สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมวัสดุประกอบนาโน ระหว่าง พอลิเมทิลเมทาคริเลต กับ มอนต์มอริลโลไนต์

T107865

นาย ฐปณัท ลีลาภัทร
นาย ทีปกร จารุทวีทรัพย์

วิท.
ร129ก
2550
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107865
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2553
b 12911127
i.....

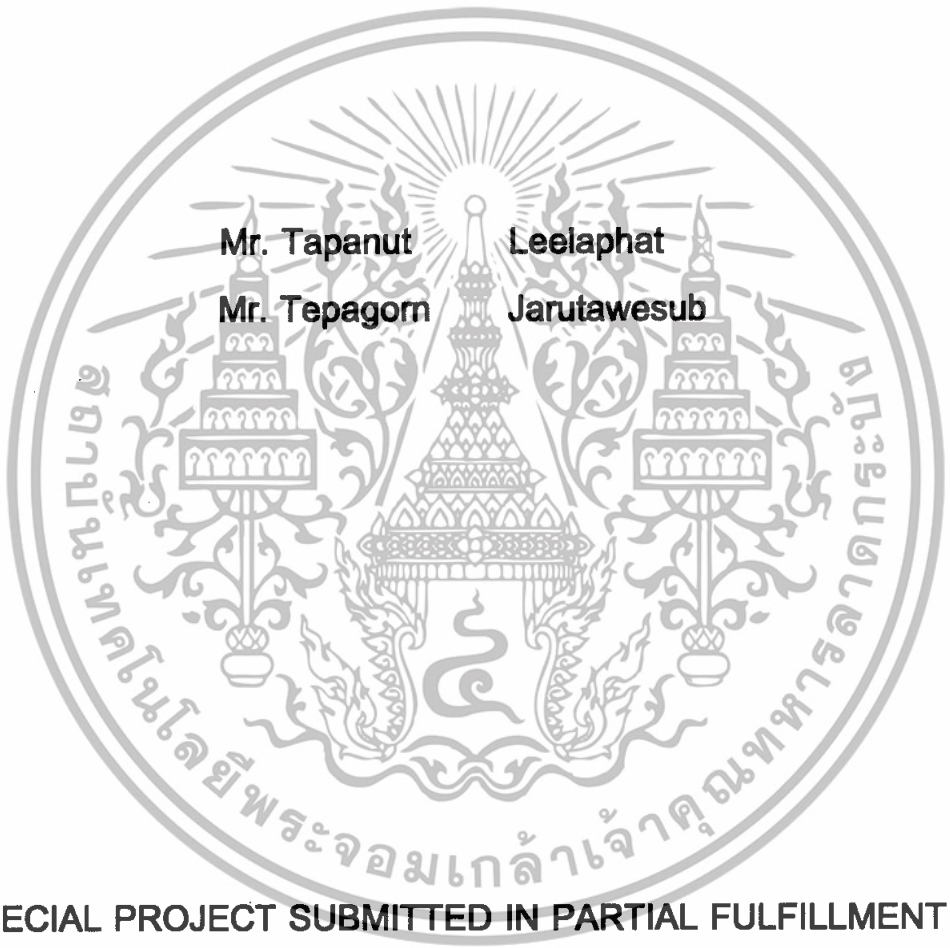
โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF POLYMETHYL METHACRYLATE / MONTMORILONITE NANOCOMPOSITES

Mr. Tapanut Leelaphat

Mr. Tepagorn Jarutawesub



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE CHEMISTRY DEPARTMENT

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับมอนต์มอริลโลไนต์
นักศึกษา	นาย ฐปณัท ลีลาภัทร 47050060
	นาย ทีปกร จารุทวีทรัพย์ 47050066
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ
	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์	
กรรมการ รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด	
กรรมการ ผศ.ดร. ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ	

.....

(ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคดนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานพิเศษ	การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับมอนต์มอริลโลไนต์
ชื่อผู้ทำโครงงาน	นาย ฐปณัท ลีลาภัทร 47050060
	นาย ทีปกร จารุทวีทรัพย์ 47050066
ภาควิชา	เคมี
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ
	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่าง พอลิเมทิลเมทาคริเลตกับมอนต์มอริลโลไนต์ (PMMA/MMT) โดยเตรียมผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขณะขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัดโดย ใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 85 °C โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ MMA:AA เป็น 100:0, 95:5, 90:10 และ85:15 ซึ่งมีปริมาณ MMT ในช่วง 0-2% โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมได้เป็นวัสดุประกอบนาโนแบบแทรกตัว เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างระนาบ 001 มากกว่า MMT แสดงว่า PMMA สามารถแทรกเข้าไประหว่างชั้นของ MMT เมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้นพบว่าวัสดุประกอบนาโนPMMA/MMT มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังมีค่าสูงขึ้น เสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น และการป้องกันการผ่านของรังสียูวีได้ดีกว่า PMMA สำหรับพอลิเมอร์ร่วม P(MMA-*co*-AA) เมื่อมีปริมาณ AA เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังมีค่าต่ำลง เมื่อนำมาเตรียมเป็นวัสดุประกอบโดยการเติม MMT ลงไป 1% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ร่วม จะทำให้ความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังมีค่าสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้เติม MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of Polymethyl methacrylate/Montmorillonite Nanocomposites
Student	Mr. Tapanut Leelaphat **ID** 47050060
	Mr. Tepagorn Jarutawesub **ID** 47050066
Department	chemistry
Programme	Indusdustrial chemistry
Academic	2007
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Pathavuth Monvisade
	Asst.Prof.Dr.Punnama Siriphannon

Abstact

This research involves preparation of poly methyl methacrylate / montmorillonite nanocomposites (PMMA/MMT). PMMA/MMT composites were prepared by *In-situ* polymerization using benzoyl peroxide (BPO) as initiator at 85 °C in compression molding. The ratio of methyl methacrylate and acrylic acid (MMA:AA) were varied in the ratio of 100:0, 95:5, 90:10 and 85:15 by weight. Amount of MMT was varied in the range of 0-2 wt%. It was found that the PMMA/MMT composites were intercalated nanocomposites because the d-spacing (d_{001}) of PMMA/MMT composites was higher than that of MMT. When the amount of MMT increased, the PMMA/MMT composites possessed higher tensile strength and Young's modulus, better thermol stability and UV protection than PMMA. For P(MMA-*co*-AA), tensile strength and Young's modulus decreased with increasing AA content. When 1% MMT was added to P(MMA-*co*-AA), the P(MMA-*co*-AA)/MMT nanocomposites had higher tensile strength and Young's modulus than pure P(MMA-*co*-AA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและความเอาใจใส่ของอาจารย์ที่ปรึกษาได้แก่ ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษและผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน ทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษและกรุณาช่วยแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิประศาสตร์วิชาความรู้และให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และ ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ ทุกๆท่านที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนเครื่องมือต่างๆ

ขอขอบคุณพี่อมรรัตน์ สวัสดิมงคล และ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่าน สำหรับความปรารถนาดี และทุกๆความช่วยเหลือในขณะที่ทำงานวิจัย ทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับกำลังใจ ความเอาใจใส่ ความรักและแรงผลักดันจากผู้ปกครอง

ฐปณัท ลีลาภัทร
ทีปกร จารุทวีทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ **หน้า**

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....I
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VII
สารบัญตาราง.....VIII
สารบัญสัญลักษณ์.....IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่2 ทฤษฎี และ หลักการ

2.1 เคลย์ (Clay).....3
2.1.1 ความหมายของเคลย์.....3
2.1.2 ชนิดของเคลย์.....3
2.1.3 สมบัติทางกายภาพของเคลย์.....5
2.2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....7
2.2.1 สมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....7
2.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยา
แบบเติมโดยใช้อนุมูลอิสระ.....8
2.2.3 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์.....11
2.3 วัสดุประกอบนาโน.....13
2.3.1 ประเภทของวัสดุประกอบ.....13
2.3.2 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน.....14
2.3.3 สมบัติของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์และเคลย์.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....16

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี.....19

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....19

3.3 การเตรียมวัสดุประกอบ.....21

3.3.1 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์.....21

3.3.2 การสกัดตัวยับยั้งออกจากมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต.....22

3.3.3 การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต
ด้วยเทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย.....24

3.3.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัวของเคลย์ในเมทิลเมทาคริเลต.....26

3.3.5 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน.....27

3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุประกอบ.....29

3.4.1 การทดสอบการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต/วิสิเบิล.....29

3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....29

3.4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโน.....29

3.4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....30

3.4.5 การทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์.....30

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของ PMMA ที่สังเคราะห์ด้วย
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายด้วยเทคนิค GPC.....31

4.2 ผลทดสอบการศึกษาการบวมตัวของ MMT ในมอนอเมอร์.....32

4.3 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิค XRD.....33

4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโน
ด้วยเทคนิค TGA.....36

4.5 ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุประกอบนาโน.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

4.5.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน.....38
4.5.2 การวัดการส่องผ่านรังสียูวี-วิสซิเบิลของวัสดุประกอบนาโน.....41

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....43

เอกสารอ้างอิง.....44
ภาคผนวก.....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 2.1 **สินแร่ มอนต์มอริลโลไนต์**.....4
รูปที่ 2.2 ภาพจาก กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
แสดงถึง โครงสร้าง ของ มอนต์มอริลโลไนต์.....4
รูปที่2.3 โครงสร้างของเคลย์ชนิดต่างๆ.....6
รูปที่2.4 ลักษณะของวัสดุประกอบนาโนประเภทต่างๆ.....13
รูปที่3.1 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์.....20
รูปที่ 3.2 การสกัดตัวยับยั้งออกจากมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต.....21
รูปที่ 3.3 แผนงานการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....24
รูปที่3.4 แผนผังการทดสอบสมบัติการกระจายตัวของเคลย์.....25
รูปที่3.5 การเตรียมวัสดุประกอบ.....29
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ MMT.....32
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบนาโนและ PMMA.....33
รูปที่ 4.3 เทอร์โมแกรมของ PMMA-*co*-AA และ วัสดุประกอบนาโน
ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน.....35
รูปที่4.4 ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน.....37
รูปที่4.5 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน.....38
รูปที่4.6 ค่ามอดุลัสของยังของวัสดุประกอบนาโน.....39
รูปที่4.7 การส่องผ่านของรังสียูวี-วิสซิเบิลของP(MMA-*co*-AA)
และวัสดุประกอบนาโน.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....7
ตารางที่ 3.1 ตารางเตรียมสารเคมีสำหรับทดสอบการบวมตัว.....25
ตารางที่ 3.2 ตารางเตรียมวัสดุประกอบนาโน.....27
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของ PMMA และ P(MMA-*co*-AA).....30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการบวมตัวของ MMT ในมอนอเมอร์.....31
ตารางที่ 4.3 ค่า 2θ และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT ในวัสดุประกอ.....34
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิสลายตัวของ P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

MMA.....เมทิลเมทาคริเลต

AA..... อะคริลิกแอซิด

MMT.....มอนต์มอริลโลไนต์

PMMA.....พอลิเมทิลเมทาคริเลต

PAA.....พอลิอะคริลิกแอซิด

BPO.....เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์

M100C0.5.....วัสดุประกอบนาโน PMMA/ 0.5 % MMT

M100C1.....วัสดุประกอบนาโน PMMA/ 1 % MMT

M100C2.....วัสดุประกอบนาโน PMMA/ 2 % MMT

M95C1.....วัสดุประกอบนาโน 95% PMMA / 5 % AA / 1 % MMT

M90C1.....วัสดุประกอบนาโน 90% PMMA / 10 % AA / 1 % MMT

M85C1.....วัสดุประกอบนาโน 85% PMMA / 15 % AA / 1 % MMT

M100.....PMMA

M95.....พอลิเมอร์ร่วม 95% PMMA / 5 % AA

M90.....พอลิเมอร์ร่วม 90% PMMA/ 10 % AA

M85.....พอลิเมอร์ร่วม 85% PMMA/ 15 % AA

NaOH.....โซเดียมไฮดรอกไซด์

NaCl.....โซเดียมคลอไรด์

Na_2SO_4.....โซเดียมซัลเฟต

THF.....เตตระไฮโดรฟูแรน

H_2O.....น้ำ

GPC.....เครื่องเจลเพอมิเอชันโครโมโตกราฟี

TGA.....เครื่องวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมทริก

XRD.....เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

พลาสติก เป็นวัสดุที่นำมาทำเป็นวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ จำนวนมาก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้หลายครั้ง แต่อย่างไรก็ตามพลาสติกนั้นมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ กล่าวคือ พลาสติกไม่สามารถรับแรงได้มาก จึงได้มีการนำสารเสริมแรงต่างๆ เข้ามาช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลที่ต่ำ โดยเคลย์ก็จัดว่าเป็นวัสดุเสริมแรงที่นิยมนำมาใช้กับพลาสติก เนื่องจากเคลย์มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อความหนาที่สูง สามารถรับแรงได้ดี จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับเคลย์

วัสดุประกอบแบบดั้งเดิมนั้น เป็นเพียงการเติมเคลย์ลงในพอลิเมอร์ แล้วทำการขึ้นรูปเท่านั้น ทำให้เคลย์รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จึงได้สมบัติเชิงกลที่ไม่ต่างจากเดิมมากนัก จนกระทั้งได้มีการศึกษาพัฒนาจนมาเป็นวัสดุประกอบนาโน ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงโดยเริ่มต้นจากการผสมมอนอเมอร์ กับ เคลย์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ชั้นของเคลย์จะถูกพอลิเมอร์แทรกสอดทำให้ ชั้นของเคลย์อยู่หางกันมากขึ้น มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

โดยปกติพอลิเมทิลเมทาคริเลต เป็นพอลิเมอร์ใส นิยมนำมาทำเป็นกระจกไฟหน้ารถยนต์และอุปกรณ์งานก่อสร้างและตกแต่ง จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้วัสดุมีความแข็งแรงที่สูงจึงได้มีการเลือกใช้เคลย์เป็นวัสดุเสริมแรงในระดับนาโน เนื่องจากเมื่อทำให้เป็นวัสดุประกอบนาโนแล้วจะยังคงความใสของพอลิเมอร์อยู่ได้และมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น แต่ก็มีปัญหาเรื่องความมีขั้วของเคลย์กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตอยู่บ้าง จึงได้มีการเติมอะคริลิกแอซิคที่มีขั้วสูงกว่าเพื่อช่วยปรับขั้วของพอลิเมอร์และเคลย์ให้มีเข้ากันได้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ชั้นเคลย์แยกออกจากกันดีขึ้นแต่อะคริลิกแอซิค มีความแข็งเปราะมากกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลต ดังนั้นจึงมีการศึกษาปรับปริมาณอะคริลิกแอซิคให้เหมาะสม เพื่อให้ได้วัสดุประกอบที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี ทำให้เกิดโครงงานวิจัยนี้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเตรียมวัสดุประกอบระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเคลย์ประเภทมอนต์มอริลโลไนต์โดยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในระหว่างการเตรียมวัสดุประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลต กับ มอนต์มอริลโลไนต์ โดยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างทำการขึ้นรูป (*In-situ* polymerization)
2. เพื่อทราบผลของปริมาณ มอนต์มอริลโลไนต์ ที่มีผลต่อโครงสร้างและสัณฐานวิทยาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางแสง และสมบัติเชิงกลของ วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการบวมตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ในมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตและมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทิลเมทาคริเลตกับอะคริลิกแอซิด เพื่อหาระบบตัวทำละลายที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ที่เหมาะสม
2. ศึกษากระบวนการเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลต กับมอนต์มอริลโลไนต์ โดยใช้วิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างทำการขึ้นรูป
3. ศึกษาผลของปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีต่อโครงสร้างของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับมอนต์มอริลโลไนต์
4. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางแสงและสมบัติทางความร้อน ของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับมอนต์มอริลโลไนต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมวัสดุประกอบนาโน ระหว่าง พอลิเมทิลเมทาคริเลต กับ มอนต์มอริลโลไนต์โดยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างการขึ้นรูป
2. ได้วัสดุประกอบนาโน ที่มีสมบัติต่างๆที่ดี สามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎี และ หลักการ

2.1 เคลย์ (Clay)

2.1.1 ความหมายของเคลย์

เคลย์ หมายถึงดินเหนียว ดินโคลน ประกอบด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด องค์ประกอบที่สำคัญในดิน ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และความชื้น นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของเคลย์ ได้จาก ชนิดโครงสร้างของผลึกหรืออัญรูป หรือสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น เคลย์ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1-4 ไมโครเมตร เกิดจาก กระบวนการทางเคมีย่อยสลาย หิน ซึ่งมีองค์ประกอบ ของแร่ซิลิเกต (Silicate) ด้วยกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid) โดยลักษณะที่ได้ เป็นชั้น ของอนุภาคเล็กๆซ้อนกันหลายๆชั้น ซึ่งชั้นเหล่านี้ สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ด้วยการใช้ สารซึ่งมีประจุบวกเข้าไปแทนที่ เมื่อเคลย์ได้รับความร้อน น้ำซึ่งอยู่ในองค์ประกอบ จะระเหยออกไป ทำให้อนุภาคเคลย์รวมตัวกัน เคลย์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ เครื่องสำอาง เป็นต้น

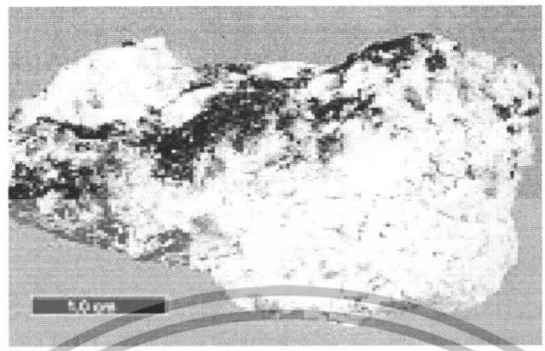
2.1.2 ชนิดของเคลย์ [3, 4, 5]

1.) มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)

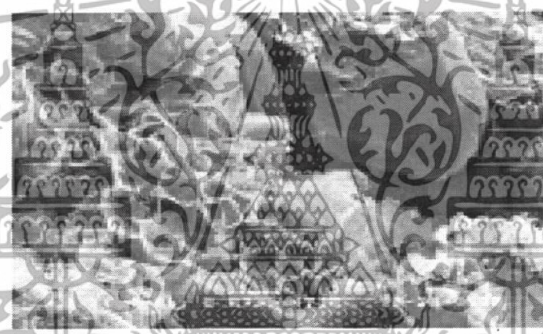
แร่ดินเหนียว มอนต์มอริลโลไนท์ หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่ง ว่า เบนโตไนต์ (Bentonite) หรือ สเมคไทต์ (Smectite) มีต้นกำเนิดจาก ฝุ่นภูเขาไฟ มีสูตรทั่วไป คือ $(Ca,Na,H)(Al,Mg,Fe,Zn,)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$- x H_2O โดย x คือ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในเคลย์มอนต์มอริลโลไนท์ ประกอบด้วยชั้นผลึกของ อลูมินาออกตระฮีดรอล และซิลิเกตเตตระฮีดรอล ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยชั้นซิลิเกตถูกประกบอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นอลูมินา ความหนารวมกันประมาณ 0.7-1.0 นาโนเมตร ในขณะที่ความยาวด้านข้างมีขนาดไมครอน มีประจุลัพธ์เป็นลบจึงมักจะมีประจุบวกของแมกนีเซียม อลูมิเนียม โซเดียม หรือแคลเซียม และอื่นๆ เข้ามาแทรกอยู่ระหว่างชั้นผลึกเพื่อให้เกิด สมดุล ของประจุ แหล่งที่พบมาก อยู่ในอเมริกาเหนือ จีน ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน แก้วพอร์ตเลนทน ความร้อน และกรด หล่อลื่นหัวขุดเจาะ สารตัวเติมในสีและยาง สารป้องกันการซึมผ่านของ ของไหล เครื่องสำอาง สารดูดความชื้น



รูปที่ 2.1 สินแร่ มอนต์มอริลโลไนต์



รูปที่ 2.2 ภาพจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงถึงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

2.) เคโอลิไนต์ (Kaolinite) หรือ ดินขาว

เคโอลิไนต์ หรือดินขาว เป็นวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผลึก (Crystalline Material) โดยมีผลึกเป็นแผ่นแบนรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal Shape) ขนาดเล็กมากๆ ซึ่งผลึกดังกล่าวมีขนาดตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงระดับ 0.1 ไมครอน (1 ไมครอน หรือ ไมโครมิเตอร์ เท่ากับ 10^{-6} เมตร) และด้วยขนาดของผลึกที่เล็กมากๆ ประกอบกับมีรูปร่างที่เป็นแผ่นแบนจึงทำให้แร่ดินมีคุณสมบัติที่โดดเด่นเฉพาะตัว

การใช้งาน ใช้เป็นสารเคลือบผิวกระดาษ ทำเครื่องปั้นดินเผา ใช้เป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) อิลไลต์ (Illite)

แร่ดินเหนียวประเภท อิลไลต์ เป็นกลุ่ม ของสารประกอบประเภทไมก้า (mica) โดยสารกลุ่มนี้ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักชนิดหนึ่งในแร่หินมีสูตรโครงสร้างดังนี้ $(K,H)Al_2(Si,Al)_4O10(OH)2 - x\ H2O$ โดยโครงสร้าง ของดินเหนียวกลุ่มนี้ จะคล้าย มอนต์มอลิโลไนต์ แตกต่างกันเพียงการที่มี อะลูมิเนียมเข้าแทนที่ซิลิกอน ในแผ่นซิลิกา ทำให้ปริมาณประจุลบที่ตกค้างมีอยู่น้อยกว่าและมีปริมาณ K ที่เข้ามาทำให้ประจุสมดุลย์นั้นน้อยกว่า จึงทำให้การขยายตัวและหดตัวเป็นไปได้น้อย เมื่อเปียกและแห้งทำให้น้ำและประจุบวกอื่น ๆ เข้าไปในช่องว่างได้ยาก

การใช้งาน ใช้เป็นสารหล่อลื่น สารตัวเติม

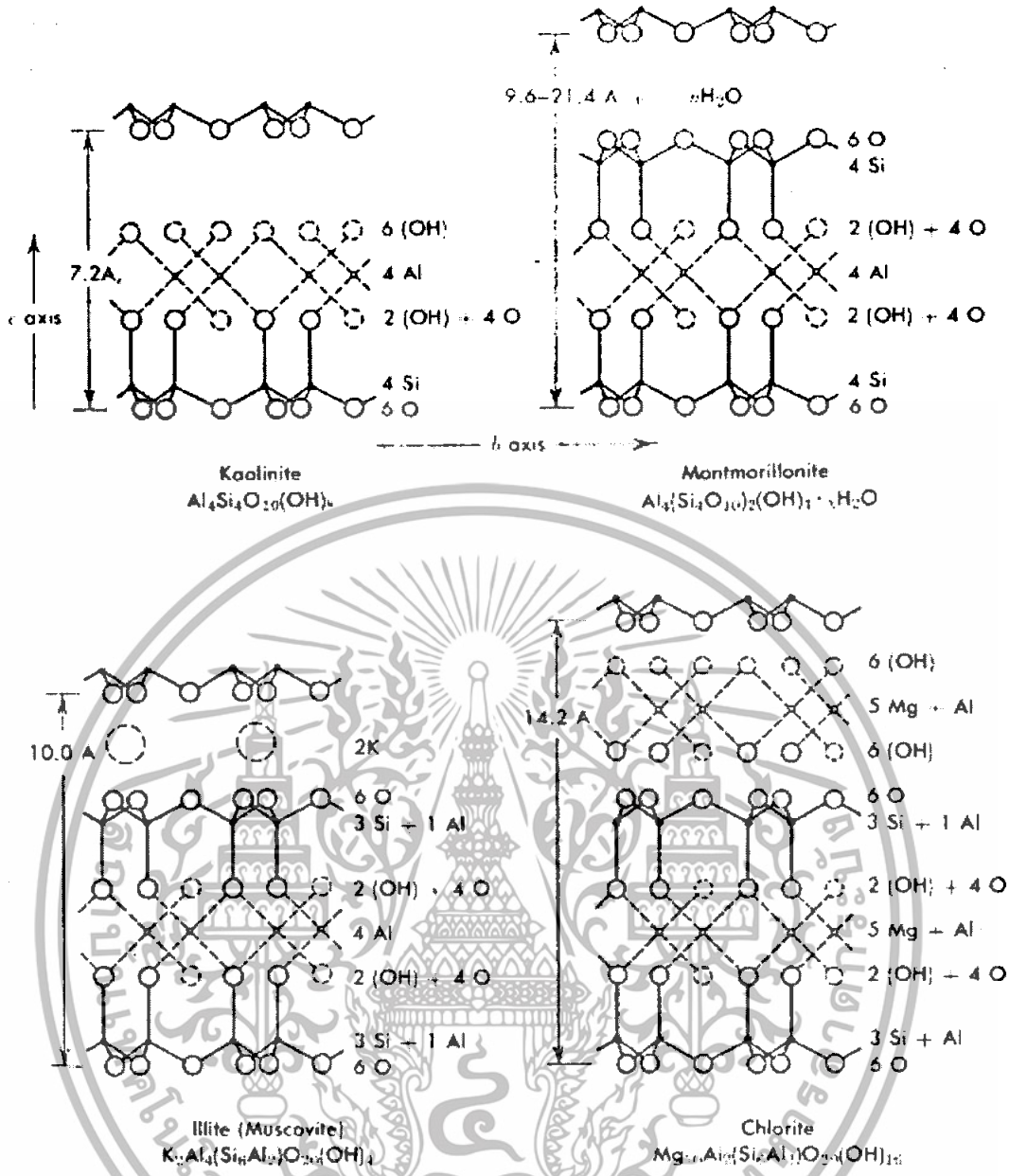
4.) คลอไรต์(Chlorite)

กลุ่มแร่ดินเหนียว คลอไรต์ เป็นแร่ดินเหนียว ที่มีประจุระหว่างชั้นเคลย์ ที่ไม่ใช่กลุ่มไฟโลซิลิเกต เช่น ลิเทียม นิกเกิล เหล็ก แมงกานีสซึ่งจะทำให้ ระยะห่างระหว่างชั้นเคลย์แตกต่างกันออกไป จึงส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของเคลย์ ซึ่งเคลย์ในกลุ่มนี้ไม่ค่อยถูกนำไปใช้มากนัก

2.1.3 สมบัติทางกายภาพของเคลย์

1.วัสดุประเภทเคลย์เป็นวัสดุขนาดเล็กและมีผลึกขนาดค่อนข้างเล็ก
2.สามารถดูดซึมน้ำและสูญเสียน้ำได้ดี
3.น้ำจะถูกดูดซับไว้ในชั้นของซิลิเกต
4.ความถ่วงจำเพาะจะมากขึ้นเมื่อเคลย์ได้รับความชื้น
5.ความแข็งแรงกดของเคลย์จะมีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเคลย์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly [methyl methacrylate], PMMA) [6,7]

พอลิเมทิลเมทาคริเลต หรือ พอลิเมทิล 2-เมทาโพรพาโนเอต (Poly [methyl 2-methylpropenoate]) จัดเป็นพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้ง หรือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตนี้ เกิดจากการสังเคราะห์ จากปิโตรเลียม มีลักษณะแข็ง ใสคล้ายแก้ว มีชื่อทางการค้า ได้แก่ Plexiglas, R-Cast, Perspex, Plazcryl, Limacryl, Acrylex หรือ รู้จักกันในชื่อว่า แก้วอะคริลิก (Acrylic glass) มีสมบัติโปร่งใส ไม่มีสี แข็งแต่เปราะ ดูดซับน้ำได้ต่ำ สึกกร่อนยาก ต้านทานรังสีอัตราไวโอเลตได้ดี ระเหยง่าย สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เอง จึงนิยมเติม

2.2.1 สมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

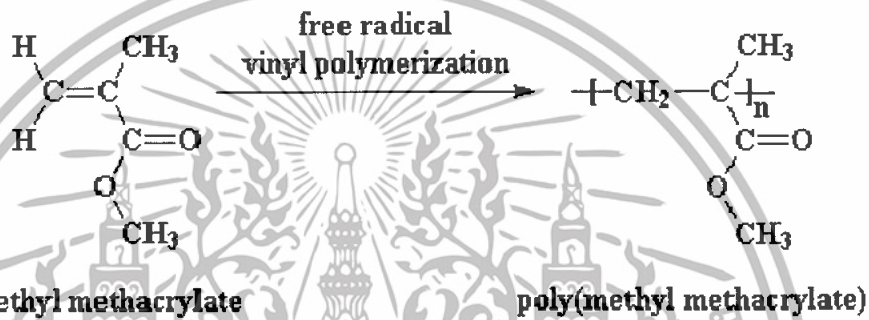
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

ชนิดของสมบัติ	หน่วยสากล	หน่วยอังกฤษ
ความหนาแน่น	1.15 - 1.19 g/cc	0.0415 - 0.043 lb/in^3
การดูดซึมน้ำ	0.3 - 2 %	0.3 - 2 %
ความแข็งพื้นผิว	63 – 97 Rockwell M	63 – 97 Rockwell M
ความแข็งแรงดึง	55 - 85 MPa	7980 - 12300 psi
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด	4 - 5 %	4 - 5 %
ค่ามอดูลัสแรงดึง	2.2 - 3.8 GPa	319 - 551 kpsi
ค่ามอดูลัสโค้งงอ	3 - 3.5 GPa	435 - 508 kpsi
ความแข็งแรงโค้งงอ	81 - 138 MPa	11700 - 20000 psi
ความแข็งแรงกด	100 - 117 MPa	14500 - 17000 psi
ค่ามอดูลัสแรงเฉือน	1.4 GPa	203 kpsi
ค่าการกระแทกแบบ Izod	0.12 - 0.2 J/cm	0.225 - 0.375 ft-lb/in
ความจุความร้อนเฉพาะ	1.46 - 1.47 J/g-°C	0.349 - 0.351 BTU/lb-°F
อุณหภูมิหลอมเหลว	130°C	266 °F
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว	100 - 105 °C	212 - 221 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมโดยใช้อนุมูลอิสระ

เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลตนั้นเป็นสารที่ไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติมได้ โดยปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยอาศัยความร้อน หรือแสงได้แต่เกิดขึ้นได้ช้า จึงนิยมใส่ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) เพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น สำหรับเมทิลเมทาคริเลตนั้น นิยมใช้ตัวริเริ่มประเภทอนุมูลอิสระ (Free-radical)เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide) ในการริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งแสดงเป็นสมการเคมีดังนี้



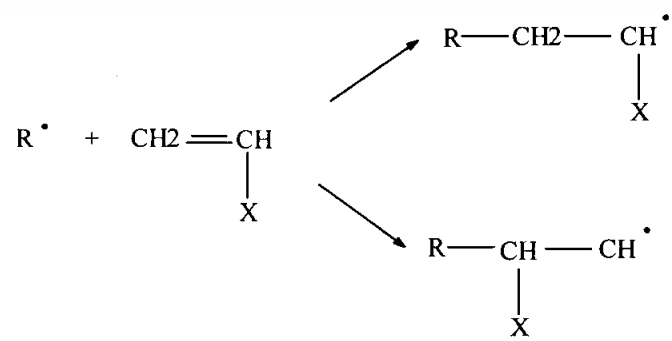
โดยสมการข้างต้นนี้ เกิดผ่านกลไกแบบลูกโซ่ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.ขั้นริเริ่มปฏิกิริยา

เป็นกระบวนการเกิดหมู่ว่องไว หรืออนุมูลอิสระของตัวริเริ่ม จากนั้นอนุมูลอิสระของตัวริเริ่มจะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในมอนอเมอร์ เกิดอนุมูลอิสระใหม่เป็นการตั้งต้นสายโซ่พอลิเมอร์

การเกิดอนุมูลของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในมอนอเมอร์

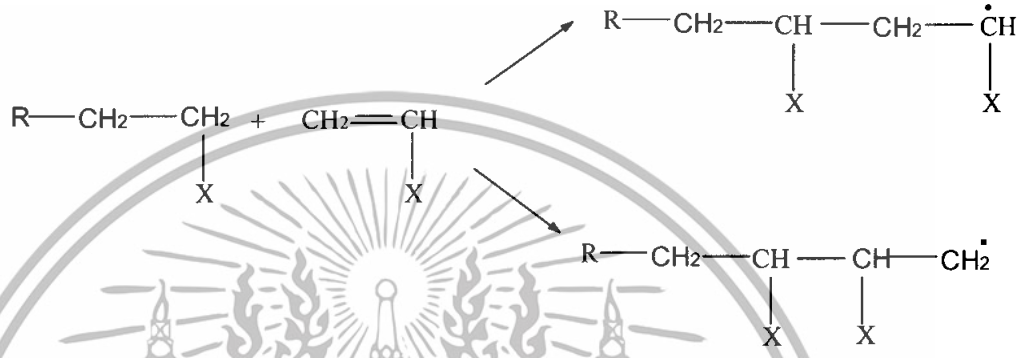


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ขั้นแผ่ขยายสายโซ่พอลิเมอร์

เป็นกระบวนการที่อนุมูลอิสระที่เกิดจากขั้นริเริ่มปฏิกิริยาเป็นตัวตั้งต้น ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ โมเลกุลที่ สองสามสี่ไปเรื่อยๆ โดยในกระบวนการดังกล่าวมอนอเมอร์สามารถเข้าทำปฏิกริยาได้สองแบบ คือ แบบหัวต่อหัว (Head to head) และแบบหัวต่อหาง (Head to tail) ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะของพอลิเมอร์ที่ต่างกัน

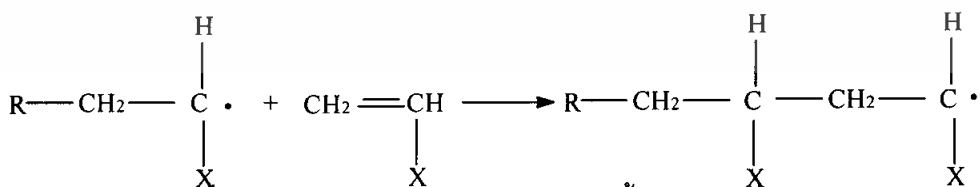
Head to tail addition



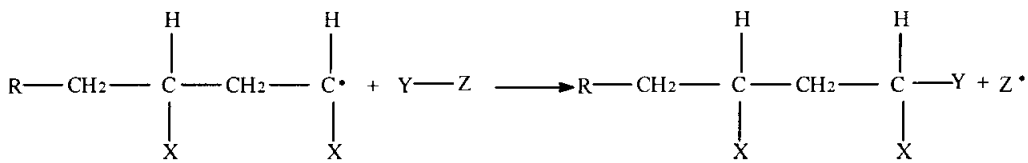
Head to head addition

นอกจากกระบวนการข้างต้นแล้วถ้าสายโซ่พอลิเมอร์ที่ว่องไวนั้นดึง ไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียง จะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ไม่ว่องไว และโมเลกุลที่สูญเสียอะตอมไฮโดรเจนไปนั้นจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปได้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การถ่ายโอนสายโซ่ โมเลกุลที่สูญเสียไฮโดรเจนให้กับพอลิเมอร์ที่กำลังเติบโตนั้นอาจจะเป็นมอนอเมอร์ ตัวทำละลาย หรืออาจไปทำลายสายโซ่โมเลกุลอื่น กระบวนการถ่ายโอนสายโซ่นี้ไม่ได้ทำให้สายโซ่ไม่ได้ทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงแต่ทำให้ค่าความยาวเฉลี่ยสายโซ่ ของพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากโมเลกุลที่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมไปนั้นอาจทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่เป็นโซ่กิ่งได้

การขยายสายโซ่ตามปกติ

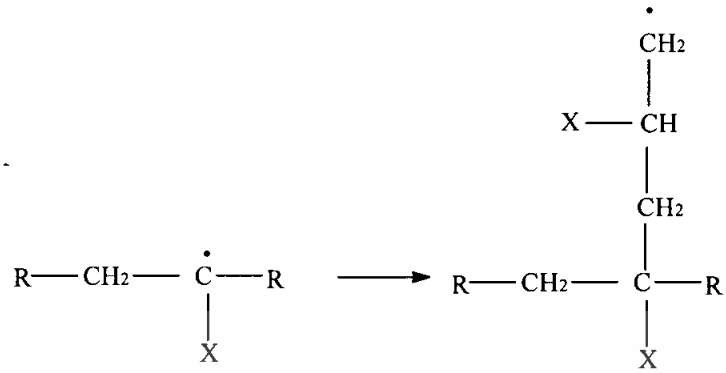


การขยายสายโซ่ที่มีการถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอมเกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

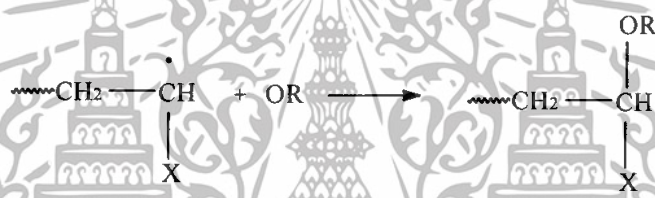
การเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่งจากสายโซ่ที่ถูกดึงไฮโดรเจนอะตอม



3.ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา

อนุมูลอิสระบนพอลิเมอร์ที่กำลังเติบโตจะสิ้นสุดหรือแผ่ขยายต่อไปมีหลายกรณี

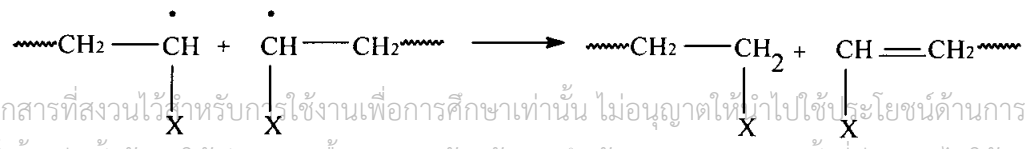
<u>กรณีที่1</u>อนุมูลอิสระบนพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งทำให้อัตราเร็วในขั้นริเริ่มปฏิกิริยาลดลง ไม่เป็นผลดีต่อการ สังเคราะห์ พอลิเมอร์



<u>กรณีที่2</u>อนุมูลอิสระของพอลิเมอร์2สายมาทำปฏิกิริยากันแบ่งเป็น2ชนิดได้แก่

ก.รวมกัน ปฏิกิริยาสิ้นแบบรวมกันนี้เกิดที่อุณหภูมิต่ำและจะพบในพอลิเมอร์ที่เกิดพันธะแบบ สายโซ่พอลิเมอร์ ที่สิ้นสุดปฏิกิริยาแบบนี้ จะมีน้ำหนักโมเลกุลมาก

ข. เกิดการถ่ายโอนอะตอมปกติ คือไฮโดรเจนอะตอมจากอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์หนึ่งแตกตัวไปสร้างพันธะกับอนุมูลอิสระของอีกพอลิเมอร์หนึ่ง พอลิเมอร์ที่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมไปจะเกิดหมู่ปลายสายโซ่ที่มีพันธะคู่ สายพอลิเมอร์ที่รับไฮโดรเจนอะตอมไปจะได้พอลิเมอร์ที่อิ่มตัว เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า ในกรณีสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบนี้ส่วนมากเกิดที่อุณหภูมิสูง น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์จะประมาณครึ่งหนึ่งของการสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบรวมตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากกรณีที่ได้กล่าวมาแล้วการสิ้นสุดปฏิกิริยายังสามารถเกิดจากการถ่ายโอนโปรตอนไปยัง สารละลาย หากใช้สารละลายที่ไม่เหมาะสม หรือถ่ายโอนไปยังตัวริเริ่มปฏิกิริยามี่เหลือเนื่องจากใส่มากเกินไป ซึ่งกรณีเหล่านี้ ควรมีการศึกษาให้ดีก่อนการสังเคราะห์พอลิเมอร์

มอนอเมอร์สำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติม

พอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการนี้มักเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่อิ่มตัวหรือมีพันธะคู่ในโมเลกุลเรียกว่า ไวนิลมอนอเมอร์

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาพอพอลิเมอไรเซชันแบบเติมโดยใช้อนุมูลอิสระ

สารเคมีที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ สำหรับกลไกการเกิดพอลิเมอร์ด้วยอนุมูลอิสระมีหลากหลายประเภทที่นิยมใช้ก็คือประเภท เปอร์ออกไซด์ โดยสารประเภทนี้สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้เมื่อรับพลังงานในรูปแบบต่างๆเช่น ความร้อน แสงอัตราไวโอเล็ต รังสีพลังงานสูงเช่นรังสีแกมมา หรือกระแสไฟฟ้า

2.2.3 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์นั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดปฏิกิริยาได้ 4 แบบ ดังนี้

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบบัลค์ (Bulk polymerization)

เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุด โดยทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ล้วนๆ เมื่อดำเนินปฏิกิริยาไปความหนืดของระบบจะสูงขึ้นเป็น 10000 เท่าของความหนืดของมอนอเมอร์และเกิดการคลายความร้อน ไม่นิยมนำไปใช้ผลิตพอลิเมอร์ที่ผ่านกลไกอนุมูลอิสระเนื่องจากควบคุมความหนืดและความร้อนได้ยาก แต่ยังใช้กับพอลิเมอร์บางประเภท เช่น เอทีลีน สไตรีน และเมทิลเมทาอะคริเลต เป็นต้น

2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution polymerization)

การเกิดพอลิเมอร์โดยเทคนิคแบบสารละลายนี้ สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านอุณหภูมิของเทคนิคแบบบัลค์ได้เนื่องจากตัวทำละลายจะทำหน้าที่เจือจางและส่งผ่านความร้อนในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ตัวทำละลายยังทำให้ความหนืดของสารในขณะเตรียมลดลงอย่างมาก การควบคุมความร้อนจึงทำได้ดีกว่าแบบบัลค์แต่หากเลือกใช้ตัวทำละลายไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาการถ่ายโอนสายโซ่ และตัวทำละลายยังอาจปนเปื้อนอยู่ในเนื้อพลาสติกทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป เทคนิคนี้สามารถใช้ได้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกปฏิกิริยาที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระ กลไกปฏิกิริยาที่ผ่านสารประกอบเชิงซ้อน หรือ กลไกปฏิกิริยาที่ผ่านสารประเภทไอออนิก ได้ดี

3. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย (Suspension polymerization)

เนื่องจากในเทคนิคแบบสารละลายนั้น สารละลายที่ใช้เป็นสารอินทรีย์ มีความเป็นพิษ และสามารถติดไฟได้ดี จึงได้มีการคิดวิธีที่จะหลีกเลี่ยงตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งคือวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย โดยวิธีนี้มอนอเมอร์จะแขวนลอยเป็นหยดเล็กๆมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-500 ไมโครเมตร ในของเหลวที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เช่น น้ำ หยดของพอลิเมอร์จะถูกปั่นกวนด้วยความเร็วสูง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารคงสภาพ(Dispersant) ด้วย โดยสารคงสภาพจะละลายปนอยู่ในชั้นน้ำเพื่อป้องกันการเกิดเจลของพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วิธีนี้ ควรเป็นมอนอเมอร์ ที่สามารถเกิดผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ และละลายน้ำได้น้อยมาก ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะกลมคล้ายไข่มุก การสังเคราะห์แบบนี้จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า Pearl polymerization

4. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization)

เทคนิคแบบอิมัลชันนี้ ได้รับการพัฒนามาจากเทคนิคแบบแขวนลอย โดยได้มีการเปลี่ยนให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นแบบที่ละลายในสารละลาย โดยที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ และมีการใช้สารลดแรงตึงผิว(surfactant) ในการทำให้เกิดอิมัลชันและช่วยทำให้มอนอเมอร์กระจายตัวในสารละลายได้ โดยในวิธีนี้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะแพร่เข้าไปทำกับหยดของมอนอเมอร์ที่ถูกล้อมด้วยสารลดแรงตึงผิว จึงทำให้ขนาดพอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็กมากคือ 0.05-5 ไมโครเมตร ในระบบแบบอิมัลชันนี้พอลิเมอร์ จะไม่ตกตะกอนทันทีที่หยุดปั่นกวน เพราะ ยังมีสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนอนุภาคของพอลิเมอร์อยู่ ทำให้พอลิเมอร์สามารถแขวนลอยต่อไปได้ จึงมีลักษณะคล้ายกาว บางครั้งอาจเรียกการสังเคราะห์แบบนี้ว่า Latex polymerization เทคนิคนี้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมมากโดยเฉพาะพอลิเมอร์ที่เกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วัสดุประกอบนาโน (Nano composite)[7]

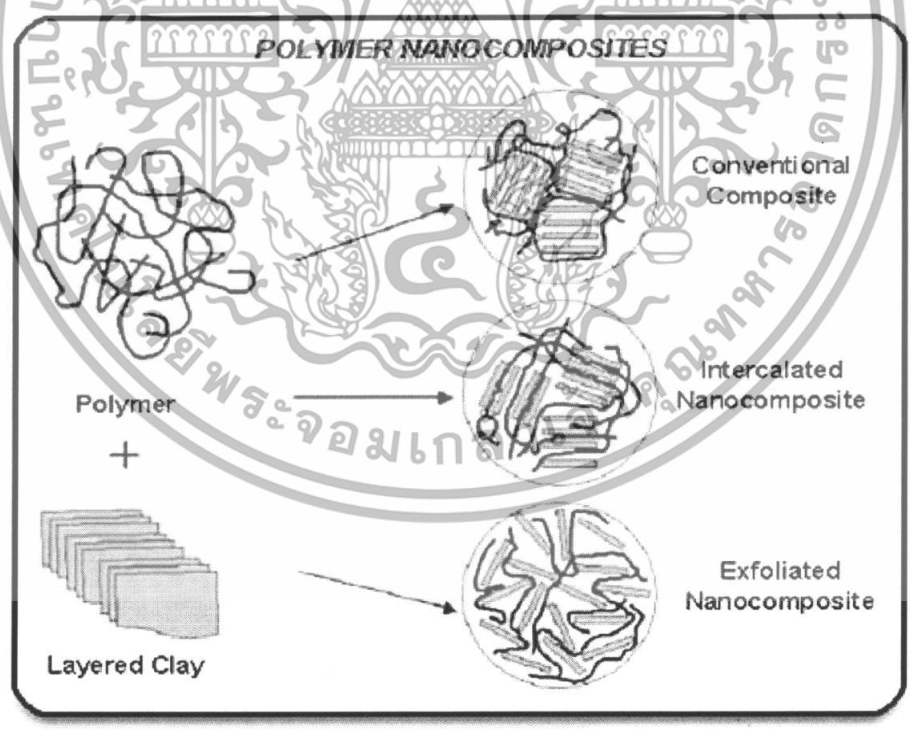
2.3.1 ประเภทของวัสดุประกอบ

วัสดุประกอบ (Composites) คือ วัสดุที่ประกอบด้วย วัตถุดิบ ตั้งแต่ 2 ชนิด มาผสมกันโดยใช้แรงเชิงกล ซึ่งจะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี โดยวัสดุประกอบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 วัฏภาค ได้แก่

1. วัฏภาคหลัก (Matrix) ทำหน้าที่เป็น เนื้อของวัสดุ ทำให้วัสดุคงรูปร่าง

2. วัฏภาคเสริมแรง (Reinforced) ทำหน้าที่เสริมแรง โดยจะกระจายอยู่ทั่ววัฏภาคหลัก ถ้าส่วนนี้ไม่มีการเสริมแรงจะเรียกว่า วัฏภาคกระจายตัว

วัสดุประกอบนาโน (Nano composites) คือวัสดุประกอบที่ถูกปรับปรุงคุณภาพโดยการทำให้วัฏภาคเสริมแรงนั้นมีขนาดเล็กระดับนาโน เช่น วัสดุประเภทพอลิเมอร์ที่มีเคลย์เป็นวัฏภาคเสริมแรง



รูปที่ 2.4 ลักษณะของวัสดุประกอบนาโนประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 **วัสดุประกอบแบบดั้งเดิม** (Conventional composites) [2]

วัสดุประกอบแบบดั้งเดิม เป็นวัสดุประกอบที่ยังไม่ถูกปรับปรุงคุณภาพ ยังไม่จัดว่าเป็นวัสดุประกอบนาโน เนื่องจากโมเลกุลของเคลย์ไม่ได้แยกออกจากกัน และสายโซ่พอลิเมอร์เพียงแค่ไปล้อมรอบเคลย์เท่านั้น โครงสร้างของวัสดุนี้จึงอยู่ในระดับไมครอน และยังไม่ถือว่าวัสดุประเภทนี้เป็นวัสดุประกอบนาโน

2.3.1.2 **วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว** (Intercalated nanocomposites)

วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว เกิดจากการที่สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เข้าไปแทรกตัวระหว่างชั้นเคลย์อย่างหลวมๆ แต่ชั้นของซิลิเกตในเคลย์ยังไม่แยกออกจากกัน วัสดุประเภทนี้ยังมีสมบัติเชิงกลไม่ดีนัก เนื่องจาก สายโซ่ของพอลิเมอร์ไม่มีความอิสระถูกเบียดด้วยชั้นของเคลย์ ทำให้ยังไม่สารถรับแรงเชิงกลได้ดีเท่าที่ควร

2.3.1.3 **วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง** (Exfoliated nanocomposite)

วัสดุประกอบนาโนชนิดแตกกระเจิง เกิดจากการที่สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เข้าไปทำลายชั้นซิลิเกตจนแตกกระเจิง ขนาดที่ชั้นซิลิเกตแต่ละชั้นอยู่ห่างกันอย่างชัดเจน วัสดุประเภทนี้จะสามารถรับแรงได้ดีนอกจากนี้ยังมีผลเรื่องต้นทุนการผลิตอีกเนื่องจากเคลย์จำนวนเพียงเล็กน้อยก็จะสามาถแตกตัวให้ชั้นซิลิเกตเป็นจำนวนมาก และกระจายตัวอย่างทั่วถึง

2.3.2**การเตรียมวัสดุประกอบนาโน**

วัสดุประกอบนาโน จำเป็นจะต้องมีวิธีการเตรียมเฉพาะโดยสามารถแยกได้ 3 วิธีดังนี้

2.3.2.1**การเตรียมแบบสารละลาย** (Solution casting)

เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์มาทำให้สายโซ่เคลื่อนที่เข้าไปแทรก ระหว่างชั้นของเคลย์ จากนั้นระเหยตัวทำละลายออก โดยเทคนิคนี้จะมีโอกาสเกิดวัสดุประเภทแตกกระเจิงจำนวนมาก เนื่องจากไม่เกิดกลุ่มก้อน (Agglomeration) ของชั้นเคลย์ เทคนิคนี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียคือหาตัวทำละลายที่เหมาะสมยาก สารละลายตกค้างในชิ้นงาน มีการตกตะกอนของชั้นเคลย์ หรือการตกผลึกของพอลิเมอร์ก่อนเวลา

2.3.2.2 การเตรียมแบบหลอมเหลว (Melt blending)

การเตรียมแบบหลอมละลายนี้เป็นเทคนิคที่ผสมเคลย์กับพอลิเมอร์ โดยให้ความร้อนจนทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว สายโซ่ของพอลิเมอร์ที่เกิดการหลอมเหลวนั้นจะค่อยๆเคลื่อนเข้าไปแทรกตัว ระหว่างชั้นเคลย์ โดยใช้แรงเฉือนจากเครื่องมือ เช่นเครื่องผสมเกลี่ยวหนอนเดียวซึ่งเทคนิคนี้มักจะได้วัสดุประกอบ ประเภทแทรกตัวเท่านั้นมักไม่เกิด วัสดุประเภทแตกกระเจิง เนื่องจากแรงเฉือนจากการไหลมีค่าไม่เพียงพอในการทำให้ชั้นเคลย์แตกจากกันอย่างสิ้นเชิง

2.3.2.3 การเตรียมโดยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นระหว่างการขึ้นรูป (In-situ polymerization)

การเตรียมแบบเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายในชิ้นงานนี้เป็นเทคนิคที่เริ่มจากการทำให้เคลย์บวมตัวอยู่ในมอนอเมอร์ก่อน จากนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นพอลิเมอร์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อาจจะมาจากการริเริ่มด้วยความร้อน รังสี หรือ อนุมูลอิสระก็ได้ การเตรียมวัสดุประเภทนี้ก็มักจะมีปัญหาในเรื่องการบวมตัวของเคลย์ในมอนอเมอร์ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดย การเตรียมมอนอเมอร์ส่วนหนึ่ง ให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์ก่อน เนื่องจาก เคลย์สามารถบวมตัวได้ดีในสภาวะที่มีความหนืดที่ค่อนข้างมาก แต่ทั้งนี้ก็ควรศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมอนอเมอร์กับพอลิเมอร์ด้วย

2.3.3 สมบัติของวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์และเคลย์

1.มีความใส เพราะอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรซึ่งเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง UV-Visible มากจึงทำให้ไม่เกิดการกระเจิงแสง ไม่เกิดความขุ่น โปร่งใส

2.มีความแข็งแรงมอดูลัสที่สูงขึ้น เนื่องจากมีการมี เคลย์ช่วยในการรับแรง

3.มีสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากมีโครงสร้างผลึกที่หนาแน่นและมี Aspect ratio สูงทั้งสองมิติ จึงเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของก๊าซ

4.ทนความร้อนได้สูงขึ้น เนื่องจากชั้นซิลิเกตในเคลย์เป็นฉนวนที่ดี เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดขี้เถ้าขึ้นมาคลุมผิวด้านบน ทำให้ไฟดับได้เร็วขึ้น ซึ่งยิ่งมี เคลย์มากขึ้นเท่าไรก็จะยิ่งสร้างขี้เถ้าขึ้นมาคลุมมากเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเหล่านี้จะเห็นได้ชัดเจน แม้มีส่วนผสมของเคลย์เพียง 1% จึงเป็นแนวทางในการพัฒนา วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wen-Fu Lee และ Yung-Chu Chen [8] ได้ทำการศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุประกอบนาโนแบบแทรกสอด ระหว่างไมกา (mica) กับพอลิโซเดียมอะคริเลตและเมทิลีน-บิส-

อะคริลาไมด์ (N, N-methylene-bis-acrylamide) โดยใช้วิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างการขึ้นรูปซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้มีการปรับปรุงโครงสร้างของไมกาด้วยควอเทอนารีอัลคิล แอมโมเนียม (Quaternary alkyl ammonium) เพื่อทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของไมกาห่างกันมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถแทรกสอดเข้าไปได้ง่ายขึ้น จากนั้นนำไปผสมกับโซเดียมอะคริเลตมอนอเมอร์ (Sodium acrylate monomer) แล้วทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน สำหรับเมทิลีน-บิส-อะคริลาไมด์นั้น ใช้เป็นสารช่วยผสมระหว่างไมกาที่ปรับปรุงโครงสร้างกับพอลิโซเดียมอะคริเลต จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FTIR XRD และทดสอบการดูดซึมน้ำ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จาก FTIR แสดงถึงตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับไมกา ผลจาก XRDแสดงถึงระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของไมกาซึ่งชนิดที่ใส่สารช่วยผสม จะได้ค่ามุมเลี้ยวเบนที่น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วัสดุประกอบนั้นมีชั้นไมกาแยกออกจากกันมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับผลจากการทดลองการดูดซึมน้ำ

Wei'an Zhang,Yu Li,Luo WeiและYue'eFang[9]ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนจาก PMMA กับ Na^{+}-MMT ที่ดัดแปลงโครงสร้างด้วยCetyltrimethylammonium bromide (CTAB) การเตรียมวัสดุประกอบนาโนเตรียมโดยวิธี In-situ intercalative polymerization ด้วยการฉายรังสีแรมมา ซึ่งในขั้นตอนแรกนำ CTAB-MMT 3,5 และ10% โดยน้ำหนัก มากระจายตัวในสารผสมระหว่าง MMAและโทลูอีน ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารแขวนลอยที่ได้เติมลงใน reactor vessel แล้วทำการฉายรังสีแกมมา ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ได้มาเทบนแม่พิมพ์กระจกและทิ้งให้ตัวทำละลายระเหยที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลจากเทคนิค XRD พบว่าระยะห่างของชั้นซิลิเกตของวัสดุประกอบนาโน PMMA/CTAB-MMT (3.47 nm) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ CTAB-MMT (2.81 nm) แสดงว่าสายโซ่พอลิเมอร์สามารถแทรกเข้าไประหว่างชั้นซิลิเกตได้ และจากเทคนิค high-resolution transmission electron microscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(HRTEM) พบว่าชั้นซิลิเกตจะมีการจัดเรียงตัวสลับกับสายโซ่พอลิเมอร์ แสดงว่าเกิดวัสดุประกอบนาโนแบบ intercalated ซึ่งแทรกสอดกับผลที่ได้จาก XRD จากเทคนิค DSC พบว่าวัสดุประกอบนาโนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) สูงกว่า PMMA บริสุทธิ์ และจากเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 172°C เหมือนกัน แต่อัตราเร็วในการสลายตัวของวัสดุประกอบนาโนจะช้ากว่า PMMA บริสุทธิ์ แสดงว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น

Paulo Meneghetti และ Syed Qutubuddin [10] ได้ทำการศึกษาการเตรียมวัสดุประกอบนาโนจาก PMMAกับMMT ที่ดัดแปลงโครงสร้างด้วย octadecyl-dimethyl (C18DMB) โดยการเตรียมวัสดุประกอบนาโนเตรียมโดยวิธี In-situ polymerization และ Emulsion polymerization การทำปฏิกิริยาแบบ In-situ polymerization ทำโดยการนำ organaphilic clay ปริมาณ 10%โดยน้ำหนัก มากระจายตัวใน MMA และผสมด้วยเครื่อง vortex แล้วนำไปให้แรงด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืนให้บวมตัว เติมตัวริเริ่มคือ 2,2-azobisisobutyronitrile (AIBN) ปริมาณ 0.1% โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในอ่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง สำหรับการทำปฏิกิริยาแบบ Emulsion polymerization ทำโดยนำ MMT มาบวมตัวในน้ำปราศจากไอออน แล้วเติม C18DMB ลงไปพร้อมทั้งทำการปั่นกวน จากนั้นนำมาเติมลงใน MMA ที่เติม AIBN ปริมาณ 0.1% โดยน้ำหนัก ผสมและทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในอ่างน้ำมันเช่นเดียวกับวิธีแรก แต่ใช้อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภาพจากเทคนิค TEM พบว่าทั้งสองวิธี ทำให้เกิดวัสดุประกอบนาโนแบบ intercalated แต่แบบ Emulsion polymerization มีบางส่วนเกิดแบบ exfoliated ด้วย จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมแบบ Emulsion polymerization มีค่าสูงกว่า PMMA บริสุทธิ์ 18 °C และมีค่าสูงกว่าวัสดุประกอบนาโนแบบ In-situ polymerization อยู่ 10 °C การศึกษาถึงอุณหภูมิการสลายตัวจากเทคนิค TGA พบว่าวัสดุประกอบนาโนมีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น โดยมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้น จากเทคนิค Dynamic Mechanical Thermal Analyis (DMTA) พบว่าวัสดุประกอบแบบ exfoliated (2.84 GPa) มีค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าแบบ intercalated (2.50 GPa) และ PMMA บริสุทธิ์ (1.81 GPa)

Huaili Qin, Shimin Zhang, Chungui Zhao และ Mingshu Yang [11] ได้ทำการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์หน่วงการติดไฟ โดยมุ่งเน้นวัสดุประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับนาโนเคลย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวัสดุประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเคลย์ประเภทต่างๆ โดยได้ทำการศึกษา พฤติกรรมการเผาไหม้และการเสื่อมสลาย จากปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107865

ออกซิเดชันเนื่องจากความร้อน (Thermal-Oxidative) และอิทธิพลของชนิดเคลย์ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยพบว่าอัตราการลดลงของอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat release rate, HRR) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดความล่าช้าของการเสื่อมสลายจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากความร้อนของวัสดุประกอบและยังพบอีกว่าส่วนที่มีความว่องไว (Active sites) ของชั้นเคลย์สามารถเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายตัว และเกิดการเผาไหม้ของวัสดุประกอบในช่วงแรกอีกด้วย อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างถ่านขึ้นมาปกคลุมชิ้นงานทำให้ไม่มีออกซิเจนป้องกันการลุกลามของไฟ นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกิริยากำจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation) และเกิดการเชื่อมโยงสารโซ่พอลิเมอร์ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1.เมทิลเมทาคริเลต มอนอเมอร์ (Methyl methacrylate monomer) น้ำหนักโมเลกุล 100.12 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 0.963 กรัมต่อมิลลิลิตร บริษัท Aldrich เกรดวิเคราะห์

2.อะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) น้ำหนักโมเลกุล 72.06 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.051 กรัมต่อมิลลิลิตร บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์

3.เมทานอล (methanol) บริษัท CARLO ERBA เกรดการค้า

4.มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorironite, MMT) บริษัท Thai Nippon Chemical Industry

5.โทลูอีน (Tolulene) บริษัท Fisher Scientific เกรดวิเคราะห์

6.เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์

7.โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์

8.โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์

9.แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Sodium sulfate, Na_2SO_4) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์

10.เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran, THF) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractrometer, XRD) บริษัท Bruker AG รุ่น

D8 Advance

2.เครื่องวิเคราะห์ เทอร์โมกราวิเมทริก (Thermo gravimetric analyzer, TGA) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

3.เครื่องอัลตราไวโอเลต/วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(UV-Visible spectrometer,) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Lambda 900

4.เครื่องทดสอบอเนกประสงค์(Universal testing machine) บริษัท LLOYD Instument รุ่น LR5K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.เครื่องเจลเพอมิเอชั่นโครมาโทกราฟี (Gel permeation chromatography, GPC) บริษัท Milipore รุ่น Water 150-CV

6.มอเตอร์พร้อมใบพัดปั่นกวน บริษัท IKA LABORTECHNIK STAUFAN รุ่น EURO-ST B

7.เครื่องอัลตร้าโซนิค(Ultrasonic centrifuge machine) บริษัท Fisher Scientific World รุ่น UNTRASONIK

8.เครื่องมือขึ้นรูปแบบกดอัด(Compression molding)

9.เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ทศนิยม 4ตำแหน่ง บริษัท Denver Instument รุ่น TC-254

10.ตู้อบสารเคมี (Oven) บริษัท Fisher Scientific รุ่น Isotemp

11.อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

12.เครื่องให้ความร้อนชนิดแผ่น (Hot plate)

13.แผ่นใสสำหรับถ่ายเอกสาร

14. แม่แบบเหล็ก

15.ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว

16.เวอร์เนีย

17.ไมโครมิเตอร์

18.เดซิเคเตอร์

19.โกร่งบดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมวัสดุประกอบ

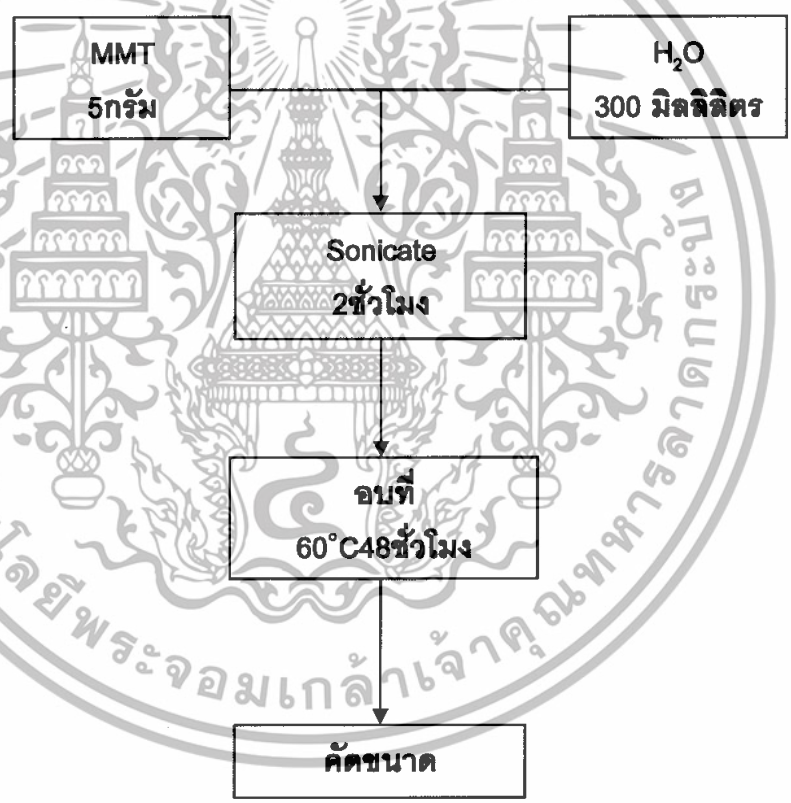
3.3.1 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์

1.เติม มอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) 5 กรัม ลงในน้ำ 3000 มิลลิลิตร

2.นำสารไปใส่ในเครื่องอัตราโซนิค เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อทำให้อนุภาคของเคลย์ แยกออกจากกัน

3.อบเคลย์ให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4.ร่อนเคลย์เพื่อคัดขนาด



รูปที่ 3.1 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสกัดตัวยับยั้งออกจากมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต

1. เท มอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (MMA) 10 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10%w/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก เขย่าสารทั้งสองให้ผสมกัน รอจนแยกชั้น ซึ่งชั้นโซเดียมไฮดรอกไซด์จะอยู่ด้านล่าง
2. ไขชั้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ทิ้ง แล้วเทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10%w/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปอีกครั้ง เขย่าให้สารทั้งสองผสมกัน
3. รอจนแยกชั้น จึงไขชั้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งอยู่ด้านล่างทิ้ง
4. ล้างมอนอเมอร์ เมทิลเมทาคริเลตที่อยู่ในกรวยแยกด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หมด คือ น้ำที่ใช้ล้างไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากแดงเป็นน้ำเงิน
5. เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อิ่มตัวลงในกรวยแยก แล้วเขย่าให้สารทั้งสองผสมกัน รอจนแยกชั้น จากนั้นไขสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งอยู่ด้านล่างทิ้ง ทำซ้ำ 2ครั้ง
6. นำมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต ที่สกัดตัวยับยั้งแล้ว มาเติมสารดูดความชื้น แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)
7. กรองโซเดียมซัลเฟตออกแล้วนำมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต ที่สกัดตัวยับยั้งแล้วใส่ขวดนำไปแช่ตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

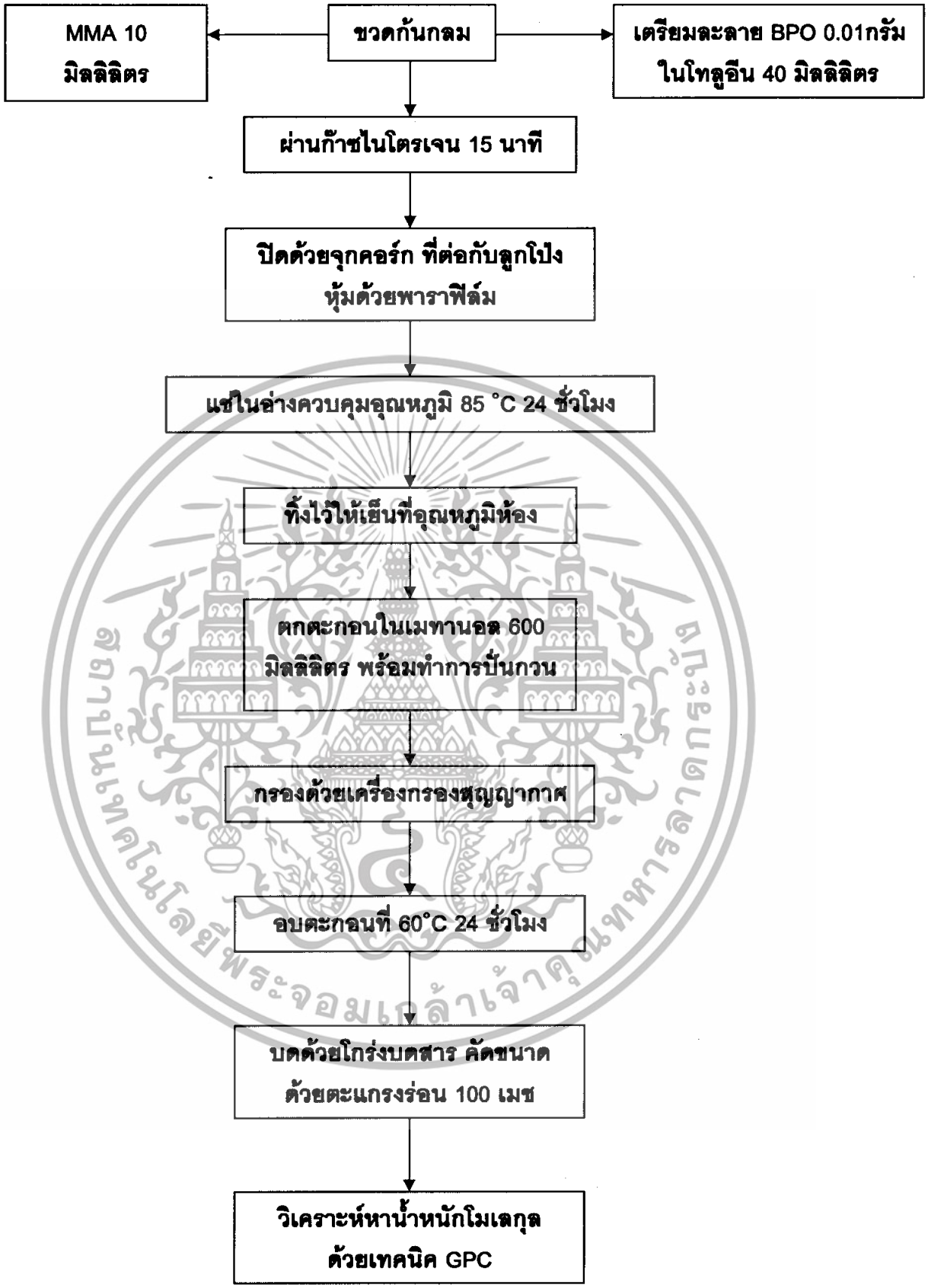
รูปที่ 3.2 การสกัดตัวยับยั้งออกจากมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยเทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย

1. เทมอนอเมอร์ เมทิลเมทาคริเลต ที่สกัดตัวยับยั้งแล้ว ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ชั่งเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BPO) น้ำหนัก 0.01กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ตวงโทลูอีน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แล้วเทลงในขวดก้นกลมที่มีมอนอเมอร์อยู่
4. ผ่านก๊าซไนโตรเจนในสารละลายผสมนาน 15 นาที ปิดด้วยจุกคอร์กที่ต่อกับลูกโป่งที่บรรจุก๊าซไนโตรเจนทันที แล้วหุ้มด้วยพาราฟิล์มให้สนิท
5. นำขวดก้นกลมแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. นำขวดก้นกลมออกจากอ่างควบคุม แล้วตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
7. นำพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้มาหยดลงในเมทานอลอย่างช้าๆพร้อมทั้งทำการปั่นกวนอย่างรุนแรงเพื่อตกตะกอนพอลิเมทิลเมทาคริเลต
8. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วเทสารละลายด้านบนออก
9. นำมากรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วล้างตะกอนด้วยเมทานอล
10. เกลี่ยพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้มีกระจายตัว ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1วัน
11. นำมาบดด้วยโกร่งบดสารจนได้ตะกอนละเอียด
12. นำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
13. นำมาวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักของพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยเทคนิค เจลเพอมิเอชันโครโมโตกราฟี (GPC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนงานการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัวของเคลย์ในเมทิลเมทาคริเลต

1.ชั่งสารตาม ตารางที่ 3.1 ลงในหลอดทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตารางเตรียมสารเคมีสำหรับทดสอบการบวมตัว

ตัวอย่าง	เมทิลเมทาคริเลต มอนอเมอร์ (g)	กรดอะคริลิก (g)	มอนต์มอริลโลไนต์ (g)
1	-	1.00	0.01
2	0.30	0.70	0.01
3	0.50	0.50	0.01
4	0.70	0.30	0.01
5	0.80	0.20	0.01
6	1.00	-	0.01

2.นำสารที่ได้มาปิดด้วยพาราฟิล์ม แล้วนำไปใส่ในเครื่องอัลตร้าโซนิค 30 นาที

3.สังเกตลักษณะการกระจายตัวของเคลย์

4.หาอัตราส่วนที่ดีที่สุดไปใช้ในการทดลองต่อไป

รูปที่ 3.4 แผนผังการทดสอบสมบัติการกระจายตัวของเคลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเตรียมวัสดุประกอบนาโน

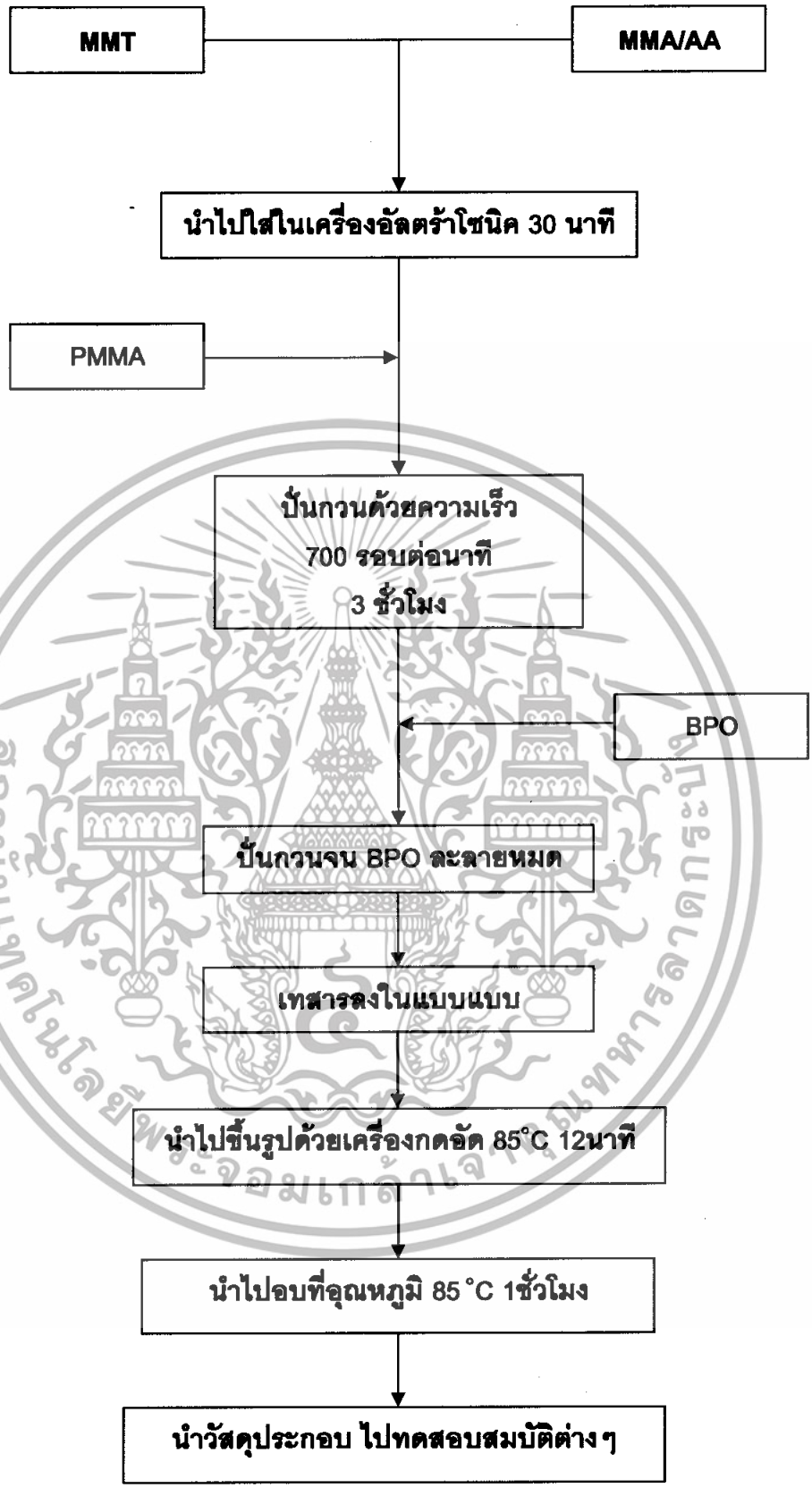
1. ชั่ง MMA AA และ MMT ตามตารางที่ 3.2 แล้วผสมให้เข้ากัน
2. นำสารในขั้นตอนที่ 1 ไปใส่ในเครื่อง อัลตราโซนิค 30 นาที
3. เติม PMMA 30% โดยน้ำหนักเทียบกับมอนอเมอร์ลงไปในสารผสม
4. นำไปปั่นกวนด้วยใบพัดความเร็ว 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
5. เติมเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BPO) 3% โดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณมอนอเมอร์ ลงไปในสารผสม
6. ทำการปั่นกวนต่อจนเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ละลายหมด
7. นำสารที่เตรียมได้ไปเทในแม่แบบ จากแผ่นใสที่เตรียมไว้ จากนั้นประกบด้วยแม่แบบเหล็ก
8. นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที
9. นำวัสดุประกอบที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
10. นำวัสดุประกอบไปทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

ตารางที่ 3.2 ตารางเตรียมวัสดุประกอบนาโน

ชิ้นงาน	PMMA (g)	MMA (g)	AA (g)	MMT (g)	BPO (g)
M100C0.5*	9	21	0	0.15	0.63
M100C1*	9	21	0	0.30	0.63
M100C2*	9	21	0	0.60	0.63
M95C1*	9	19.5	1.5	0.15	0.63
M90C1*	9	18	3	0.15	0.63
M85C1*	9	16.5	4.5	0.15	0.63
M100*	9	21	0	0	0.63
M95*	9	19.5	1.5	0	0.63
M90*	9	18	3	0	0.63
M85*	9	16.5	4.5	0	0.63

*** หมายเหตุ** มีการใช้อ้างอิงชื่อชิ้นงานใน บทที่ 4 บทที่5 และภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การเตรียมวัสดุประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุประกอบ

3.4.1 การทดสอบการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต/วิสิเบิล

นำแผ่นชิ้นงานมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 × 1 นิ้วแล้วนำมาทดสอบการดูดกลืนแสงรังสีอัลตราไวโอเลต/วิสิเบิล โดยทำการสแกนในช่วงความยาวคลื่น 190-800 นาโนเมตร

3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

นำแผ่นวัสดุประกอบนาโนมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 75x4 mm แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

ขนาดของ Load Cell ที่ใช้ : 100 N

ความเร็วในการดึง :100 mm/min

ระยะจับชิ้นงาน (Gauge Length) : 20 mm

โดยทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

3.4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโน

นำแผ่นวัสดุประกอบนาโนมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 40x40 mm นำไปทดสอบด้วยเครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractrometer, XRD) โดยใช้สภาวะการทดลองดังนี้

ช่วงมุม 2Θ ที่ใช้วิเคราะห์ : 1°-25°

Step size : 0.040°

Step time : 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำชิ้นงานปริมาณ20-30 mg นำไปทดสอบเครื่องวิเคราะห์ เทอร์โมกราวิเมทริก (Thermo gravimetric analyzer, TGA)

บริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้	: 50-800°C
อัตราการให้ความร้อน	: 10°C/min
อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน	: 40 cm^3/ min

3.4.5 การทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์

นำชิ้นงาน 15 mg ละลายใน THF 5 ml นำไปทดสอบด้วย เครื่องเจลเพอมิเอชั่นโครมาโทกราฟี (Gel permeation chromatography, GPC)

คอลัมน์	: PL Gel 10 µm Mixer B 2 Columns
	ขนาด 7.8 × 300 µm
	วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลในช่วง 500-10,000,000
	ใช้พอลิสไตรีน (PS) เป็นสารมาตรฐาน
สารละลาย	: เตตระไฮโดรฟูแรน (THF)
อุณหภูมิคอลัมน์	: 30°C
อุณหภูมิ Injector	: 30°C
อุณหภูมิ Sovent/pump	: 30°C
อัตราการไหล	: 1.0 ml/min
ปริมาณในการฉีด	: 10 µl
เวลาในการวิเคราะห์	: 22 min
ดีเทคเตอร์	: Refractive index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของ PMMA ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายด้วยเทคนิค GPC

PMMAที่สังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายมีเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 47-57 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำ PMMA ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล พบว่ามีค่าดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของ PMMA และ P(MMA-*co*-AA)

ตัวอย่าง	M_n (g/mol)	M_w (g/mol)	MWD
PMMA*	61,300	123,400	2.01
M100	57,900	229,300	3.96
M95	45,900	207,500	4.51
M90	57,100	315,100	5.51
M85	47,400	521,200	10.98

* หมายเหตุ สังเคราะห์จาก solution polymerization

จากผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักโมเลกุล พบว่าเมื่อ P(MMA-*co*-AA) มีปริมาณของ AA เพิ่มขึ้น จะได้พอลิเมอร์ที่มีค่า MWD กว้าง อาจเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของมอนอเมอร์ AA น้อยกว่า MMA ทำให้ความเข้มข้นโดยโมลของตัวริเริ่ม (BPO) ในระบบน้อยลง เมื่อปริมาณ AA มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มของน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ยาวขึ้นสำหรับค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ที่มีค่าสูงขึ้นในสูตร PMMA 100,95,90 และ 85 เนื่องจากในระบบดังกล่าวมีการเติม PMMA ในสูตร 30% โดยน้ำหนัก เพื่อปรับความหนืดและลดปัญหาการหดตัวและการคายความร้อนขณะพอลิเมอรไรเซชันในระหว่างการขึ้นรูป สำหรับค่า MWD ที่กว้างขึ้นเป็นปริมาณ AA มากขึ้นอาจเนื่องจากความว่องไวของปฏิกิริยาที่ไม่เท่ากันระหว่าง MMA และ AA โดย AA น่าจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า เมื่อปริมาณ AA มีค่ามากขึ้น จึงส่งผลให้ MWD มีค่ากว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายกับพอลิเมอร์จากการขึ้นรูปพบว่า MWD ของพอลิเมอร์จากการขึ้นรูป จะมีมากกว่าพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย เนื่องจาก ในชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมีการพอลิเมอไรเซชั่นสองครั้ง ทำให้มีตัวริเริ่มปฏิกิริยาในระบบ มากขึ้น สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สั้นลง และมีจำนวนสายโซ่มากขึ้น

4.2 ผลทดสอบการศึกษาการบวมตัวของ MMT ในมอนอเมอร์

ในการเตรียมวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิคพอลิเมอไรซ์ขณะขึ้นรูป จะต้องทำในอัตราส่วนของมอนอเมอร์ผสมที่เหมาะสม มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับ MMT เพื่อที่จะทำให้ MMT เกิดการบวมตัวและมีการกระจายตัวที่ดี และสามารถแขวนลอยอยู่ได้นานจนกระทั่ง มอนอเมอร์ผสมเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นชิ้นงานที่คงรูปได้ โดยมอนอเมอร์ผสมนี้จะแทรกเข้าไปใน MMT ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างชั้นของ MMT ขยายเพิ่มขึ้น ซึ่งมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ MMA และ AA โดยมีอัตราส่วนและผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการบวมตัวของ MMT ในมอนอเมอร์

อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)		ผลการทดสอบ
MMA	AA	
0	100	บวมตัวเล็กน้อย ส่วนใหญ่ตกตะกอน
30	70	บวมตัวเล็กน้อย ส่วนใหญ่ตกตะกอน
50	50	บวมตัวปานกลาง มีบางส่วนตกตะกอน
70	30	บวมตัวปานกลาง มีบางส่วนตกตะกอน
80	20	บวมตัวดี มีบางส่วนตกตะกอน
100	0	บวมตัวดี มีบางส่วนตกตะกอน

จากผลการทดสอบการบวมตัวของ MMT ในมอนอเมอร์ผสม พบว่าอัตราส่วนของ MMA:AA เท่ากับ 80:20 และ 100:0 โดยน้ำหนักสามารถทำให้ MMT บวมตัวและกระจายตัวได้ดีที่สุด ส่วนที่อัตราส่วนอื่นๆพบว่ามีบางส่วนไม่บวมตัว ซึ่งสังเกตได้ว่าที่อัตราส่วนของ AA มากกว่า MMA นั้น MMT มีการบวมตัวและการกระจายตัวที่ไม่ดี แต่จะบวมตัวและกระจายตัวได้ดีที่อัตราส่วนของ MMAมากกว่า AA เนื่องจาก MMT มีขั้วใกล้เคียงใกล้เคียงกับ MMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

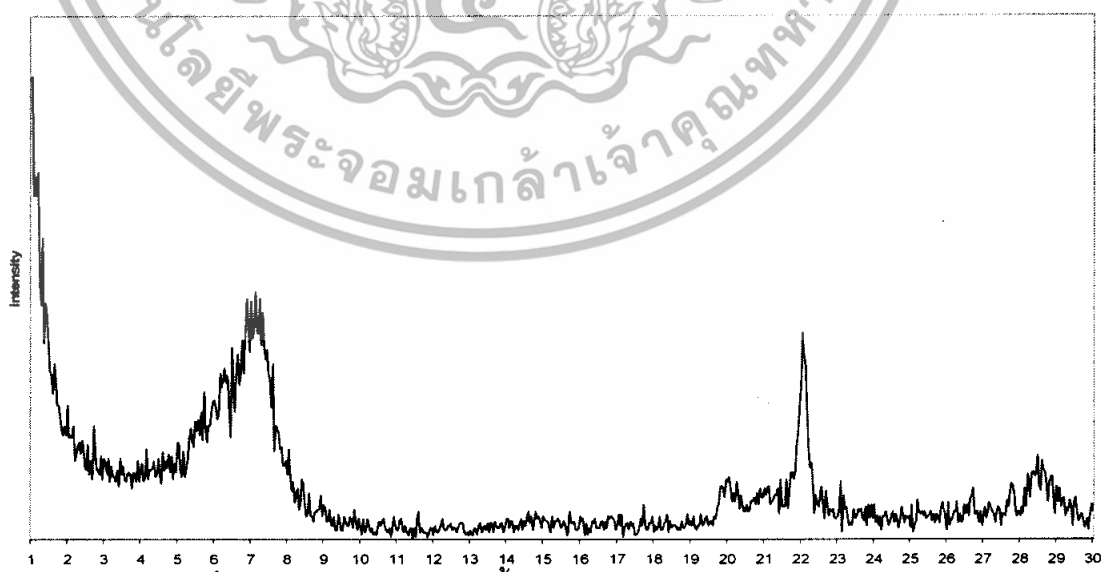
มากกว่า AA แต่ยังมีปัญหาเรื่องความหนืดของระบบในขั้นเริ่มต้นที่น้อยเกินไปทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวของ MMT ในชั้นของสารละลายมอนอเมอร์ผสมน้อย จึงมีการผสม PMMA ในอัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ซึ่งจะช่วยให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้การกระจายตัวของ MMT ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการหดตัวและการคายความร้อนของชิ้นงานขณะเกิดพอลิเมอไรเซชัน ทำให้สามารถขึ้นรูปด้วยการกดอัดขึ้นรูปได้ดีขึ้น

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มีการปรับอัตราส่วน MMA:AA เป็น 85:15 90:10 และ 95:5 เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปและทดสอบต่อไป แต่เนื่องจาก ในอัตราส่วน 80:20 นั้นมีความเปราะมาก เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานเกิดการแตกหัก จึงไม่ได้นำพอลิเมอร์ผสมในสูตรนี้ มาทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และทดสอบสมบัติ โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 3.2

4.3 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ MMT พบว่า MMT ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 7.12 (รูปที่ 4.1) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ได้จากสมการ $n\lambda = 2d \sin\theta$ ได้ระยะห่างระหว่างชั้นเท่ากับ 1.24 nm

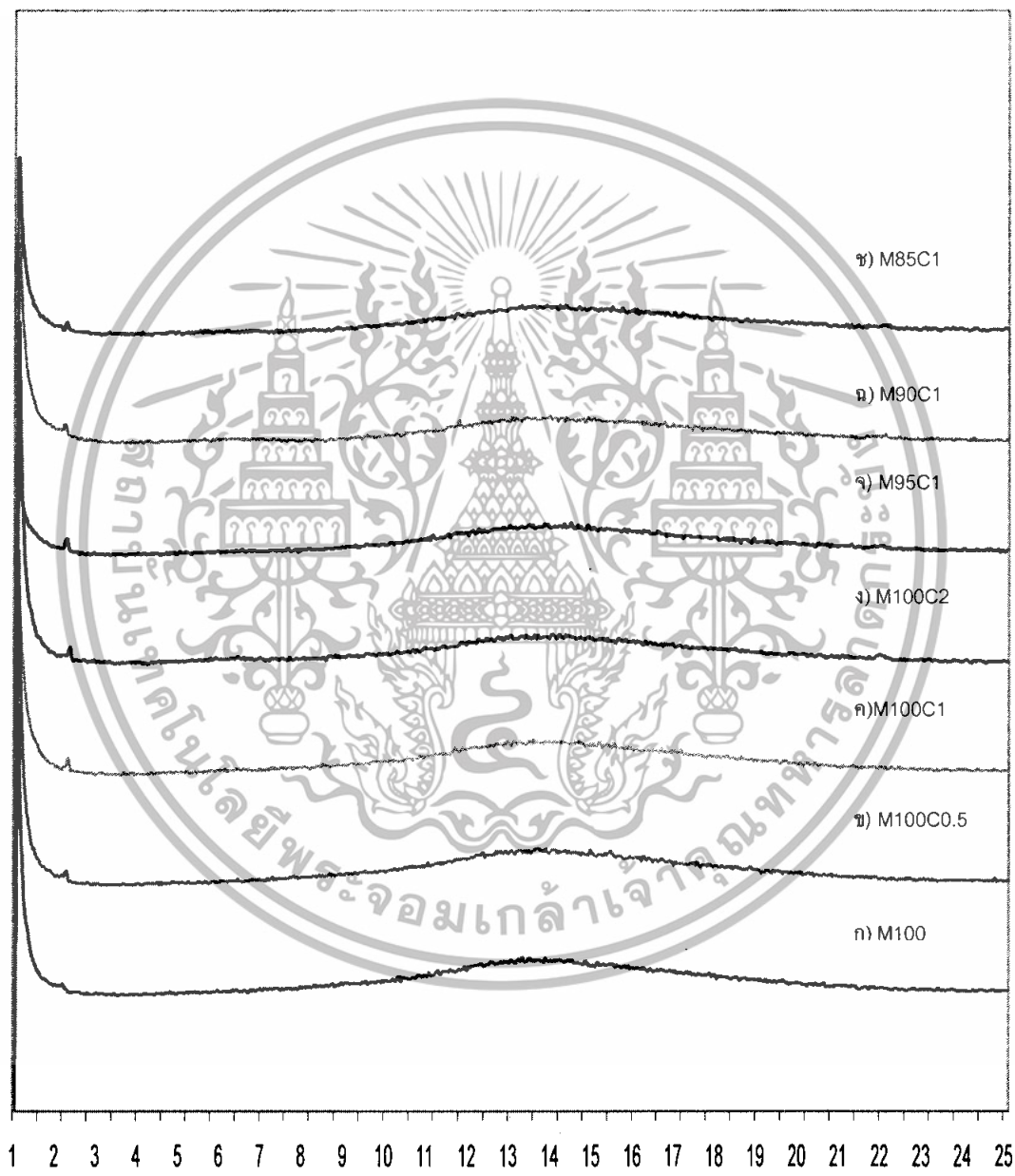
ชิ้นงานวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT ที่เตรียมด้วยปฏิกิริยาการพอลิเมอไรซ์ขณะขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อนำมาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD โดยทำการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ตั้งแต่มุม 2θ เท่ากับ 1° ถึง 25° แสดงได้ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD พบว่าแผนภาพ XRD ของ PMMA ไม่ปรากฏพีกของผลึก เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous)



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบนาโนและ PMMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่า 2θ และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT ในวัสดุประกอบ

ตัวอย่าง	2θ	ระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (nm)
M100	-	-
M100C0.5	2.42	3.82
M100C1	2.48	3.47
M100C2	2.56	3.04
M95C1	2.46	3.62
M90C1	2.48	3.47
M85C1	2.46	3.62
MMT	7.12	1.24

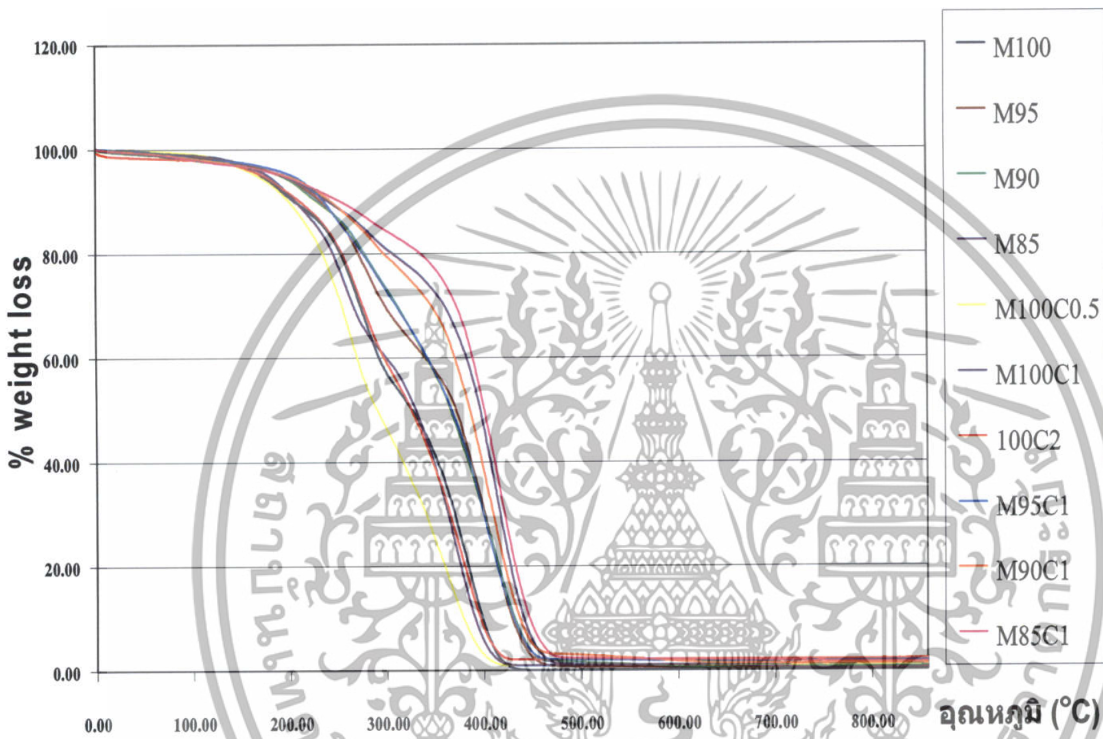
สำหรับวัสดุประกอบ PMMA/MMT ที่มีปริมาณ MMT เท่ากับ 0.5% 1% และ 2% โดยน้ำหนักพบว่ามีพีก d_{001} ในแผนภาพ XRD โดยมีค่า 2θ และระยะห่างระหว่างระนาบของ MMT ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT มีค่าใกล้เคียงกันอาจจะเนื่องมาจากพอลิเมอร์มีความสามารถในการแทรกตัวเข้าไปที่จำกัด แต่เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMTแล้วพบว่าค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุประกอบนี้เป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated nanocomposites)

สำหรับวัสดุประกอบที่มีการเติม AA 5% 10% และ15% โดยน้ำหนักและเติม MMT ลงไป 1% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ร่วมพบว่าวัสดุประกอบที่มีพอลิเมอร์ร่วม P(MMA-*co*-AA) เป็นเมทริกซ์จะมี พีค d_{001} ในบริเวณเดียวกับสูตรที่ไม่ได้เติม AA สามารถสรุปได้ว่า วัสดุประกอบนี้เป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated nanocomposites)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุประกอบนาโนด้วยเทคนิค TGA

เมื่อนำเอา P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโนมาศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ในสภาวะก๊าซไนโตรเจนได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เทอร์โมแกรมของ PMMA-*co*-AA และวัสดุประกอบนาโนภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสูตร M100 ซึ่งมีเฉพาะ PMMA เริ่มสลายตัวที่ 170 °C และอุณหภูมิสลายตัวหมดเป็น 400 °C สำหรับในชิ้นงานที่มีการเติม AA ลงไป 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก นั้นปรากฏว่าเมื่อปริมาณ AA มากขึ้นจะทำให้ อุณหภูมิเริ่มสลายตัวและอุณหภูมิสลายหมดมีค่าสูงขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 4.4) แสดงว่าการเพิ่มปริมาณ AA จะทำให้พอลิเมอร์ร่วมมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิสลายตัวของ P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของ PMMA-*co*-AA (^{o}C)	อุณหภูมิสลายตัวหมดของ PMMA-*co*-AA (^{o}C)
M100	172	400
M95	178	419
M90	183	423
M85	192	424
M100C0.5	174	399
M100C1	177	402
M100C2	178	407
M95C1	181	419
M90C1	191	423
M85C1	197	436

สำหรับในวัสดุประกอบ PMMA/MMT ที่มีการเติม MMT ในปริมาณ 0.5% 1% และ 2% แล้วพบว่ามีอุณหภูมิสลายตัวและอุณหภูมิสลายตัวหมดเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ MMT ที่เติมลงไป เนื่องจาก MMT สามารถกระจายตัวได้ดีและทั่วถึง เมื่อปริมาณ MMT มากขึ้นการขัดขวางการส่งผ่านความร้อนไปยังพอลิเมอร์บริเวณใกล้เคียงทำได้ยากขึ้น ส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุประกอบดีขึ้น

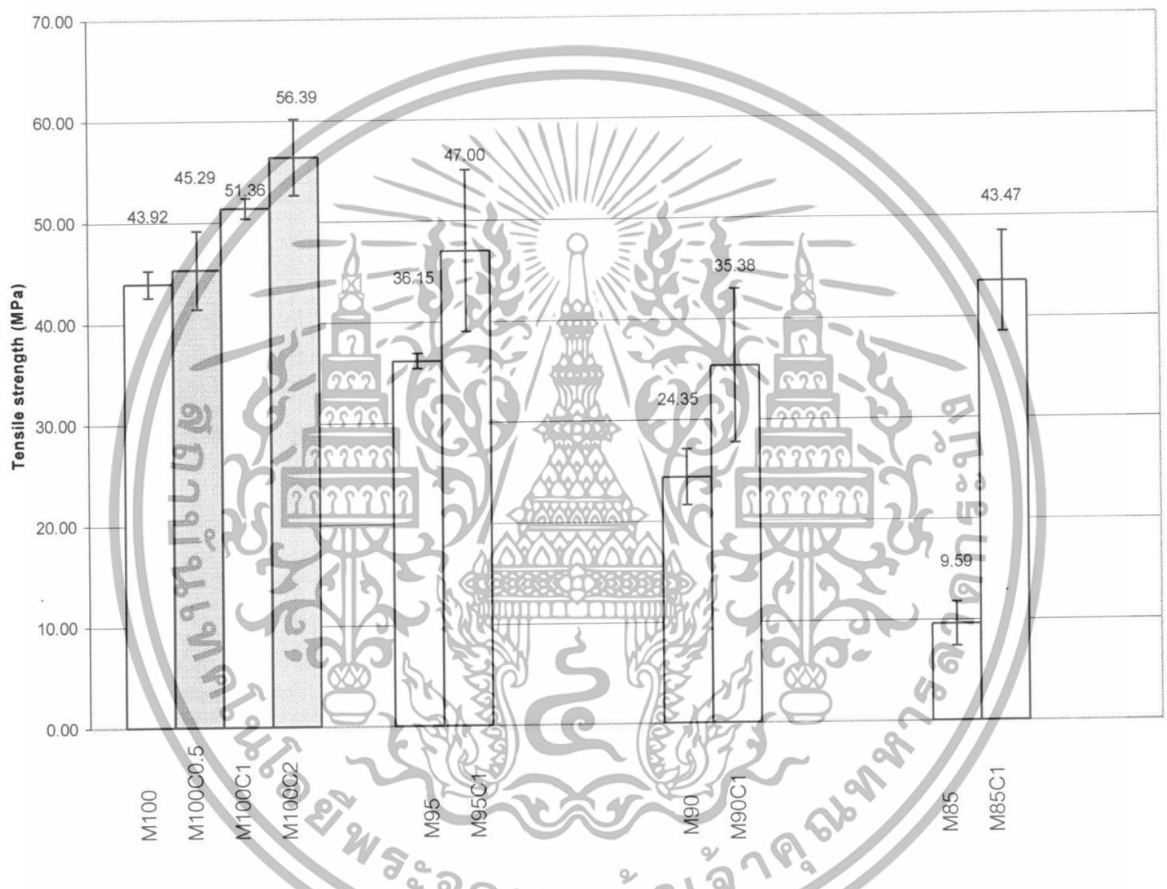
สำหรับในวัสดุประกอบ P(MMA-*co*-AA)/MMT ที่มีการเติม MMT ในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักพบว่าอุณหภูมิเริ่มสลายตัวมากกว่า P(MMA-*co*-AA) ในอัตราส่วนของ MMT:AA อัตราเดียวกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 175-197 ^{o}C และมีอุณหภูมิสลายตัวหมดเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยอยู่ในช่วง 402-435 ^{o}C ทั้งนี้เนื่องมาจากสายโซ่ของ P(MMA-*co*-AA) ได้แทรกเข้าไปในระหว่างระนาบของ MMT ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ได้รับความร้อนช้าลง และใช้เวลาในการส่งผ่านความร้อนไปยังสายโซ่พอลิเมอร์จนเกิดการสลายตัวนานขึ้น อีกทั้งยังเกิดอันตรกิริยาระหว่าง MMT กับพอลิเมอร์ทำให้วัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุประกอบนาโน

4.5.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบนาโน

เมื่อนำ P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน ที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติการรับแรงดึงซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.4



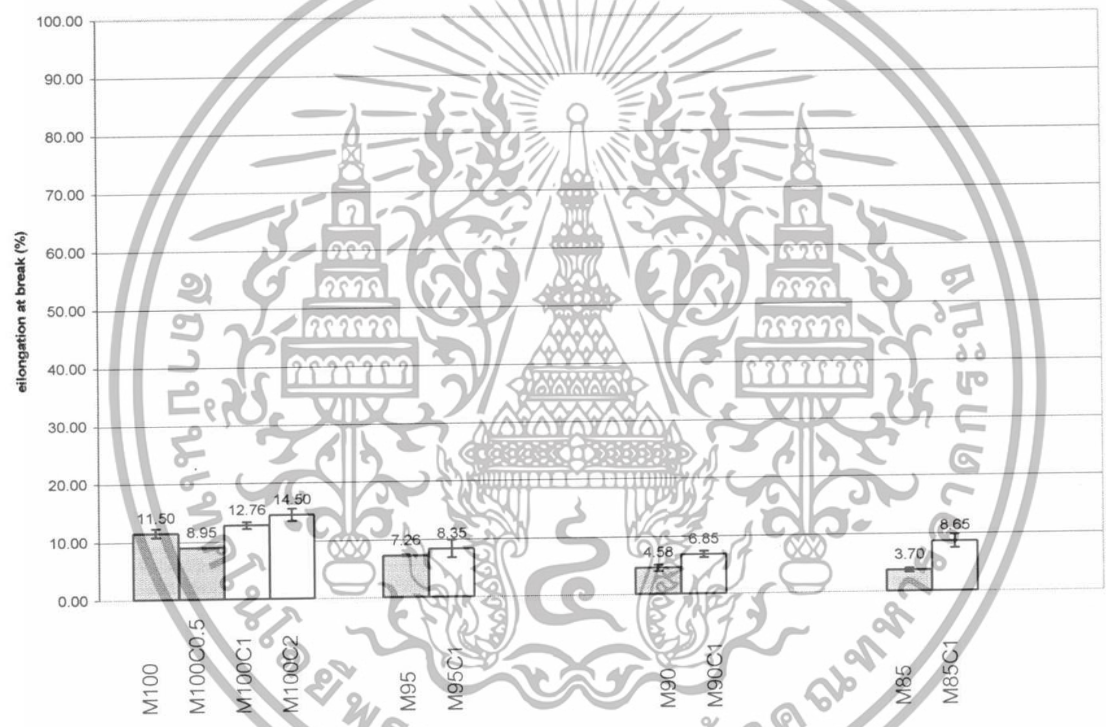
รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน

ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมวัสดุประกอบนาโนที่เติม MMT 0.5% 1% และ2% โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ MMT มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก MMT สามารถกระจายตัวได้ดีในระดับนาโน เมื่อเพิ่มปริมาณ MMT มากขึ้นทำให้มีส่วนที่รับแรงเพิ่มขึ้น และสามารถกระจายแรงได้ดีขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่ามากขึ้น

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของ PMMA มีค่า 45 MPa ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ร่วมสูตรที่มี AA 5% จนถึง 15% โดยน้ำหนักพบว่าเมื่อมีปริมาณ AA มากขึ้น จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก PAA นั้นมีความเปราะมากกว่า PMMA สำหรับค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT ที่มี MMT 1% ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสม ในอัตราส่วนเดียวกันแล้วก็ยังมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก MMT มีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก จึงทำให้ขนาดของบริเวณที่เกิดความเค้นระหว่าง วัฏภาค (Stress concentration) มีขนาดเล็ก วัสดุประกอบ P(MMA-*co*-AA)/MMT ที่เตรียมได้มีความสามารถในการรับแรงมากขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น

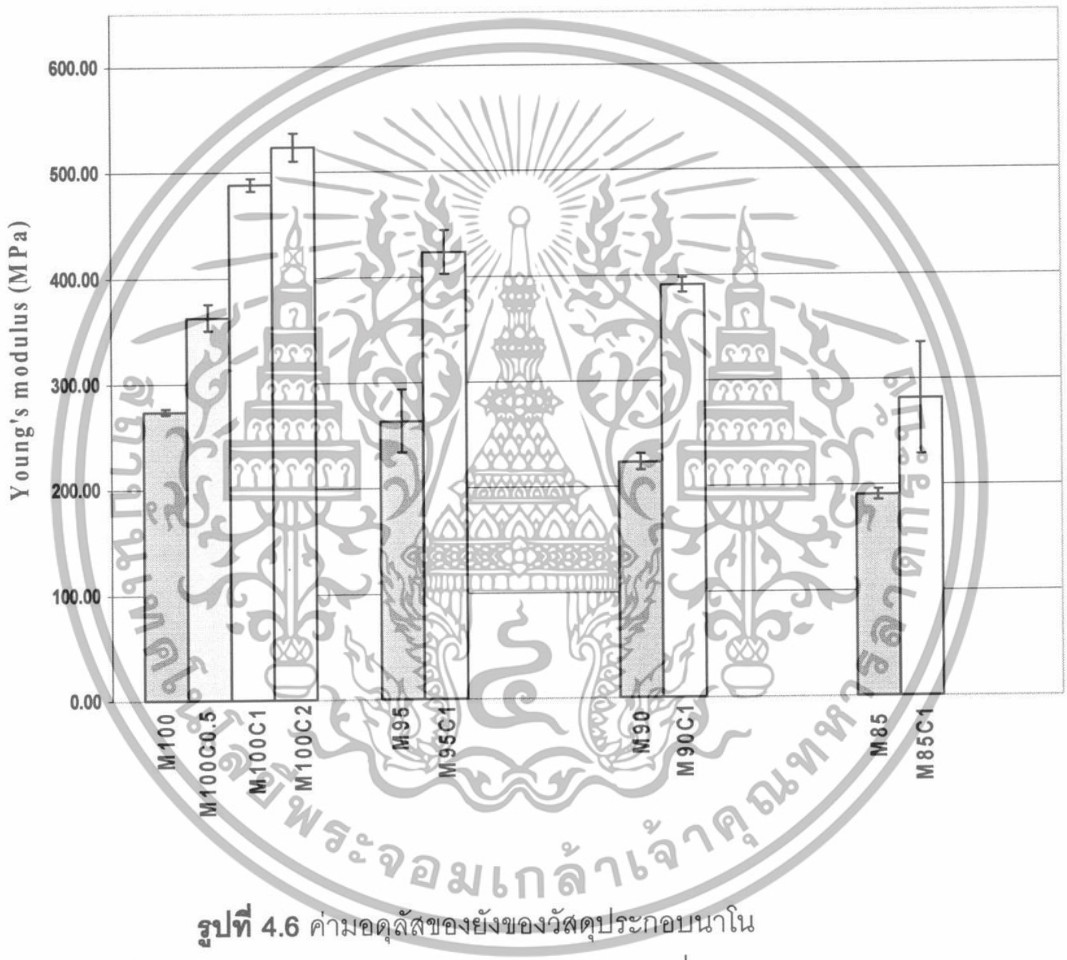


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน

รูปที่ 4.5แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ PMMA และวัสดุประกอบนาโน PMMA/MMT ที่มีปริมาณ MMT 0.5% 1% และ 2% โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเติม MMTในปริมาณต่างๆนั้นลงไปใน PMMA นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้นี้เป็นวัสดุนาโนแบบแทรกตัว มีส่วนเสริมแรงที่มีอนุภาคขนาดนาโนเมตร ซึ่งเป็นอนุภาคที่เล็กมาก จึงไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจึงมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน P(MMA-co-AA)/MMT ที่มีอัตราส่วนระหว่าง MMA:AA เป็น 95:5 90:10 และ 85:15 โดยมีปริมาณ MMT 1% โดยน้ำหนัก นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดไม่ต่างจากในชิ้นงานที่ไม่มีการเติม MMT อย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

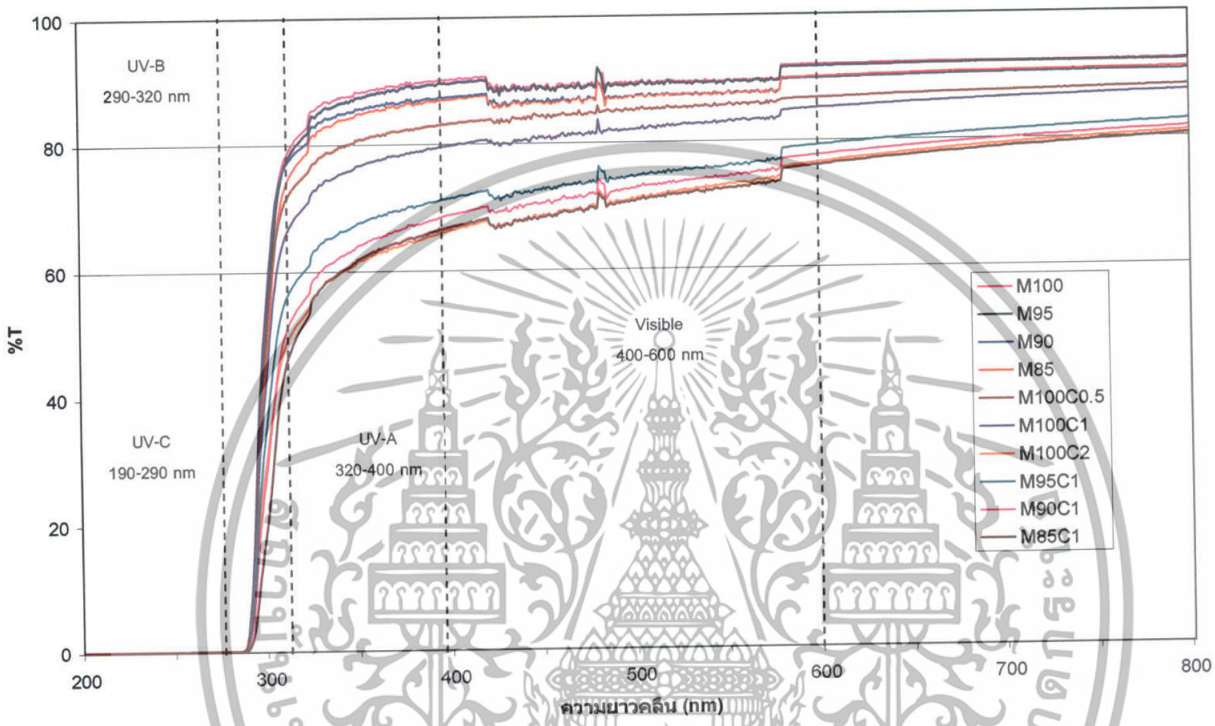


รูปที่ 4.6 ค่ามอดุลัสของยังของวัสดุประกอบนาโน

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของยังของ PMMA/MMT ที่เติมปริมาณ MMTต่างกันลงไปนั้นยังคงมีมอดุลัสของยังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของMMTเพิ่มมากขึ้น สำหรับใน P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT พบว่าในวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT ที่มีอัตราส่วนระหว่าง MMT:AA มีค่ามอดุลัสของยังลดลงเมื่อมีปริมาณ AA เพิ่มขึ้นแต่ก็มากกว่าใน P(MMA-*co*-AA) ที่มีอัตราส่วนเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก PAA เป็นวัสดุที่แข็งเปราะกว่า PMMA จึงรับแรงกระทำได้น้อยกว่า แต่เมื่อเติม PMMT ลงไปจะทำให้ค่ามอดุลัสของยังสูงขึ้นเพราะ MMT ที่เติมเป็นส่วนเสริมแรงนั้นมีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การวัดการส่องผ่านรังสียูวี-วิสซิเบิลของวัสดุประกอบนาโน



รูปที่ 4.7 การส่องผ่านของรังสียูวี-วิสซิเบิลของP(MMA-co-AA)และวัสดุประกอบนาโน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าวัสดุประกอบนาโนสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่า PMMA และ P(MMA-co-AA) และเมื่อปริมาณ MMT มากขึ้นสามารถกันรังสียูวีได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก MMT ในวัสดุประกอบมีขนาดระดับนาโนจึงมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสียูวี ส่งผลให้ขัดขวางการส่องผ่านรังสียูวีได้ดี

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุประกอบนาโน P(MMA-co-AA)/MMT ที่มีอัตราส่วน MMA:AAต่างกันพบว่า เมื่อปริมาณ AA เพิ่มมากขึ้น จะดูดกลืนรังสียูวีได้ดีขึ้นเนื่องจาก AAสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีกว่า MMA นอกจากนี้ในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ก็มีผลเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของปริมาณ MMT ที่เติมลงไปในวัสดุประกอบที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของวัสดุประกอบนาโน PMMA/MMT พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมได้จัดเป็น วัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated nanocomposites) อนุภาคของ MMT มีกระจายตัวที่ดี ทำให้วัสดุประกอบนาโนมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังสูงกว่า PMMA และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเติมปริมาณ MMT เพิ่มขึ้น ในช่วง 0.5 – 2 % โดยน้ำหนัก

การศึกษาผลของ AA ที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ร่วม P(MMA-*co*-AA) พบว่าเมื่อเติม AA ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังมีค่าต่ำลง

สำหรับวัสดุประกอบนาโน P(MMA-co-AA)/MMT ที่มีอัตราส่วนของ MMA:AA ต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณ AA เพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังของวัสดุประกอบลดลงแต่ยังคงมากกว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังของ P(MMA-co-AA) ที่มีอัตราส่วน MMA:AA เท่ากัน และพบว่าวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้เป็นวัสดุประกอบนาโนชนิดแทรกตัว (Intercalated nanocomposites)

วัสดุประกอบที่เตรียมได้จะมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น และมีความสามารถในการป้องกันการส่องผ่านของรังสียูวีสูงขึ้น เมื่อปริมาณ AA และ/หรือปริมาณ MMT ในพอลิเมอร์สูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.เตรียมวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT ด้วยกระบวนการอื่น เพื่อทำให้เพิ่มอัตราการผลิตให้สูงขึ้น

2.ศึกษาแนวทางในการนำวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT ไปพัฒนาและปรับปรุง เพื่อให้ได้สมบัติที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตามต้องการได้

3.ศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบนาโน P(MMA-*co*-AA)/MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1.MatWeb, 2007, **Online Material Data Sheet,** Acrylic [Online], Available: http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=O1300

2. Nanocomposites - Classification Types, **Potential Applications,** Interactions and Novel Nanocomposites [Online], Available: http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1283

3. General Montmorillonite Information [Online], Available: http://webmineral.com/data/Montmorillonite.shtml

4.โครงสร้างและชนิดของแร่ซิลิเกต [Online], Available: http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/mediacenter-uploads/libs/html/1291/siolchem/Silicat.htm

5. The Nature of Organoclays [Online], Available: http://www.aquatechnologies.com/info_organoclay.htm

6. Poly (methyl methacrylate) at a glance [Online], Available: http://pslc.ws/mactest/pmma.htm

7. Description of Polymer clay [Online], Available: http://www.polymerclayweb.com/description.asp

8. Wen-Fu Lee, Yung-Chu Chen, **"Effect of intercalated reactive mica on water absorbency for poly (sodium acrylate) composite super absorbents",** European Polymer Journal 41 (2005):1605-1612

9. Wei'an Zhang, Yu Li, Luo Wei, Yue'e Fang, **"In situ intercalative polymerization of poly(methyl methacrylate)/clay nanocomposites by g-ray irradiation",** Materials Letters 57 (2003):3366–3370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Paulo Meneghetti , Syed Qutubuddin, **"Synthesis, thermal properties and applications of polymer-clay nanocomposites",** Thermochimica Acta 442 (2006):74–77

11. Huaili Qin, Shimin Zhang, Chungui Zhao, Mingshu Yang,**"Flame retardant mechanism of polymer/clay nanocomposites based on polypropylene"**, Polymer 48 (2005): 8386-8395

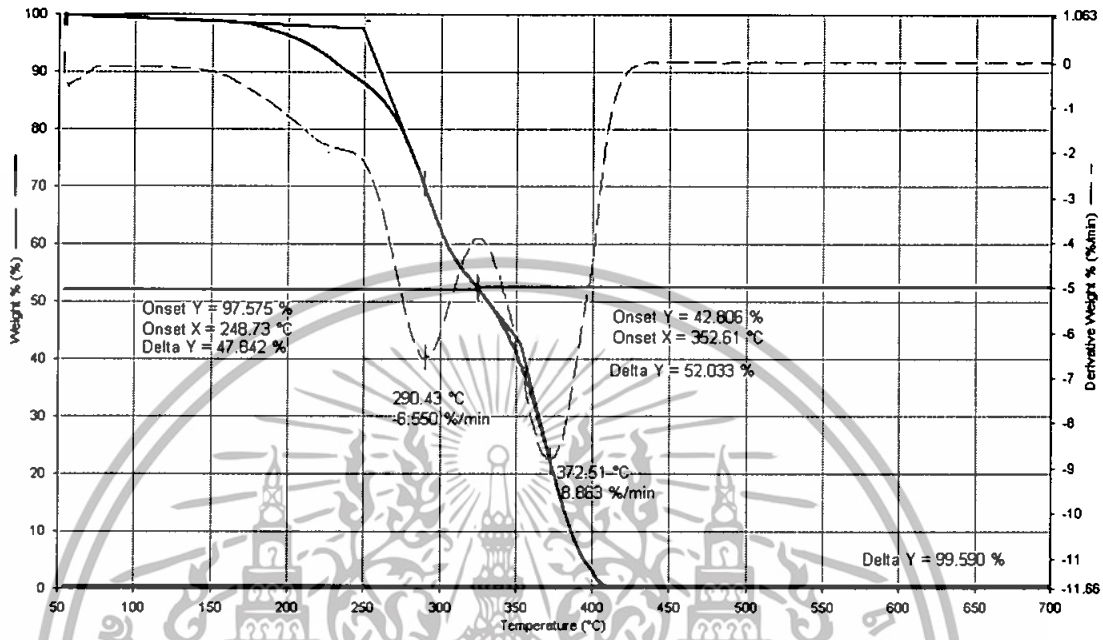
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

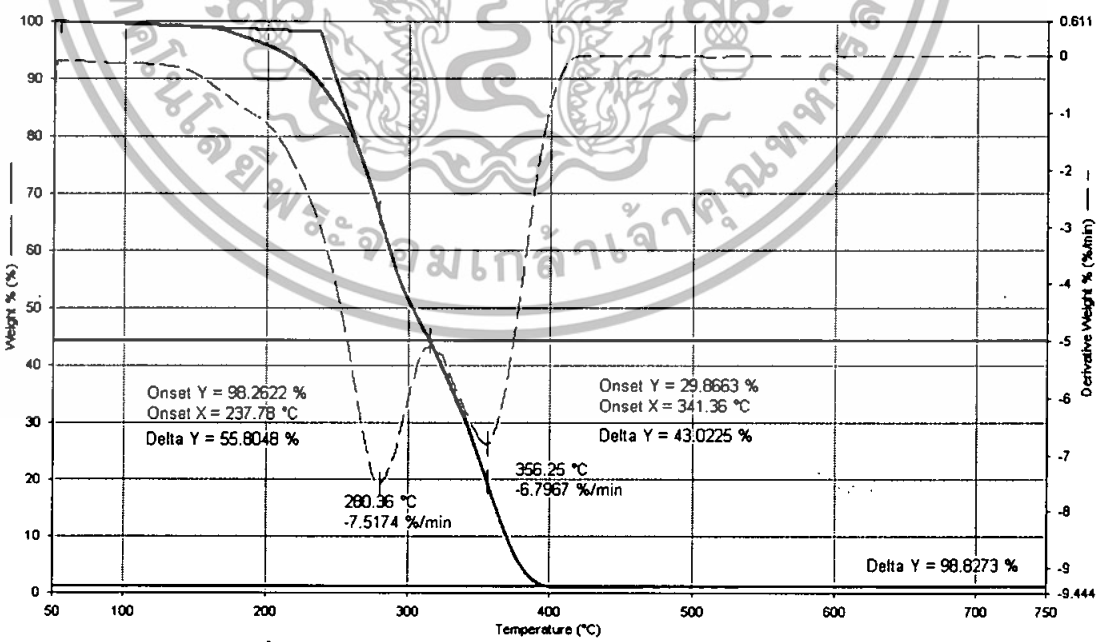
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

TGA เทอร์โมแกรมของ P(MMA-co-AA) และวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

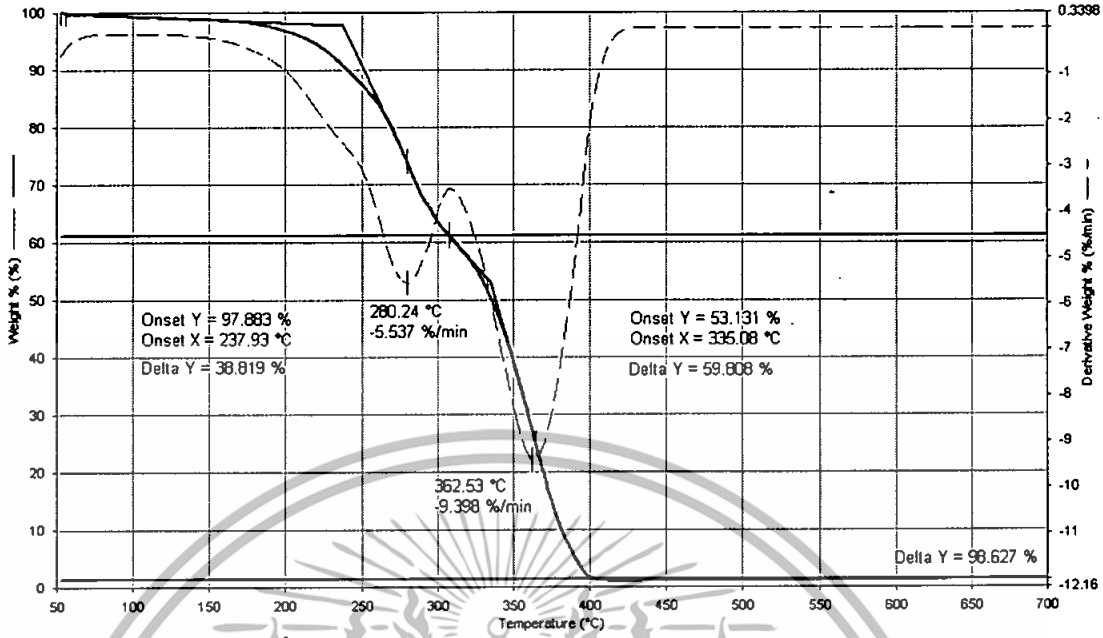


รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรมของ M100

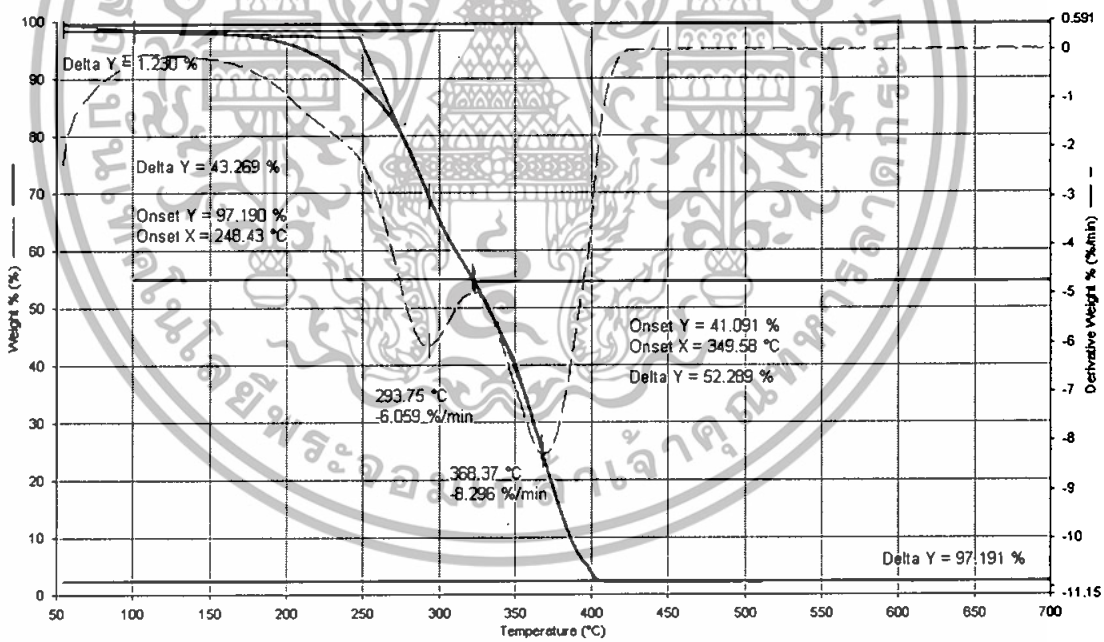


รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

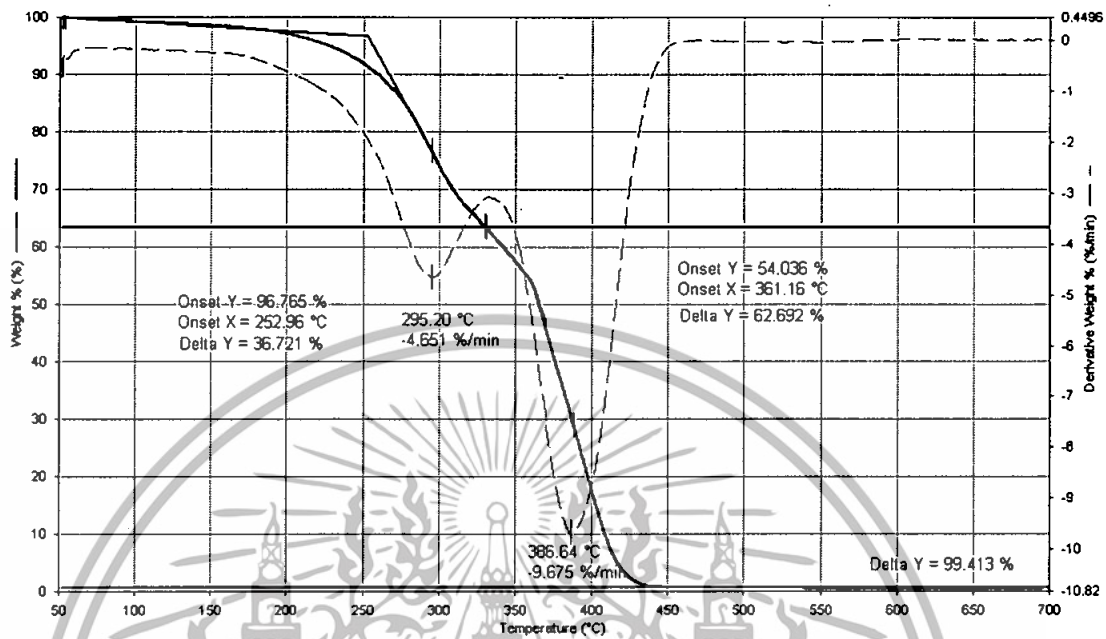


รูปที่ ก.3 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C1

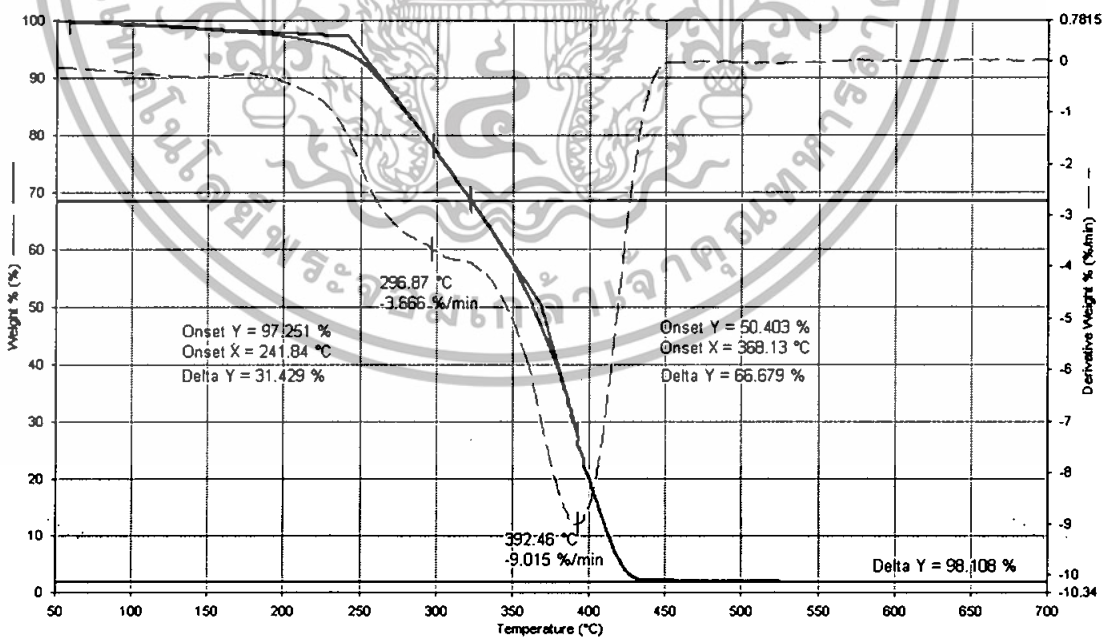


รูปที่ ก.4 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

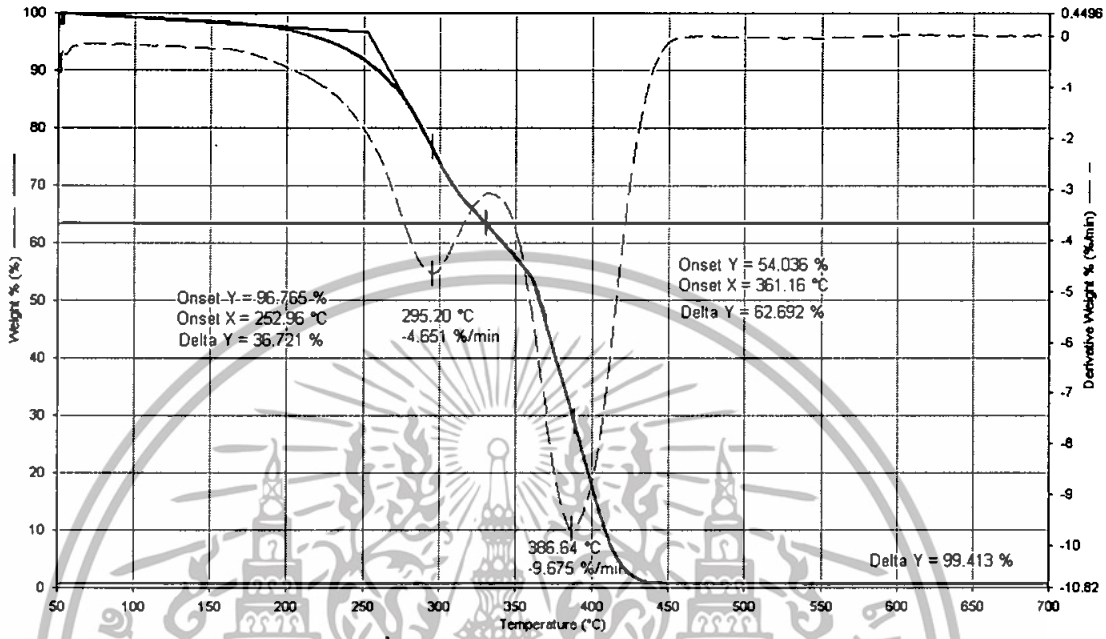


รูปที่ ก.5 เทอร์โมแกรมของ M95

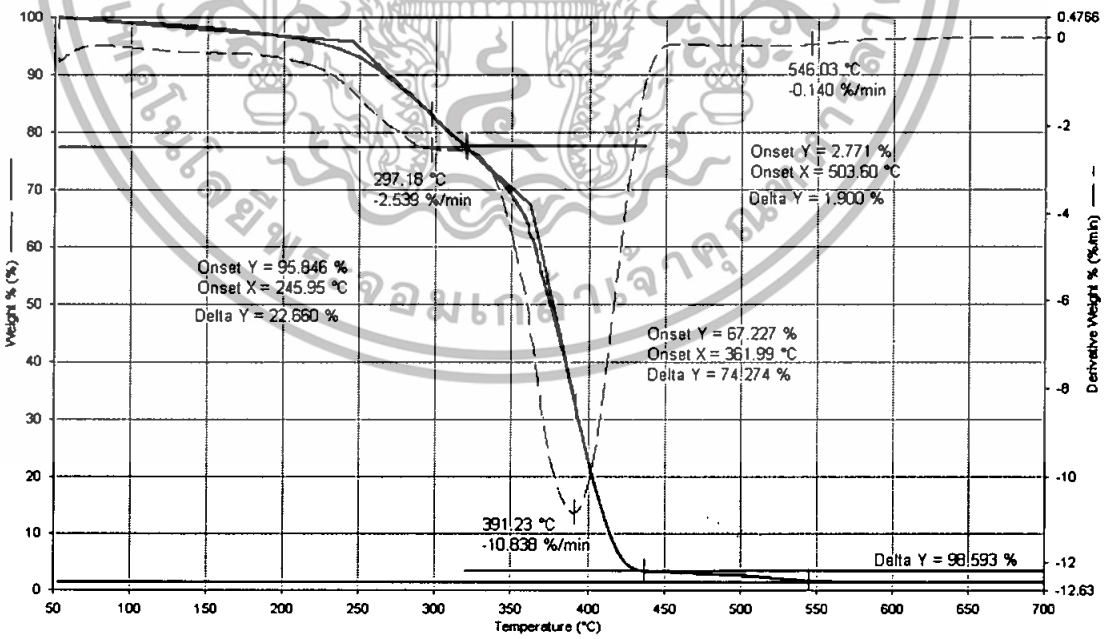


รูปที่ ก.6 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M95C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

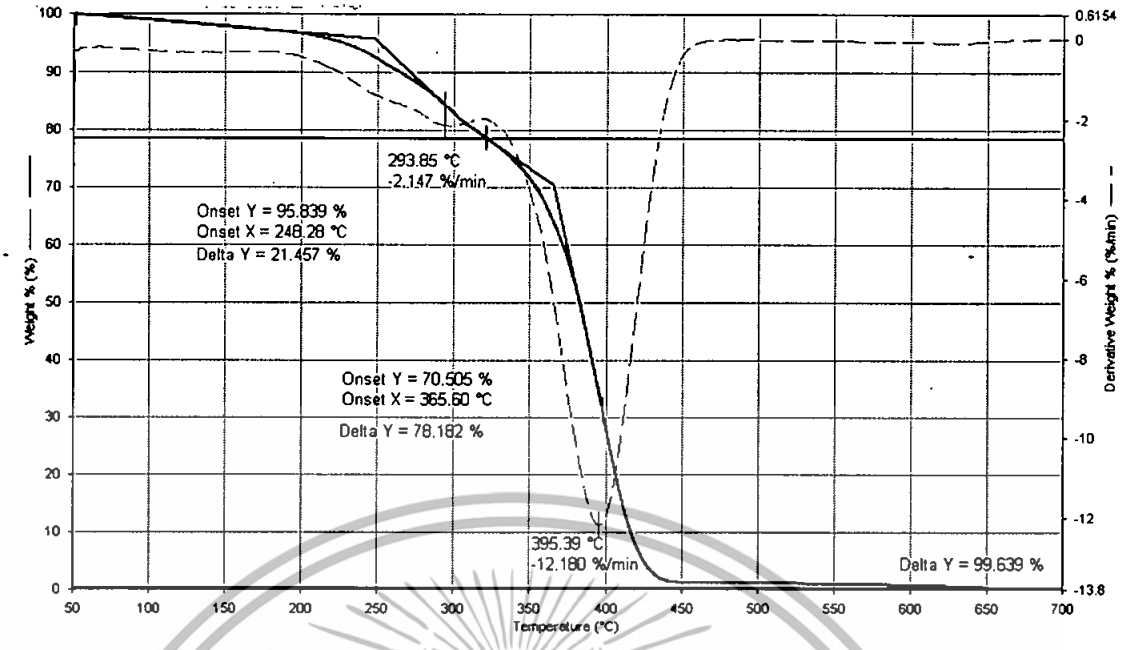


รูปที่ ก.7 เทอร์โมแกรมของ M90

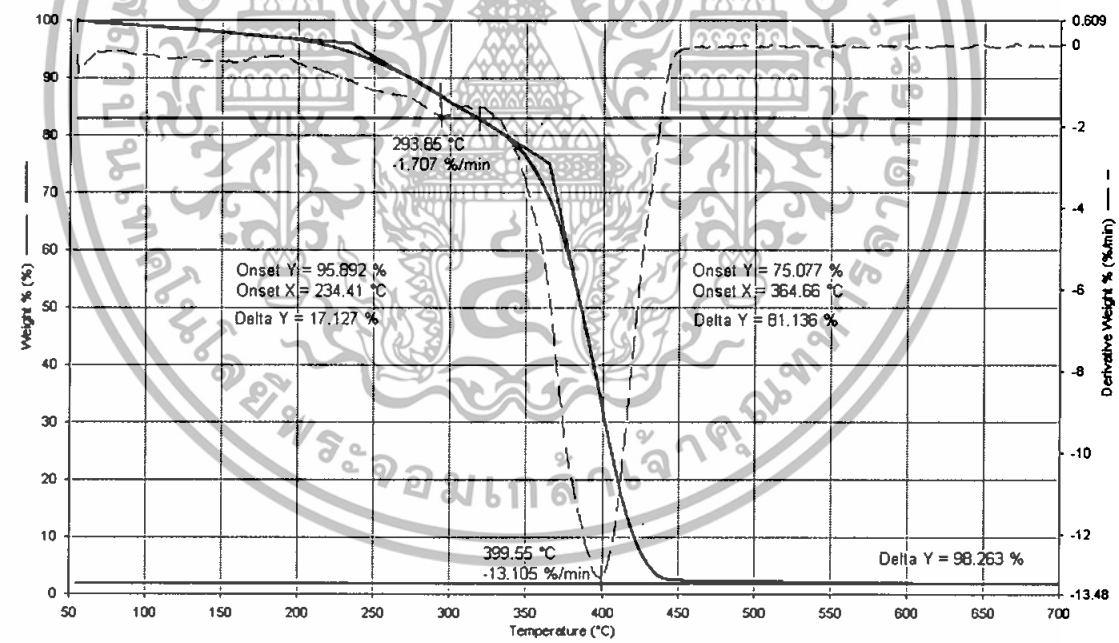


รูปที่ ก.8 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M90C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 เทอร์โมแกรมของ M85

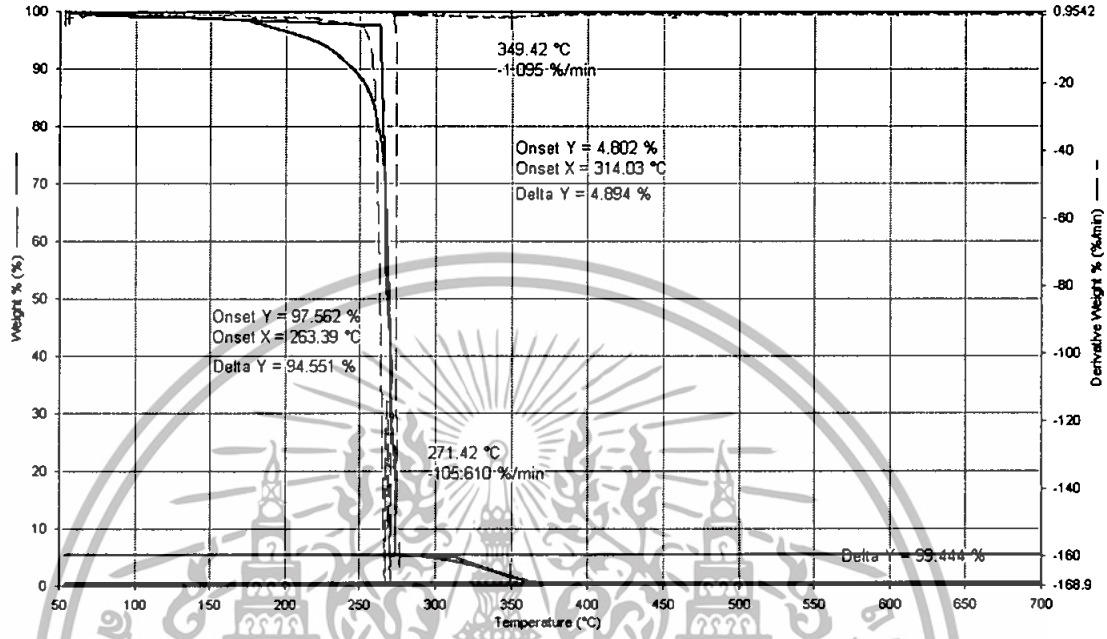


รูปที่ ก.10 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M85C1

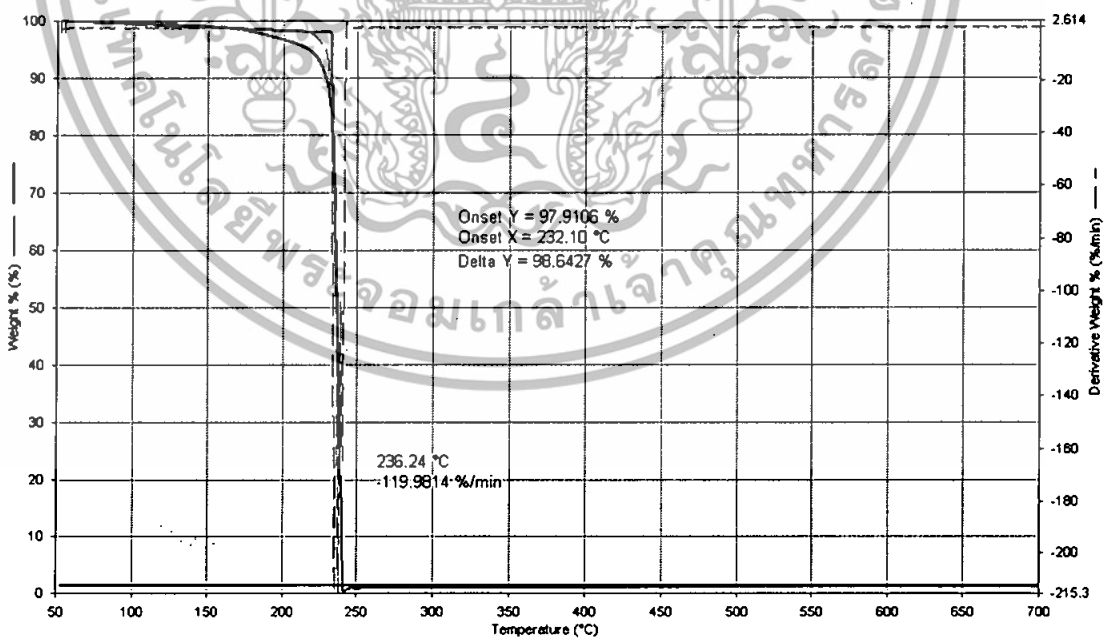
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

TGA เทอร์โมแกรมของ P(MMA-co-AA) และวัสดุประกอบนาโนที่เตรียมได้ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน

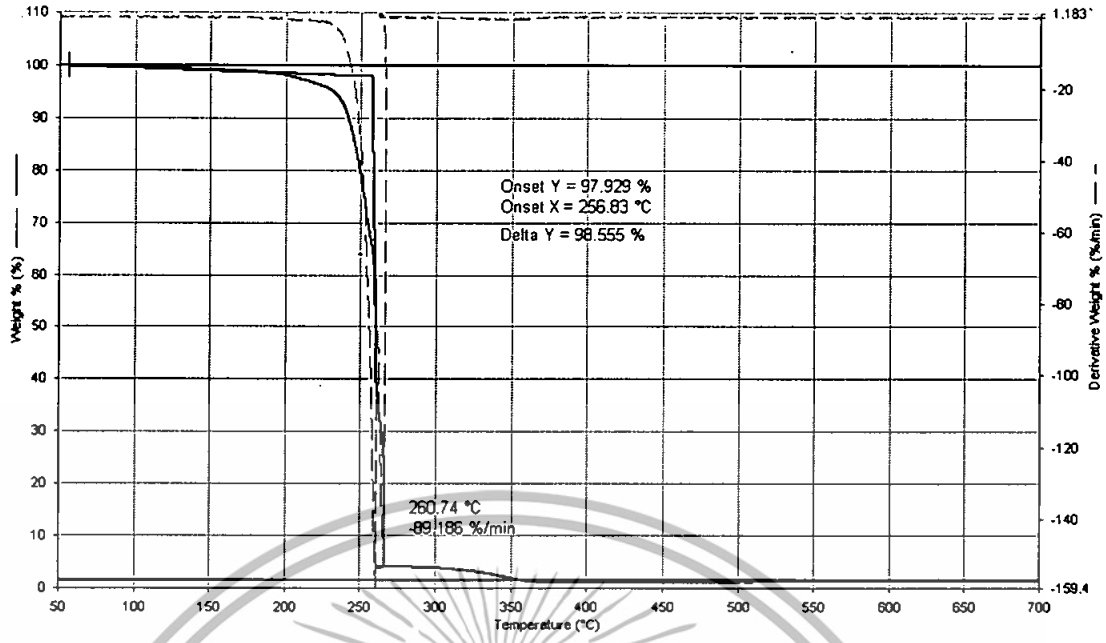


รูปที่ ข.1 เทอร์โมแกรมของ M100

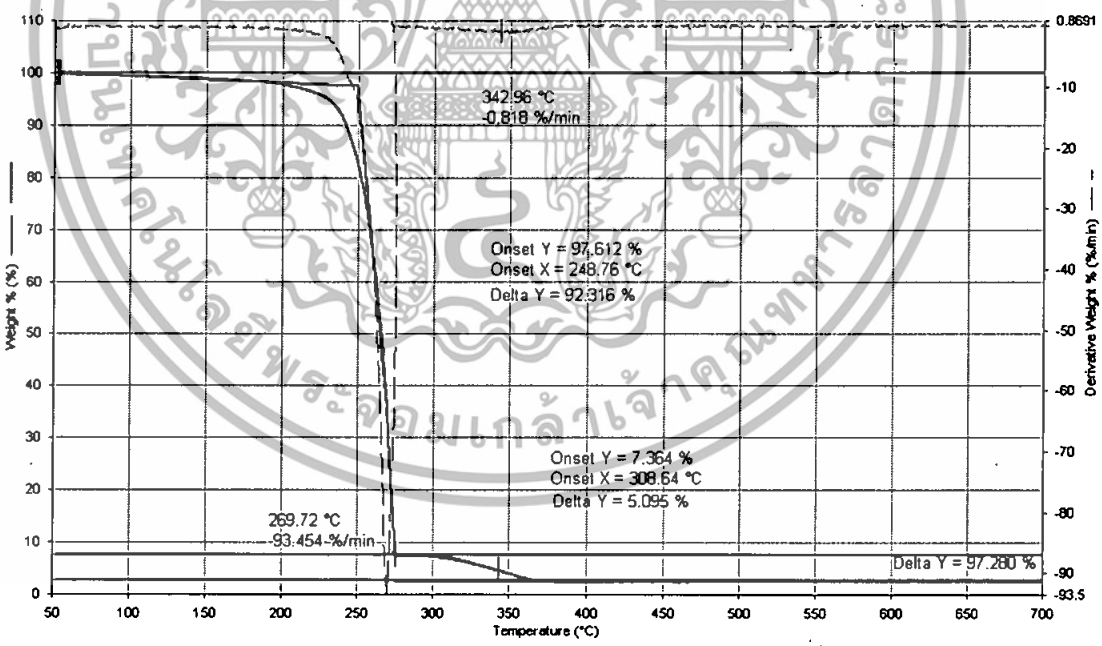


รูปที่ ข.2 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

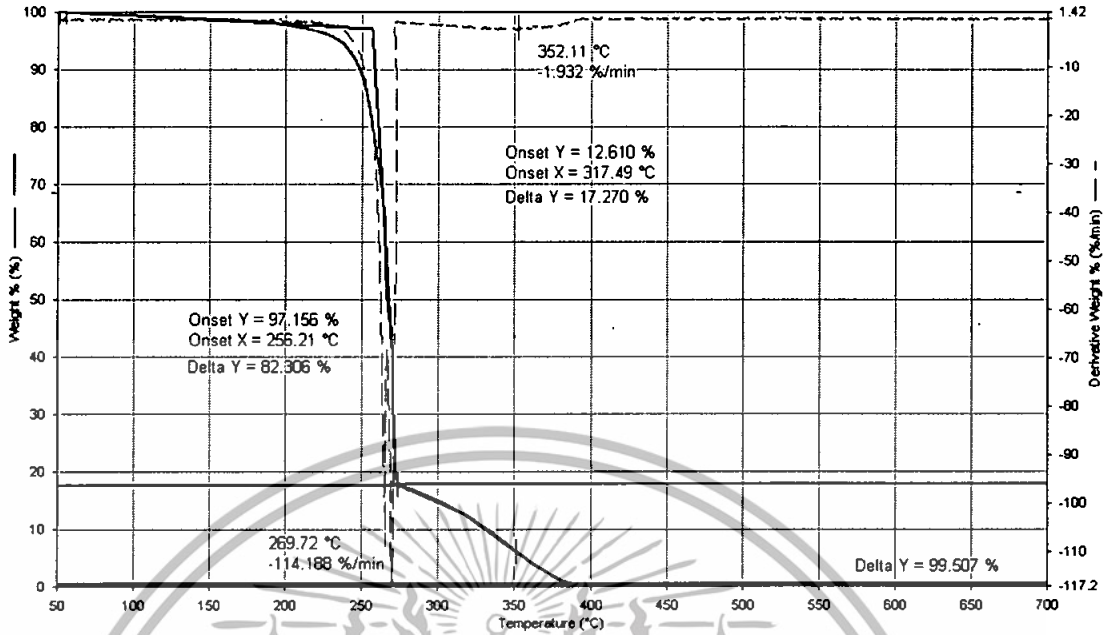


รูปที่ ข.3 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C1

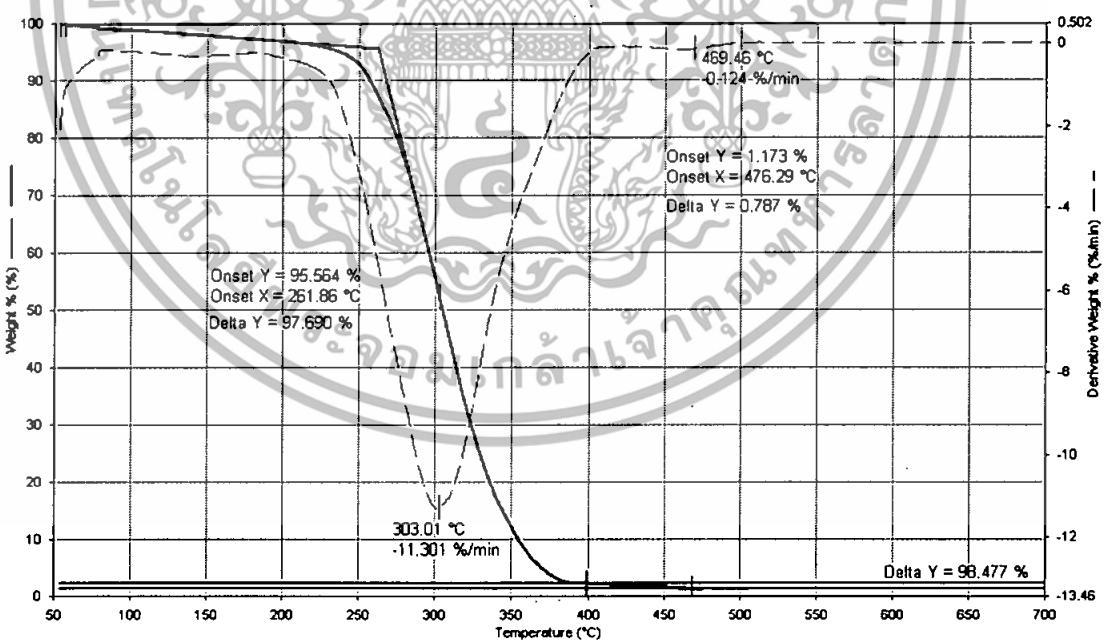


รูปที่ ข.4 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M100C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

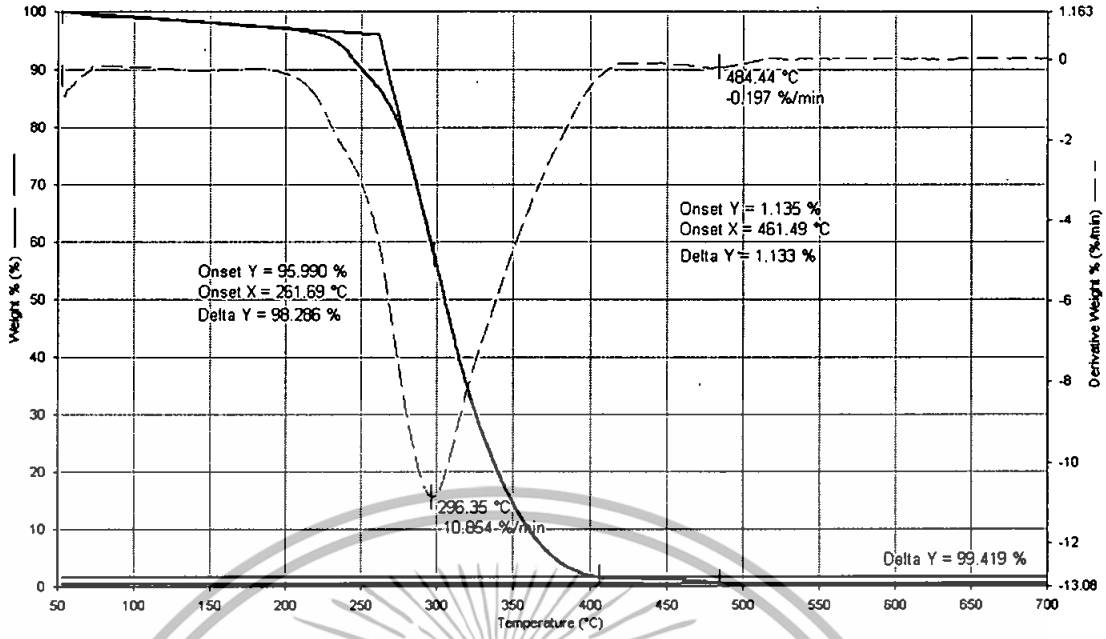


รูปที่ ข.5 เทอร์โมแกรมของ M95

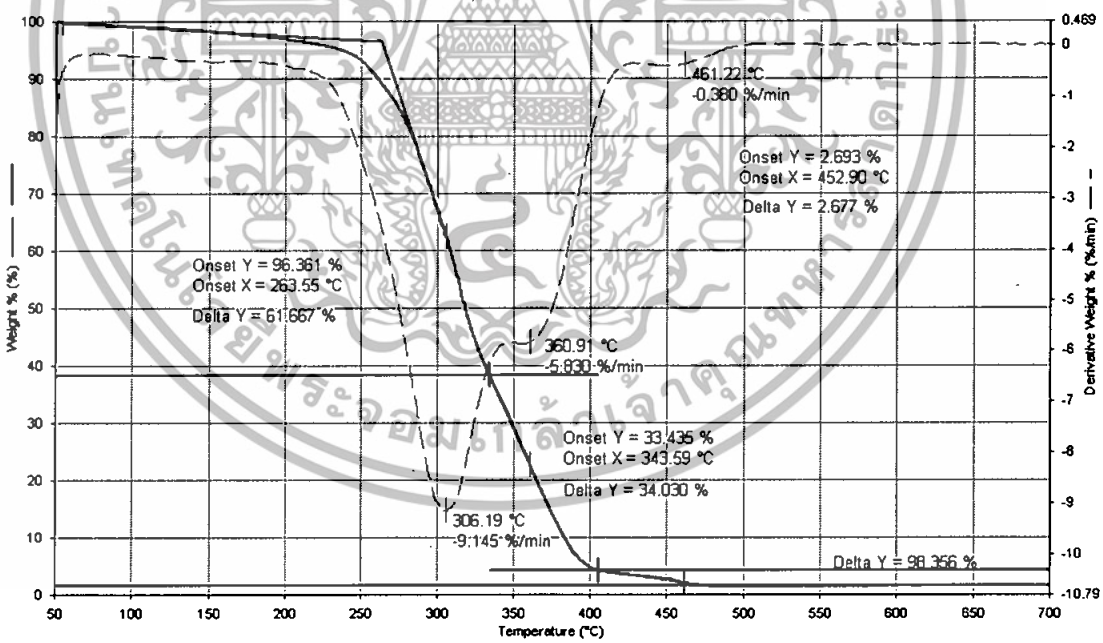


รูปที่ ข.6 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M95C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

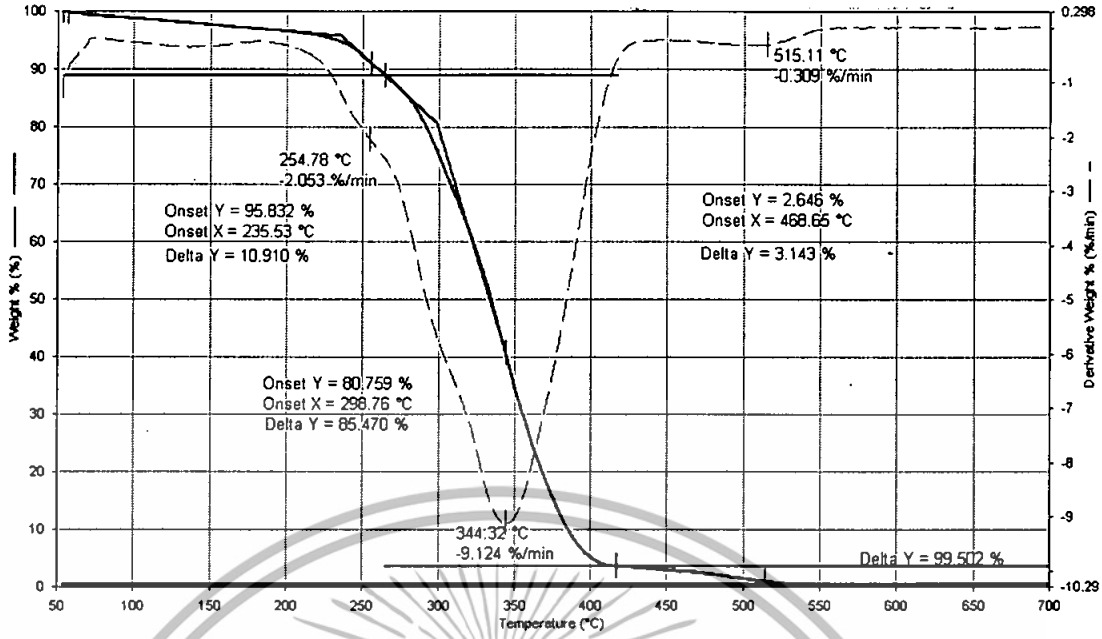


รูปที่ ข.7 เทอร์โมแกรมของ M90

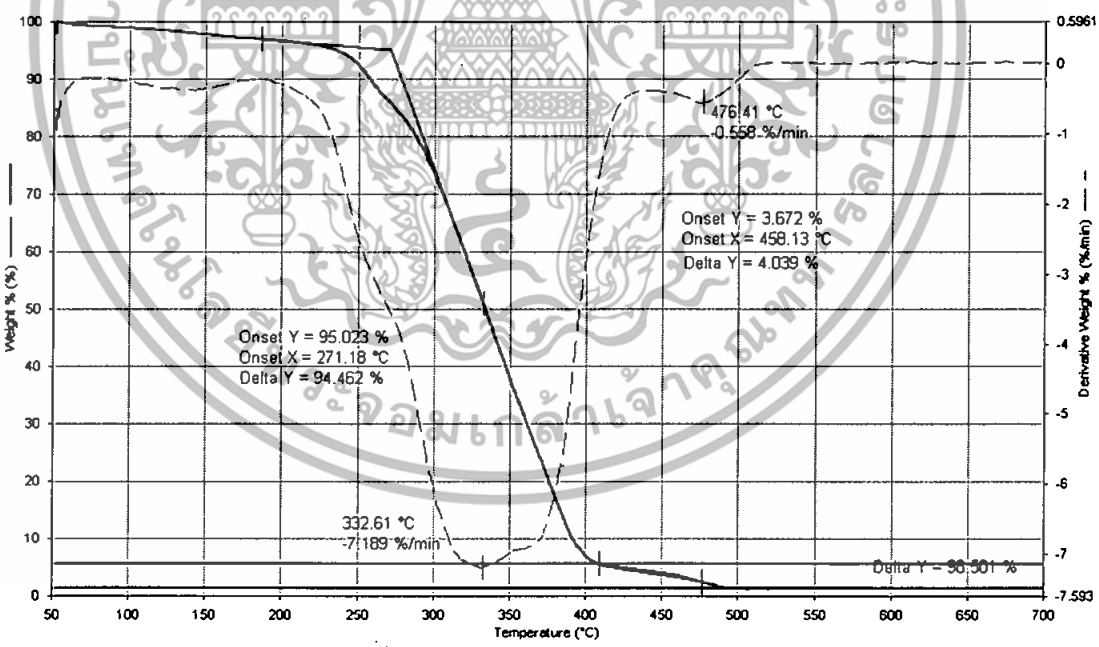


รูปที่ ข.8 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M90C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 เทอร์โมแกรมของ M85



รูปที่ ข.10 เทอร์โมแกรมของวัสดุประกอบ M85C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์ MMT ที่ได้จากผลTGA

ชิ้นงาน	% MMT ที่เติมลงไป	% MMT ที่ได้จาก TGA
M100C0.5	0.5	0.6727
M100C1	1.0	0.9730
M100C2	2.0	2.3090
M95C1	1.0	1.3920
M90C1	1.0	0.9070
M85C1	1.0	1.237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

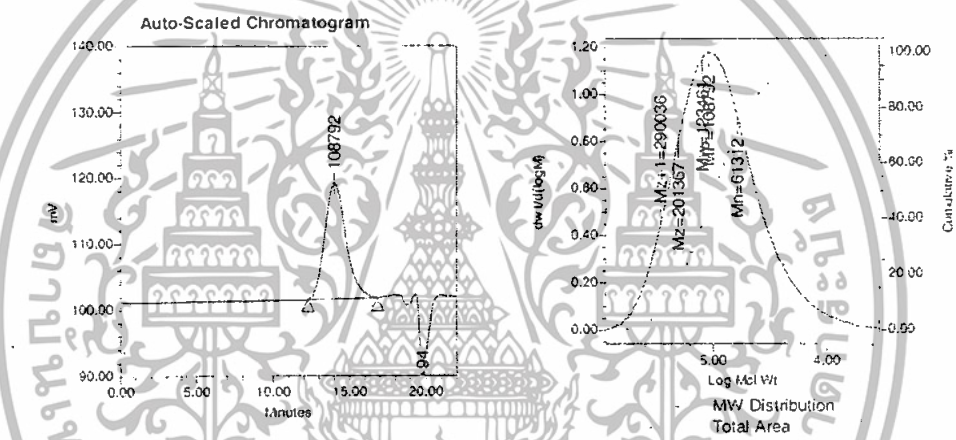
ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของ PMMA และ P(MMA-*co*-AA) จากเทคนิค GPC

Current Date 3/14/08 1 of 1

Sample Information

SampleName	PMMA1	Sample Type	Broad Unknown
Vial	1	Date Acquired	3/14/08 9:36:53 AM
Injection	1	Acq Method Set	Y2008_MethR_THF_30C_5
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Y2008_ProcR_THF_30C_5
Channel	SATIN	Date Processed	3/14/08 11:44:19 AM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Broad	61312	123461	108792	201367	290036	2.013632
2	Reference			94			

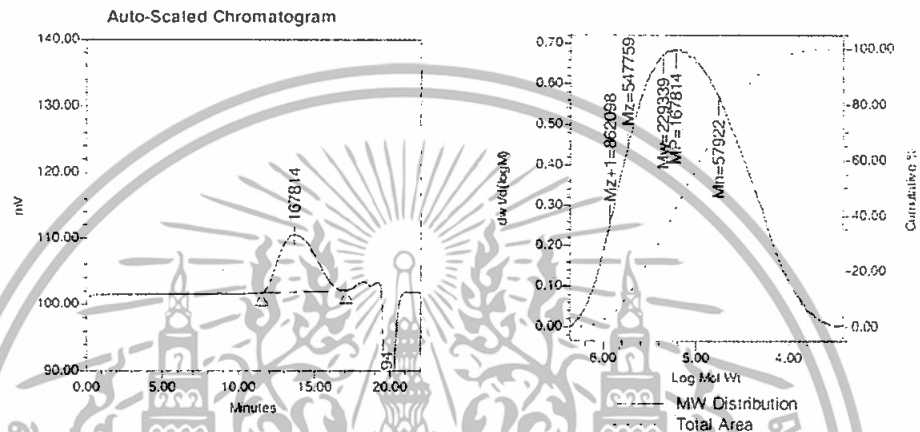
รูปที่ ง.2 โครมาโทแกรมของ PMMA (solution polymerization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Date 3/14/08 1 of 1

Sample Information

SampleName	M100	Sample Type	Broad Unknown
Vial	6	Date Acquired	3/14/08 11:45:28 AM
Injection	1	Acq Method Set	Y2008_MethR_THF_30C_5
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Y2008_ProcR_THF_30C_5
Channel	SATIN	Date Processed	3/14/08 12:11:44 PM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Broad	57922	229339	167814	547759	862098	3.959470
2	Reference			94			

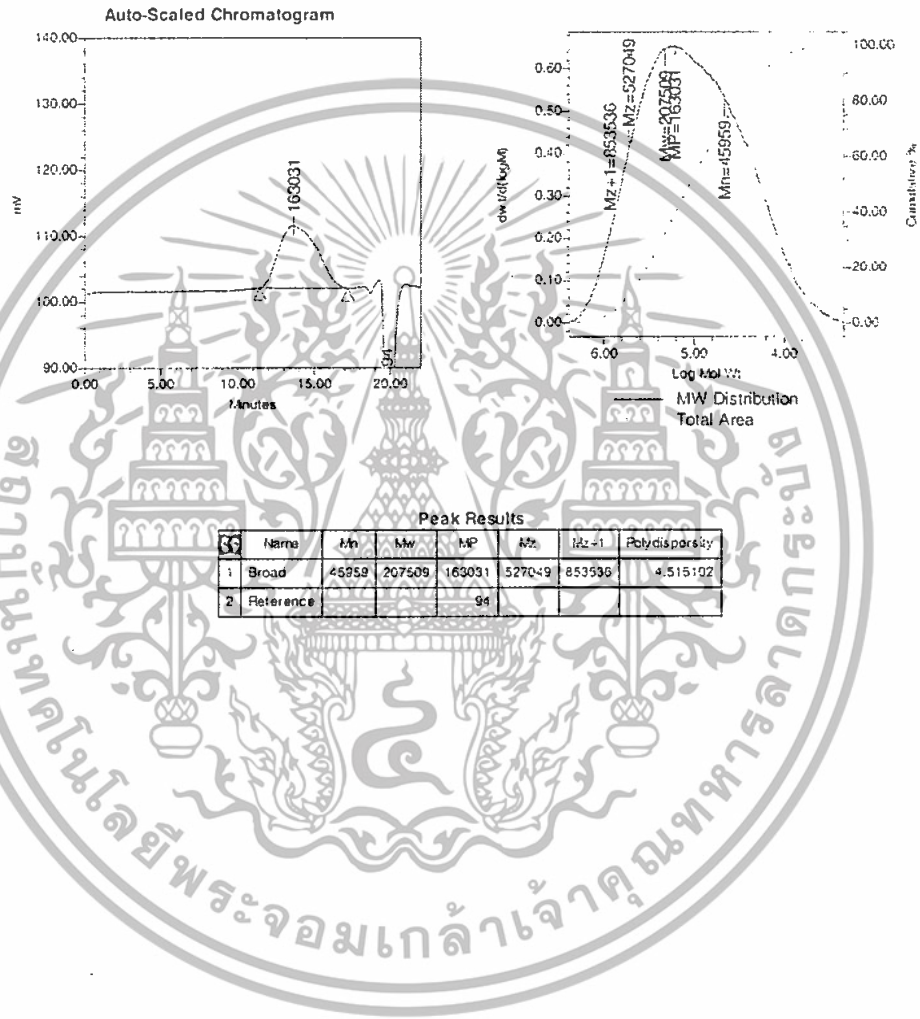
รูปที่ ง.2 โครมาโทแกรมของ M100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Date 3/14/08 1 of 1

Sample Information

SampleName	M95	Sample Type	Broad Unknown
Vial	5	Date Acquired	3/14/08 11:19:46 AM
Injection	1	Acq Method Set	Y2008_MethR_THF_30C_5
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Y2008_ProcR_THF_30C_5
Channel	SATIN	Date Processed	3/14/08 11:46:30 AM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Broad	45959	207509	163031	527049	853536	4.515102
2	Reference			94			

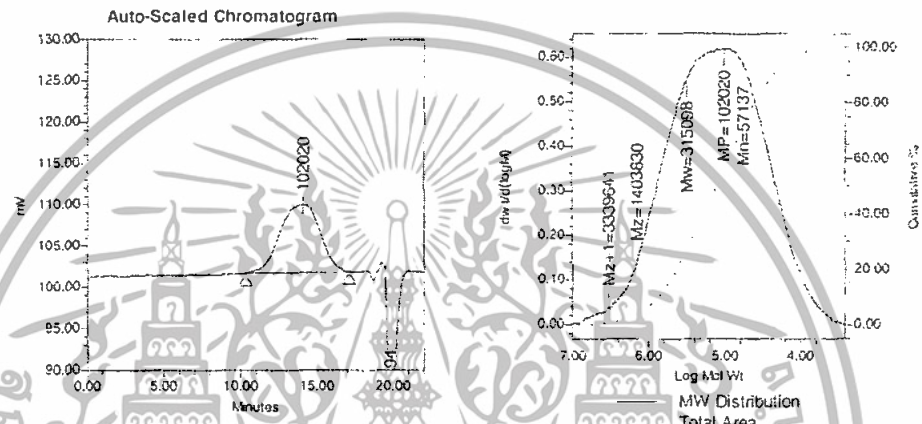
รูปที่ ง.3 โครมาโทแกรมของ M95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Date 3/14/08 1 of 1

Sample Information

SampleName	M90	Sample Type	Broad Unknown
Vial	4	Date Acquired	3/14/08 10:54:02 AM
Injection	1	Acq Method Set	Y2008_MethR_THF_30C_5
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Y2008_ProcR_THF_30C_5
Channel	SATIN	Date Processed	3/14/08 11:45:10 AM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Broad	57137	315036	102020	1403830	3339641	5.514745
2	Reference			94			

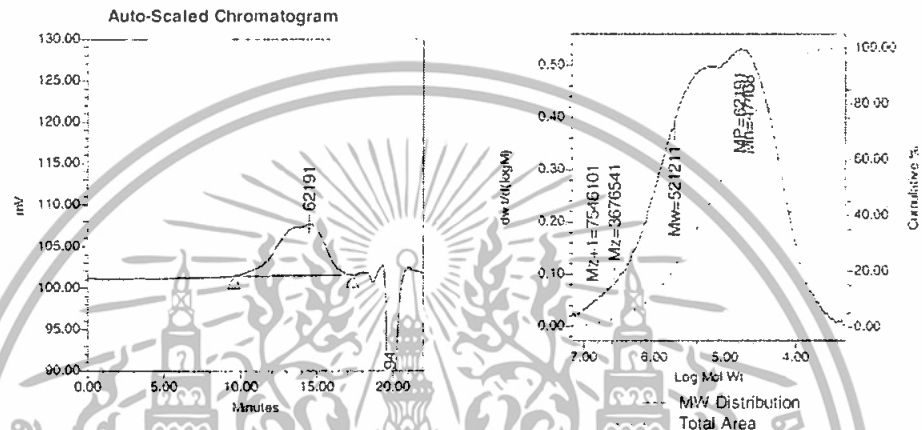
รูปที่ ง.4 โครมาโทแกรมของ M90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Date 3/14/08 1 of 1

Sample Information

SampleName	M85	Sample Type	Broad Unknown
Vial	3	Date Acquired	3/14/08 10:28:20 AM
Injection	1	Acq Method Set	Y2008_MethR_THF_30C_5
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Y2008_ProcR_THF_30C_5
Channel	SATIN	Date Processed	3/14/08 11:44:51 AM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Broad	47468	521211	62191	3676541	7546101	10.980329
2	Reference			94			

รูปที่ ง.5 โครมาโทแกรมของ M85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงร้อยละขององค์ประกอบของธาตุจาก XRF

ตารางที่ จ.1 องค์ประกอบของ MMT

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	49.1
Na	2.97
Mg	1.85
Al	8.72
Si	33.0
S	0.007
Cl	0.196
K	0.838
Ca	1.45
Ti	0.202
Fe	1.26
Cu	0.08
Pd	0.131

ตารางที่ จ.2 องค์ประกอบของ M100

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	14.3
Si	3.52
Cl	8.29
Fe	9.73
Cu	18.6
Rh	7.44
Pd	18.3
Ba	3.28
Hf	16.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 องค์ประกอบของ M100C0.5

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	18.9
Si	5.97
Cl	7.36
Ca	3.43
Fe	14.7
Cu	19.7
Rh	5.56
Pd	10.9
Sb	5.81
Au	7.73

ตารางที่ จ.4 องค์ประกอบของ M100C1

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	40.9
Na	5.26
Mg	1.67
Al	4.59
Si	26.2
Cl	4.01
K	1.90
Ca	3.51
Fe	4.62
Cu	4.29
Rh	0.894
Pd	1.30
Ba	0.953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 องค์ประกอบของ M100C2

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	44.9
Na	2.02
Mg	1.17
Al	4.81
Si	29.6
P	0.290
S	0.398
Cl	1.96
K	1.99
Ca	5.37
Ti	0.574
Fe	3.71
Cu	1.57
Zn	0.238
Rh	0.271
Pd	0.579
Sb	0.126
I	0.436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 องค์ประกอบของ M95

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	16.2
Si	3.42
Fe	11.1
Cu	19.2
Rh	4.70
Pd	11.1
Cs	26.4
U	7.95

ตารางที่ จ.7 องค์ประกอบของ M95C1

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	42.1
Mg	1.15
Al	4.63
Si	27.5
Cl	2.97
K	2.22
Ca	5.34
Ti	0.998
Fe	5.33
Cu	3.25
Rh	.541
Pd	1.59
Ba	1.07
Au	1.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.8 องค์ประกอบของ M90

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	17.0
Na	12.7
Si	3.45
Ci	8.99
Fe	8.27
Cu	17.2
Rh	5.19
Pd	11.9
Hf	15.3

ตารางที่ จ.9 องค์ประกอบของ M90C1

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	47.4
Na	1.6
Mg	1.33
Al	5.94
Si	33.0
S	0.294
Cl	1.00
K	1.55
Ca	3.27
Ti	0.317
Fe	1.61
Cu	0.910
RH	0.133
Pd	0.313
Hf	0.915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.10 องค์ประกอบของ M85

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	18.8
Na	8.21
Mg	3.76
Si	4.41
Fe	8.91
Cu	16.4
Zn	2.1
Rh	5.23
Pd	22.0
Re	4.05
Au	6.08

ตารางที่ จ.11 องค์ประกอบของ M85C1

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยอะตอมของธาตุ (%)
O	44.1
Na	4.02
Mg	1.55
Al	4.88
Si	28.8
S	0.437
Cl	2.57
K	1.78
Ca	3.89
Ti	0.474
Fe	3.67
Cu	2.46
Pd	0.977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของ P(MMA-*co*-AA) และวัสดุประกอบนาโน

ตารางที่ ฉ.1 ผลของ MMT ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบ

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	SD
M100	40.92	42.56	48.28	43.92	3.86
M100C0.5	44.66	46.8	44.42	45.29	1.31
M100C1	51.34	52.40	50.35	51.36	1.03
M100C2	59.71	52.28	57.19	56.39	3.78
M95	35.42	36.12	36.92	36.15	0.75
M 95C1	45.18	55.72	40.09	47.00	7.97
M90	26.13	21.16	25.75	24.35	2.77
M90C1	32.86	29.36	43.91	35.38	7.59
M85	10.32	7.148	11.31	9.59	2.17
M85C1	40.20	41.04	49.18	43.47	4.96

ตารางที่ ฉ.2 ผลของ MMT ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบนาโน

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	SD
M100	11.29	12.34	10.86	11.50	0.76
M100C0.5	8.879	8.925	9.052	8.950	0.09
M100C1	12.13	13.32	12.82	12.76	0.60
M100C2	14.03	13.766	15.69	14.50	1.04
M95	7.149	7.225	7.393	7.26	0.12
M 95C1	8.138	9.963	6.948	8.53	1.52
M90	5.226	4.238	4.283	4.58	0.56
M90C1	6.527	6.573	7.456	6.85	0.52
M85	3.593	3.396	4.114	3.70	0.37
M85C1	7.283	9.47	9.207	8.65	1.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.3 ผลของ MMT ที่มีต่อค่ามอดุลัสของยังของวัสดุประกอบนาโน

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	SD
M100	271.2	274.4	276.8	274.13	2.81
M100C0.5	374.2	365.4	349.2	362.93	12.98
M100C1	486.8	495.3	483.6	488.57	6.05
M100C2	521.2	512.6	538.4	524.07	13.14
M95	245.8	247.6	298.4	263.93	29.86
M 95C1	400.8	441.4	428.6	423.6	20.76
M90	217.4	140.6	298.4	263.93	14.28
M90C1	386.2	399.0	388.0	391.07	6.93
M85	193.7	194.2	185.4	191.1	4.94
M85C1	229.2	334.6	281.4	281.73	2.37

ตารางที่ ฉ.4 ความกว้างของวัสดุประกอบนาโนที่นำมาทดสอบสมบัติเชิงกล

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	SD
M100	4.483	4.517	4.25	4.42	0.15
M100C0.5	4.167	4.967	3.967	4.37	0.53
M100C1	4.817	4.33	4.833	4.66	0.29
M100C2	4.634	4.367	4.434	4.48	0.14
M95	4.58	4.317	4.51	4.47	0.14
M 95C1	4.3	4.6	4.77	4.56	0.24
M90	4.5	4.417	4.05	4.43	0.24
M90C1	4.2	4.5	4.7	4.47	0.25
M85	4.45	4.06	4.08	4.20	0.22
M85C1	4.08	4.25	4.12	4.15	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.5 ความหนาของวัสดุประกอบนาโนที่นำมาทดสอบสมบัติเชิงกล

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	SD
M100	0.489	0.4453	0.502	0.48	0.03
M100C0.5	0.4937	0.485	0.41	0.46	0.05
M100C1	0.439	0.505	0.417	0.47	0.03
M100C2	0.4327	0.434	0.4267	0.43	0.01
M95	0.498	0.4327	0.5127	0.48	0.04
M 95C1	0.4284	0.414	0.4517	0.43	0.02
M90	0.43	0.402	0.436	0.42	0.02
M90C1	0.4824	0.5923	0.474	0.52	0.07
M85	0.449	0.402	0.412	0.42	0.02
M85C1	0.508	0.5857	0.522	0.54	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้