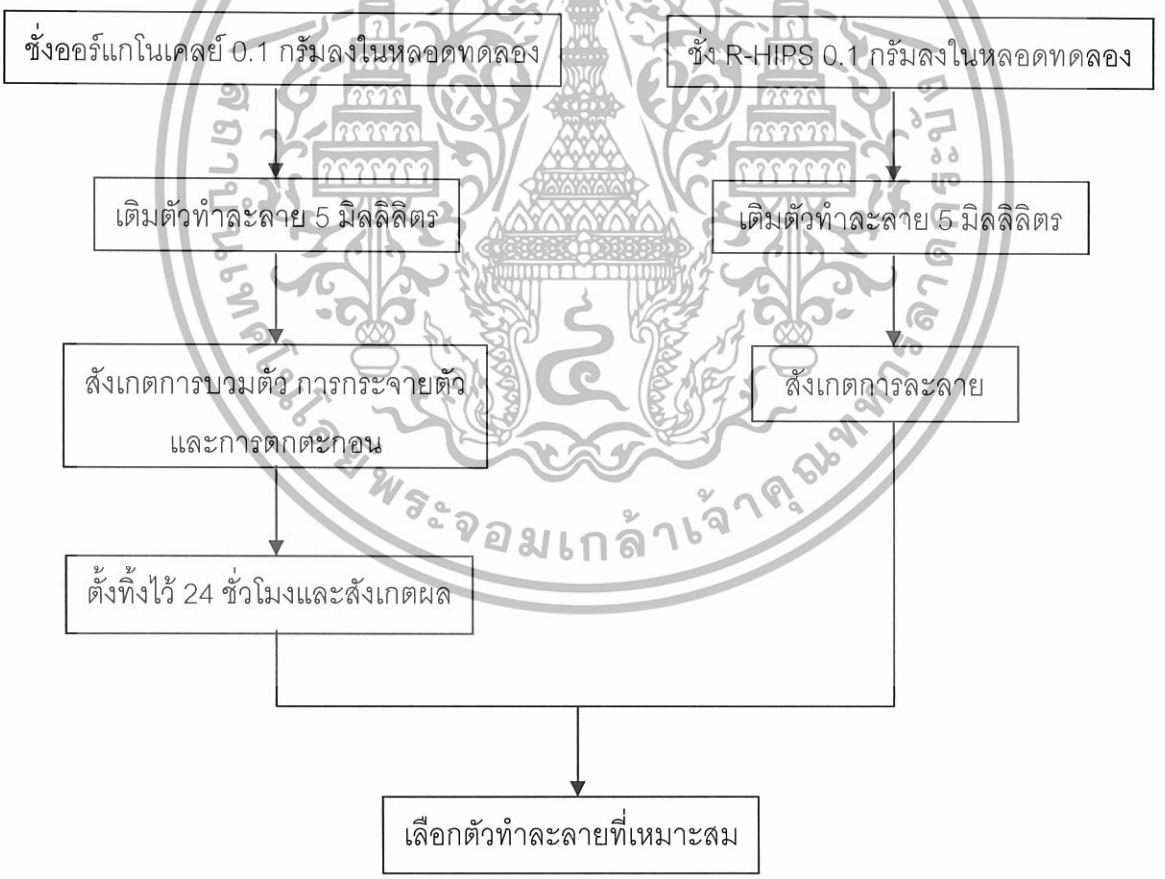
รูปที่ 3.2 แผนงานแสดงขั้นตอนการดัดแปรโครงสร้าง MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับ R-HIPS และออร์แกโนเคลย์ เพื่อการเตรียมวัสดุประกอบนาโน

ตัวทำละลายที่นำมาพิจารณา คือ ไซลีนและคลอโรเบนซีน

1. ชั่งออร์แกโนเคลย์ 0.1 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมตัวทำละลายไซลีน 5 มิลลิลิตร เขย่าให้กระจายตัว
2. สังเกตตัวทำละลายที่ทำให้ออร์แกโนเคลย์เกิดการบวมตัว การกระจายตัวและไม่ตกตะกอน
3. ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง สังเกตผล
4. ชั่ง R-HIPS 0.1 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมตัวทำละลายไซลีน 5 มิลลิลิตร เขย่าให้กระจายตัว
5. สังเกตการละลายของ R-HIPS และเวลาที่ใช้ในการละลาย
6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นคลอโรเบนซีน
7. เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมกับทั้ง R-HIPS และออร์แกโนเคลย์



รูปที่ 3.3 แผนงานแสดงขั้นตอนการหาตัวทำละลายที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

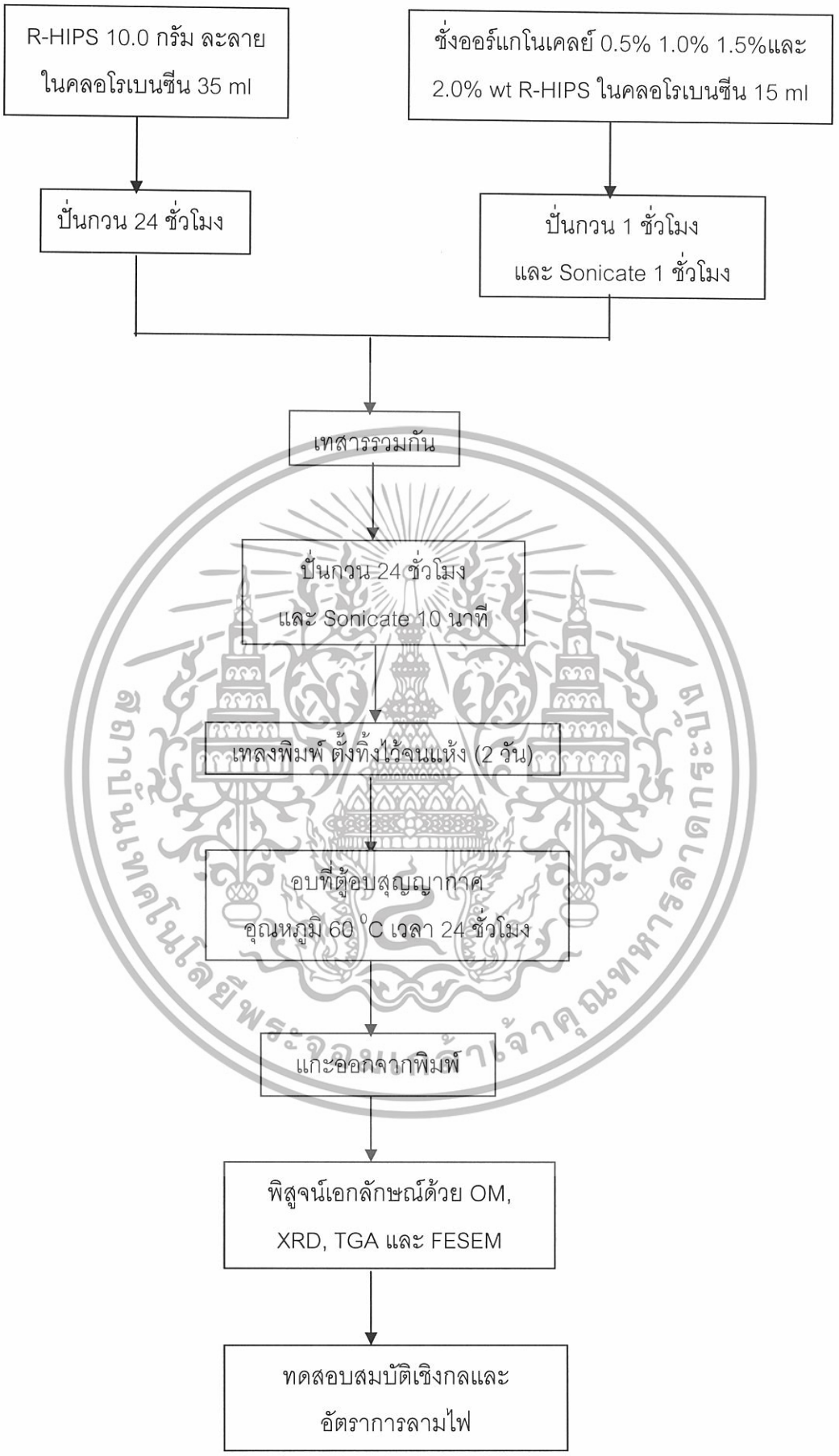
3.3.4 การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่าง R-HIPS กับออร์แกโนเคลย์

1. ชั่ง R-HIPS 10.0 กรัม ละลายในคลอโรเบนซีน 35 มิลลิลิตร (20.0% โดยน้ำหนักของปริมาตรคลอโรเบนซีน) ทำการปั่นกวน 24 ชั่วโมง จน R-HIPS ละลายหมด
2. ชั่งออร์แกโนเคลย์ 0.5% โดยน้ำหนักของ R-HIPS ใส่ในคลอโรเบนซีน 15 มิลลิลิตร ปั่นกวน 1 ชั่วโมง จากนั้นให้แรงสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิคนาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ออร์แกโนเคลย์เกิดการบวมตัวและกระจายตัว
3. นำออร์แกโนเคลย์ในคลอโรเบนซีน มาเทรวมในสารละลายข้อที่ 1 จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ 24 ชั่วโมง
4. ให้แรงด้วยเครื่องอัลตราโซนิค 10 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศ
5. เทสารผสมที่ได้ลงในแม่พิมพ์ ปล่อยให้สารละลายระเหยที่อุณหภูมิห้อง จนแห้งสนิท
6. นำไปอบที่ตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 60 ^{0}C เวลา 24 ชั่วโมง
7. นำวัสดุประกอบนาโนออกจากพิมพ์ วัดความหนาของวัสดุประกอบนาโนที่ได้ พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย OM, XRD, TGA และศึกษาลักษณะทางวิทยาด้วย FESEM
8. นำวัสดุประกอบนาโนไปทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติในการเผาไหม้
9. ทำซ้ำข้อ 2-7 โดยเปลี่ยนปริมาณออร์แกโนเคลย์เป็น 1.0% 1.5% และ 2.0% โดยน้ำหนักของ R-HIPS

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของออร์แกโนเคลย์และ R-HIPS ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโน

สูตรที่	ปริมาณ R-HIPS (กรัม)	ปริมาณออร์แกโนเคลย์ (%wt ของ HIPS)	ปริมาณ H-MMT (กรัม)
1	10.0	0.5	0.05
2	10.0	1.0	0.10
3	10.0	1.5	0.15
4	10.0	2.0	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนงานแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน

1. ตัดชิ้นงานแต่ละสูตร จำนวน 20 ชิ้น ขนาด 5 x 75 ตารางมิลลิเมตร แล้วนำมาวัดความหนาของชิ้นงาน
2. นำมาทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing maching) โดยสภาวะที่ใช้ คือ

อัตราเร็ว	: 100 mm/min
Load cell	: 5000 N
Gague length	: 20 mm

3. หาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength), เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และ ค่ามอดุลัส (Modulus)

3.3.6 การทดสอบอัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโน

1. ตัดชิ้นงานแต่ละสูตร จำนวน 3 ชิ้น ขนาด 25 x 25 ตารางมิลลิเมตร
2. ใช้คีมจับชิ้นงานแล้วนำไปเผาด้วยตะเกียงบุนเสน โดยเริ่มจากมุมของชิ้นงาน ให้มีระยะห่างจากเปลวไฟสีฟ้ากับชิ้นงานเท่ากับ 1 เซนติเมตร
3. จับเวลาตั้งแต่ชิ้นงานเริ่มไหม้จนไหม้หมด รวมทั้งสังเกตเขม่าควันและการหลอมหยดของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สมบัติการไหลของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก

การเปรียบเทียบสมบัติการไหลของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกเกรดบริสุทธิ์ และพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกชนิดรีไซเคิล ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1238 (200 °C / 5 kg) ดังตารางที่ 4.1

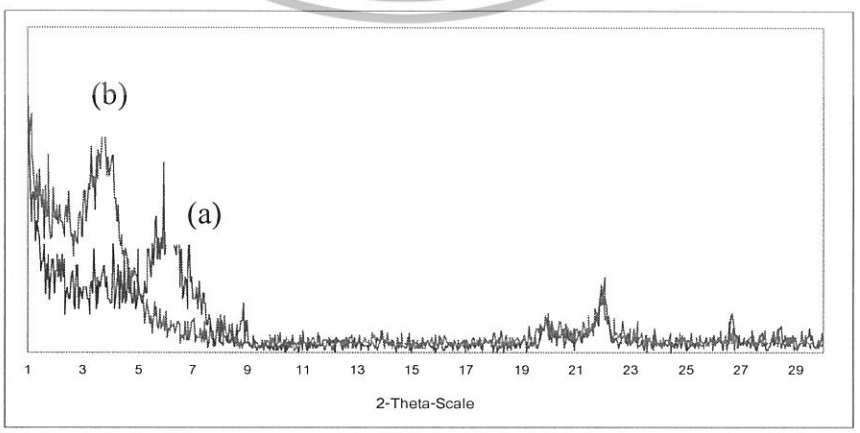
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า Melt Flow Index (MFI) ของพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก

HIPS	MFI (g/10min)
Recycle (R-HIPS)	12.42
Virgin (V-HIPS)	5.12

ค่า MFI ของ R-HIPS สูงกว่า V-HIPS คาดว่า น้ำหนักโมเลกุลของ R-HIPS น้อยว่า V-HIPS อาจเนื่องจากพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมีเกรดการผลิตที่แตกต่างกัน หรือ R-HIPS อาจเกิดการเสียสภาพขณะขึ้นรูปใหม่และผ่านการใช้งานมาแล้ว จะเกิดการขาดของสายโซ่ สายโซ่ของพอลิเมอร์จึงสั้นลง เป็นผลให้ R-HIPS มีการไหลที่ดีกว่า V-HIPS จึงเป็นเหตุให้ V-HIPS ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบสมบัติกับ R-HIPS ได้

4.2 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของออร์แกโนเคลย์

ออร์แกโนเคลย์หลังการดัดแปรด้วยเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (HDTMAB) เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD พบว่าค่า 2θ ของ d_{001} ของออร์แกโนเคลย์มีค่าลดลง ดังรูปที่4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (a) ออร์แกโนเคลย์ก่อนการดัดแปร และ (b) ออร์แกโนเคลย์หลังการดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า 2θ ของออร์แกโนเคลย์ก่อนการดัดแปรมีค่าเท่ากับ 5.29 องศา สามารถนำไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างชั้น (d-spacing, d) จากสมการ $n\lambda = 2d\sin\theta$ ได้ระยะห่างระหว่างชั้นเท่ากับ 1.49 นาโนเมตรและหลังจากการดัดแปรค่า 2θ มีค่าเท่ากับ 3.76 องศา และมีระยะห่างระหว่างชั้นเท่ากับ 2.35 นาโนเมตร ผลดังกล่าวแสดงถึงการแทรกสอดของ HDTMAB ระหว่างชั้นของเคลย์

ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA ของ HDTMAB โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ 50-800 ^{0}C ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน พบว่ามีช่วงการสลายตัวที่อุณหภูมิ 220-240°C นำไปเปรียบเทียบกับออร์แกโนเคลย์ที่ดัดแปรด้วย HDTMAB พบว่ามีการสลายตัวของเอมีนในช่วงอุณหภูมิ 220-240°C เช่นเดียวกัน แสดงว่า มีเอมีนเข้าไปแทนที่ที่ตำแหน่งของประจุบวก (Na^{+}) ระหว่างชั้นของออร์แกโนเคลย์ซึ่งปริมาณของสารอินทรีย์ในออร์แกโนเคลย์มีค่าประมาณ 26% โดยน้ำหนัก (ภาคผนวก ก. รูปที่ ก.1 และ รูปที่ ก. 2)

4.3 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมวัสดุประกอบนาโน

ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบการละลายของ R-HIPS และการกระจายตัวของออร์แกโนเคลย์มี 2 ชนิด คือ ไซลีน และคลอโรเบนซีน พบว่า R-HIPS สามารถละลายในตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดได้หมดภายหลังการปั่นกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

เมื่อใช้ไซลีน ในช่วงเริ่มต้นออร์แกโนเคลย์สามารถแขวนลอยได้ดีในไซลีน แต่จะเกิดการตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ส่วนคลอโรเบนซีนออร์แกโนเคลย์สามารถแขวนลอยอยู่ในคลอโรเบนซีนได้ดี แม้ภายหลังการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ คลอโรเบนซีน เพราะตัวทำละลายที่ดีต้องสามารถละลาย R-HIPS ได้หมดและออร์แกโนเคลย์ยังสามารถแขวนลอยได้ดีอยู่ในตัวทำละลายเมื่อตั้งทิ้งไว้

4.4 ความหนาของวัสดุประกอบนาโน

วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้โดยใช้พอลิสไตรีนเกรดบริสุทธิ์และชนิดรีไซเคิลในปริมาณ 20%wt/v ของคลอโรเบนซีน และออร์แกโนเคลย์ที่มีปริมาณต่าง ๆ กัน ได้แผ่นวัสดุประกอบนาโนที่มีความหนา ดังแสดงในตารางที่ 4.2

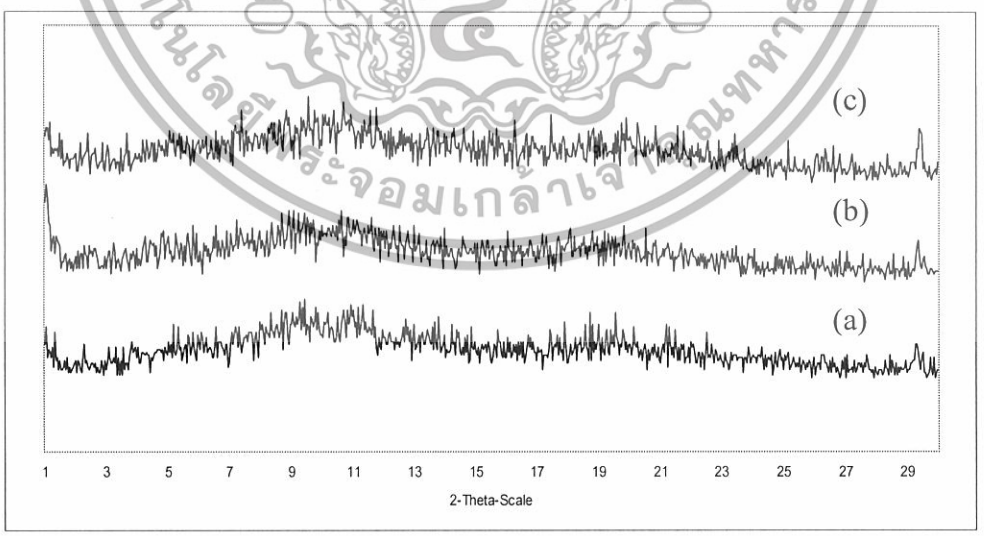
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความหนาของแผ่นวัสดุประกอบนาโน

Sample	Thickness (mm)
V-HIPS	0.447 ± 0.012
R-HIPS	0.432 ± 0.003
R-HIPS + Clay 0.5%	0.448 ± 0.007
R-HIPS + Clay 1.0%	0.414 ± 0.010
R-HIPS + Clay 1.5%	0.478 ± 0.009
R-HIPS + Clay 2.0%	0.452 ± 0.021

4.5 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโน

การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD ของวัสดุประกอบนาโน เพื่อต้องการให้ทราบว่าวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมเป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิงหรือชนิดแทรกตัว จากผลการทดลอง พบว่าลักษณะกราฟของวัสดุประกอบนาโนทั้ง 3 ชนิดไม่ปรากฏพีกของออร์แกโนเคลย์ ซึ่งออร์แกโนเคลย์จะมีพีกปรากฏที่ 2θ ประมาณ 3.76 องศา และเมื่อนำชิ้นงานของวัสดุประกอบนาโนไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย TGA พบว่ามีออร์แกโนเคลย์อยู่ในวัสดุประกอบนาโน สันนิษฐานว่าวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้เป็นชนิดแตกกระเจิง ซึ่งออร์แกโนเคลย์ที่ใส่ลงไปใน R-HIPS สามารถกระจายตัวได้ดี เข้าไปแทรกตัวระหว่างชั้นของออร์แกโนเคลย์ได้ดี วัสดุประกอบนาโนทั้ง 3 ชนิดจึงไม่มีระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบนาโนระหว่าง R-HIPS กับออร์แกโนเคลย์

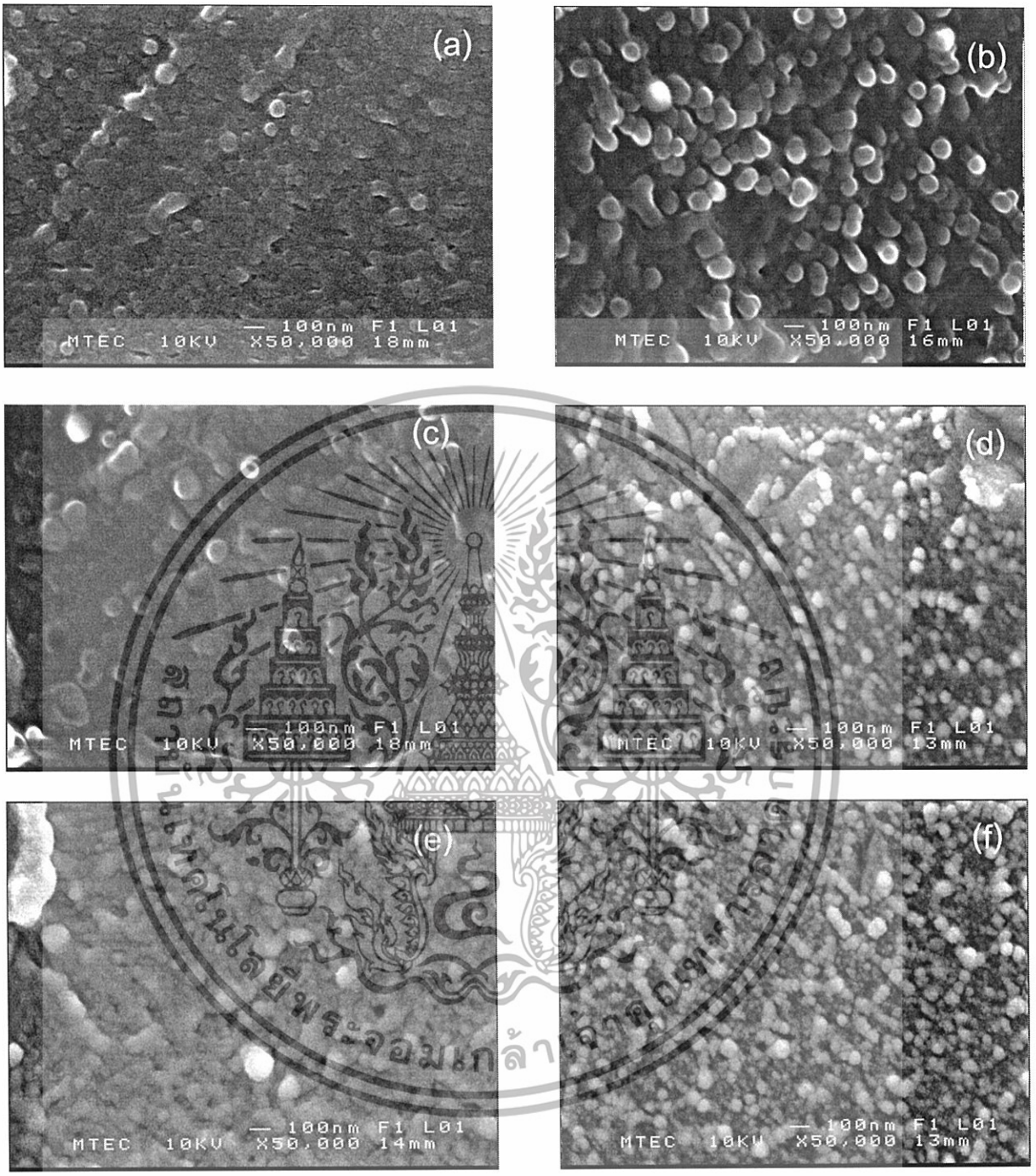
(a) R-HIPS + Organoclay 0.5% wt

(b) R-HIPS เกรดรีไซเคิล + Oragnoclay 1.0% wt

(c) R-HIPS เกรดรีไซเคิล + Organoclay 1.5% wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบนาโน



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบนาโน

(a) R- HIPS (ไม่ผ่านการละลาย)

(b) R- HIPS

(c) R- HIPS + Organoclay 0.5% wt

(d) R- HIPS + Organoclay 1.0% wt

(e) R- HIPS + Organoclay 1.5% wt

(f) R- HIPS + Organoclay 2.0% wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM ที่ภาคตัดขวางของวัสดุประกอบนาโน กำลังขยาย 50000 เท่า โดยทำการหักชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว จากรูป (a) และ (b) คือรูปของ R-HIPS มีลักษณะเป็นเม็ดกลมกระจายตัวอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับภาคผนวก ข รูปที่ ข.1 แสดง SEM ของพอลิสไตรีน ที่ผ่านการละลายด้วยคลอโรเบนซีนมีลักษณะเป็นพื้นผิวเรียบ แสดงว่าอนุภาคกลมคือ อนุภาคของพอลิบิวทาไดอีนที่มีการกระจายตัวอยู่ในพอลิสไตรีน

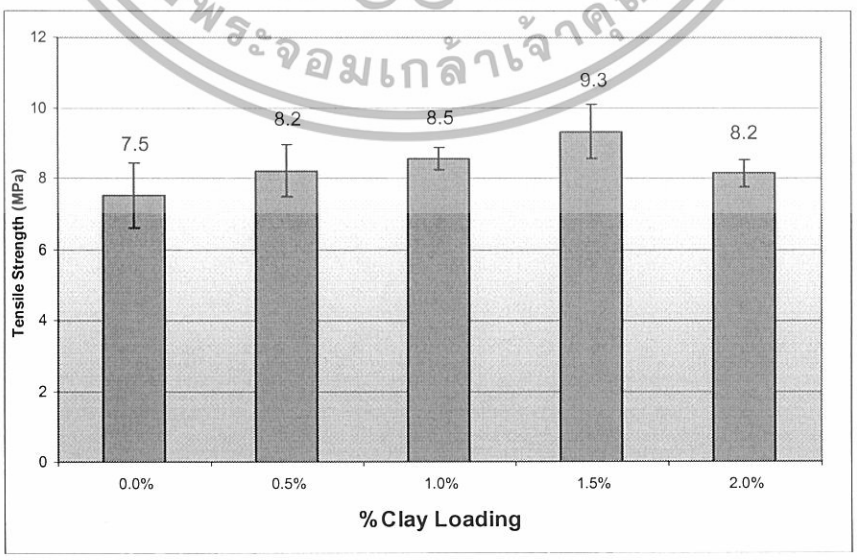
เมื่อเปรียบเทียบรูป (a) คือ R-HIPS ที่ไม่ได้ผ่านการละลาย กับรูป (b) คือ R-HIPS ที่ผ่านการละลายแล้ว เห็นได้ว่า อนุภาคของพอลิบิวทาไดอีนมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารละลายไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคของพอลิบิวทาไดอีน

รูป (c) – (f) เป็นการ R-HIPS ที่มีการเติมออร์แกโนเคลย์เข้าไป พบว่าขนาดอนุภาคของพอลิบิวทาไดอีนมีขนาดเล็กลง เนื่องจากอาจเกิดการขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิบิวทาไดอีน เมื่อใส่ออร์แกโนเคลย์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ขนาดอนุภาคของพอลิบิวทาไดอีนมีขนาดเล็กลงและกระจายตัวได้มากขึ้น

4.7 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน

4.7.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ของวัสดุประกอบนาโน

ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก R-HIPS ที่ไม่ได้เติมออร์แกโนเคลย์ เนื่องจากออร์แกโนเคลย์เป็นสารอนินทรีย์ และถ้าออร์แกโนเคลย์กระจายตัวได้ดีใน R-HIPS ทำให้วัสดุประกอบนาโนรับแรงได้มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่ใช้ แต่หากเติมออร์แกโนเคลย์ในปริมาณที่มากขึ้น (2%wt) ออร์แกโนเคลย์มีการกระจายตัวได้ไม่ดี เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนอนุภาคในระดับไมครอน จึงอาจทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ส่งผลให้วัสดุประกอบนาโนมีความแข็งแรงดึงลดลง

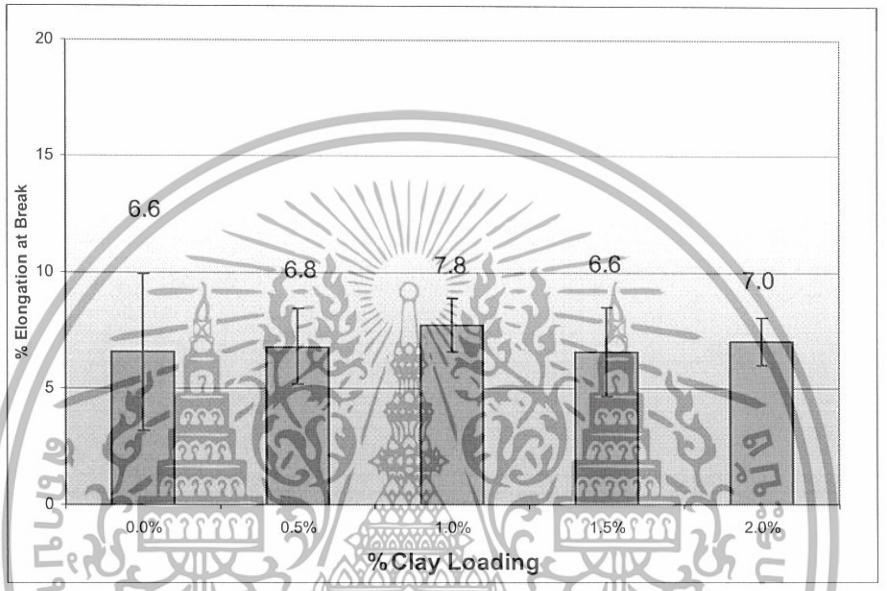


รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของวัสดุประกอบนาโน

ปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน เนื่องจากสายโซ่ของ R-HIPS ยังเกี่ยวพันกันอยู่ อีกทั้งออร์แกโนเคลย์ที่เติมลงไปมีปริมาณน้อยมาก และกระจายตัวใน R-HIPS ได้ดี ไม่ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโนมีค่าใกล้เคียงกับ R-HIPS ที่ยังไม่ทำการเติมออร์แกโนเคลย์

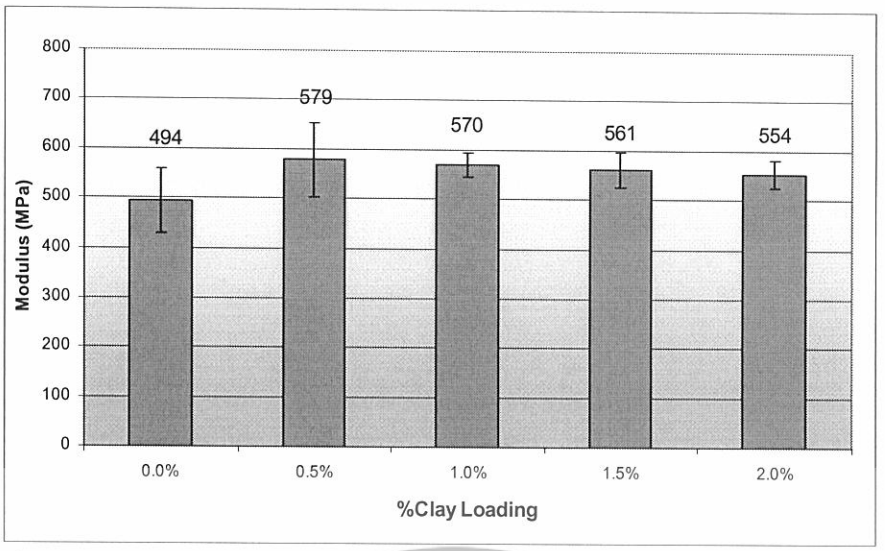


รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน

4.7.3 มอดุลัส (Modulus) ของวัสดุประกอบนาโน

มอดุลัสของวัสดุประกอบนาโนเมื่อเติมออร์แกโนเคลย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก R-HIPS เนื่องจาก R-HIPS สามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างชั้นออร์แกโนเคลย์ จึงต้องใช้แรงเริ่มต้นมากขึ้นเพื่อให้วัสดุประกอบนาโนเกิดการเสียสภาพ แต่ปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่เพิ่มขึ้นนั้นยังไม่สามารถบอกได้ว่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่ใช้ยังมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



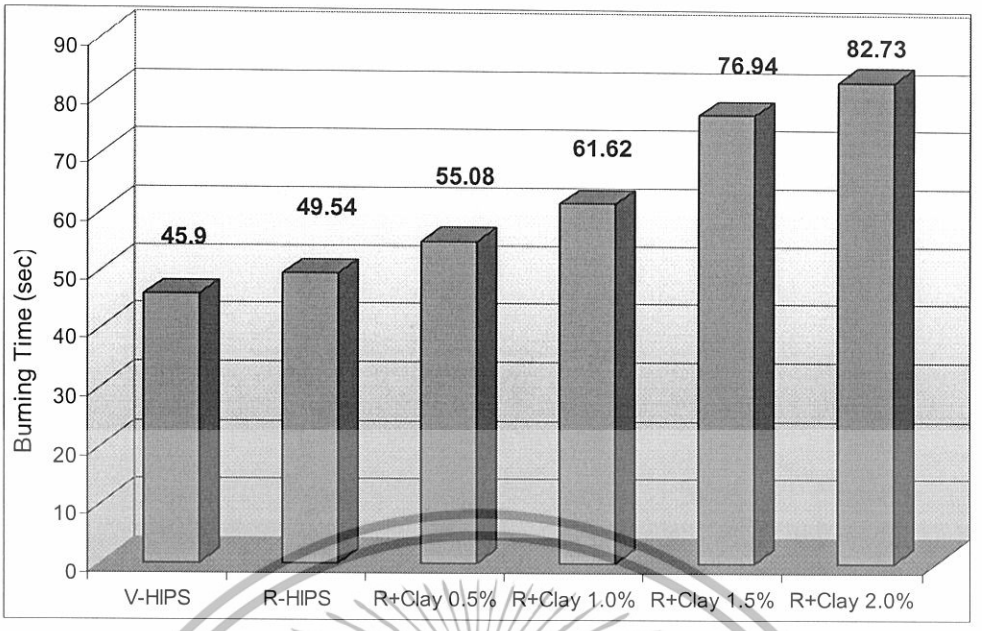
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่ามอดุลัสของวัสดุประกอบนาโน

4.8 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่ออัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโน

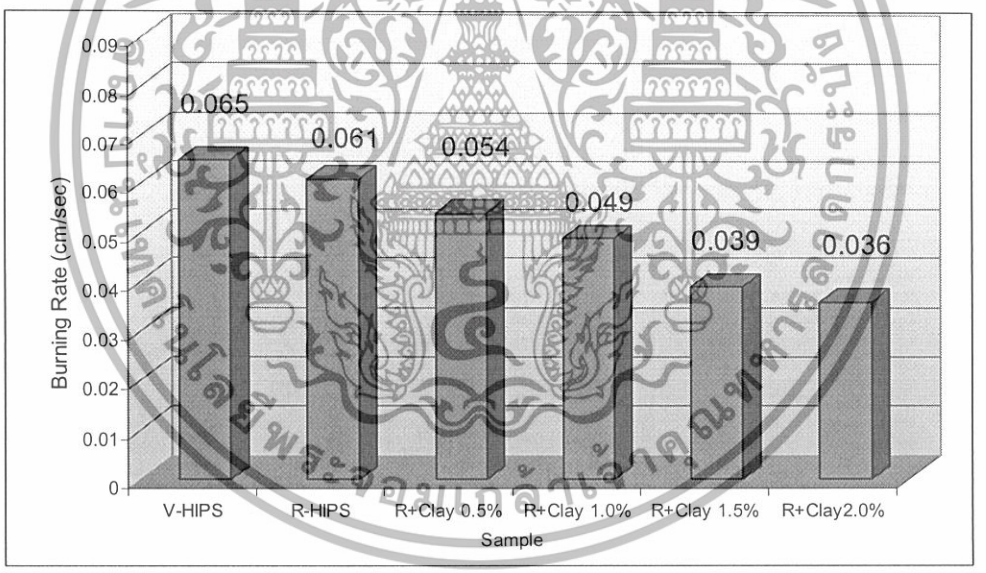
ทดสอบอัตราการลามไฟโดยใช้ชิ้นงานขนาด 25 x 25 ตารางมิลลิเมตร ทำการเผาชิ้นงานด้วยตะเกียงบุนเสนโดยชิ้นงานมีระยะห่างจากเปลวไฟสีฟ้า 1 เซนติเมตร พบว่าทุกชิ้นงานติดไฟทันที อีกทั้งยังเกิดการหลอมหยด มีเขม่าและควันสีดำ โดยชิ้นงานจาก HIPS เกรดบริสุทธิ์ (V-HIPS) มีการหลอมหยดเป็นหยดขนาดเล็กอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาในการลามไฟเร็วที่สุด เมื่อเทียบกับชิ้นงานจาก R-HIPS ซึ่งมีการหลอมหยดขนาดใหญ่ และใช้เวลาในการลามไฟนานกว่า และเมื่อทำการทดสอบกับชิ้นงานที่มีการผสมออร์แกโนเคลย์ไปในปริมาณต่าง ๆ กัน พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณของออร์แกโนเคลย์มากขึ้นจะเกิดการหลอมหยดลดลงและใช้เวลาในการลามไฟนานขึ้น ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติ HIPS สามารถติดไฟได้ดีและลามไฟได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเติมออร์แกโนเคลย์ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์มีสมบัติไม่ติดไฟ ซึ่งไปช่วยขัดขวางไม่ให้เกิดการลามไฟอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการลามไฟนานขึ้น

นอกจากนี้ออร์แกโนเคลย์ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นจึงบดบังก๊าซออกซิเจนไม่ให้เข้าไปช่วยในการติดไฟของ R-HIPS อีกทั้งออร์แกโนเคลย์ มีซิลิเกตซึ่งเป็นฉนวนที่ดี การเผาไหม้จะทำให้เกิดถ่าน (Char) ปกคลุมที่ผิวหน้า จึงไม่ลามไฟ ส่งผลให้ใช้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้นและมีอัตราการลามไฟน้อยลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อเวลาในการเผาไหม้ของวัสดุประกอบนาโน



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่ออัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโน

การวิเคราะห์ TGA ของวัสดุประกอบนาโนพบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่ R-HIPS เกิดการสลายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่ใช้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุประกอบนาโน

Sample	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (°C)	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
R-HIPS	400	535
R+Clay 0.5%	408	575
R+Clay 1.0%	412	580
R+Clay 1.5%	417	645

วัสดุประกอบนาโนจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ R-HIPS เกิดการสลายตัวสูงขึ้นตามปริมาณของออร์แกโนเคลย์ที่เติมลงไป เนื่องจากออร์แกโนเคลย์เป็นสารอนินทรีย์ จึงทนความร้อนได้สูงและ R-HIPS สามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างชั้นออร์แกโนเคลย์ ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของออร์แกโนเคลย์ ทำให้ R-HIPS ที่เติมออร์แกโนเคลย์ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้ R-HIPS เกิดการสลายตัว ดังนั้นวัสดุประกอบนาโนที่มีปริมาณออร์แกโนเคลย์เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ทั้งอุณหภูมิเริ่มสลายตัวและอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมวัสดุประกอบนาโนจากการรีไซเคิล High Impact Polystyrene (R-HIPS) และออร์แกโนเคลย์ที่ทำการดัดแปรโครงสร้างด้วยเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ด้วยการผสมแบบสารละลาย ศึกษาผลปริมาณของออร์แกโนเคลย์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและอัตราการลามไฟของวัสดุประกอบนาโน

จากการศึกษาผลของเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ที่มีต่อการดัดแปรออร์แกโนเคลย์ เมื่อทำการดัดแปรโครงสร้างแล้ว พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นออร์แกโนเคลย์จะมากขึ้น โดยมีระยะห่างเท่ากับ 2.35 นาโนเมตร หลังจากการศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมวัสดุประกอบนาโน โดยตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ คลอโรเบนซีน และจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโน พบว่า ออร์แกโนเคลย์ที่เติมลงไปกระจายตัวได้ดีใน R-HIPS

จากการศึกษาผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน พบว่า เมื่อเติมออร์แกโนเคลย์ ทำให้ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของวัสดุประกอบนาโนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก R-HIPS ที่ไม่ได้ทำการเติมออร์แกโนเคลย์ ขณะที่ปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดใกล้เคียงกับ R-HIPS ที่ยังไม่ทำการเติมออร์แกโนเคลย์

จากการศึกษาผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีผลต่อสมบัติการเผาไหม้ของวัสดุประกอบนาโน พบว่า วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้มีความสามารถในการเผาไหม้ที่ดีเมื่อเทียบกับ R-HIPS โดยปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ช้าลงเป็นการลดอัตราการลามไฟ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการเตรียมวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลายอาจมีข้อจำกัดในการขึ้นรูป ซึ่งอาจเตรียมวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิคการผสมแบบสารละลายก่อน เมื่อได้ชิ้นงานแล้วนำไปบดย่อย จากนั้นเข้าสู่วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นๆ เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป(Injection molding process) หรือกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression process) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Lab Today. 2547. **นาโนเคลย์ และนาโนคอมพอสิต**. [Online]. Available : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p18/NANOCLAY.asp.

2. A to Z Of Materials. 2000. **Clay-Based Nanocomposites**. [Online]. Available : http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=936#_Background.

3. พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์. 2542. **พอลิเมอร์กลุ่มเทอร์โมพลาสติก**. [Online]. Available : http://classroom.psu.ac.th/users/wachirapan/342_402/chapter5_5.htm.

4. The Macrogalleria. 2005. **Polystyrene**. [Online]. Available : http://pslc.ws/mactest/level2.htm.

5. Plastic Dome. 2006. **High Impact Polystyrene**. [Online]. Available : http://plastics.turkavkaz.ru/materials/hips.

6. Earth Materials I Website. 2002. **Phyllosilicates**. [Online]. Available : http://www.geoclassroom.com/mineralogy/phyllosilicates.html.

7. ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. 2549. **สาระเคมีภัณฑ์**. [Online]. Available : http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=3.

8. Wikipedia. 2006. **Hexadecyltrimethylammonium bromide**. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Hexadecyl_trimethyl_ammonium_bromide.

9. M. Alexandre and P. Dubois. 2000. "Polymer-layered silicate nanocomposites : preparation, properties and uses of a new class of materials". **Materials Science and Engineering**. 28 : 1-63.

10. C. Dazhu, Y. Haiyang, H. Pingsheng and Z. Weian. 2005. "Rheological and extrusion behavior of intercalated high-impact polystyrene/organomontmorillonite nanocomposites". **Composites Science and Technology**. 65 : 1593-1600.

11. G. Chigwada, D. Wang, D. D. Jiang and C. A. Wilkie. 2006. "Styrenic nanocomposites prepared using a novel biphynyl-containing modified clay". **Polymer Dagradation and Stability**. 91 : 755-762.

12. A. B. Morgan and J. D. Harris. 2004. "Exfoliated polystyrene-clay nanocomposites synthesized by solvent blending with sonication". **Polymer**. 45 : 8695-8703.

13. X.A. Fu and S. Qutubuddin. 2005. "Swelling behavior of organoclays in styrene and exfoliation in nanocomposites". **Colloid and Interface Science**. 283 : 373-379.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

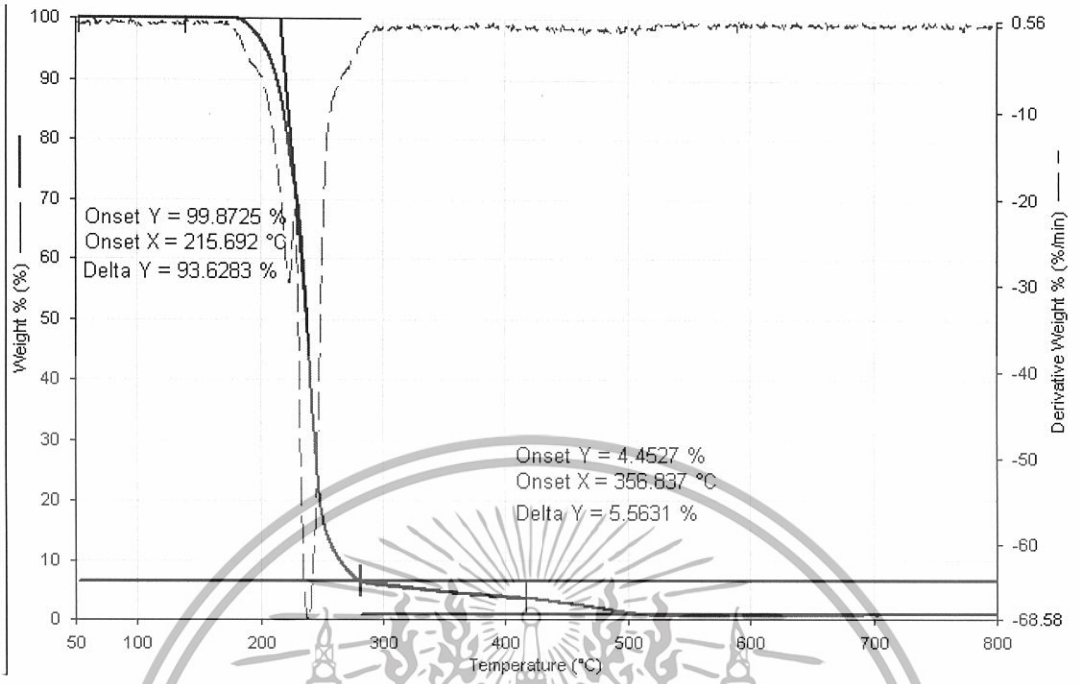
14. J. Ma, J. Xu, J. Ren, Z. Yu and Y. Mai. 2003. "A new approach to polymer/montmorillonite nanocomposites". **Polymer.** 44 : 4619-4624.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

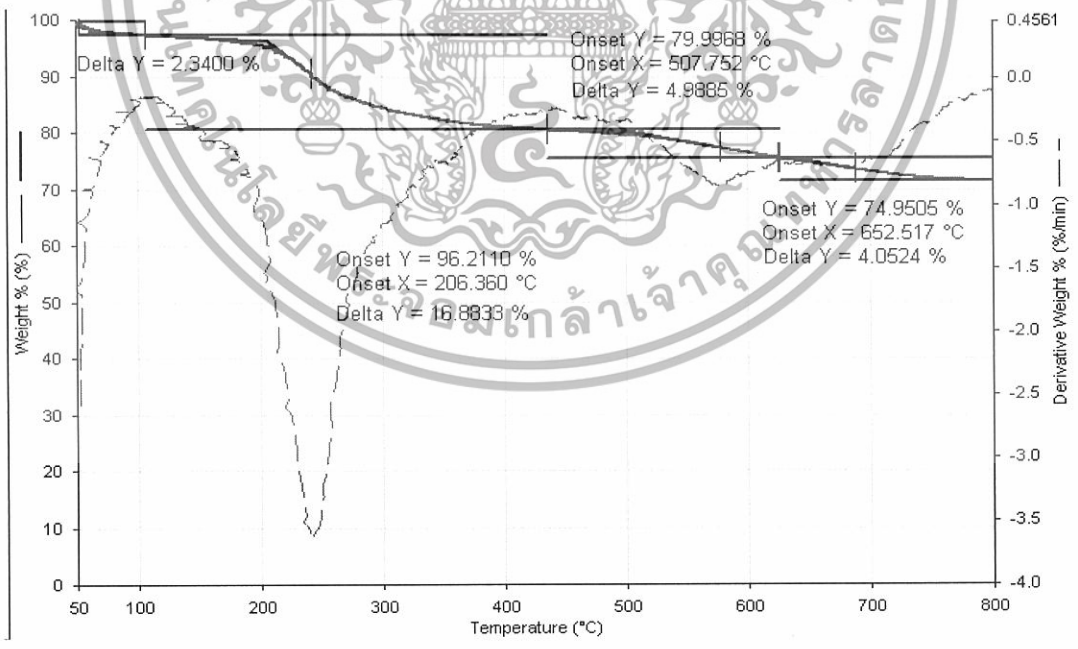
ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

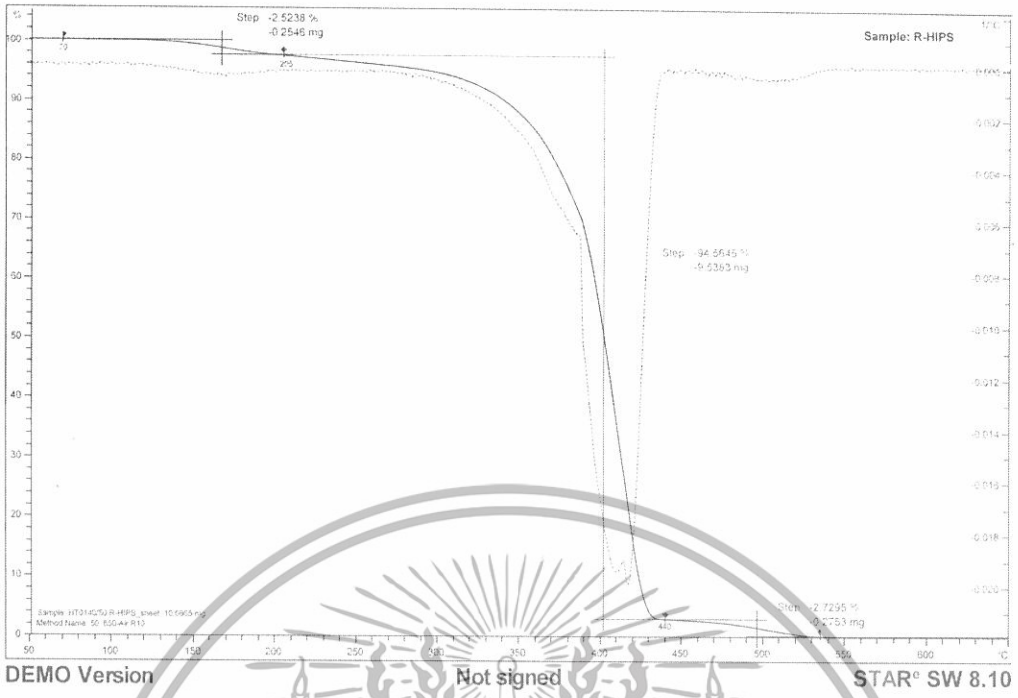


รูปที่ ก.1 TGA ของเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

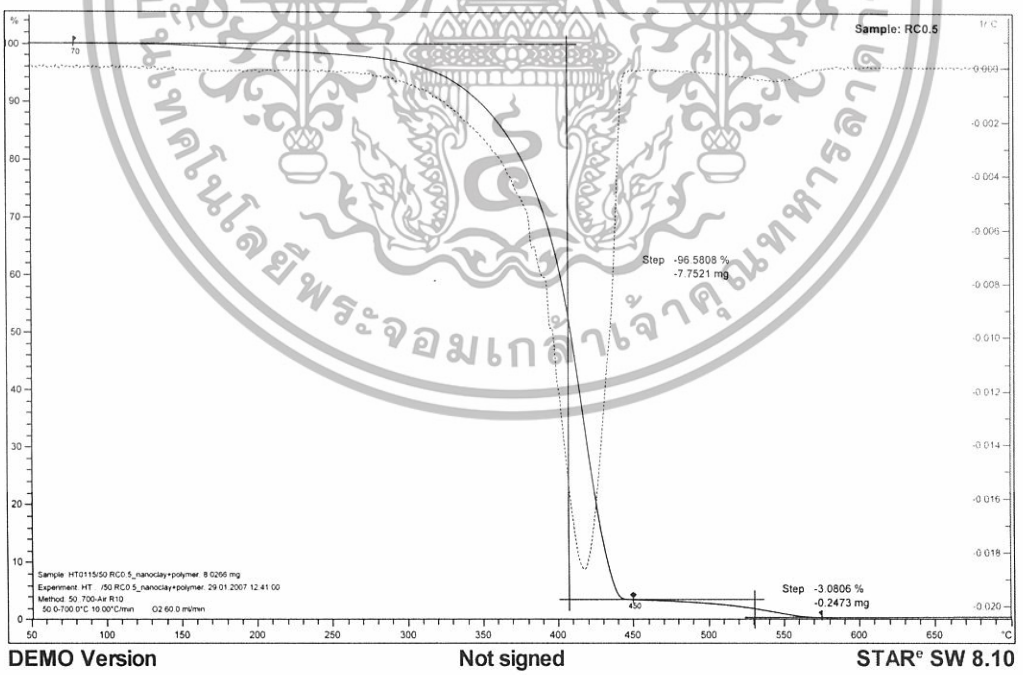


รูปที่ ก.2 TGA ของออร์แกโนเคลย์หลังการดัดแปรด้วยเฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

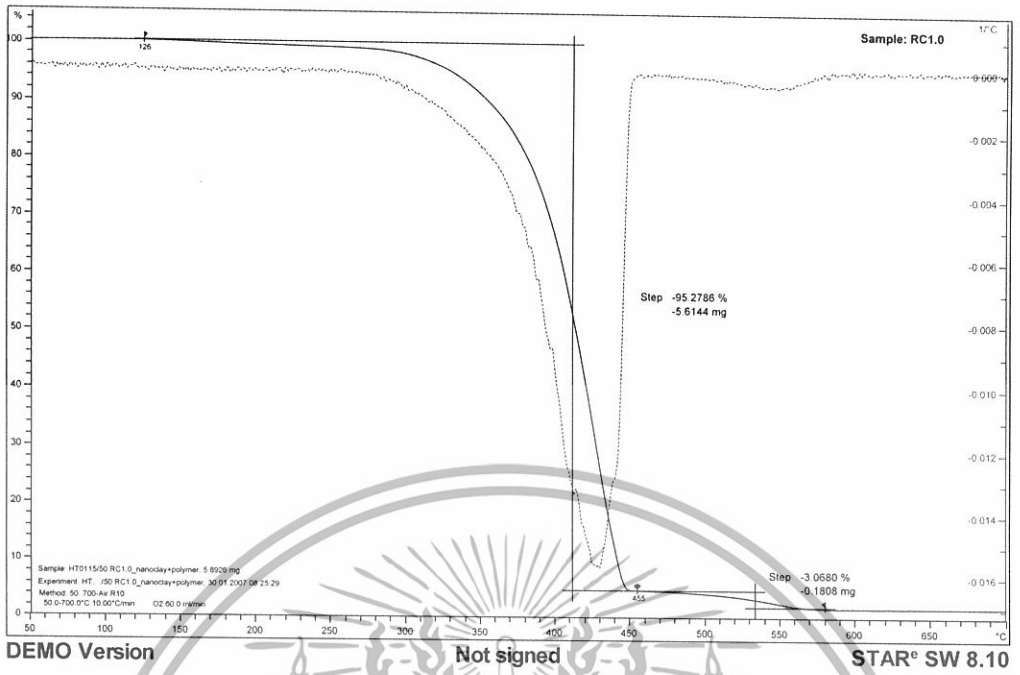


รูปที่ ก.3 TGA ของวัสดุประกอบนาโนที่มีปริมาณออร์แกโนเคลย์ 0.0% wt ของ R-HIPS

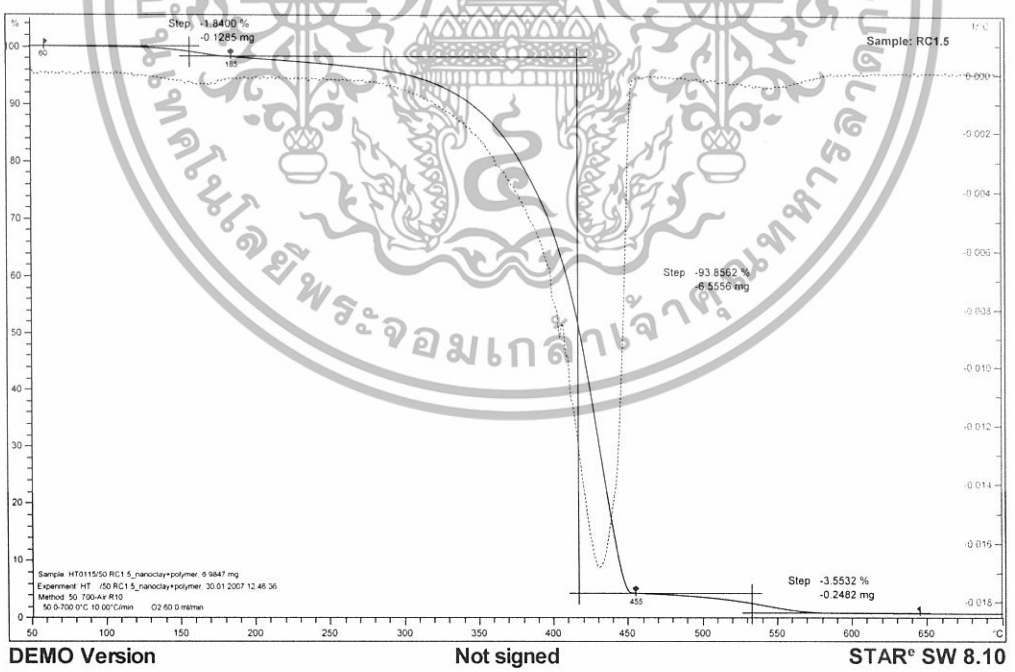


รูปที่ ก.4 TGA ของวัสดุประกอบนาโนที่มีปริมาณออร์แกโนเคลย์ 0.5% wt ของ R-HIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 TGA ของวัสดุประกอบนาโนที่มีปริมาณออร์แกโนเคลย์ 1.0% wt ของ R-HIPS



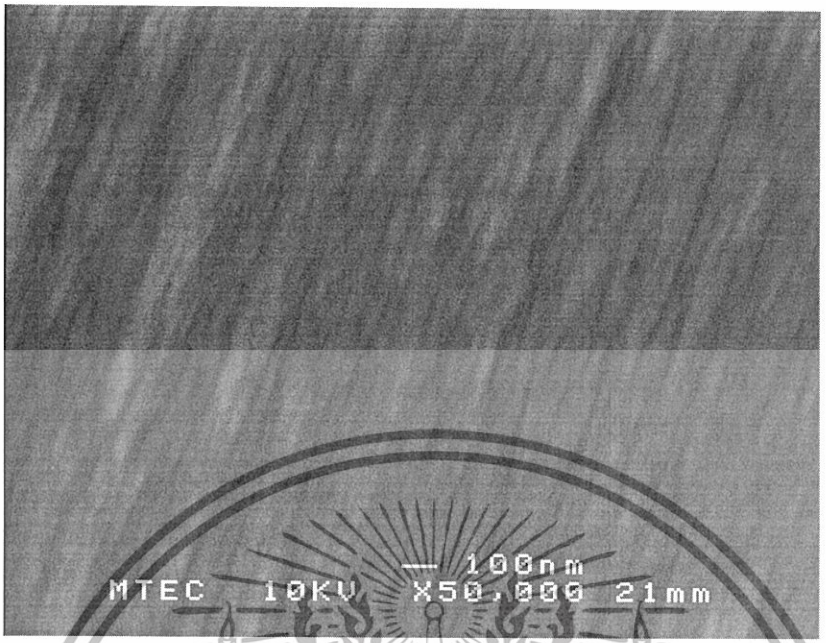
รูปที่ ก.6 TGA ของวัสดุประกอบนาโนที่มีปริมาณออร์แกโนเคลย์ 1.5% wt ของ R-HIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

สัณฐานวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 SEM ของพอลิสไตรีนที่ผ่านการละลายด้วยคลอโรเบนซีน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 ตารางแสดงผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่ามอดุลัสของวัสดุประกอบนาโน

Sample	V-HIPS	R-HIPS	R+Clay 0.5%	R+Clay 1.0%	R+Clay 1.5%	R+Clay 2.0%
1	386.070	326.350	623.930	559.400	532.800	518.067
2	346.270	535.900	618.000	603.267	522.270	528.667
3	421.670	594.900	677.330	598.733	559.200	565.067
4	338.800	545.150	556.070	558.200	524.270	564.267
5	463.530	479.400	636.870	524.867	617.730	511.933
6	606.200	511.600	585.870	581.533	602.930	563.733
7	505.600	496.250	576.400	577.067	595.600	537.600
8	448.870	484.050	598.670	544.800	572.470	570.267
9	500.200	495.000	412.530	561.200	544.870	581.000
10	470.930	475.750	507.330	591.00	542.330	603.183
Average	448.814	494.435	579.300	570.007	561.447	554.378
SD	80.714	66.044	74.812	23.574	34.253	29.260

ตาราง ค.2 ตารางแสดงผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน

Sample	V-HIPS	R-HIPS	R+Clay 0.5%	R+Clay 1.0%	R+Clay 1.5%	R+Clay 2.0%
1	6.300	5.927	7.621	8.714	8.803	7.702
2	6.054	8.125	8.288	8.059	9.156	7.844
3	6.243	9.417	8.941	8.421	9.526	8.147
4	6.435	8.408	8.522	8.952	8.577	7.737
5	7.560	7.195	7.769	8.746	10.620	8.143
6	7.516	6.857	8.160	8.357	10.090	7.903
7	7.062	7.472	8.790	8.853	9.913	8.696
8	7.031	7.212	8.941	8.855	9.212	8.096
9	7.232	7.685	6.601	7.937	9.282	8.565
10	7.582	6.890	8.477	8.592	8.017	8.682
Average	6.902	7.519	8.211	8.549	9.320	8.152
SD	0.592	0.914	0.724	0.329	0.763	0.377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 ตารางแสดงผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน

Sample	V-HIPS	R-HIPS	R+Clay 0.5%	R+Clay 1.0%	R+Clay 1.5%	R+Clay 2.0%
1	21.230	3.869	4.691	9.277	7.827	8.698
2	16.390	9.522	5.620	6.355	4.620	7.024
3	18.720	9.217	6.361	7.866	6.034	6.679
4	19.810	6.790	8.948	10.290	5.128	6.678
5	32.980	4.707	4.718	6.683	9.231	6.022
6	26.890	4.031	6.871	7.533	7.029	7.213
7	9.052	4.635	9.460	7.635	5.713	8.621
8	9.715	3.956	7.210	7.910	9.843	5.779
9	16.530	14.710	6.205	7.383	6.539	7.954
10	27.070	4.373	8.120	6.783	3.877	5.944
Average	19.839	6.581	6.820	7.771	6.584	7.061
SD	7.598	3.386	1.644	1.142	1.936	1.010

ตาราง ค.4 ผลของปริมาณออร์แกโนเคลย์ที่มีต่อความหนาและลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบนาโน

เกรด HIPS	ปริมาณ H-MMT (% wt R-HIPS)	ความหนา (mm)	ลักษณะชิ้นงาน
บริสุทธิ์	0.0	0.4470±0.0116	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวขุ่น, แข็งแต่เปราะ
รีไซเคิล	0.0	0.4316±0.0030	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวขุ่น, แข็งแต่เปราะ
รีไซเคิล	0.5	0.4484±0.0070	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวอมชมพูอ่อน, แข็งแต่เปราะ
รีไซเคิล	1.0	0.4190±0.0141	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวอมชมพูอ่อน, แข็งแต่เปราะ
รีไซเคิล	1.5	0.4871±0.0088	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวอมชมพูอ่อน, แข็งแต่เปราะ
รีไซเคิล	2.0	0.4520±0.0210	แผ่นเรียบ, หนาสม่ำเสมอ, สีขาวอมชมพูอ่อน, แข็งแต่เปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้