

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก
จากพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว



นางสาวปัทมา บัวจันทร์
นายชัชวาลย์ ถักดีกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107762
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b. 12210118
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Production Microcellular Thermoplastic Natural Rubber Foam
from Polystyrene Plastic Waste**



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตโพลีเมอร์แบบธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากพลาสติกพอลิस्टาไทริน
ที่ใช้แล้ว

นักศึกษา นางสาวปณิตตา บัวจันทร์

นายชัยวัฒน์ ศักดิ์กุล

ภาควิชา เคมี

สาขา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล	
กรรมการ อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์	

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title **Production of Microcellular Thermoplastic Natural Rubber
Foam from Polystyrene Plastic Waste**

Name **Miss Pantita Buachan
Mr. Chaiwat Sakdikul**

Department **Chemistry**

Program **Environmental Resource Chemistry**

Academic Year **2005**

Special Project Advisor **Assoc.Prof.Dr.Nipon Wongvisetsirikul**

ABSTRACT

The special project aim to produce a microcellular thermoplastic natural rubber foam from polystyrene plastic waste. The styrene graft natural rubber was synthesized from graft copolymerization of styrene onto natural rubber using tertiary butyl hydroperoxide as initiator at temperature 50 degree Celcius for 24 hrs. Thermoplastic natural rubber TPNR was obtained by blending styrene graft natural rubber with polystyrene plastic waste in the ratios of 20:80, 30:70, 40:60 and 50:50, consequencely. The blending was performed in Brabender machine at temperature 170 °c for 5 minutes. The microcellular TPNR foam was produced from high pressure foam forming machine in supercritical CO₂ gas at temperature 100 degree Celcius, pressure 2,000 and 3,600 psi, respectively. TPNR was measured the thermal stability by TGA, it was found that TPNR contained styrene graft natural rubber : polystyrene plastic waste at the ratio of 20:80 was highest decomposed temperature.

The microcellular TPNR foam was studied the morphology by scanning electron microscope, it was found that microcellular foam produced from styrene graft natural rubber: polystyrene plastic waste at the ratio of 50:50 was the lowest density and highest expansion ratio at pressure 2,000 psi. For pressure at 3,600 psi, the microcellular TPNR foam produced from styrene graft natural rubber: polyrene waste at the ratio of 20:80 was the best foam morphology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในการดำเนินโครงการพิเศษนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และอาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์ กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษเล่มนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด และคอยเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดเวลา

ขอขอบคุณคณาจารย์เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ ให้นักศึกษา และการเรียนรู้สังคม ตลอดจนให้โอกาสรับการศึกษาในสถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้

ขอขอบคุณ ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อเครื่องขึ้นรูป โฟมชนิดความดันสูง และอุปกรณ์ต่างๆ เกี่ยวกับการทดลองด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่ชาย ศรีจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ โครงการพิเศษนี้เป็นอย่างมาก
สุดท้ายขอขอบคุณทุกท่าน และเพื่อนๆ ทุกคนในสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ที่มีส่วนร่วมในการผลักดันโครงการพิเศษนี้ จนดูสว่างไปด้วยดี

นางสาวปัทมา บัวจันทร์
นายชัยวัฒน์ ศักดิ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.6 พอลิस्टไตรีน	9
2.7 การใช้พอลิस्टไตรีนที่ใช่แล้ว	11
2.8 พอลิเมอร์ผสม	11
2.9 โฟม	11
2.10 กลไกการเกิดโฟม	13
2.11 สถานะของกระบวนการเตรียม โฟม	13
2.11.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำให้เกิดโฟม	13
2.11.2 เวลาการดูดซึมของก๊าซในพอลิเมอร์	14
2.12 ลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์โฟม	15
2.12.1 ขนาดและจำนวนเซลล์	15
2.12.2 การควบคุมความหนาแน่นของผนังเซลล์	15
2.12.3 การควบคุมความหนาแน่นของโฟม	16
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
3.3.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน	20
3.3.2 การผสมสูตร	23
3.3.3 การขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	24
3.3.4 การเตรียมโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	25
3.3.5 การวิเคราะห์การสลายตัวของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	26
ด้วยความร้อน	
3.3.6 การหาความหนาแน่น และอัตราการขยายตัวของโฟมยางธรรมชาติ	26
เทอร์โมพลาสติก	
3.3.7 การศึกษาสัณฐานวิทยาของโฟม	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 ผลการสังเคราะห์เชิงพรรณนากราฟท์สไตรีน	29
4.2 ผลการผสมสูตร	29
4.3 ผลการอัดขึ้นรูปรีออน	31
4.4 ผลการผลิตโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	31
4.5 ผลการวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	32
4.6 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น และอัตราขยายตัวของโฟม	33
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	35
4.7.1 ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์	37
4.7.2 จำนวนเซลล์ต่อปริมาตร	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 อัตราการผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และสารเติมแต่ง	21
ตาราง 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน กับพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	23
ตาราง 4.1 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจาก ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ	30
ตาราง 4.2 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวที่ทำให้น้ำหนักของสารหายไป 50 เปอร์เซ็นต์	32
ตาราง 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	33
ตาราง 4.4 แสดงความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ของโพลีเมอร์ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	38
ตาราง 4.5 แสดงจำนวนเซลล์ของโพลีเมอร์ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และพลาสติก พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ cis-1,4-polyisoprene	3
รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างพอลิซิสไตรีน	9
รูปที่ 2.3 สัณฐานวิทยาของโพลีพอลิซิสไตรีน	10
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของโพลี	12
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโพลีกับอุณหภูมิการเกิดโพลี	14
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโพลีและปริมาณสารให้ฟอง	16
รูปที่ 3.1 หม้อปฏิบัติการที่ติดตั้งเครื่องปั่นกลวน และอ่างควบคุมอุณหภูมิ	21
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองทั้งหมด	22
รูปที่ 3.3 เครื่องบดพลาสติก	23
รูปที่ 3.4 เครื่องผสมบาร์เบานเดอร์	23
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูปรีออน	24
รูปที่ 3.6 เครื่องขึ้นรูปโพลีเมชันความดันสูง	25
รูปที่ 3.7 แสดงการขึ้นเนื้อ	25
รูปที่ 3.8 ชุดควบคุมความดัน	25
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ MD-200S	26
รูปที่ 3.10 เครื่องเกลียวทอง และเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	28
รูปที่ 4.1 ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่ได้จากเครื่องบดพลาสติก	29
รูปที่ 4.2 ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิซิสไตรีนที่ใช้แล้ว	30
รูปที่ 4.3 ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากการขึ้นรูปรีออน	31
รูปที่ 4.4 โพลียางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตได้	32
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัว 50 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มียางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนปริมาณต่างๆ	33
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนอัตราส่วนต่างๆ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของ โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณยาง ธรรมชาติกราฟท์สไตรีนอัตราส่วนต่างๆ	34
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของ โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณของ ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ	35
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของ โฟมพอลิสไตรีนที่ผลิตจากพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	36
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของ โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติ กราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	36
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของ โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติ กราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	37
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วใน อัตราส่วนต่างๆ	38
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของ โฟมยางธรรมชาติ เทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีน ที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายในปริมาณมาก เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ กระบวนการผลิตพลาสติกในปัจจุบันได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เมื่อนำพลาสติกไปใช้งานจนหมดสภาพแล้ว จะมีการกำจัดพลาสติกด้วยการเผาหรือฝังกลบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับบรรยากาศของโลก โดยเฉพาะการเผาขยะพลาสติก จึงมีแนวความคิดที่จะใช้ยางธรรมชาติผลิตเป็นพลาสติกขึ้น เพื่อทดแทนการใช้สารปิโตรเคมีในกระบวนการผลิตพลาสติก

ยางธรรมชาติเป็นผลผลิตทางการเกษตรของไทยที่มีปริมาณมากและหาวัตถุดิบได้ง่าย ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกได้ แต่ด้วยสมบัติด้อยบางประการของยางธรรมชาติ เช่น ความต้านทานต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายค่า จึงไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งาน เพราะยางธรรมชาติจะไม่คงทนและมีอายุการใช้งานต่ำ ดังนั้นจะต้องทำการปรับปรุงสมบัติข้อด้อยของยางธรรมชาติเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติได้ดีขึ้น เช่น การทำกราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติด้วย สไตรีนบอานอเมอร์ และพัฒนาการผลิตโฟมยางเทอร์โมพลาสติก เป็นต้น

ยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงเป็นยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ยังมีสมบัติด้อยบางประการ เช่น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ค่อนข้างยาก จึงจำเป็นต้องทำการผสมพลาสติกเพื่อช่วยในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการผลิตไมโครเซลล์ลูลาร์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

พลาสติกที่ช่วยในการขึ้นรูปได้จากการรีไซเคิลพลาสติกพอลิสไตรีน หรือ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นการนำพลาสติกที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ และช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในด้านการลดปริมาณขยะพลาสติกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์โครงการพิเศษ

1. เพื่อสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนจากยางธรรมชาติ โดยใช้กระบวนการกราฟท์โคพอลิเมอร์เซชันกับสไตรีนมอนอเมอร์
2. ศึกษาการผลิตยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว จากนั้นนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไมโครเซลล์ลูลาร์โฟม
3. ศึกษาสมบัติของไมโครเซลล์ลูลาร์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนโดยใช้สไตรีนมอนอเมอร์ ทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์เซชันกับยางธรรมชาติ
2. ผสมสูตรพลาสติกพอลิสไตรีนที่ผ่านการใช้แล้ว และยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน ในอัตราส่วน 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ โดยใช้เครื่องผสมบาร์เบนเดอร์
3. นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกอัดขึ้นรูปรีออน
4. ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกโดยใช้เทคนิคก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง
5. ทดสอบสมบัติความหนาแน่นของโฟม ลักษณะรูปร่างของโฟม ขนาดของโฟมและสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครเซลล์ลูลาร์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากยางธรรมชาติและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
2. เพื่อการพัฒนาการใช้ยางธรรมชาติให้สามารถใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม
3. ทำการผลิตไมโครเซลล์ลูลาร์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากยางธรรมชาติและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
4. ลดปัญหามลภาวะจากพลาสติกที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

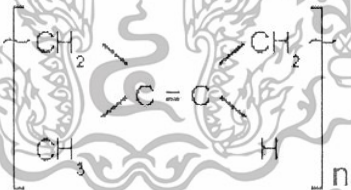
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

ยางธรรมชาติเป็นส่วนผสมหลักในสูตรผสมยางทั่วไป ผลิตได้จากการกรีดต้นยางให้น้ำยางไหลออกมารวมกันในภาชนะรองรับ น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวสีขาว โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้

- ซีส -1,4-พอลิไอโซพรีน 35 เปอร์เซ็นต์
- สารประกอบเคมีที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมันและเกลือแร่ 5 เปอร์เซ็นต์
- น้ำ 60 เปอร์เซ็นต์

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยไอโซพรีน (C_5H_8) ที่ซ้ำๆ กันมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาว โครงสร้างมีพันธะคู่จัดตัวเป็นแบบซีส มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 50,000 - 3,000,000 ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ cis-1,4-polyisoprene

สมบัติที่สำคัญของยางธรรมชาติได้แก่

1. มีค่าความแข็งแรงของยางดิบสูง (green strength)
2. มีสมบัติเชิงกลที่ดีภายใต้แรงดึง
3. มีความยืดหยุ่นสูง
4. ทนทานต่อแรงเฉือน
5. ไม่ทนทานต่อโอโซนและออกซิเจน เนื่องจากมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง

ยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงและมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วต่ำ ทำให้มีสมบัติในการกระดอนสูง แต่มีสมบัติการคืบต่ำ การทำให้คงรูปสามารถทำได้ง่ายโดยใช้ซัลเฟอร์ เอกสารนี้ยังบรรยายถึงสมบัติที่ควรหลีกเลี่ยงเมื่อได้รับแรงดึง เนื่องจากพันธะคู่มีการจัดเรียงตัวแบบซีส ซึ่งมีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบียบ ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึง โมเลกุลของยางธรรมชาติจะเคลื่อนเข้ามาชิดกันได้ง่าย ทำให้เกิดการตกผลึกได้

การผสมยางธรรมชาติเพื่อใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการผสมยางชนิดอื่นๆ และสารเคมีเพื่อเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติที่เป็นข้อบกพร่อง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพและมีสมบัติที่สม่ำเสมอ โดยจะต้องทำให้ยางและสารเคมีที่เติมเข้าไปมีการกระจายตัวดี

ในการผสมสูตรยางต้องทำให้สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผสมเกิดการกระจายตัว โดยทำให้อณูภาคต่างๆ เกิดการกระจายตัวในเนื้อยางทำให้ขนาดของอนุภาคต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการผสม การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของส่วนประกอบต่างๆ เนื่องจากระบวนการผสมมีดังต่อไปนี้

1. การแบ่งย่อย (subdivision)

การแบ่งย่อยยางให้เล็กลง เกิดขึ้นโดยอัดและดันยางธรรมชาติให้เข้าไปในโรเตอร์และระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องผสม

2. การรวมตัว (incorporation)

การรวมตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการแบ่งย่อยยาง โดยส่วนประกอบของสารเคมีสัมผัสกับผิวภาชนะของยาง การรวมตัวเกิดขึ้นเมื่อยางเข้าไปล้อมรอบอนุภาคของสารเคมี

3. การกระจายตัว (dispersion)

อนุภาคยางและสารเคมีที่รวมตัว เกิดการแตกย่อยลงจนมีขนาดที่เหมาะสมแล้วค่อยๆ กระจายเข้าไปในยาง

4. การผสมอย่างง่าย (simple mixing)

เป็นการเคลื่อนตัวของอนุภาคจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างเพื่อเพิ่มการกระจายตัว

5. การลดความหนืด (plasticization or viscosity reduction)

หลังจากสารเคมีกระจายตัวเข้าไปในเนื้อยางอย่างทั่วถึงแล้วหากยังดำเนินการผสมต่อไป ความหนืดและความยืดหยุ่นของยางผสมจะลดลง เนื่องจากการแตกตัวของโมเลกุลยาง

2.2 การพัฒนาใช้ยางธรรมชาติ

ในปี พ.ศ. 2155 ได้มีการค้นพบแหล่งกำเนิดยางธรรมชาติในบริเวณทวีปอเมริกาใต้ บริเวณประเทศบราซิล และเรียกชื่อของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำนม ซึ่งไหลออกจากรอยแผลของต้นยางที่ถูกกรีดว่า Latex เป็นภาษาสเปนแปลว่าน้ำนม ต่อมาชาวยุโรปได้นำยางธรรมชาติไปใช้เอกสารนี้ประโยชน์ในการถวัลย์ยางดิบ จึงเรียกยางธรรมชาติว่า Rubber นอกจากนั้นยังสามารถนำยางนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติไปใช้ทำผ้าฉาบยางเพื่อทำเป็นเสื้อกันฝน ภายหลังได้ค้นพบวิธีการบดยาง จึงมีการนำยางธรรมชาติมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหายในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นจึงได้ทำการค้นคว้าหาวิธีการปรับปรุงยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อให้ความร้อนร่วมกับกำมะถัน จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น เรียกว่าวัลคาไนเซชัน และได้มีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการรักษาน้ำยางธรรมชาติให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยใช้แอมโมเนียในการเก็บรักษาน้ำยางธรรมชาติไว้ได้โดยน้ำยางไม่จับตัวเป็นก้อนแข็ง ต่อมาได้มีการผลิตน้ำยางชั้น 60% เพื่อไม่ให้ลื่นเปลือยค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยวิธีทำเป็นครีม การปั่นแยกน้ำออก การระเหยน้ำออกหรือการใช้ไฟฟ้า ทำให้สามารถนำน้ำยางชั้น ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถุงมือ และผลิตภัณฑ์ยางชนิดอื่นๆ โดยวิธีการจุ่มแบบพิมพ์ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2363 ได้มีการนำเอายางธรรมชาติมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น ผลิตภัณฑ์ยาง และยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

ต่อมาได้มีการพัฒนาน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทำให้ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติก็ยังมีสมบัติความต้านทานต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายต่างๆ ต่ำ จึงได้มีการค้นคว้าผลิตยางธรรมชาติดัดแปลงเพื่อช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น โดยการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ

การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์มีการศึกษามาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งเป็นวิธีในการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์โดยใช้ปฏิกิริยาเคมี

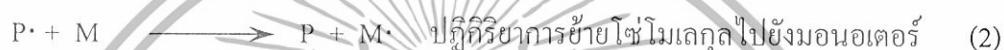
2.3 วิธีการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ

การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่สำคัญมีวิธีการ ดังนี้

1. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ โดยกลไกปฏิกิริยาการย้ายโซ่โมเลกุล (Polymer transfer)
2. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติผ่านหมู่ไม่อิ่มตัว (Copolymerisation via the unsaturation group)
3. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์แบบรีดอกซ์ (Redox polymerisation)
4. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ด้วยเคมีแสง (Photochemical synthesis)
5. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีพลังงานสูง (High energy irradiation synthesis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สังกะเรห้กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติโดยกลไกปฏิกิริยาการย้ายโซ่โมเลกุล ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ ช่วงแรกของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ ไวนิลมอนอเมอร์ เช่น สไตรีน ปฏิกิริยาการย้ายโซ่โมเลกุลจะเกิดขึ้นระหว่างอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ ($P\cdot$) กับตัวริเริ่มปฏิกิริยา (I) หรือมอนอเมอร์ (M) หรือสารเคมีที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการย้ายโซ่โมเลกุล เช่น เมอร์แคปแทน (RSH) เป็นต้น หรือตัวทำละลาย (S) หรือพอลิเมอร์ (P) หรือกับอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ($P\cdot$) ดังสมการที่ (1) – (5) ตามลำดับ



ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์สามารถทำได้ทั้งในรูปของสารละลายอินทรีย์และอิมัลชัน ถ้าสำหรับยางธรรมชาติที่เป็นของแข็งจะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งผสมมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาอยู่ ส่วนยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปอิมัลชัน จะเติมมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้แพร่กระจายในน้ำยาง

2. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติ

ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติเป็นปฏิกิริยาการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์โดยทั่วไป การตรวจสอบโครงสร้างของยางธรรมชาติด้วยสเปกตรัมอินฟราเรดแสดงให้เห็นความไม่อิ่มตัวของหมู่ไวนิลที่มาเกาะบนยางธรรมชาติ การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวใน โഴ่พอลิเมอร์ จึงเป็นวิธีการที่เที่ยงตรงและแน่นอนที่สุด ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ทำให้ง่ายธรรมชาติมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ดีกว่าปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศต่างๆ ไป

3. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยปฏิกิริยารีด็อกซ์

เป็นปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์มากในเชิงการค้า สามารถทำได้กับมอนอเมอร์ทุกชนิด อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมเฉพาะปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โคลพอลิเมอร์ของ ไวนิลมอนอเมอร์เท่านั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ของน้ำยาง ก็คือการแพร่กระจายของมอนอเมอร์ระหว่างชั้นน้ำกับยาง โดยทั่วไปจะปล่อยทิ้งไว้หลายๆ ชั่วโมงเพื่อให้การแพร่กระจายของมอนอเมอร์อยู่ในสภาวะสมดุล

4. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ด้วยเคมีแสง

โมเลกุลของสารอินทรีย์สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้โมเลกุลอยู่ใน “สภาวะ-เร้า” (excited state) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ Cooper และผู้ร่วมงานได้สังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติกับไวนิลมอนอเมอร์ เช่น สไตรีน

ต่อมา Menon และผู้ร่วมงานได้ปรับปรุงวิธีการฉายแสง โดยผ่านน้ำยางธรรมชาติภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน และใช้สารที่สามารถละลายในน้ำได้ เช่น เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ หรือเฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมด้วย ในขั้นแรกของปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านอิเล็กตรอน ตามด้วยการเกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา

ไฮดราซีน (Hydrazine) สามารถใช้เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ดังสมการที่ (6)



5. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยฉายรังสีพลังงานสูง

เมื่อนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีที่มีพลังงานสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยา 2 ชนิด

- ก. การขาดหายไปของอะตอมหรือหมู่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์
- ข. ปฏิกิริยาการสลายพันธะในสายโซ่พอลิเมอร์

ผลจากปฏิกิริยาจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดโคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบกราฟท์ เมื่อฉายแสงขณะที่มีออกซิเจน เปอร์ออกไซด์ และ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาบนพอลิเมอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ียงกราฟท์โคพอลิเมอร์

น้ียงกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน อาจทำการตกตะกอนให้อยู่ในรูปของแข็ง หรืออาจนำไปใช้โดยตรง ในกระบวนการแปรรูปน้ียงโดยทั่วๆ ไป น้ียงกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ จะมีสมบัติคล้ายคลึงกับยางแข็งที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ แต่มีข้อจำกัดในการเกิดฟิล์ม เมื่อพอลิเมอร์โซ่กึ่งเป็นพลาสติกแข็งน้ียงกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีสมบัติในการยึดติดลดลง ในการเตรียมฟิล์มแข็งจะมีรอยแตกหรือรอยขีดข่วน เมื่อพอลิเมอร์โซ่กึ่งมีปริมาณสูงขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานะของการทำให้แห้ง เช่น อุณหภูมิ อัตราในการทำให้แห้ง และความหนาของฟิล์ม เป็นต้น แต่สำคัญที่สุดจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพอลิเมอร์ และธรรมชาติของตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

ข้อสรุปสำคัญ 3 ประการ ที่ทำให้สมบัติของน้ียงกราฟท์โคพอลิเมอร์ขึ้นกับธรรมชาติของตัวริเริ่มที่ใช้ในปฏิกิริยามีดังต่อไปนี้

1. ธรรมชาติของตัวริเริ่มที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอนุบลอิสระเริ่มต้น
2. การใช้น้ียงที่มีการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์สม่ำเสมอ ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีสมบัติที่ดี
3. ธรรมชาติของตัวริเริ่มจะกำหนดอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่เกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์

2.5 การแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์

การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งโซโมพอลิเมอร์ปนอยู่กับกราฟท์โคพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์ออกมาจากของผสม ซึ่งสามารถทำได้ด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การสกัดแบบเลือกสกัด
2. การตกตะกอนแยกส่วน
3. การตกตะกอนแบบเลือกตกตะกอน
4. การสกัดร่วมกับการตกตะกอน

การเลือกใช้เทคนิคใดนั้น จะพิจารณาโดยอาศัยหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับความแตกต่างในการละลายระหว่างมอนอเมอร์ โซโมพอลิเมอร์ และกราฟท์โคพอลิเมอร์ ถ้าตัวทำละลายเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์ (A) จะเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีสำหรับพอลิเมอร์ (B) ในทางตรงข้ามถ้าเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์ (B) จะเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีสำหรับพอลิเมอร์ (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ หากมีการคัดลอกไปโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมายและไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสกัดแบบเลือกสกัด

วิธีนี้เป็นการเลือกตัวทำละลายที่สามารถละลายเฉพาะพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งเท่านั้น นิยมใช้กับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง โดยทำการสกัดเอาส่วนผลมบางส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลาย และใช้เวลาในการสกัดนานกว่า 4 – 5 ชั่วโมง เพื่อแน่ใจว่าสกัดสิ่งที่การออกหมดแล้วซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากน้ำหนักของของแข็งเริ่มต้นว่าคงที่หรือไม่

อุปกรณ์ที่นิยมใช้คือ เครื่องสกัดแบบซงกห์เลต เนื่องจากสามารถสกัดได้อย่างต่อเนื่อง และใช้ตัวทำละลายในปริมาณไม่มากนัก การสกัดพอลิสไตรีนนิยมใช้แอซีโตน และถ้าทำในบรรยากาศไนโตรเจน จะทำให้เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์น้อยที่สุด ส่วนการสกัดยางธรรมชาตินิยมใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ที่มีจุดเดือดประมาณ 60 – 80 องศาเซลเซียส

2. การตกตะกอนแบบแยกส่วน

เทคนิคนี้ใช้ตัวทำละลายสกัดกราฟท์โคพอลิเมอร์และตกตะกอนโฮโมพอลิเมอร์ทั้งสองออก โดยเลือกตัวทำละลายที่ทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีช่วงการตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิดห่างกันมากที่สุด เพราะว่าการตกตะกอนของกราฟท์โคพอลิเมอร์จะอยู่ในช่วงการตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์ทั้งสอง สำหรับการตกตะกอนกราฟท์โคพอลิเมอร์อยู่ในช่วงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในโมเลกุล

3. การตกตะกอนแบบเลือกตกตะกอน

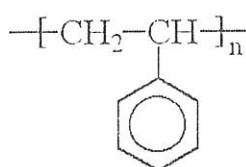
เทคนิคนี้ต่างจากการตกตะกอนแบบแยกส่วนตรงที่ไม่ใช่ช่วงการตกตะกอนเป็นหลัก แต่จะใช้การตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิดด้วยตัวทำละลาย ส่วนพอลิเมอร์อื่นจะยังอยู่ในสารละลาย เมื่อทำการตกตะกอนโฮโมพอลิเมอร์ที่มีอยู่ทั้งหมดออกแล้วจึงทำการตกตะกอนกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นขั้นสุดท้าย

4. การสกัดร่วมกับการตกตะกอน

เทคนิคนี้เป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกพอลิเมอร์แต่ละชนิดออกจากกัน

2.6 พอลิสไตรีน (PS)

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง อัดแน่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตร โครงสร้างพอลิสไตรีน

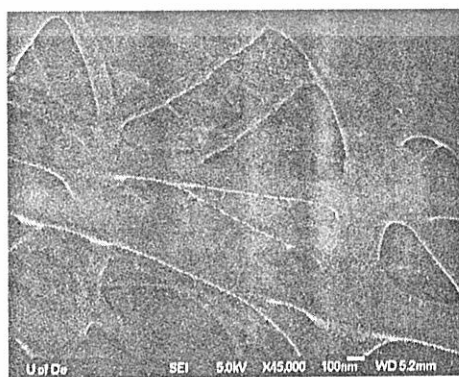
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดยบริษัท ดาวน์เคมี จำกัด และ บริษัท ฟาร์เบน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความแข็ง โสและเปราะ
2. ไม่ดูดความชื้น
3. ไม่นำไฟฟ้า
4. เจือต่อสารเคมี
5. มีความทนทานต่อกรด ด่าง ฮาโลเจน ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์
6. มีความทนทานต่อความร้อนได้ดี
7. มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000
8. ทนทานต่อแรงดึงได้ดี
9. มีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.05 – 1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
10. ละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ

โฟมพอลิสไตรีน (polystyrene foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานมักนำไปทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์และทำเป็นโฟมกันกระแทก ซึ่งทำได้โดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทน จากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่า แล้วอัดเข้าในเบ้าให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หรือทำให้เกิดเป็นโฟมโดยนำพอลิสไตรีนมาเติมสารให้ฟอง (blowing agent) แล้วใส่ในแบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาได้ ก๊าซออกมาเกิดเป็นโฟมพอลิสไตรีน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัณฐานวิทยาของโฟมพอลิสไตรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิस्टาไทรินชนิดทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากมีความใส แต่เมื่อมีความหนา มากจะทึบแสง การนำไปใช้งานจะใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

เมื่อนำพอลิस्टาไทรินไปใช้ประโยชน์ในระยะหนึ่ง จะเกิดการเสียดสภาพขึ้นจากการใช้งาน ทำให้มีลักษณะที่เปราะ แตกหักง่าย จึงมีการพัฒนาคิดค้นนำพอลิस्टาไทรินที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยมีเป้าหมายช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น อันนำไปสู่การลดปริมาณการผลิตพอลิस्टาไทริน และยังเป็น การช่วยส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นอีกทางหนึ่ง การคัดแยกพอลิस्टาไทรินออกจาก พลาสติกทั่วไปนิยมคัดแยกด้วยวิธีใช้แรงงานคน หรือใช้เครื่องจักรคัดแยกโดยอาศัยความ หนาแน่นของพอลิस्टาไทริน แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากลงทุนสูง

2.7 การใช้พอลิस्टาไทรินที่ใช้งานแล้ว

เมื่อแยกพอลิस्टาไทรินออกจากพลาสติกชนิดอื่นแล้วจะทำความสะอาด แล้วนำไปบดให้ ละเอียด แล้วจึงนำพอลิस्टาไทรินไปหลอมขึ้นรูปใหม่ ทั้งนี้สามารถนำพอลิस्टาไทรินที่ใช้งานแล้วไป ประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การนำพอลิस्टาไทรินผสมกับดินใช้ทำอิฐมวล เเบา การนำพอลิस्टาไทรินผสมกับดินเพื่อเพิ่มช่องอากาศภายในเนื้อดิน และการนำพอลิस्टาไทรินผสมกับ ขางธรรมชาติแล้วนำไปขึ้นรูปใหม่

2.8 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

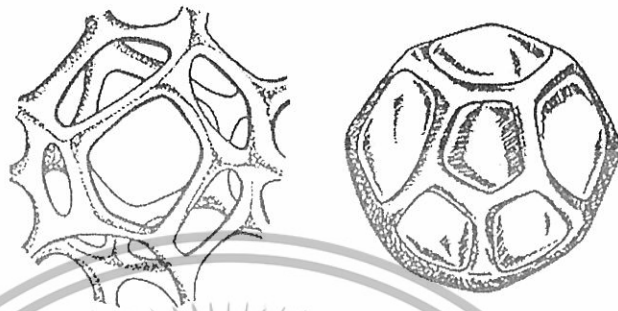
พอลิเมอร์ผสม หมายถึง พอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วมที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดมาผสมกัน ทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆ กัน ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วมที่ผสมกันแล้วสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (miscible) ซึ่ง ทำให้สมบัติดีขึ้นหรือไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible) ซึ่งสมบัติที่ได้มีค่าลดลงแต่ สามารถปรับปรุงความเข้ากันได้โดยการเติมสารช่วยผสม (compatibilizer)

2.9 โฟม (Foam)

เซลล์ลูลาร์พลาสติก หรือโฟมพลาสติก หมายถึง พลาสติกที่ขยายตัวหรือพองฟูคล้าย ฟองน้ำ โดยทั่วไปโฟมพลาสติก จะมีส่วนประกอบอย่างน้อย 2 วัสดุ ได้แก่ วัสดุที่เป็นพอลิ- เมอร์ของแข็ง และวัสดุที่ก๊าซที่เกิดขึ้นจากสารให้ฟอง (Blowing agent) สำหรับส่วนที่เป็นวัสดุของแข็ง ประกอบด้วยพอลิเมอร์หนึ่งชนิดหรือมากกว่า เช่น ในกรณีที่ผสมพอลิเมอร์สองชนิดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกัน โฟมอาจมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature : T_g) ของพอลิเมอร์ทั้งสอง



(ก) (ข)
รูปที่ 2.4 ลักษณะ โครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด, (ข) เซลล์ปิด

ลักษณะ โครงสร้างของ โฟมอาจเป็นแบบเซลล์เปิดหรือเซลล์ปิด ดังรูปที่ 2.4 โฟมแบบเซลล์ปิด หมายถึง โฟมที่มี โพรงของเซลล์ไม่ต่อกัน เหมาะสำหรับการใช้เป็นฉนวนกันความร้อน และโดยทั่วไปจะมีลักษณะแข็ง ในขณะที่ โฟมแบบเซลล์เปิด หมายถึง โฟมที่มี โพรงของเซลล์ต่อกันจนทำให้ก๊าซ หรืออากาศหมุนเวียนถึงกันได้ เหมาะสำหรับทำเบาะนั่งในรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์และฉนวนกันเสียง หรือการใช้งานอื่นๆ ที่ต้องการลักษณะยืดหยุ่น ถ้าลักษณะ โครงสร้างของ โฟมประกอบด้วยเซลล์ปิดและเปิดอยู่ด้วยกันเรียกว่า เซลล์ผสม โครงสร้างของเซลล์นี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการทำให้เกิดโฟมและชนิดของสารให้ฟอง

โฟมพลาสติกที่ผลิตได้จะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยมีขอบเขตประมาณ 1.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึงมากกว่า 96 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การประยุกต์ใช้งานของโฟมเหล่านี้จะพิจารณาจากช่วงความหนาแน่นของโฟมที่ผลิตได้ เนื่องจากสมบัติเชิงกลจะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของโฟม ดังนั้น โฟมแบบแข็งเหมาะสำหรับการทนรับแรง โดยจะมีความหนาแน่นสูงและมีการเสริมแรงเส้นใย ในขณะที่ โฟมความหนาแน่นต่ำเหมาะสำหรับทำฉนวนกันความร้อน โฟมยืดหยุ่นที่มีความหนาแน่นต่ำ (ประมาณ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เบาะนั่งในรถยนต์และโฟมที่มีความหนาแน่นสูงจะประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรองพรม (Carpet backing) และตัวดูดซับพลังงาน (Energy-absorbing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 กลไกการเกิดโฟม

การเกิดโฟมเป็นปรากฏการณ์การเกิดวัฏภาคใหม่ที่เกี่ยวข้องกับทางฟิสิกส์และทางเคมี เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์นั้น การเกิดวัฏภาคใหม่สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “การเกิดนิวเคลียส”(nucleation) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างภายใน หรือจากสารอื่นที่แพร่เข้ามา พื้นฐานของการเกิดโฟมเกี่ยวข้องกับการเกิดนิวเคลียสของฟองก๊าซ(bubble nucleation) และการเจริญเติบโตของฟองก๊าซ(bubble growth) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นโฟม ซึ่งนิยามของโฟมก็คือ เซลล์ของก๊าซที่กระจายตัวในโครงสร้างของพอลิเมอร์

การเกิดโฟม มีหลักการสำคัญคือ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่กระจายในวัฏภาคของพอลิเมอร์ และมีพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะแรงคั้นภายในเพื่อขยายขนาด จึงมองเห็นโฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นฟอง หากความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic instability) เกิดขึ้นมาก จะไปกระตุ้นการเกิดนิวเคลียส ทำให้เกิดกลุ่มของฟองก๊าซจำนวนมากภายในช่วงเวลาสั้นๆ

กระบวนการเกิดโฟม ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 1 การเริ่มเกิดฟองก๊าซ (bubble initiation) หรือ การเกิดนิวเคลียส (nucleation)
- 2 การเจริญเติบโตของฟองก๊าซ (bubble growth)
- 3 การคงสภาพของโฟม (stabilization)

2.11 สถานะของกระบวนการเตรียมโฟม

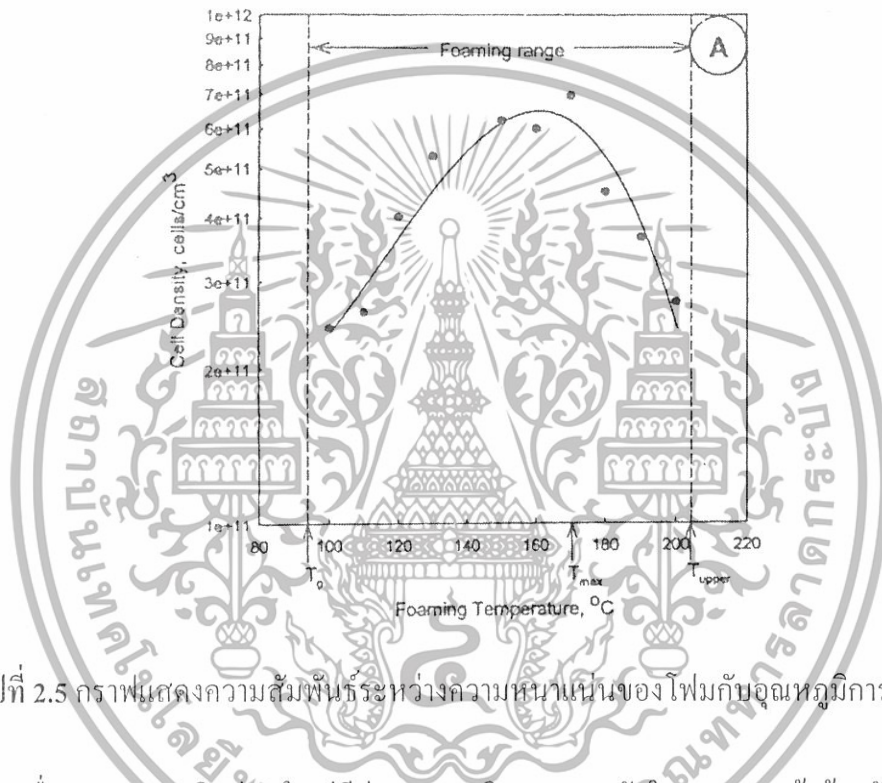
2.11.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำให้เกิดโฟม

อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดโฟมมีผลต่อขนาดของเซลล์ หากเซลล์มีขนาดเล็กจะทำให้ความหนาแน่นของเซลล์เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ B. Krause และคณะ การเกิดโฟมของพอลิซิลิโคน/คาร์บอนไดออกไซด์ จะทำได้ที่เหนืออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเท่านั้น คือเหนืออุณหภูมิ 95 °ซ แสดงโดยเส้นประด้านซ้ายมือ การเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในพอลิเมอร์ จะเป็นสาเหตุของการลดลงของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของผสมพอลิเมอร์/ก๊าซ จึงทำให้อุณหภูมิการเกิดโฟมมีค่าลดลงที่อุณหภูมิระหว่าง 100-165 °ซ จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของเซลล์ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเตรียมโฟมแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งจะเกิดขึ้นในการเกิดโฟมที่เป็นเนื้อเดียวโดยทั่วไป

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ทำให้ความหนาแน่นของโฟมมากที่สุดประมาณ 170 °ซ จำนวนเซลล์ต่อหน่วยปริมาตรจะลดลงอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิการเกิดโฟมเพิ่มขึ้น การเกิดและการขยายขนาดของโฟมจะเด่นชัดในช่วงอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารหนึ่งของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) และอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอุณหภูมิที่ทำให้ความหนาแน่นของเซลล์มีค่ามากที่สุด(T_{max}) การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายออกจากเนื้อของพอลิเมอร์ในช่วงของการเกิดโฟม จะทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลงอย่างมากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 165 ถึง 205 °ซ ที่เหนืออุณหภูมิของการเกิดโฟมวิกฤติ (Upper critical foaming temperature) จะไม่มีการเกิดโฟมอีกต่อไป



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของ โฟมกับอุณหภูมิการเกิดโฟม

เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่มีช่วงอุณหภูมิการหลอมตัวในการผสมเข้าด้วยกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการวัดและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะตลอดเวลา เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้พลาสติกไหม้และถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้มีความหนืดสูงมาก ยากแก่การผสมกัน ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์รุ่นหน้าไปมาก จึงได้มีการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการวัดเพื่อความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2.11.2 เวลาการดูดซึมของก๊าซในพอลิเมอร์ (Soaking time)

เวลาการดูดซึมของก๊าซในพอลิเมอร์หมายถึง เวลาที่ต้องใช้ในการปล่อยให้สารให้ฟองละลายในพอลิเมอร์จนอิ่มตัว เวลาดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากการแพร่ของก๊าซในตัวกลางแบบมีขอบเขตจำกัดภายใต้สภาวะที่ไม่คิดความต้านทานที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์โฟม

2.12.1 ขนาดและจำนวนเซลล์

โดยทั่วไป โฟมพลาสติกที่มีเนื้อเดียวสม่ำเสมอ และมีลักษณะรูปร่างเท่ากันตลอดปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะประกอบด้วย 1,000 ถึง 10,000 เซลล์ โดยจะมีความแตกต่างของขนาดเซลล์ที่แท้จริง กับขนาดของเซลล์โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 12% ถึง 25% ขนาดของเซลล์และการกระจายขนาดของเซลล์ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเกรดของพอลิเมอร์ แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการเกิดโฟมด้วย จำนวนเซลล์ต่อหน่วยปริมาตรโฟม (n) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประมาณค่าประสิทธิภาพของสารกระตุ้นให้เกิดนิวเคลียส หรือความเป็นเนื้อเดียวกัน พารามิเตอร์ n เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับขนาดของเซลล์และความหนาแน่นของโฟมพลาสติกและจำนวนเซลล์ต่อหน่วยปริมาตรโฟม มีค่าดังนี้

$$n = \left(\frac{n_b}{\ell^2} \right)^{3/2} \times 10^3 \times \varphi$$

โดย n คือ จำนวนเซลล์ต่อหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรของโฟม, n_b คือ จำนวนเซลล์ ในพื้นที่ $\ell \times \ell$, ℓ คือ ความยาวของด้านที่กำหนดในหน่วย มม., φ คืออัตราขยายตัว (expansion ratio) ซึ่งนิยามได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_f}$$

เมื่อ ρ_f และ ρ_p คือ ความหนาแน่นของโฟมและความหนาแน่นของพอลิเมอร์ในหน่วยกรัมต่อซม.³ ตามลำดับ

2.12.2 ขนาดและความหนาของผนังเซลล์

ความหนาแน่นและอัตราส่วนของจำนวนเซลล์เปิดต่อจำนวนเซลล์ปิดเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของโฟมพลาสติก แม้ว่า จะมีความหนาแน่นและจำนวนเซลล์เปิดหรือเซลล์ปิดเท่ากัน แต่ความแข็งแรงและสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆ จะแตกต่างกันมากในโฟมพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์เกรดเดียวกัน ดังนั้นจะต้องมีการพิจารณาในเรื่องความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของเซลล์

สำหรับเซลล์ทรงกลมที่มีการกระจายตัวเดียวๆ ในโฟมพลาสติก จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผนังเซลล์เฉลี่ย δ กับเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ d ดังสมการต่อไปนี้

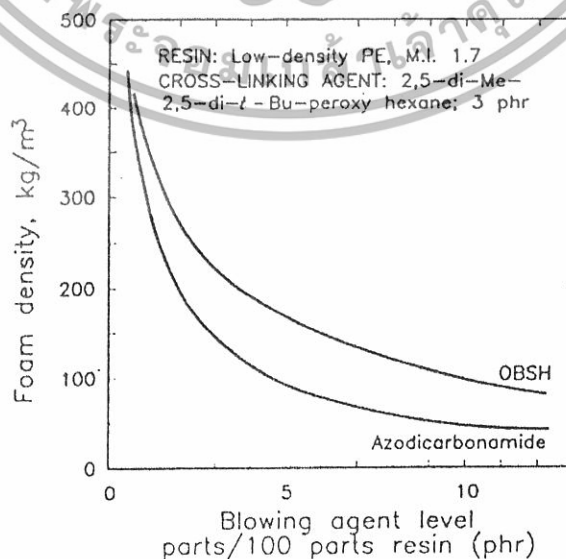
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = d \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \rho/\rho_p}} - 1 \right)$$

เมื่อ ρ_p คือความหนาแน่นของพอลิเมอร์ที่ยังไม่เกิดโฟมในหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ρ คือ ความหนาแน่นของพลาสติกที่เกิดโฟมแล้วในหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.12.3 การควบคุมความหนาแน่นของโฟม

ความหนาแน่นของโฟมจะควบคุมโดยปริมาณสารให้ฟอง ในรูปที่ 2.6 ความหนาแน่นของโฟมเป็นสัดส่วน โดยประมาณแบบผกผันกับระดับปริมาณสารให้ฟอง พารามิเตอร์ของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนาแน่นของโฟม ความหนาแน่นของของแข็งโฟม ขนาดของเซลล์ ปริมาณการเชื่อมโยงในโครงสร้าง ปริมาณของเซลล์เปิด อุณหภูมิของการเกิดโฟม และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการขยายตัว จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของสารให้ฟองโฟม ประสิทธิภาพการแพร่ของสารให้ฟองจะต่ำในผลิตภัณฑ์ที่บางและมีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากสูญเสียก๊าซออกไปโดยการแพร่สู่สิ่งแวดล้อม การขยายตัวของโฟมในอากาศที่อุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุทำให้พื้นผิวของเซลล์เสื่อมสภาพและเสียหาย การเกิดโฟมในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือการเติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มประสิทธิภาพของสารให้ฟองและปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของโฟม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจศึกษาค้นคว้าการนำพลาสติกและยางธรรมชาติมาผสมโดยวิธีการต่างๆ พร้อมทั้งมีการประยุกต์ผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ปี พ.ศ. 2526 เจษฎา โมตะกุล ได้ศึกษาการเตรียมและศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนด้วยการผสมแบบลาเท็กซ์โดยใช้พอลิสไตรีนในอัตราส่วน 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีการแยกตัวออกเป็น 2 วัฏภาค และเมื่อขึ้นรูปแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดี แต่สมบัติเชิงกลอื่นๆ มีค่าต่ำ

ปี พ.ศ. 2529 สุรจิตร เพ็ญฟู ได้ศึกษาการเตรียมพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกโดยนำพอลิสไตรีนมาผสมกับยางธรรมชาติด้วยสารพอลิเมโรไซแซนซาลละลายสไตรีนกับยางธรรมชาติ 5 – 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมโรไซแซนประกอบด้วยอุณหภูมิในการพอลิเมโรไซแซน ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ความเร็วในการปั่นกวน ปริมาณยางที่เติมลงไปและน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ใช้ จากการศึกษาความเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมพบว่าพอลิเมอร์ผสมแยกออกเป็น 2 วัฏภาค ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมขึ้นกับความเร็วในการปั่นกวน ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติและปริมาณยางที่ใช้

ปี พ.ศ. 2535 สุรศักดิ์ วงษ์เรณู และ วรารณ สุนเปี่ยม ได้ทำการศึกษากระบวนการพอลิเมโรไซแซนของยางธรรมชาติกับเมทิลเมทาอะคริเลตในรูปอิมัลชัน โดยการปั่นกวนน้ำยางขึ้นชนิดแอมโมเนียต่ำกับเมทิลเมทาอะคริเลตในบรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาเทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 0.2 ส่วนต่อน้ำยางร้อยละ และตัวกระตุ้น เตตระเอทิลเพนตะนิน 0.88 ส่วนต่อน้ำยางร้อยละ ปั่นกวนต่อไปอีก 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ พบว่าปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาและเวลาการปั่นกวนมีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมอนอเมอร์ น้ำยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ใช้มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต 30 เปอร์เซ็นต์ มีสมบัติการยึดติดกับวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตรองเท้าระบบร้อนได้ดี และเมื่อใช้มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลตมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุติดในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดแข็ง ที่มีค่ามอดูลัสสูง

ปี พ.ศ. 2542 Valvic, M. Topic, M. Andreis, F. Ranogajec, and Z. Versli ศึกษาการเตรียมและศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างสไตรีนและยางธรรมชาติ โดยเตรียมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิสไตรีนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบแจ้งประสงค์ในการนำคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารแขวนลอยในน้ำ โดยผสมในสถานะของน้ำยางจะช่วยเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ดี จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณพอลิस्टาไร์นเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงดึง มีค่าลดลง

ปี พ.ศ. 2546 กมลรัตน์ สุนทรลาภ, จัตรีทิพย์ พรหมหมวก และ นายเมธา บัวรักสกุล ได้ศึกษาการเตรียมโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเอทิลีนไวนิลอะซิเตดโคพอลิเมอร์ กับยางธรรมชาติ โดยวิธีการเกิดโฟมทางกายภาพ (Physical foaming method) ซึ่งอาศัยการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤตเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ผสมโดยตรง ทำให้ได้เซลล์ที่มีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร เป็นลักษณะไมโครเซลล์รูปร่างโฟม การเปลี่ยนอุณหภูมิของการเกิดโฟมในช่วง 30-65 °ซ และทำให้เกิดการเชื่อมโยงในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ พบว่า สัดส่วนเหมาะสมที่ให้ผลิตภัณฑ์โฟมที่ดีที่มีความหนาแน่นของเซลล์ระดับไมโครเมตรและมีความละเอียดของเนื้อโฟมดี คือ ใช้อัตราส่วนของเอทิลีนไวนิลอะซิเตดโคพอลิเมอร์ต่อยางธรรมชาติเท่ากับ 9 ต่อ 1 และใช้สารเชื่อมโยงโคคิวมิลเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมคือ 45-55 °ซ ผลิตภัณฑ์โฟมที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ประมาณ 110-150 ไมครอน มีจำนวนเซลล์ประมาณ 1.4×10^7 - 1.6×10^7 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของโฟมประมาณ 0.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้การเติมตัวทำละลายไซโคลเฮกเซนช่วยทำให้ได้เซลล์ที่มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรจำนวนมากและมีเสถียรภาพของโฟมที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. น้ำยาล้าง 60 เปอร์เซ็นต์ เกรดการค้า
2. สไตรีนมอนอเมอร์ เกรดการค้า
3. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต(sodium dodecyl sulfate, SDS) เกรดการค้า
4. เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เกรดการค้า
5. พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
6. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกรดการค้า
7. ซิลิโคนเหลว เกรดการค้า
8. ไนโตรเจนเหลว เกรดการค้า
9. น้ำปราศจากไอออน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หม้อปฏิริยา ขนาด 2 ลิตร
2. เครื่องและใบพัดปั่นกรน
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
4. กรวยหยดสาร
5. ถาดอบสาร
6. บีกเกอร์พลาสติก 6 ใบ
7. กรรไกรตัดชิ้นงาน
8. กระดาษทรายชนิดหยาบ 1 แผ่น
9. กระดาษทรายชนิดละเอียด 1 แผ่น
10. ไม้บรรทัด
11. แผ่นอลูมิเนียมฟลอย
12. ตู้อบสารเคมี
13. เครื่องบดพลาสติก
14. เครื่องผสมบาร์เบนเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน
16. เครื่องขึ้นรูปโฟมชนิดความดันสูง
17. เครื่องซั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
18. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
19. เครื่องTGA

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

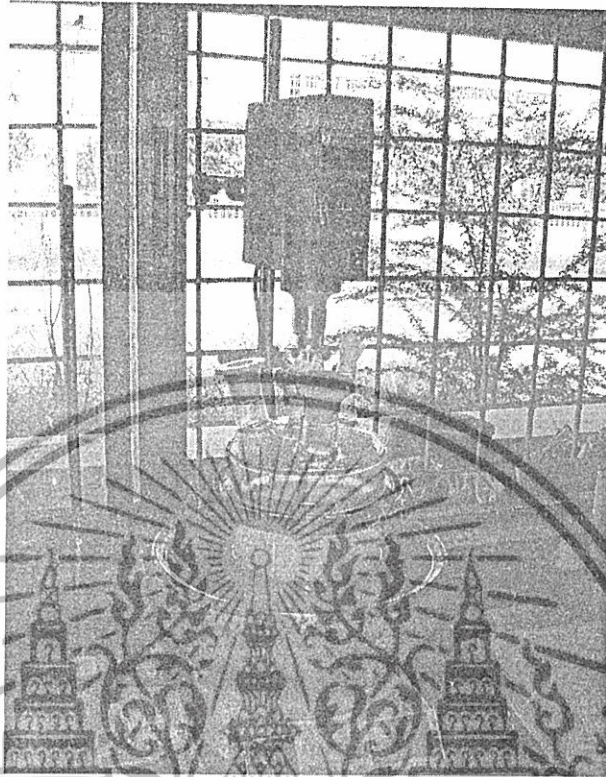
3.3.1 การตั้งเครื่องหยั่งขนาดกราฟท์สไตรีน โดยใช้ น้ำยางขึ้น 60 เปอร์เซ็นต์ และ สไตรีนมอนอเมอร์

1. ซั่งสารเคมีที่ใช้ในการตั้งเครื่องหยั่งขนาดกราฟท์สไตรีน ตามปริมาณในตาราง 3.1
- ตารางที่ 3.1 อัตราการผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และสารเติมแต่ง

สารเคมีที่ใช้	ปริมาณสารรวมกับน้ำ (กรัม)
ยางขึ้น 60 เปอร์เซ็นต์	900
สไตรีนมอนอเมอร์	1,238
โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS)	25.14
เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์	5.24
น้ำปราศจากไอออน	361
รวมทั้งสิ้น	2,530

2. นำน้ำยางขึ้น 60 เปอร์เซ็นต์ น้ำปราศจากไอออนและSDS ใส่ลงในหม้อปฏิริยา ขนาด 2 ลิตร
3. ติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องปั่นกวน และอ่างควบคุมอุณหภูมิเข้ากับหม้อปฏิริยาดังรูปที่ 3.1
4. ทำการปั่นกวน โดยใช้ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. ใส่สไตรีนมอนอเมอร์ลงไป ในกรวยหยดสาร ค่อยๆเติมสไตรีนมอนอเมอร์ลงใน หม้อปฏิริยา ในขณะที่มีการปั่นกวนอยู่
6. เมื่อเติมสไตรีนมอนอเมอร์ในกรวยหยดสารใกล้หมด เทสารละลายเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ใส่ลงในกรวยหยดสาร จากนั้นเติมลงไป ในหม้อปฏิริยาอย่างต่อเนื่องจนหมด

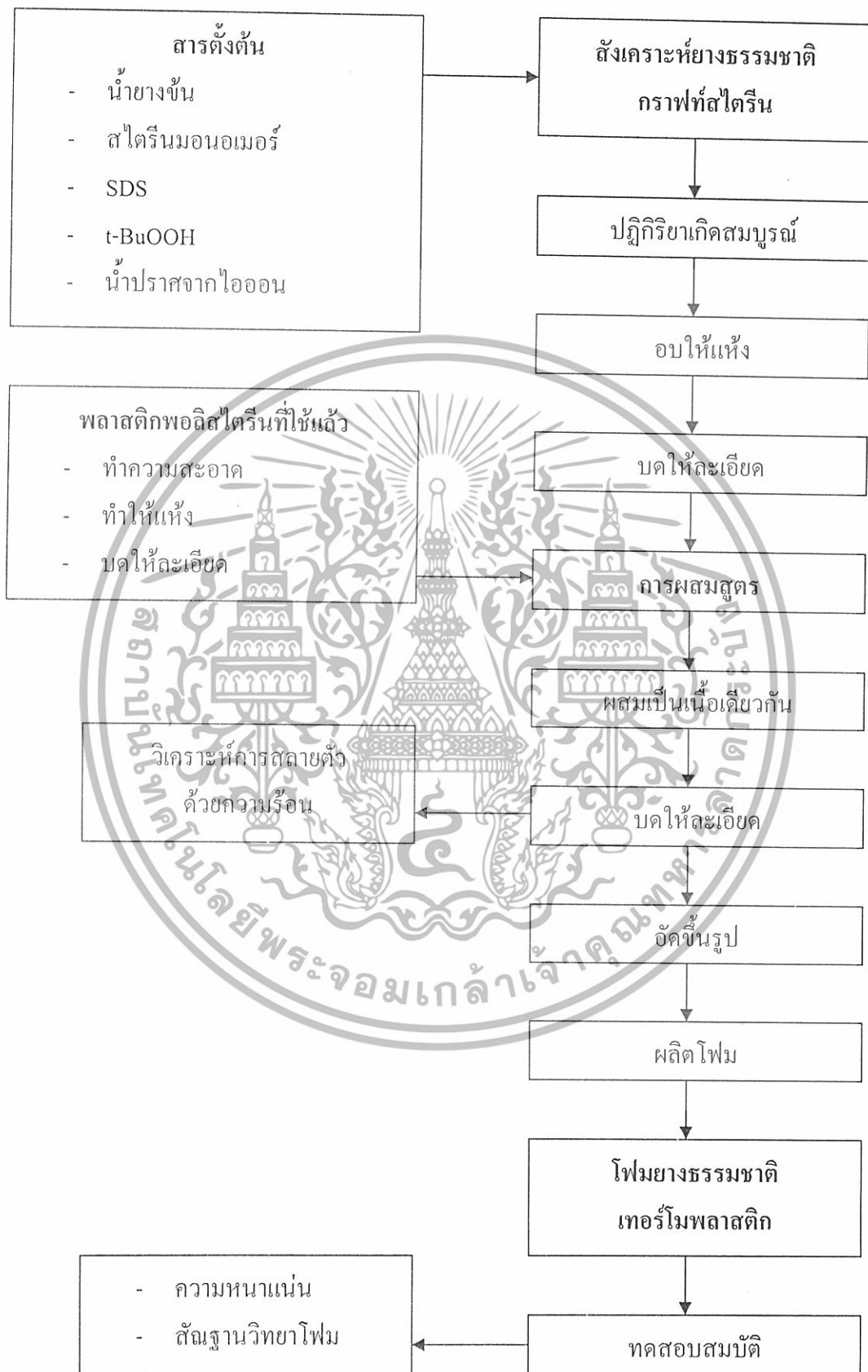
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 หม้อปฏิบัติการที่ติดตั้งเครื่องปั่นงาน และอ่างควบคุมอุณหภูมิ

7. ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส
8. ทำการปั่นงานสารละลายต่อไปอีก 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์
9. นำยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนเทลงในถาดคอมสวาร์ แล้วทำการเกลี่ยเนื้อยางธรรมชาติ-กราฟท์สไตรีนให้กระจายทั่วถาด โดยทำให้มีความหนาไม่มาก
10. นำถาดยางเข้าตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส จนกว่ายางจะแห้งสนิทใช้เวลา 48 ชั่วโมง
11. นำยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่แห้งสนิทไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองทั้งหมด ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การผสมสูตร

- นำพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วจากกล่องซีดีทิ้ง โดยทำความสะอาดแล้วบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

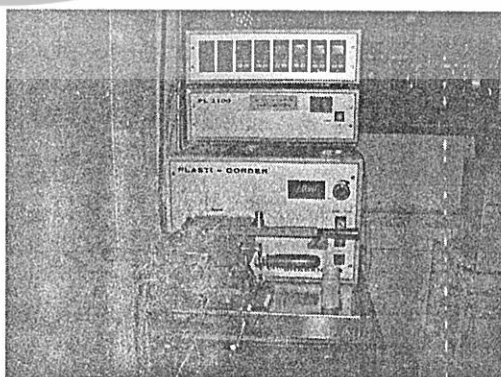
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน กับ พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน (กรัม)	พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว (กรัม)	อัตราส่วน ยาง:พอลิสไตรีน
250	250	50:50
200	300	40:60
150	350	30:70
100	400	20:80

- ทำการผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนผสมตามตารางที่ 3.2 โดยคลุกเคล้าให้ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วเข้ากันในถุงพลาสติก
- ซึ่งยางผสมหนัก 100 กรัม ในทุกๆ อัตราส่วนผสม
- เปิดเครื่องผสมบาร์เบนเดอร์ พร้อมทั้งตั้งอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส
- นำของผสมหนัก 100 กรัมเทลงในช่องใส่สาร แล้วปิดช่องใส่สาร เดินเครื่องผสมบาร์เบนเดอร์ ใช้เวลาผสม 5 นาที นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกออกจากเครื่องผสมบาร์เบนเดอร์
- นำกรรไกรตัดยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก



รูปที่ 3.3 เครื่องบดพลาสติก

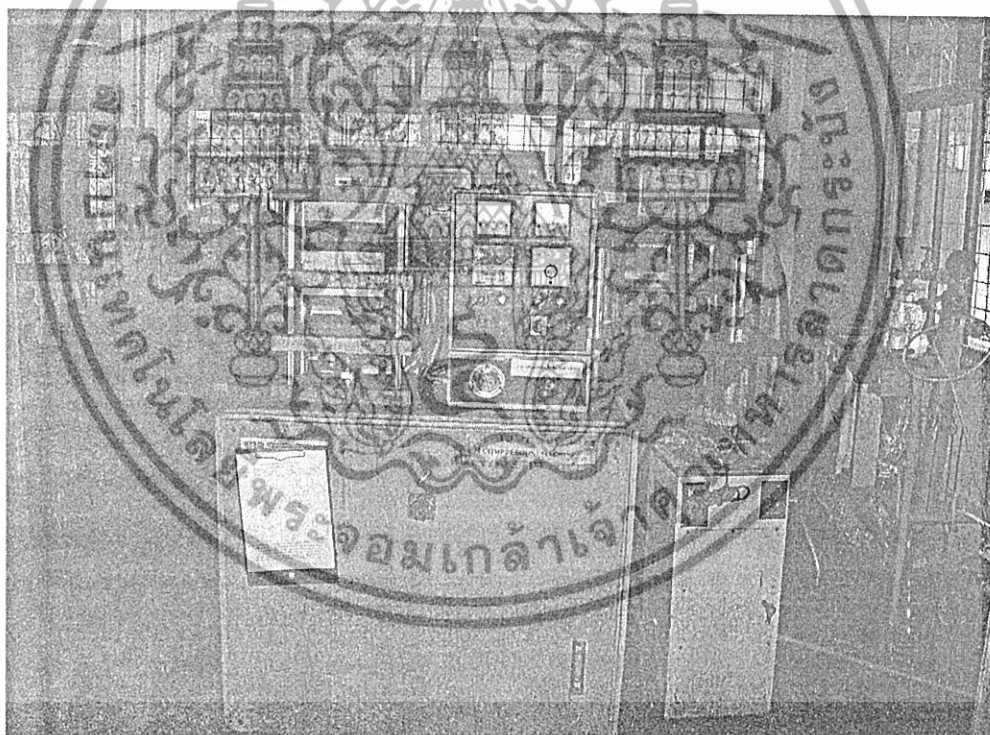


รูปที่ 3.4 เครื่องผสมบาร์เบนเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

1. นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากเครื่องบดพลาสติก
2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนที่ 175 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหล่อเย็นที่ 9 °ซ
3. ทาซิลิโคนบนผิวของแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันไม่ใหยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกติดแม่พิมพ์ โรยยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกลงบนแม่พิมพ์
4. ทำการอัดร้อนเป็นเวลา 6 นาที เพื่อให้ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกหลอมตัวในแม่พิมพ์
5. นำแม่พิมพ์ออกจากช่องอัดร้อนใส่ในช่องหล่อเย็น ทำการอัดเป็นเวลา 2 นาที
6. นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกออกจากแม่พิมพ์

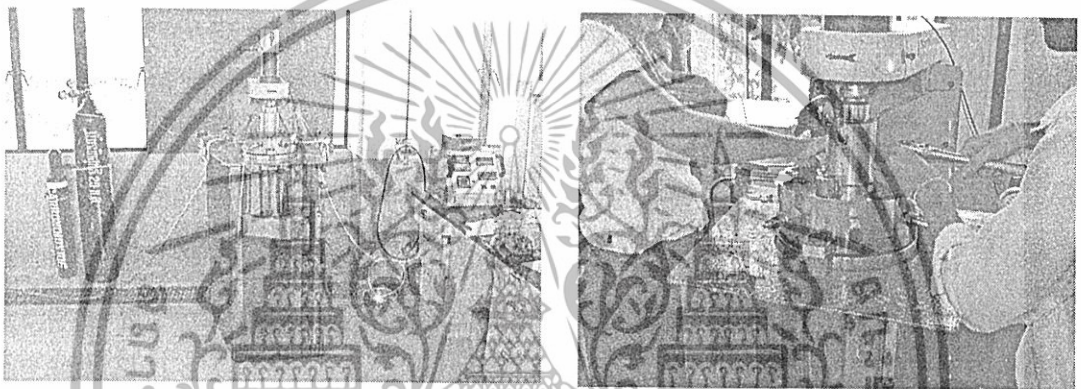


รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน

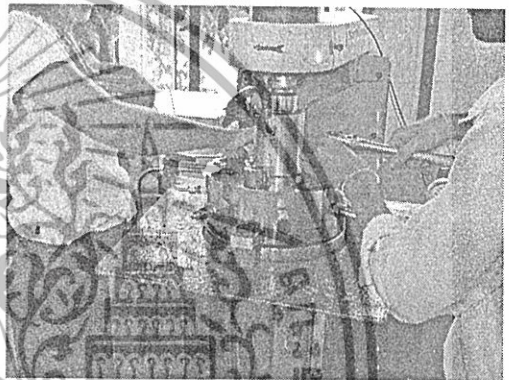
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเตรียมโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

1. ตัดยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้มีขนาด 1x3 เซนติเมตร ใส่งในกระถางอะลูมิเนียมฟลอย
2. ใส่งยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้ลงในเครื่องขึ้นรูปโคมชนิดความดันสูง ชั้นน้อตทั้ง 8 ตัวให้แน่น
3. ตั้งเครื่องทำความร้อน (Heater) ที่อุณหภูมิห้อง
4. ใส่งอากาศที่ค้างอยู่ในระบบโดยใช้วาล์วหมายเลข 1 และ 2 ในรูปที่ 3.8 เป็นตัวควบคุม



รูปที่ 3.6 เครื่องขึ้นรูปโคมชนิดความดันสูง



รูปที่ 3.7 แสดงการชั้นน้อต



รูปที่ 3.8 ชุดควบคุมความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปล่อก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เข้าสู่เครื่องขึ้นรูปโฟมชนิดความดันสูงให้มีความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. ปิดเครื่องทำความร้อนและทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ใต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจนหมดแล้วขึ้นน้อตออก
7. แช่โฟมที่ได้ในน้ำเย็นประมาณ 1 นาที
8. ทำการทดลองซ้ำโดยใช้ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3.3.5 การวิเคราะห์การสลายตัวของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกด้วยความร้อน การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ด้วยเครื่อง TGA โดยหาอุณหภูมิที่ทำให้ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกสลายตัว 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.6 การหาความหนาแน่น และอัตราการขยายตัวของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก หาความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกก่อนการเกิดโฟม และเมื่อเกิดโฟม แล้วด้วยเครื่องวัดความหนาแน่นแบบอเล็กทรอนิกส์ MD-200S เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอเล็กทรอนิกส์ MD-200S ให้หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes) เพื่อหาความหนาแน่นและกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เป็นค่าอ้างอิง เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอเล็กทรอนิกส์ MD-200S สามารถวัดค่าความหนาแน่นของวัตถุที่เป็นของแข็งและของเหลวได้ ยกเว้นวัตถุที่เป็นผงและของเหลวที่มีความหนืดสูง



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอเล็กทรอนิกส์ MD-200S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุตัวอย่างที่นำมาทดสอบคือ โฟมที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่ผสมกับพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ โดยตัวกลางของเหลวคือน้ำ ก่อนที่จะทำการวัดค่าความหนาแน่น จะต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อยเป็นเวลา 10 นาทีก่อนการใช้งาน เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องและทำให้อุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิห้อง (25 °ซ.)

ขั้นตอนการใช้งาน

1. ตั้งค่าน้ำจ่อแสดงผลให้เป็นศูนย์
2. ชั่งน้ำหนักของวัตถุตัวอย่างในอากาศขณะแห้งแล้วทำการบันทึกค่า
3. ชั่งน้ำหนักของวัตถุตัวอย่างในน้ำแล้วทำการบันทึกค่า (หากมีอากาศเกาะอยู่ที่วัตถุตัวอย่างให้พยายามกำจัดออกก่อนที่จะบันทึกค่า)
4. เครื่องจะแสดงผลค่าความหนาแน่นทางหน้าจอ
5. นำวัตถุตัวอย่างออกจากเครื่อง (ในการนำวัตถุตัวอย่างเข้าหรือออกจากเครื่องควรใช้คีมจับเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นออกมาทำความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้)

เมื่อได้ค่าความหนาแน่นจากเครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ MD-200S แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการขยายตัวของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

$$\phi = \frac{\rho_p}{\rho_f}$$

เมื่อ ϕ = อัตราการขยายตัวของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

ρ_p = ความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (กรัมต่อลบ.ซม.)

ρ_f = ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (กรัมต่อลบ.ซม.)

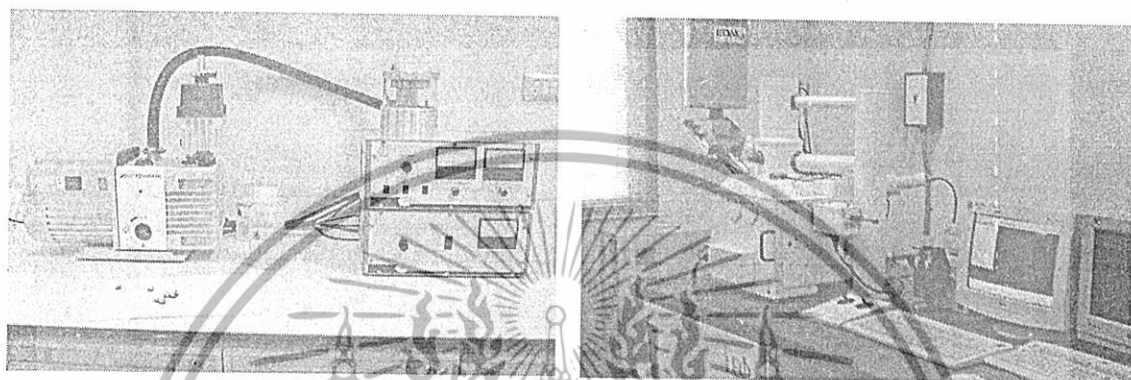
3.3.7 การศึกษาพื้นฐานวิทยาของโฟม

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

เนื่องจากผลิตภัณฑ์โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้มีลักษณะนิ่ม ดังนั้นการตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อคุณลักษณะรูปร่างของโฟม จะต้องแช่โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกลงในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลาประมาณ 1 ชม. ทำให้โฟมแข็งตัวและเปราะ สามารถแตกหักได้ง่าย จากนั้นหักโฟมตัวอย่าง จะได้ชิ้นตัวอย่างโฟมสำหรับการศึกษาศึกษาพื้นฐานวิทยาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทองเป็นเวลา 1 ชม. เพื่อให้ชั้นโพลีเมอร์อย่างมีสมบัตินำไฟฟ้า
3. ศึกษาพื้นฐานวิทยาของโพลีเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.10 เครื่องเคลือบทอง (ก) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

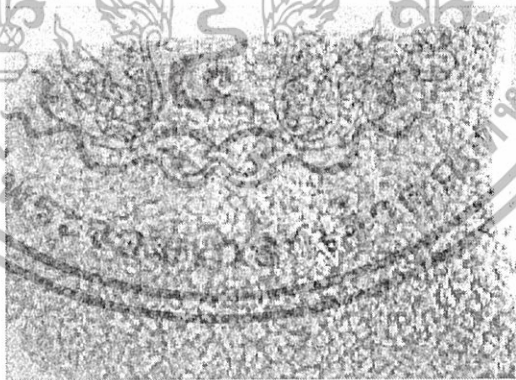
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิจัยเพื่อศึกษาผลของการผสมยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีความหนาแน่น อัตราการขยายตัวของโฟม จำนวนเซลล์และขนาดของเซลล์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว รวมทั้งความดันที่ใช้

4.1 ผลการตั้งเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน

การตั้งเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน จากยางธรรมชาติและสไตรีนมอนอเมอร์ พบว่ายางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่ได้หลังจากการอบมีลักษณะเป็นแผ่นแข็งและเหนียว สีเหลืองปนน้ำตาล เมื่อตัดและบดด้วยเครื่องบดพลาสติก จะมีลักษณะเป็นเม็ด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่ได้จากเครื่องบดพลาสติก

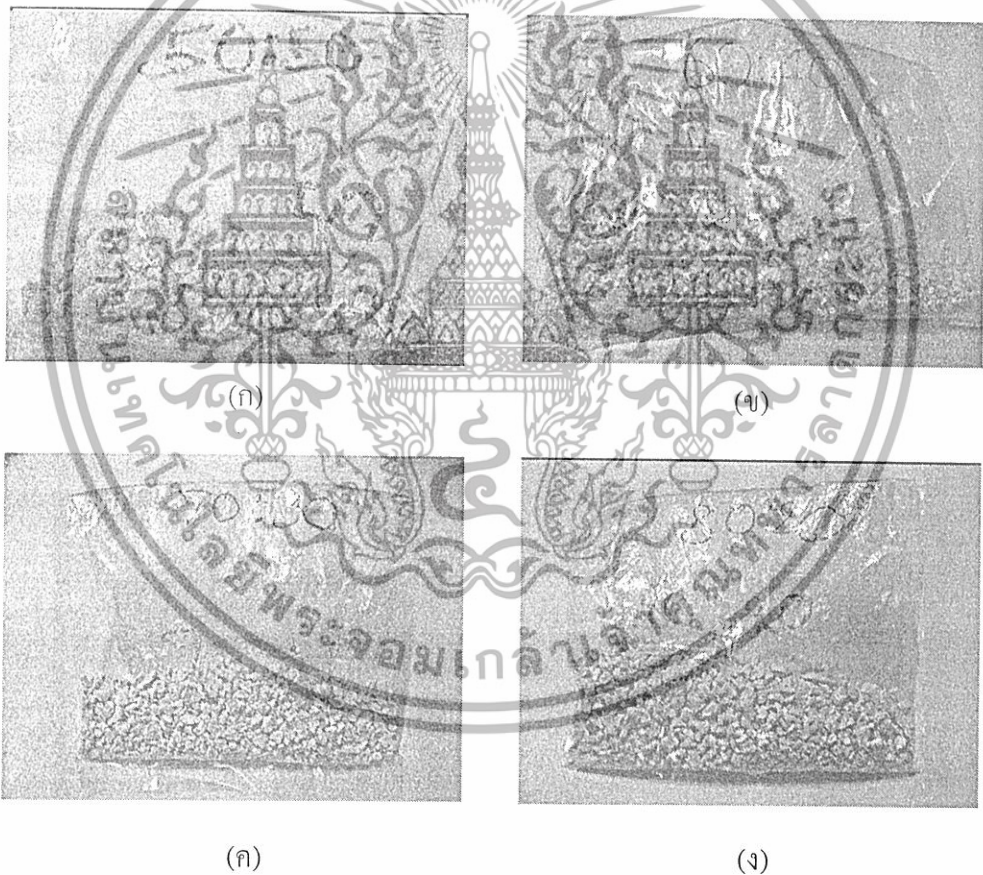
4.2 ผลการผสมสูตร

การผสมสูตรยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.2 เมื่อนำไปผสมด้วยเครื่องผสมบาร์เบนเดอร์ และบดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องบดพลาสติก พบว่าได้ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะกายภาพที่แปรตามอัตราส่วนของพอลิสไตรีน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์-สไตรีน และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนยาง : พอลิสไตรีน	ลักษณะทางกายภาพ	สี
50 : 50	มีความยืดหยุ่นเล็กน้อย ขนาดเม็ดใหญ่มาก	สีเหลืองปนน้ำตาล
40 : 60	มีความยืดหยุ่นน้อยมาก ขนาดเม็ดปานกลาง	สีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน
30 : 70	มีความแข็งปานกลาง ขนาดเม็ดเล็ก	สีเหลืองครีม
20 : 80	มีความแข็งมาก ขนาดเม็ดเล็ก	สีเหลืองอ่อน



รูปที่ 4.2 ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วน (ก) 50:50 (ข) 40:60 (ค) 30:70 และ (ง) 20:80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการอัดขึ้นรูปร้อน

นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมาโรยให้เต็มแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน และอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปร้อนพบว่าสามารถขึ้นรูปยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกได้ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตรหนาประมาณ 2.0 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.3

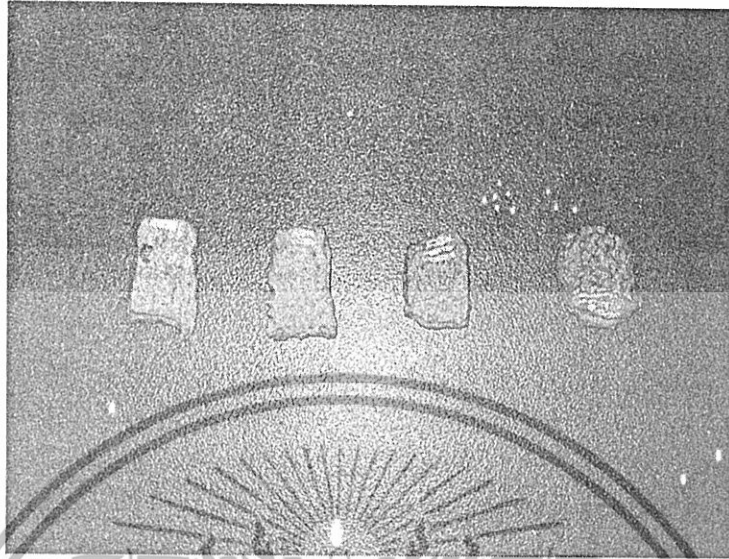


รูปที่ 4.3 ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากการขึ้นรูปร้อน
ที่อุณหภูมิ 175 °ซ. เวลา 6 นาที

4.4 ผลการผลิตโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

นำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนที่ผลิตได้ในแต่ละอัตราส่วนมาขึ้นรูปโฟม โดยทำการตัดยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้มีขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ความยาว 3 เซนติเมตร และตกแต่งให้พื้นผิวเรียบด้วยกระดาษทราย จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ พบว่า ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกทั้งหมดสามารถขึ้นรูปโฟมได้ โดยมีลักษณะการพองขึ้นของโฟมดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 โฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตได้

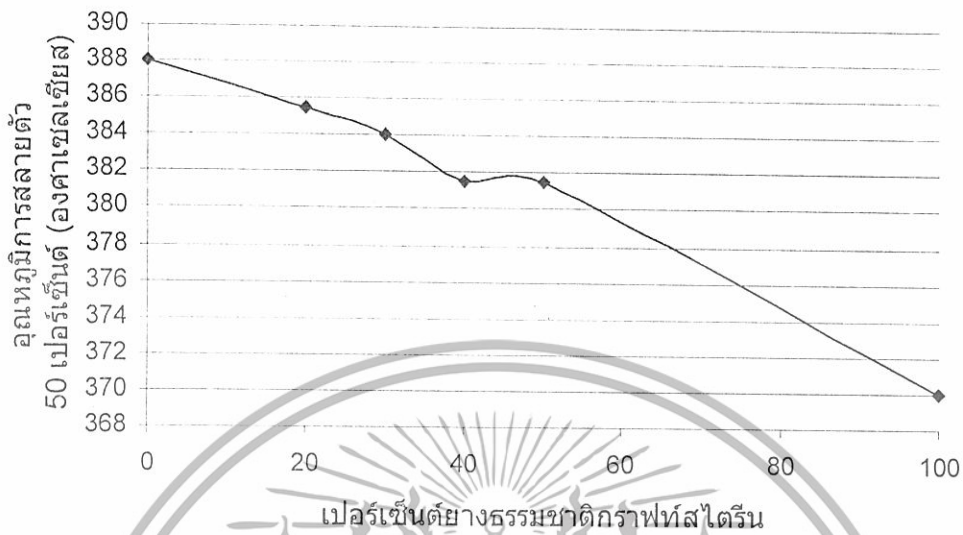
4.5 ผลการวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

การศึกษารสลายตัวเนื่องจากความร้อน โดยพิจารณาจากน้ำหนักสารที่สลายตัว 50 เปอร์เซ็นต์ ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว พบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนต่อพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วอัตราส่วน 20:80 มีอุณหภูมิการสลายตัวด้วยความร้อนสูงที่สุดเนื่องจากพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วมีความเสถียรเนื่องจากความร้อนมากกว่ายางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวที่ทำให้น้ำหนักของสารหายไป 50 เปอร์เซ็นต์

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่ทำให้น้ำหนักสารหายไป 50 เปอร์เซ็นต์ (°ซ.)
พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	388
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80	385.5
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70	384
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60	381.5
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 50:50	381.5
ยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน	370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว 50 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มียางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนปริมาณต่างๆ

รูปที่ 4.5 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัว 50 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน จะพบว่า ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มียางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนผสมอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะใช้อุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า 30-40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนในยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจะทำให้มีสมบัติการสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้ดี

4.6 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น และอัตราขยายตัวของโฟม

ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก หาได้จากเครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

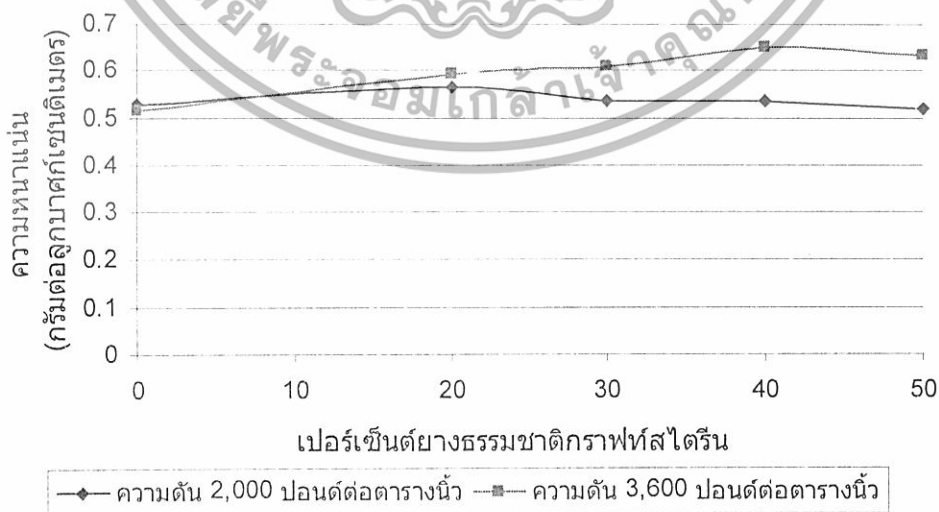
ผลิตภัณฑ์ที่ทำค่าความหนาแน่น	ก่อนขึ้นรูปโฟม (กรัมต่อลบ.ซม.)	หลังขึ้นรูปโฟม (กรัมต่อลบ.ซม.)	
		ที่ความดัน 2,000 psi	ที่ความดัน 3,600 psi
พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	1.051g/cm ³	0.528	0.515
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80	1.035g/cm ³	0.566	0.595
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70	1.050 g/cm ³	0.536	0.610
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60	1.043g/cm ³	0.535	0.652
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 50:50	0.988g/cm ³	0.520	0.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้งานที่โรงเรียนศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 สามารถเขียนกราฟแสดงค่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติ-เทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนอัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.6 ความหนาแน่นของโพลียางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนที่มีอยู่ในยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และความดันที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปโพลีดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของโพลียางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ที่มีปริมาณยางธรรมชาติเอกสารนี้เป็นกราฟท์สไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปโพลีเอกสารนี้จำเป็นต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้เอกสารเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อหามากกว่าการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ผ่านการขึ้นรูป

จากรูปที่ 4.7 การผลิตโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนต่อพลาสติกพอลิสไตรีนเท่ากับ 40:60 มีความหนาแน่นสูงสุด และอัตราส่วน 20:80 มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด และที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่อัตราส่วน 20:80 มีค่าความหนาแน่นสูงสุด และที่อัตราส่วน 50:50 มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด



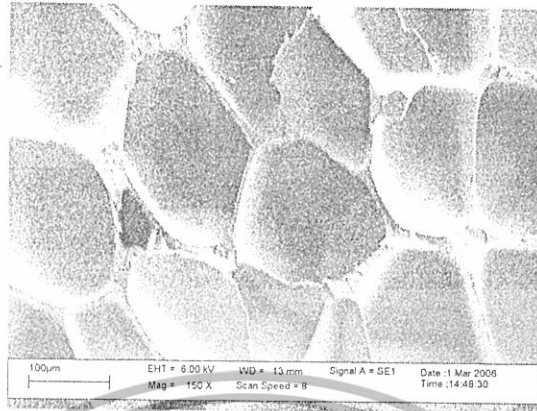
รูปที่ 4.8 แสดงอัตราการขยายตัวของโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณของยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าการผลิตโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70 มีอัตราการขยายตัวของโคมสูงสุด และที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกอัตราส่วน 20:80 มีอัตราการขยายตัวของโคมสูงสุดตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปโคมได้ดีที่สุด

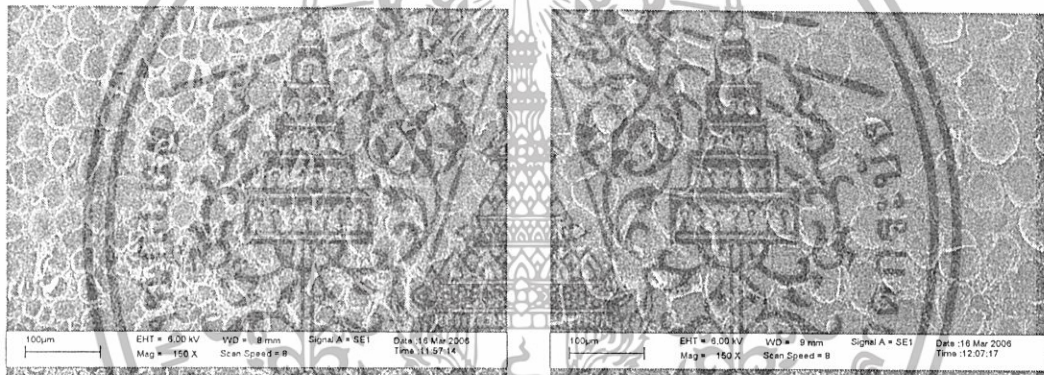
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อทราบถึงสัณฐานวิทยาของโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก พบว่าโคมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจะมีโครงสร้างภายในเนื้อโคมเป็นรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

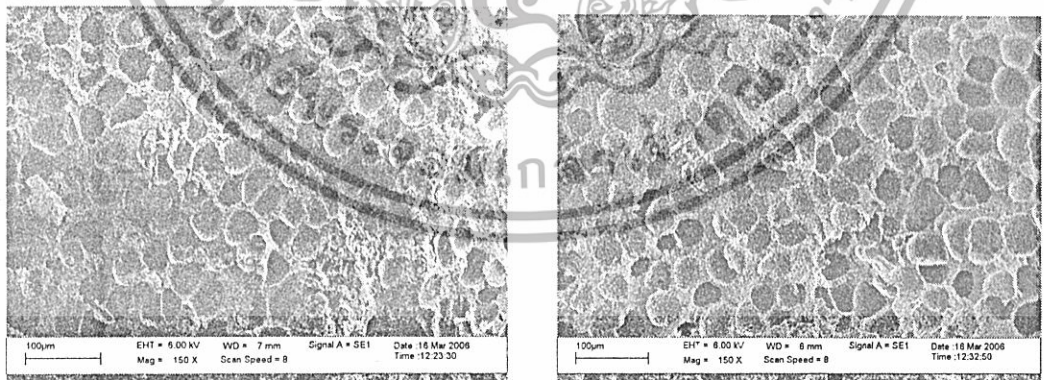


รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของโพรพอลิเอทไทรินที่ผลิตจากพลาสติกโพรพอลิเอทไทรินที่ใช้แล้ว ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 150 เท่า



(ก) อัตราส่วน 20:80

(ข) อัตราส่วน 30:70

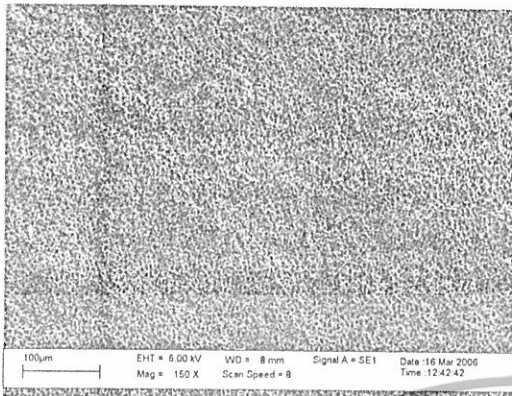


(ค) อัตราส่วน 40:60

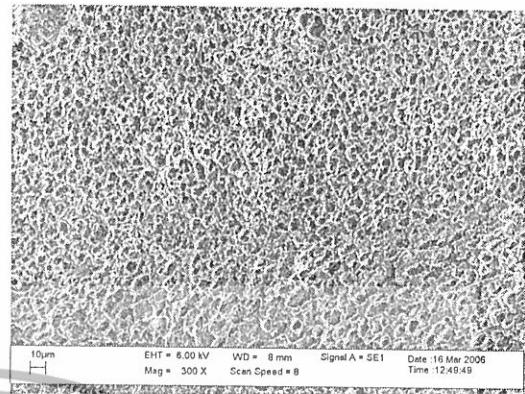
(ง) อัตราส่วน 50:50

รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของโพรพอลิเอทไทรินที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์-โพรพอลิเอทไทรินและพลาสติกโพรพอลิเอทไทรินที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 150 เท่า

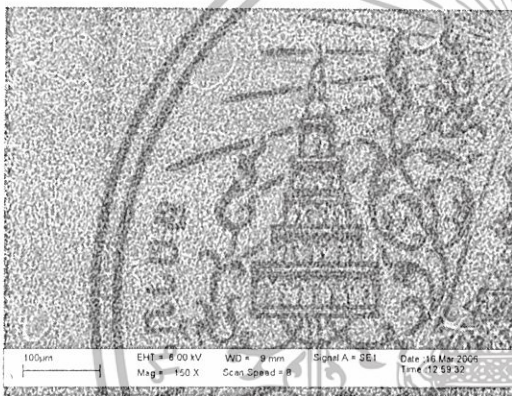
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



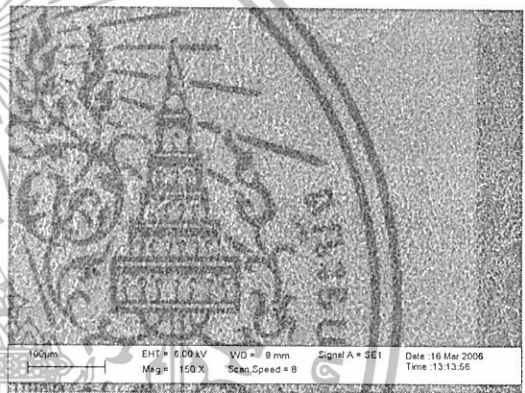
(ก) อัตราส่วน 20:80



(ข) อัตราส่วน 30:70



(ค) อัตราส่วน 40:60



(ง) อัตราส่วน 50:50

รูปที่ 4.11 ลักษณะผิวของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์-สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 150 เท่า

จากรูปที่ 4.11 พบว่าโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผลิตที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีความละเอียดและจำนวนเซลล์มากกว่าโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผลิตที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.7.1 ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ที่วัดจากฐานฐานวิทยาลัยเกษตรกรรมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและพอลิสไตรีนที่กำลังขยาย 1,500 เท่า แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ของโพลีเอทิลีนเทอร์โมพลาสติก และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

สารตัวอย่าง	ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลาง (μm)	
	ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	39.25	4.50
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80	28.75	6.50
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70	37.50	7.50
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60	33.50	13.25
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 50:50	36.25	26.25



รูปที่ 4.12 แสดงความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์โพลีเอทิลีนเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีนและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ผลจากกราฟแสดงให้เห็นว่าโพลีเอทิลีนเทอร์โมพลาสติกผลิตที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วน 20:80 และที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วน 20:80 มีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุดตามลำดับ

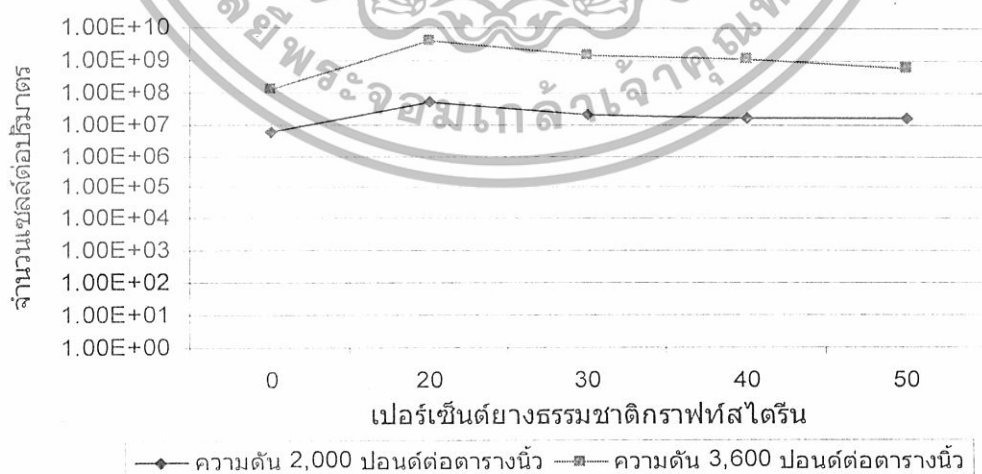
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 จำนวนเซลล์ต่อปริมาตร

จำนวนเซลล์โพลิเมอร์ต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากสัญญาณวิทยาของโพลิเมอร์แบบธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและพลาสติกพอลิไทรินที่ใช้แล้ว กำลังขยาย 300 เท่า ที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าโพลิเมอร์แบบธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิไทรินที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 20:80 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้วมีจำนวนเซลล์ต่อปริมาตรสูงสุด

ตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนเซลล์ของโพลิเมอร์แบบธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และพลาสติกพอลิไทรินที่ใช้แล้ว

สารตัวอย่าง	จำนวนเซลล์ต่อปริมาตร	
	ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
พอลิไทรินที่ใช้แล้ว	5,656,854	118,513,290
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80	49,356,000	3,957,023,201
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70	21,789,820	1,444,992,904
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60	15,592,000	1,188,065,600
ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 50:50	15,200,000	617,050,435



รูปที่ 4.13 แสดงจำนวนเซลล์ในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของโพลิเมอร์แบบธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ที่ผลิตจากยางธรรมชาติกราฟท์สไตรีน และพลาสติกพอลิไทรินที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 2,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากจำนวนเซลล์ต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าโพลีเอทิลีนพลาสติค อัตราส่วน 80:20 มีปริมาณของเซลล์ในโพลีสูงมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. สมบัติความต้านทานต่อความร้อนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ทดสอบด้วยเครื่องTGA พบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80 ใช้อุณหภูมิที่สุดในการสลายตัวเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

2. ความหนาแน่น และอัตราการขยายตัวของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก พบว่าที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความหนาแน่นของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกอัตราส่วน 50:50 มีความหนาแน่นต่ำสุด และมีอัตราการขยายตัวของโฟมดีที่สุด

3. ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกอัตราส่วน 20:80 ผลึกที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีโครงสร้างเนื้อโฟมดีที่สุด เนื่องจากมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุด และมีจำนวนเซลล์ต่อปริมาตรของโฟมสูงที่สุดตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการผสมสูตร ควรมีการศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีสมบัติในการขึ้นรูปของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

2. ควรมีการศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส เปอร์เซ็นต์ความยาว ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทก เพิ่มสนับสนุนสมบัติของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

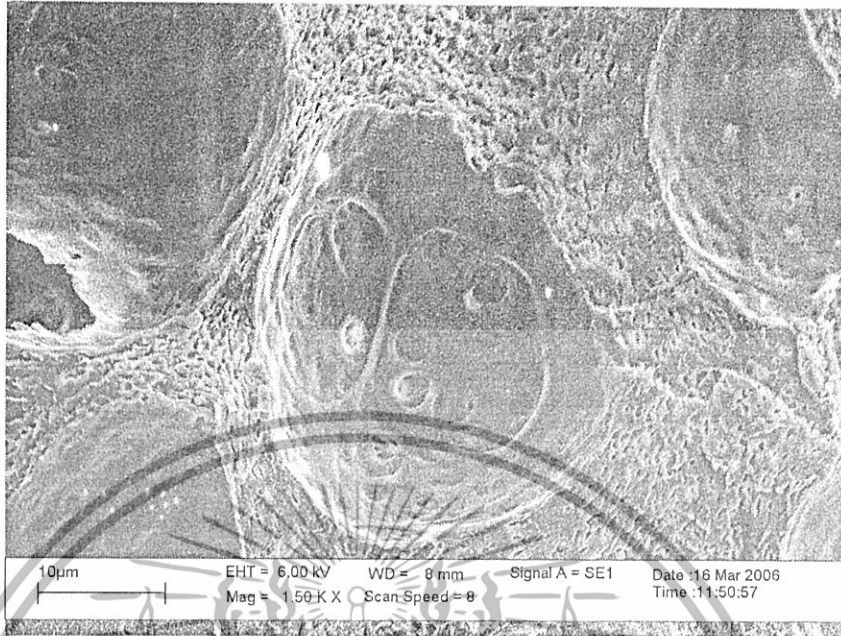
เอกสารอ้างอิง

1. กัญจนนา ตระกูลฤ. 2533. *เทคโนโลยีพอลิเมอร์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. เอ็กเพรสมีเดีย. 82, 86
2. ชลธิชา นุ่มหอม. 2538. *พอลิเมอร์*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 194 – 195
3. ทิพรชัย ปราการพิลาส. 2529. “การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ โดยวิธีกราฟท์โคพอลิเมอร์เซชัน ด้วยพอลิเมทิลเมทาอะคริเลต” ภาควิชาเคมี. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, พลชิต บัวแก้ว, ภัทรา กานต์ศิลาปี. *น้ำยางข้นและการผลิตถุงมือยาง* ศูนย์วิจัยยางสงขลา. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยาง
5. สุรศักดิ์ วงษ์เรณู, วรวรรณ สนเปี่ยม. 2535. “กระบวนการกราฟท์โคพอลิเมอร์เซชันของยางธรรมชาติกับเมทิลเมทาอะคริเลต” ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. เสาวรณีย์ ช่วยจุลจิตร. 2546. *Properties of Polymer*. กรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวัสดุศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. น.ป.ท., น.ป.ป., 37
7. Daniel Klemphre and Kurt C. Frisch, 1991. *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*. Hanser, Munich Vienna, 1 -4 5, 187 - 222
8. D.J. Hourston and J. Romaine, 1989. “Modification of Natural Rubber Latex-I. Natural Rubber-Polystyrene Composite Latices Synthesized using an Amine-Activated” *Eur. Poly. J.* 25(7-8). 695 – 700
9. H.Y. Erbil. 1986. “Graft Copolymerisation of Some Hydrophilic Vinyl Monomer in Natural Rubber” *J. Nat. Rubber Res.* 1(4)
10. S.T. Lee, Sealed Air. 1998. *Foam Nucleation In Gas-Dispersed Polymeric System*. Japan.

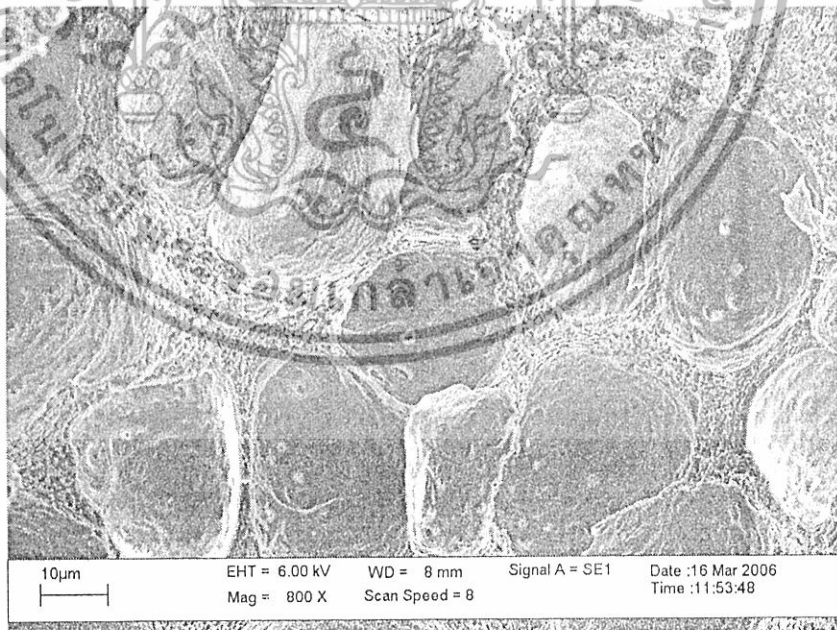
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

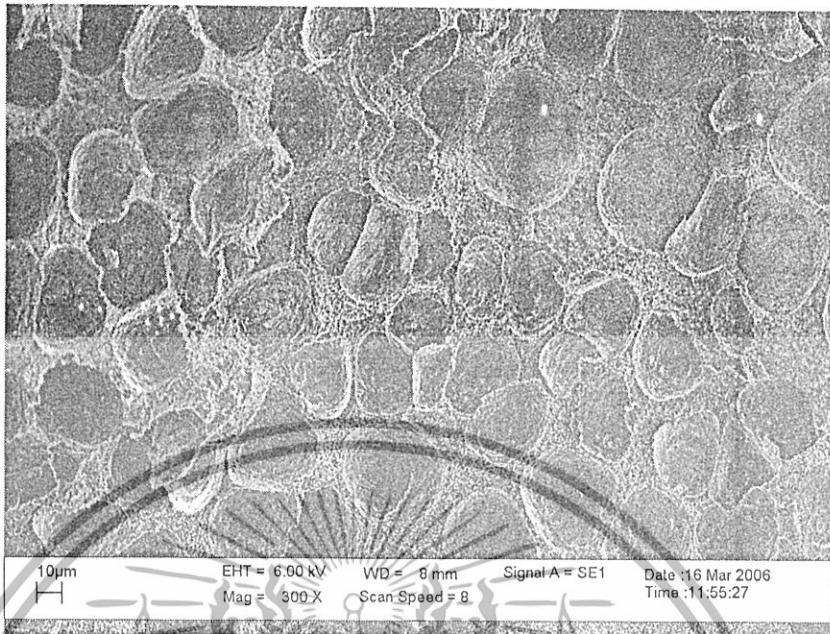


รูปที่ 1. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง อิทธิพลของอุณหภูมิ 20:80 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

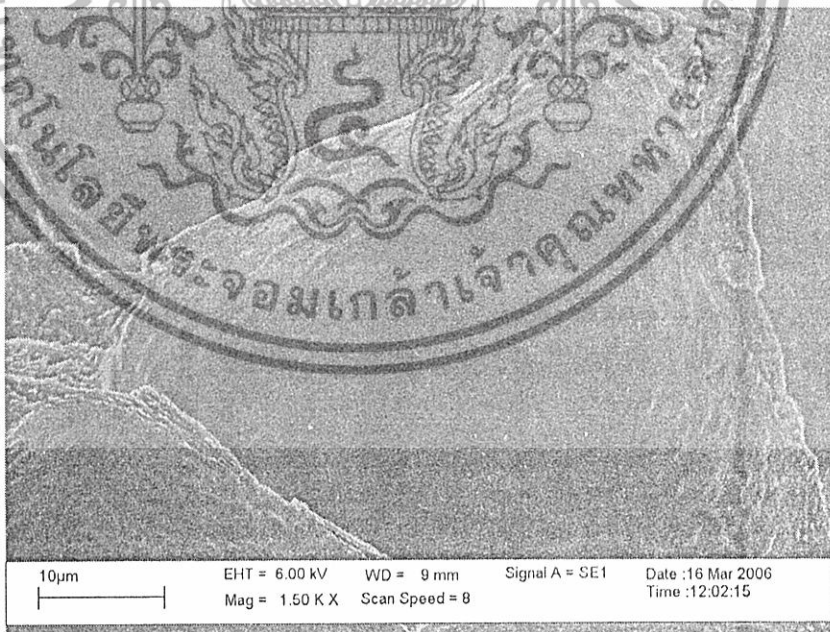


รูปที่ 2. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง อิทธิพลของอุณหภูมิ 20:80 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

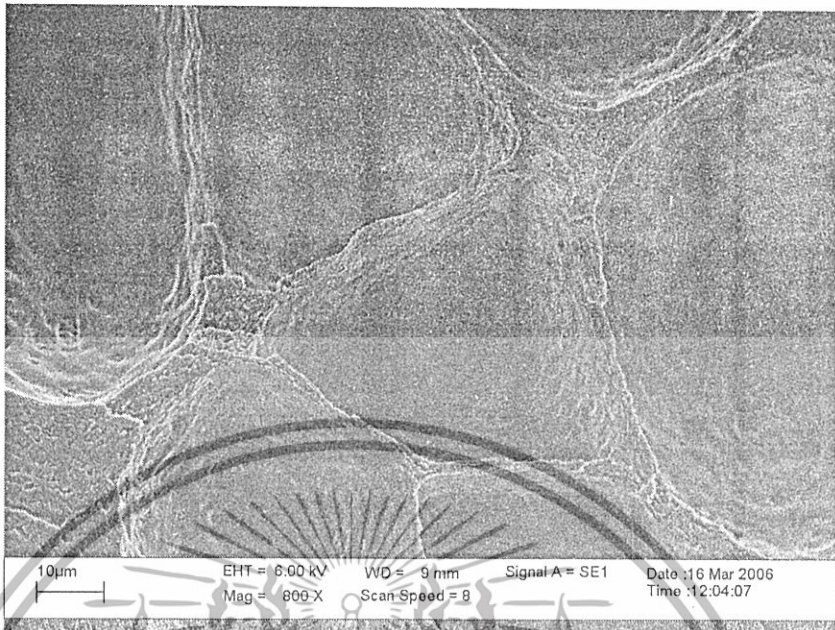


รูปที่ 3. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่เตรียมด้วยวิธีโซล-เจล อิทธิพลของอัตราส่วน 20:80 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

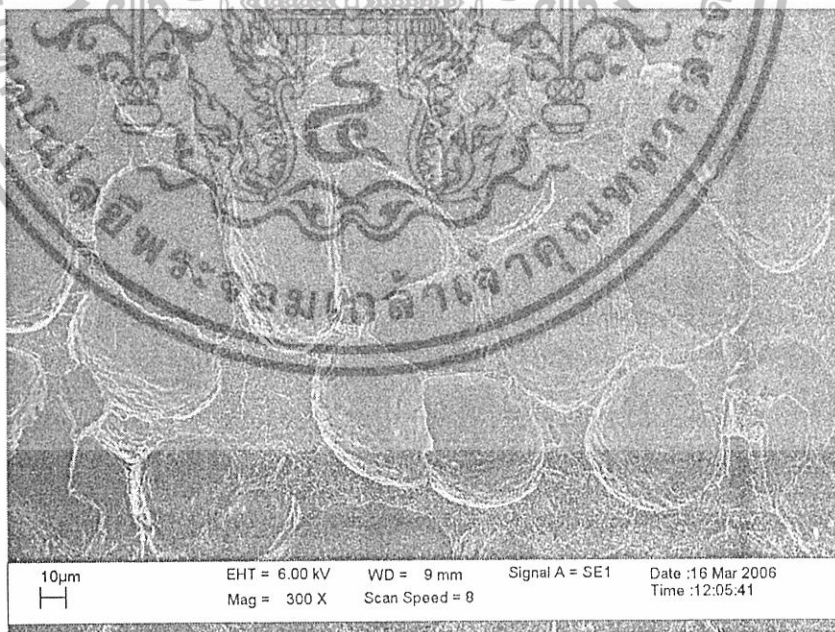


รูปที่ 4. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่เตรียมด้วยวิธีโซล-เจล อิทธิพลของอัตราส่วน 30:70 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

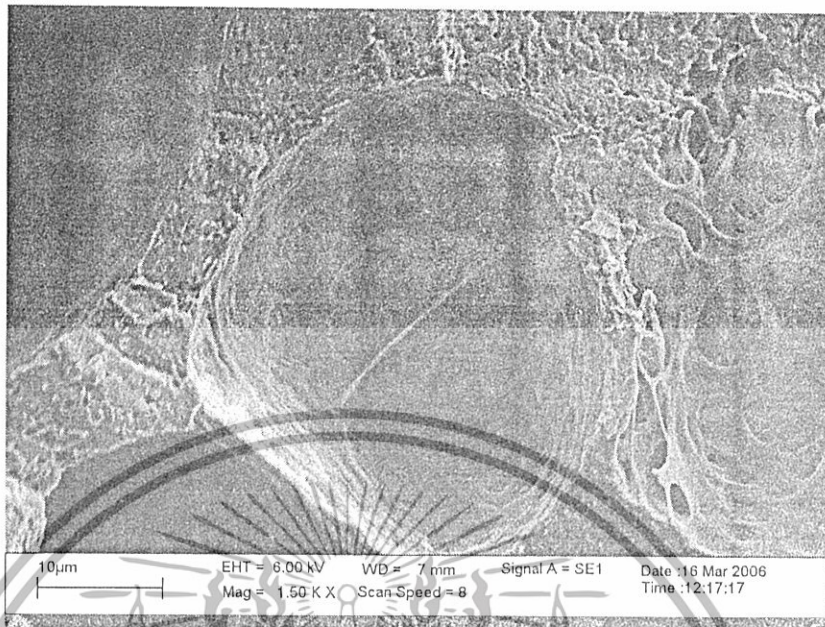


รูปที่ 5. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) อัตราร้อย 30:70 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

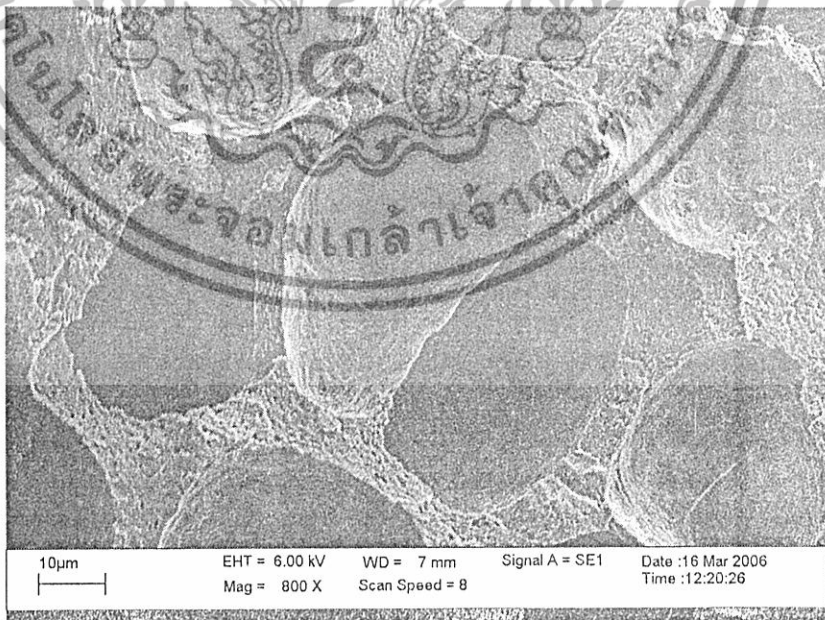


รูปที่ 6. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) อัตราร้อย 30:70 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

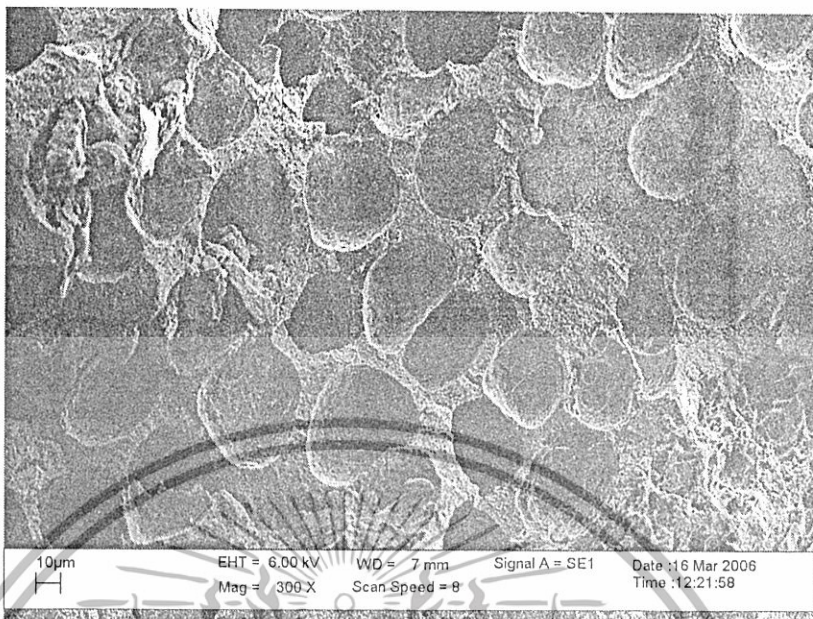


รูปที่ 7. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

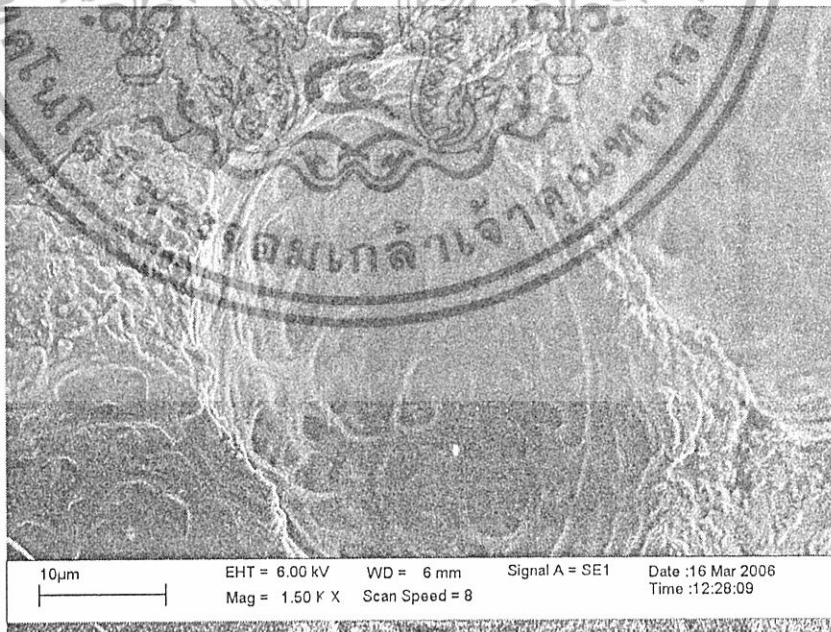


รูปที่ 8. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

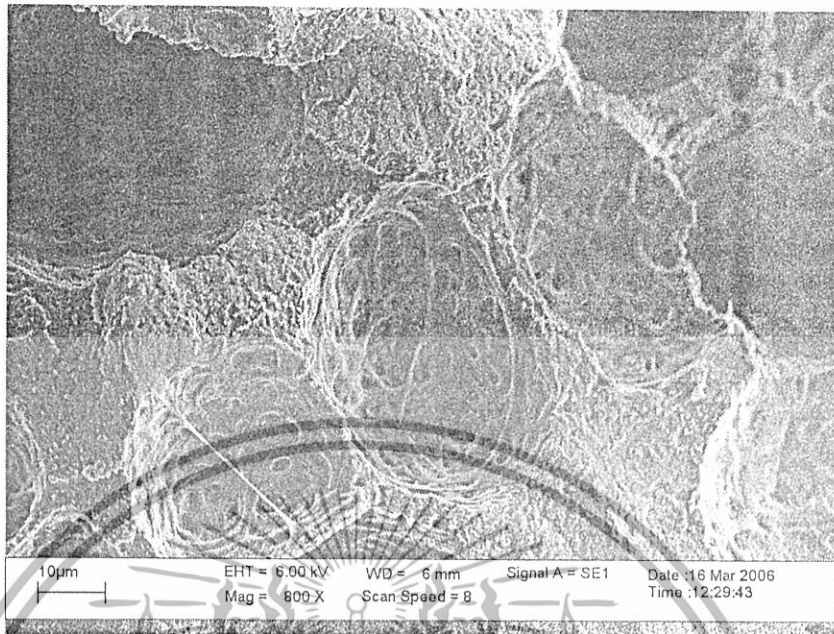


รูปที่ 9. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่ผสมคาร์บอนนาโนทิว อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

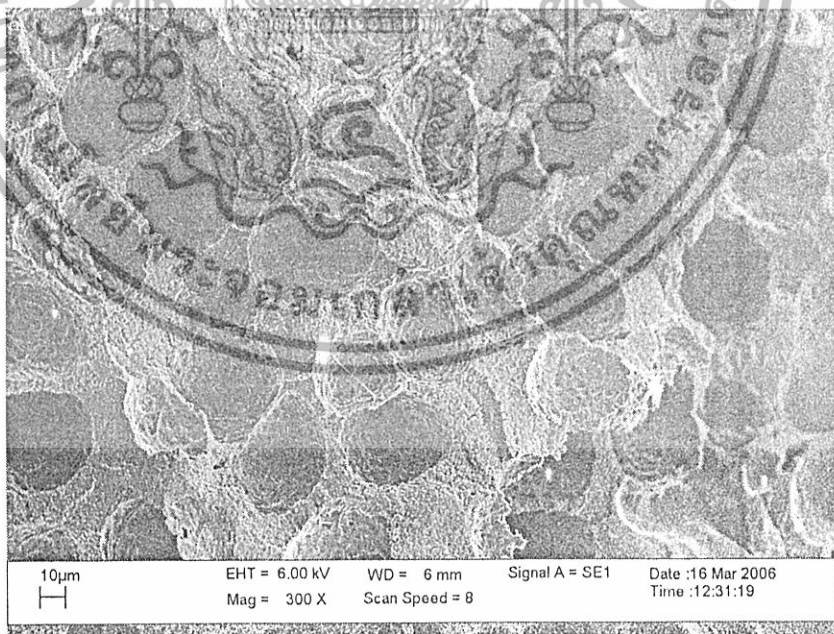


รูปที่ 10. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่ผสมคาร์บอนนาโนทิว อัตราส่วน 50:50 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

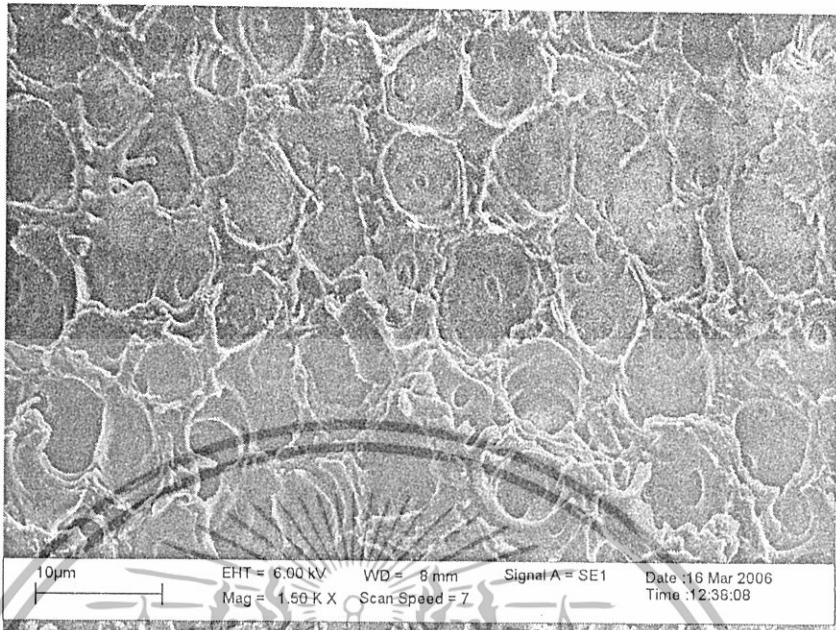


รูปที่ 11. สันฐานวิทยาของโพลีเอทิลีน/โพลีโพรพิลีน อีทีเอ 50:50 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

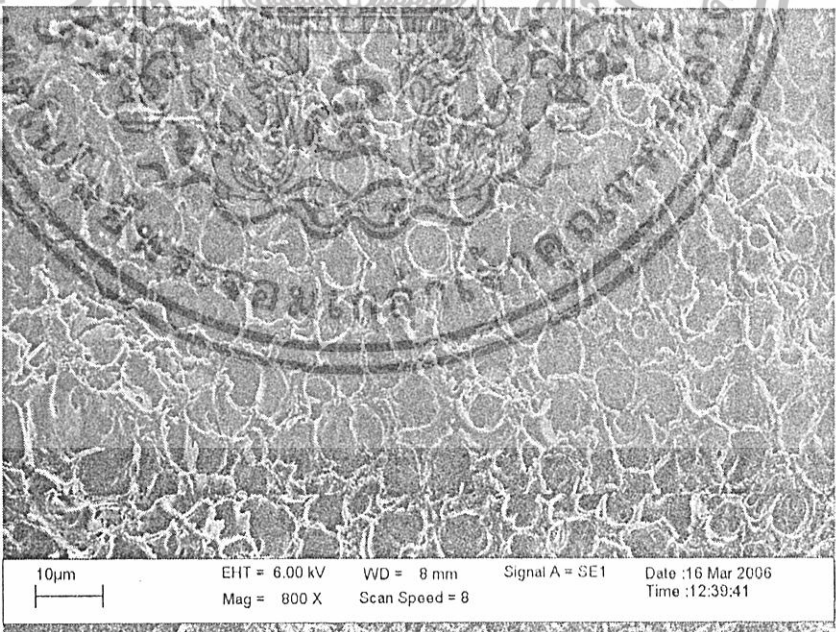


รูปที่ 12. สันฐานวิทยาของโพลีเอทิลีน/โพลีโพรพิลีน อีทีเอ 50:50 ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

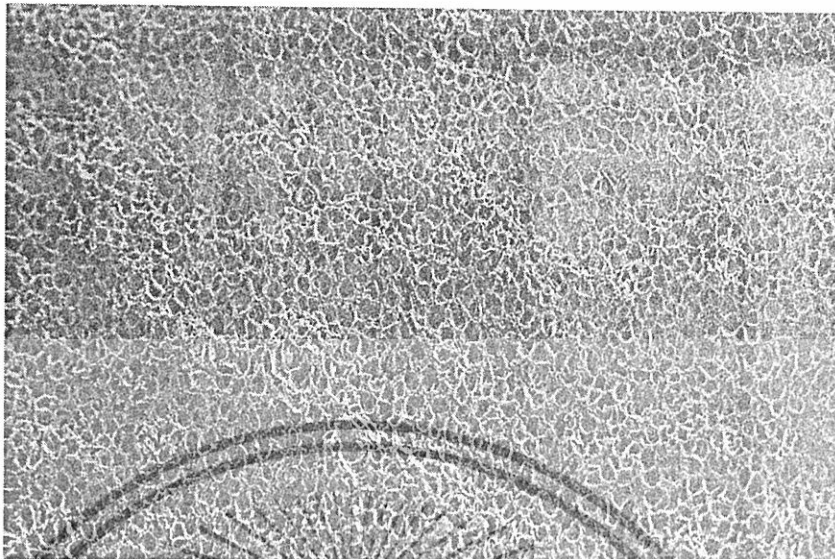


รูปที่ 13. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า



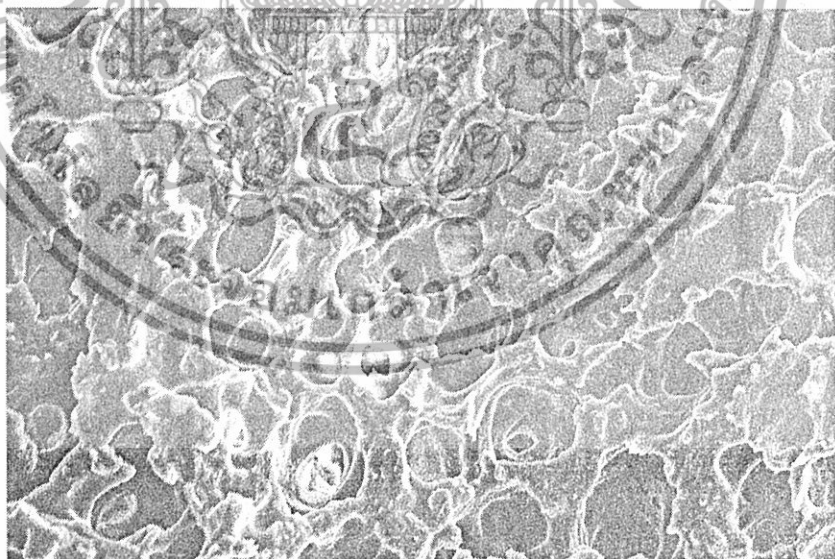
รูปที่ 14. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10µm	EHT = 6.00 kV	WD = 8 mm	Signal A = SE1	Date : 16 Mar 2006
	Mag = 300 X	Scan Speed = 8		Time : 12:41:11

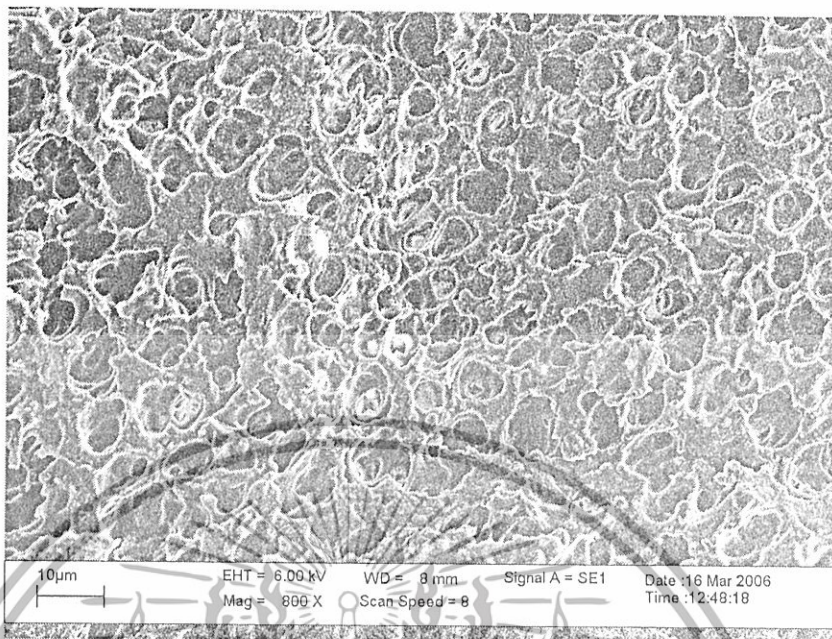
รูปที่ 15. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 20:80 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า



10µm	EHT = 6.00 kV	WD = 8 mm	Signal A = SE1	Date : 16 Mar 2006
	Mag = 1.50 K X	Scan Speed = 8		Time : 12:46:44

รูปที่ 16. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

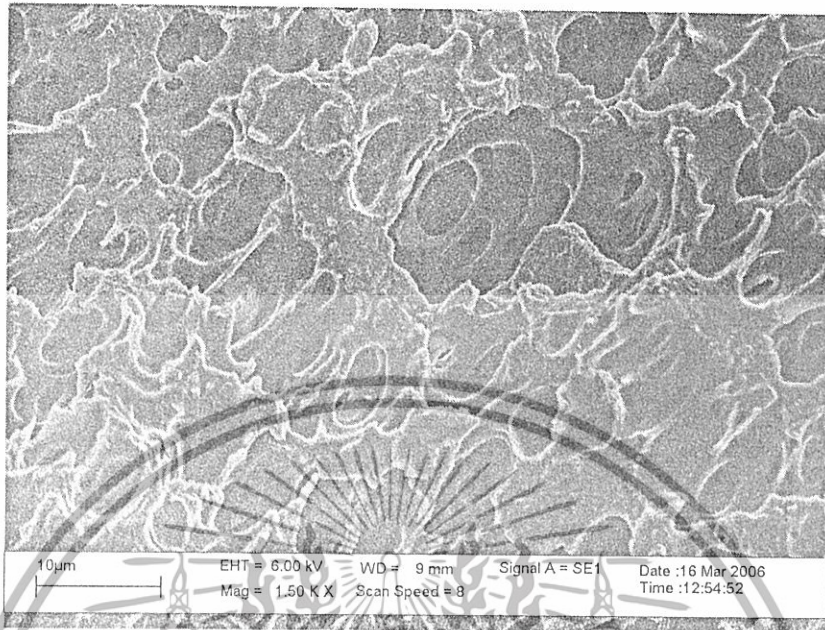


รูปที่ 17. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

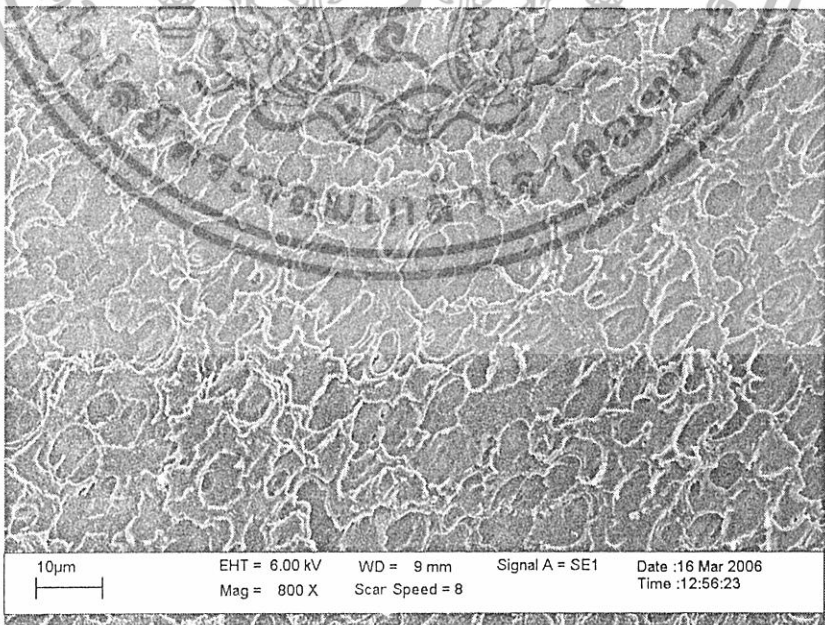


รูปที่ 18. สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 30:70 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

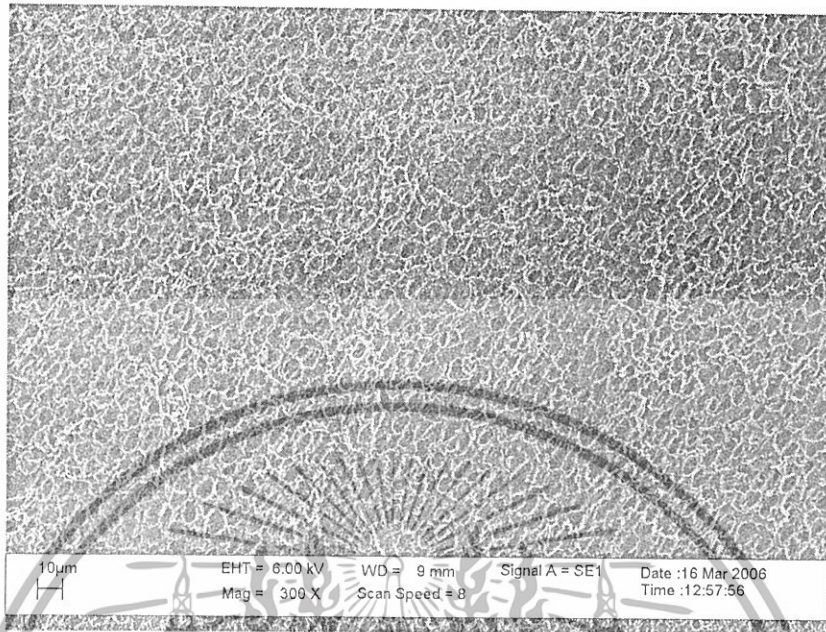


รูปที่ 19. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

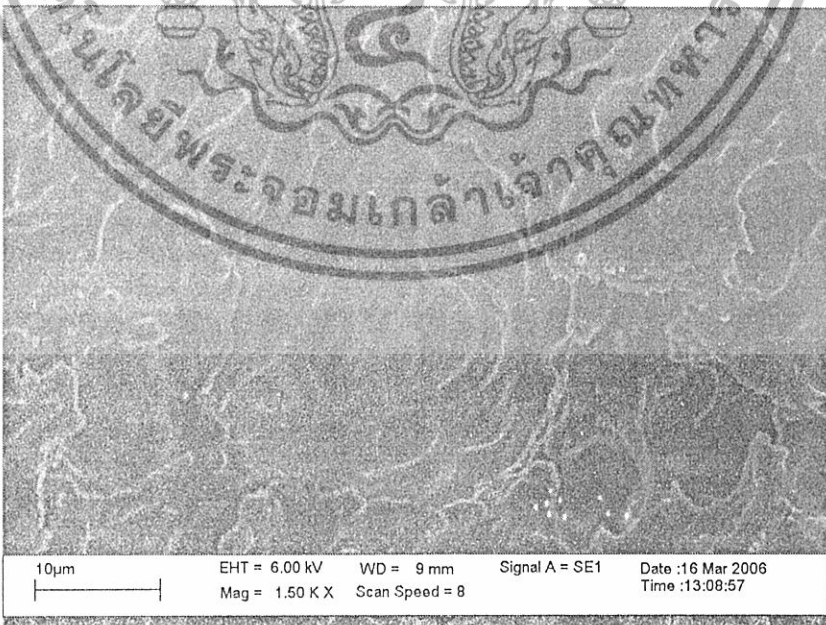


รูปที่ 20. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

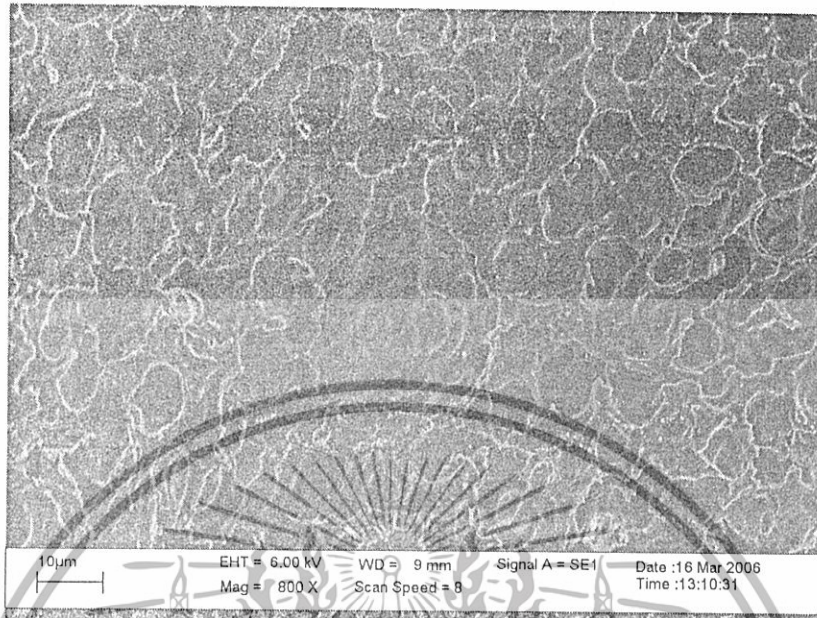


รูปที่ 21. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 40:60 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

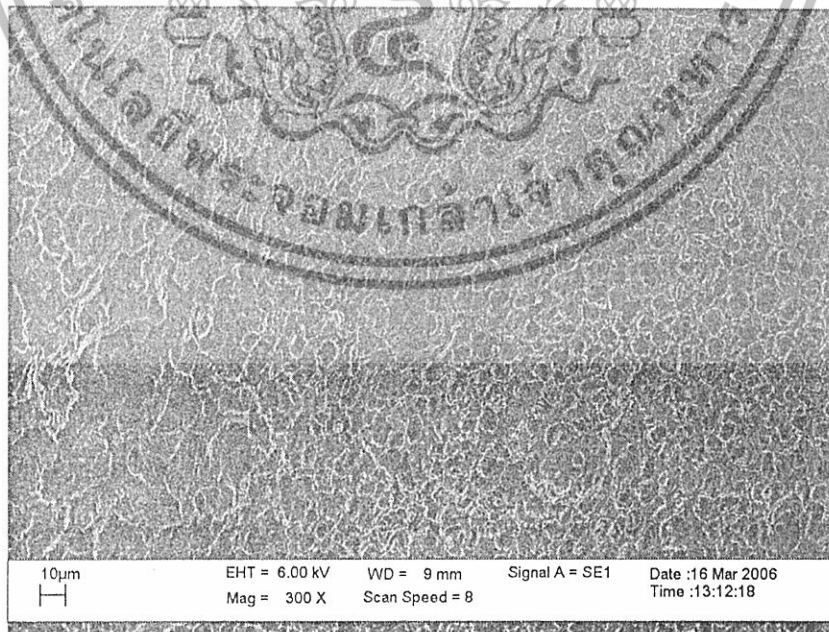


รูปที่ 22. สัณฐานวิทยาของโพนยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก อัตราส่วน 50:50 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 1,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต อัตรารส่วน 50:50 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 800 เท่า



รูปที่ 24. สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต อัตรารส่วน 50:50 ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้