

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของเศษด้ายไหมที่มีต่อสมบัติของโฟม
พอลิยูรีเทนชนิดแข็ง



107911

นางสาว จีรวดี มหาประทุม
นางสาว วาสนา แสนบัวหลวง

รพ.
จA99๗
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107911
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ย. 2553

b. 12213032
i.....

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขา เคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Residual Silk Yarns on Properties of Rigid Polyurethane Foam




A Special Project Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the
Degree of Bechelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Acedemic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ ผลของเศษด้ายไหมที่มีต่อสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
นักศึกษา นางสาวจิรวดี มหาประทุม
 นางสาววาสนา แสนบัวหลวง
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
กรรมการ	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ	
กรรมการ	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	


 (ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)
 หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	ผลของเศษด้ายไหมที่มีต่อสมบัติของไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
นักศึกษา	นางสาว จิรวดี มหาประทุม นางสาว วาสนา แสนบัวหลวง
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาอิทธิพลของเศษด้ายไหมที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา สมบัติกายภาพ และสมบัติเชิงกลของไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โดยศึกษาวิธีเตรียม 2 วิธี วิธี A ผสมพอลิออลกับเศษด้ายไหมแล้วเติมไอโซไซยาเนต วิธี B ผสมไอโซไซยาเนตกับเศษด้ายไหมแล้วเติมพอลิออล สัดส่วนน้ำหนักของพอลิออลต่อไอโซไซยาเนตเป็น 43:50 ใช้เศษด้ายไหมในช่วง 5-30 กรัม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเศษด้ายไหมทำให้ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่เวลาในการฟูตัว ขนาดรูพรุน แรงกดอัดและค่ามอดูลัสลดลง การวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าเศษด้ายไหมและพอลิยูรีเทนที่เติมเศษด้ายไหมให้พีคแสดงเอกลักษณ์ทางเคมีคล้ายกัน เศษด้ายไหมทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเปลี่ยนแปลงและการย่อยสลายของไฟมพอลิยูรีเทนเร็วขึ้น วิธีการเตรียมทั้งสองวิธีแสดงผลในลักษณะเดียวกัน

Special Project Title	Effect of Residual Silk Yarns on Properties of Rigid Polyurethane Foam	
Name	Miss Chirawadi	Mahaprathum
	Miss Vassana	Saenbualuang
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Acedemic Year	2007	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin	

ABSTRACT

This special project studied on influence of residual silk yarns upon morphology, physical and mechanical properties of rigid polyurethane foam. Two preparation methods were studied. Method A mixed polyol with residual silk yarns and then added isocyanate. Method B mixed isocyanate with residual silk yarns and then added polyol. Weight ratio of polyol and isocyanate was 43:50. The amount of residual silk yarns used in the range of 5-30 gm. The results showed that increasing of residual silk yarns the density and water absorption were increased but cream time, pores size, compressive force and modulus were decreased. FTIR spectrum of residual silk yarns and polyurethane showed the similar patterns. Residual silk yarns change the decomposition temperature and induced the degradation of polyurethane foam. The two preparation methods showed the results in the same trend.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย คณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำรูปเล่มโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร คณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำรูปเล่มโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สามารถ คงทวีเลิศ อาจารย์ภาควิชาเคมีที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำรูปเล่มโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณกัญญา มงคลโกชนี เจ้าหน้าที่ดูแลเครื่อง Thermal gravimetry analysis (TGA) ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ คุณสุภัทร บานเย็น เจ้าหน้าที่ดูแลเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และท่านอื่นที่มีได้กล่าวถึง ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

นางสาวจิรวดี มหาประทุม

นางสาววาสนา แสนบัวหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โฟมพอลิยูรีเทน	
2.1.1 พอลิยูรีเทน	3
2.1.2 การขึ้นรูปพอลิยูรีเทน	11
2.1.3 ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน	11
2.1.4 สมบัติและการประยุกต์ใช้งานของโฟมพอลิยูรีเทน	13
2.1.5 ปฏิกริยาพื้นฐานของโฟมพอลิยูรีเทน	14
2.2 เศษด้ายไหม	
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของไหม	18
2.2.2 การผลิตด้ายไหม	19
2.3 พลาสติกกับการย่อยสลายได้	
2.3.1 เสถียรภาพของพลาสติก	22
2.3.2 การกำจัดพลาสติกโดยทำให้เสื่อมสลายไป	22
2.3.3 การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้	23
2.3.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น	24
2.3.5 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การดูดซับ IR ของสาร	25
2.5 วัสดุกันกระแทก	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	32
3.2 อุปกรณ์	32
3.3 วิธีการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	
4.1 การตรวจวิเคราะห์หาค่า cream time , gel time , tack free time	37
4.2 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง และเศษด้ายไหม	38
4.3 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง	42
4.3.1 ความหนาแน่นของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง และความสามารถในการดูดซับน้ำของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง	42
4.3.2 ความสามารถในการรับแรงกดอัดของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง และค่ามอดุลัสกดอัดของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง	45
4.4 การตรวจวิเคราะห์ FTIR ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งและเศษด้ายไหม	48
4.5 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง และเศษด้ายไหมด้วย TGA	50
4.6 การทดสอบการย่อยสลายของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1.1 พอลิออกทีนียมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน	5
ตารางที่ 2.1.2 แสดงความว่องไวของเอมีนตติยภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่าง เฟนิลไอโซไซยาเนตและบิวทานอล	7
ตารางที่ 2.1.3 ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทน จากเฟนิลไอโซไซยาเนต	8
ตารางที่ 2.1.4 สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง	10
ตารางที่ 2.4.1 แสดงค่าการดูดซับ IR ของสาร	25
ตารางที่ 3.1 สูตรของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมเศษด้ายไหม	31
ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่า cream time, gel time และ tack free time ของชิ้นงาน โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรต่างๆ	35
ตารางที่ 4.2.1 แสดงขนาดเฉลี่ยรูพรุนของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ	39
ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ	40
ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยความสามารถในการรับแรงกดอัด และมอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ	43
ตารางที่ 4.5.1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง และเศษด้ายไหม	50
ตารางที่ 1 แสดงค่า % น้ำหนักของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ เมื่อทดสอบการย่อยสลาย	65
ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทน	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างเซลล์แบบเปิด(open cell)ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีน(ข้าย) และโครงสร้างเซลล์แบบปิด(close cell)ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิโพรพิลีน(ขาว)	12
รูปที่ 2 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ	21
รูปที่ 4.1 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตรที่ A1) จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
รูปที่ 4.2 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A2 (ขาว) และ สูตร B2 (ข้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
รูปที่ 4.3 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A3 (ขาว) และ สูตร B3 (ข้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 10 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
รูปที่ 4.4 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A4 (ขาว) และ สูตร B4 (ข้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 15 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
รูปที่ 4.5 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A5 (ขาว) และ สูตร B5 (ข้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 20 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
รูปที่ 4.6 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A6 (ขาว) และ สูตร B6 (ข้าย) ที่มีการเติม เศษด้ายไหมปริมาณ 25 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	39
รูปที่ 4.7 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนสูตร A7 (ขาว) และ สูตร B7 (ข้าย) ที่มีการเติม เศษด้ายไหมปริมาณ 30 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	39
รูปที่ 4.8 แสดงภาพลักษณะทางกายภาพของเศษด้ายไหม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า	39
รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม และโพลิเมอร์ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 ตามลำดับที่เตรียม ด้วยวิธี A และ B	41
รูปที่ 4.10 แสดงการดูดซึมน้ำของโพลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม และโพลิเมอร์ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัมตามลำดับ โดยวิธีเตรียมแบบAและแบบB	42

รูปที่ 4.11	แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและโฟมที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัมตามลำดับ โดยวิธีเตรียมแบบAและแบบB	44
รูปที่ 4.12	แสดงค่ามอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม และโฟมที่เตรียมจากวิธีเตรียมแบบ A และแบบ B ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัมตามลำดับ	45
รูปที่ 4.13	แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูรีเทนที่ ไม่มีการเติม 51 เศษด้ายไหม (A1) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม (A2) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม(A7)	48
รูปที่ 4.14	แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (A1) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม (B2) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม (B7)	49
รูปที่ 4.15	แสดงเทอร์โมแกรมของเศษด้ายไหม	50
รูปที่ 4.16	แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตรที่ A1) จากการวิเคราะห์ TGA	51
รูปที่ 4.17	แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ A2 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 5 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA	51
รูปที่ 4.18	แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ B2 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 5 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA	52
รูปที่ 4.19	แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ A7 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 30 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA	52
รูปที่ 4.20	แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ B7 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 30 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA	53
รูปที่ 4.21	แสดง%น้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเตรียมแบบ A (สูตร A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7) หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน	54
รูปที่ 4.22	แสดง%น้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเตรียมแบบ B (สูตร B2 B3 B4 B5 B6 B7) หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน	55
รูปที่ 4.23	ลักษณะชิ้นงานที่นำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน ของชิ้นงานที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม และมีการเติมเศษด้ายไหมจากวิธีการเตรียมแบบAและB	55
รูปที่ ก	ถ่ายจากกล้องดิจิตอลแสดงลักษณะทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันโฟมสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้มากมาย เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา ยืดหยุ่นได้ดี เกิดการกักความร้อนได้น้อย เป็นฉนวนความร้อน และมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการกระแทก จึงได้มีการนำโฟมมาใช้งานในการทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆ สำหรับเป็นวัสดุกันกระแทก เพื่อป้องกันความเสียหายให้กับสิ่งของที่บรรจุอยู่ภายใน เช่น ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ ถ้วย แก้ว จาน ชาม หรือแม้กระทั่งพืชผลทางการเกษตร และใช้เป็นฉนวนกันความร้อนตามหลังคาในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ข้อเสียของโฟม คือใช้เวลาในการย่อยสลายนาน จึงได้มีแนวคิดนำพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ต่อโมเลกุลที่ได้จากพืชผักหรือส่วนต่างๆ ของต้นไม้มาเป็นสารตัวเติมในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน เพื่อเร่งให้เกิดการย่อยสลาย และช่วยในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิตด้วย วัสดุที่ใช้ทำโฟมมีหลายชนิด ได้แก่ พอลิโอฟีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิยูรีเทน พอลิยูรีเทนสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างพอลิแอล (ส่วนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล -OH) และพอลิไอโซไซยาเนต (ส่วนที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต $N=C=O$) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา สารทำให้เกิดฟอง สารลดแรงตึงผิว และเกิดพันธะภายในโมเลกุลเรียกว่า พันธะยูรีเทน (urethane linkage) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารตัวเติมอินทรีย์ที่มีต่อสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เนื่องจากได้มีแนวคิดที่จะทำโฟมพอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้และมีราคาถูก ดังนั้นจึงใช้เศษด้ายไหมที่เป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปั่นเส้นไหมเป็นสารตัวเติมในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ซึ่งเป็นแนวทางการลดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่สามารถย่อยสลายได้ โดยผสมเศษด้ายไหมซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2. เพื่อศึกษาผลของเศษด้ายไหมที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
3. เพื่อศึกษาสภาวะการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีเศษด้ายไหมเป็นองค์ประกอบ
4. เพื่อศึกษาการย่อยสลายของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีเศษด้ายไหมเป็นองค์ประกอบ
5. เพื่อลดปริมาณขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมปั่นเส้นไหมและอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือ สามารถเตรียมโพลีเมอร์ชนิดแข็งที่มีสารตัวเติมอินทรีย์เป็นองค์ประกอบเพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้ง่ายและเป็นสารตัวเติมเพื่อใช้ลดต้นทุน โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณเศษด้ายไหมที่เหมาะสมในการเตรียมโพลีเมอร์ชนิดแข็ง
2. ความสามารถในการเสริมแรงของเศษด้ายไหมในโพลีเมอร์ชนิดแข็ง
3. ความสามารถในการย่อยสลายของโพลีเมอร์ชนิดแข็งที่มีเศษด้ายไหมเป็นสารตัวเติม

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง
3. ดำเนินการทดลองดังนี้

ทำการเตรียมเศษด้ายไหมที่ใช้เป็นสารตัวเติมในการเตรียมโพลีเมอร์ชนิดแข็ง แล้วนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และทำการเตรียมชิ้นงานโพลีเมอร์ด้วยวิธีที่ต่างกันโดยใช้ปริมาณเศษด้ายไหมต่างๆ กัน นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ทดสอบความสามารถในการย่อยสลาย วิเคราะห์การกระจายตัวของเศษด้ายไหมในชิ้นงานด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และใช้เทคนิค Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานโพลีเมอร์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษด้ายไหมที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปั่นเส้นไหมและอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2. ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากโพลีเมอร์และขยะจากอุตสาหกรรม
3. ลดปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตโพลีเมอร์
4. สามารถเตรียมโพลีเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น
5. เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้อย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โฟมพอลิยูรีเทน [1]

2.1.1 พอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทน คือ พอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมต่อกันของหมู่ยูรีเทนกับสารประกอบหมู่อื่นๆ เช่น อีเทอร์ เอสเทอร์ ไบยูเรต อัลโลฟานต เอไมด์ และสารประกอบหมู่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้อาจจะรวมอยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์นี้ได้

วิธีที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนที่นิยมใช้มาก คือ ปฏิกิริยาของไดฟังก์ชันนอล หรือ พอลิฟังก์ชันนอลของสารประกอบไฮดรอกซิล เช่น Hydroxyl – terminated polyether/polyester กับ ไดฟังก์ชันนอล หรือ พอลิฟังก์ชันนอลของไอโซไซยาเนต

2.1.1.1 วัตถุดิบสำหรับพอลิยูรีเทน

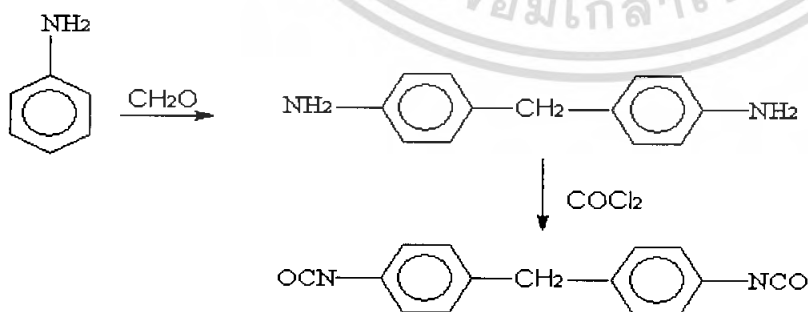
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนจะมีเพียงไดไอโซไซยาเนตและไดออลหรือพอลิออล เนื่องจากการเตรียมพอลิยูรีเทนในทางอุตสาหกรรมจะมาจากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างไดไอโซไซยาเนตและไดออล หรือ พอลิออล

1.) ไดไอโซไซยาเนต ไอโซไซยาเนตสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างเอมีน และ ฟอสจีน ดังนี้



ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ได้แก่

- ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต มีการสังเคราะห์ดังนี้

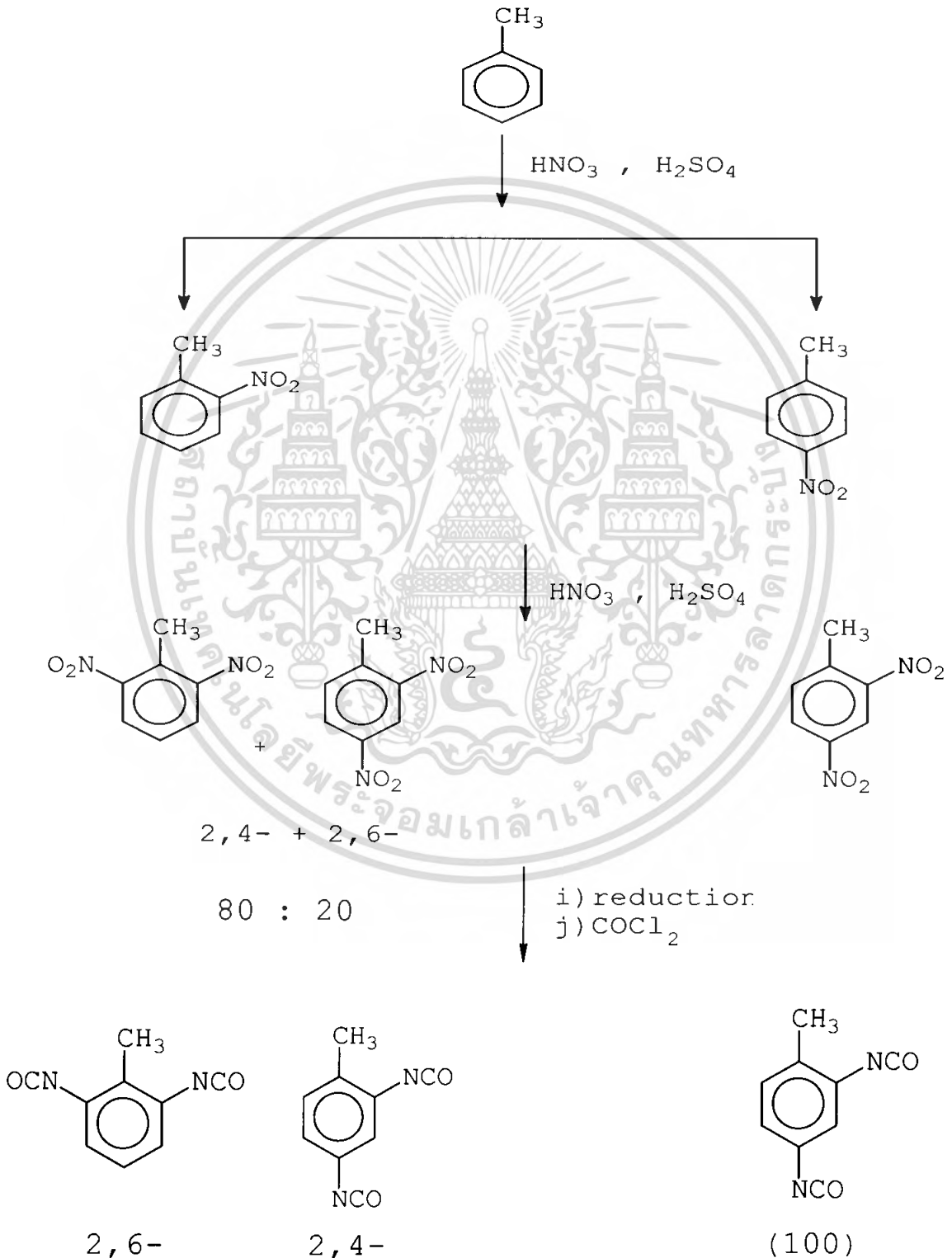


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต เตรียมได้ดังสมการ

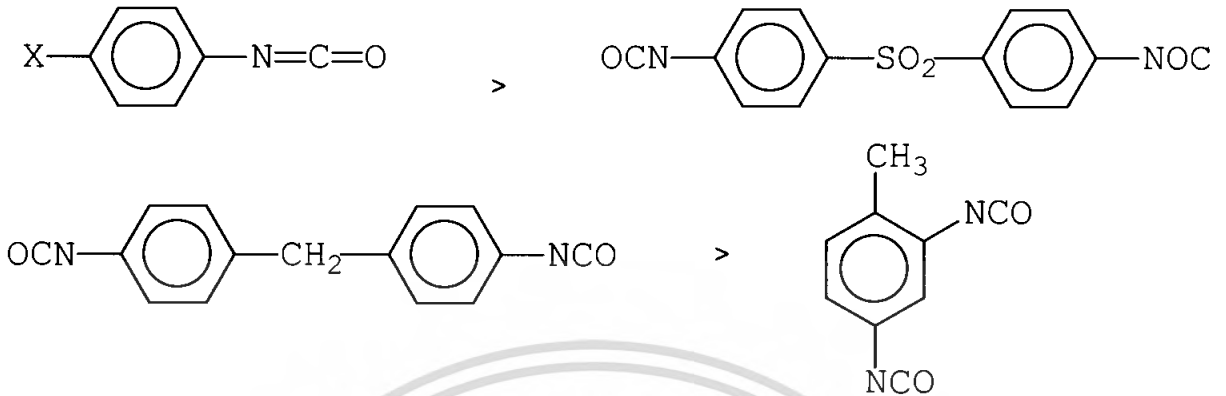


- โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต เตรียมได้ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 35 ของ 65 ภาระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า อะโรมาติกไอโซไซยาเนต จะมีความว่องไวกว่าอะลิฟาติกไอโซไซยาเนตและไอโซไซยาเนตที่มีหมู่ดึงอิเล็กตรอนจะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วขึ้น ดังนี้

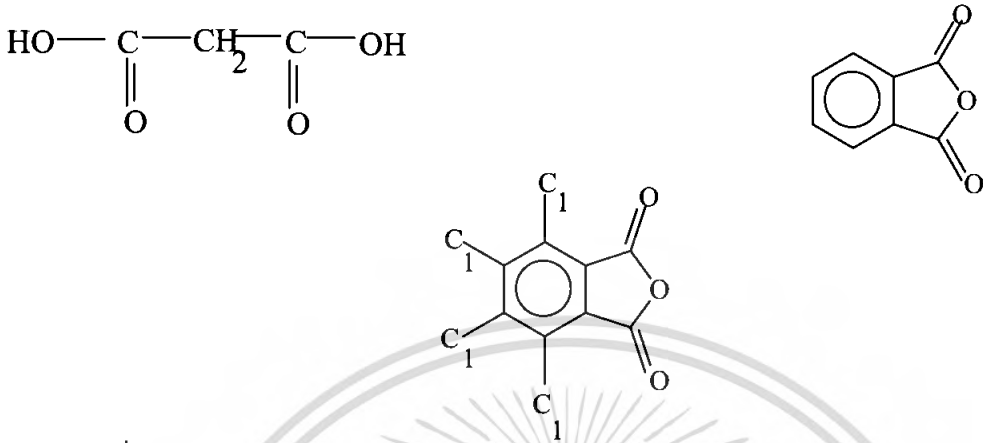


2.) ไดออลและพอลิออล ไดออลและพอลิออลที่ใช้กันทั่วไป เป็นดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.1.1 พอลิออลที่นิยมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน [1]

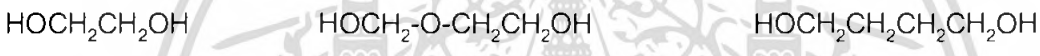
พอลิออล	น้ำหนักโมเลกุลทั่วไป	หมู่ฟังก์ชัน
$ \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \end{array} $	400 - 4000	6
$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \end{array} $	300 - 6000	3
$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} $	400 - 600	4
$ \text{HO}-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{OH} $	350 - 750	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

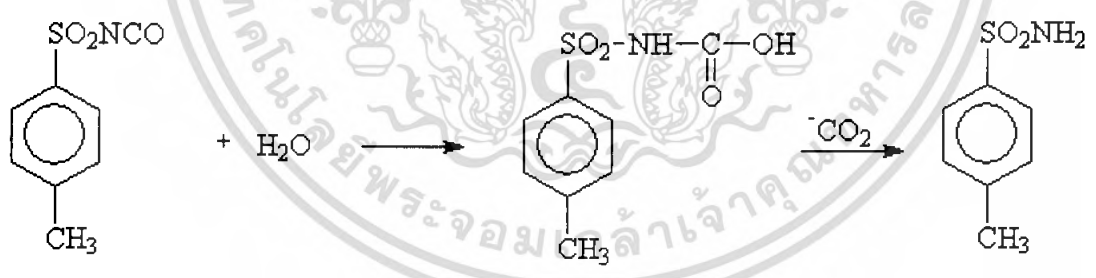
- พอลิเอสเทอร์ พอลิเอสเทอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล จัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทน เกิดจากการใช้ไดไอโซไซเนตทำปฏิกิริยากับไดโอลที่มากเกินพอ น้ำหนักโมเลกุลที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 1000 – 4000 ตัวอย่างไดไอโซไซเนตที่ใช้ เช่น



และไดโอลที่ใช้ เช่น



พบว่าโมเลกุลที่หมู่ไฮโดรเจนที่วงไวนในการทำปฏิกิริยาที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอน จะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วขึ้น ดังนี้

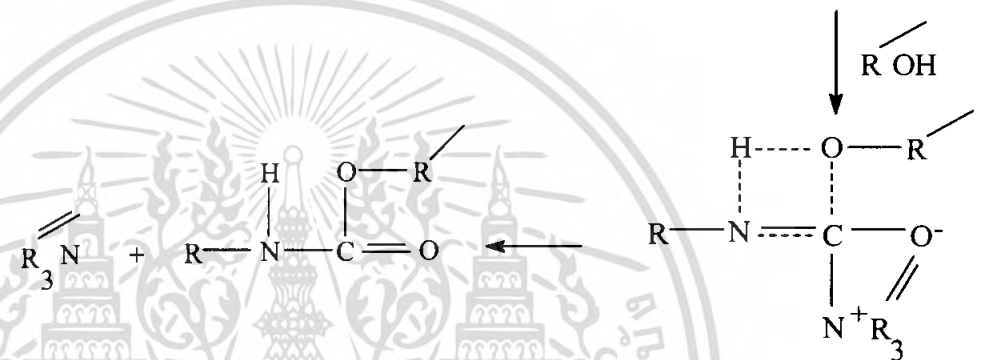
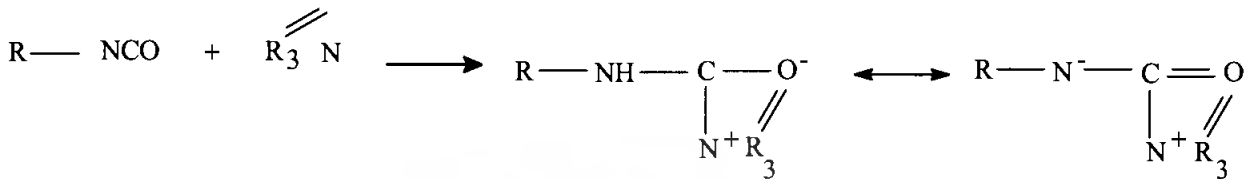


จะเห็นว่ามีความว่องไวกว่าแอลกอฮอล์(หรือไดโอล) ดังนั้นจึงมักเติมสารที่ทำให้แห้งหรือตัวที่เสถียร หรืออาจเรียกว่าตัวยับยั้งลงไปด้วย ไม่เช่นนั้นจะสูญเสีย -NCO เกิดเป็น R-NH₂ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับ -NCO ใหม่ได้ นอกจากวัตถุดิบแล้วการเตรียมพอลิยูรีเทนยังต้องเติมสารประกอบอื่นๆอีก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิยูรีเทนในทางอุตสาหกรรมมีการเติมตัวเร่งไปด้วย ตัวเร่งที่นิยมใช้คือ เอมีนตติภูมิ (Tertiary amine) หรือสารประกอบของโลหะบางชนิด โดยเฉพาะสารประกอบของโลหะดีบุก (Sn) กลไกการเกิดไอโซไซยานตโดยใช้เอมีน เป็นดังนี้



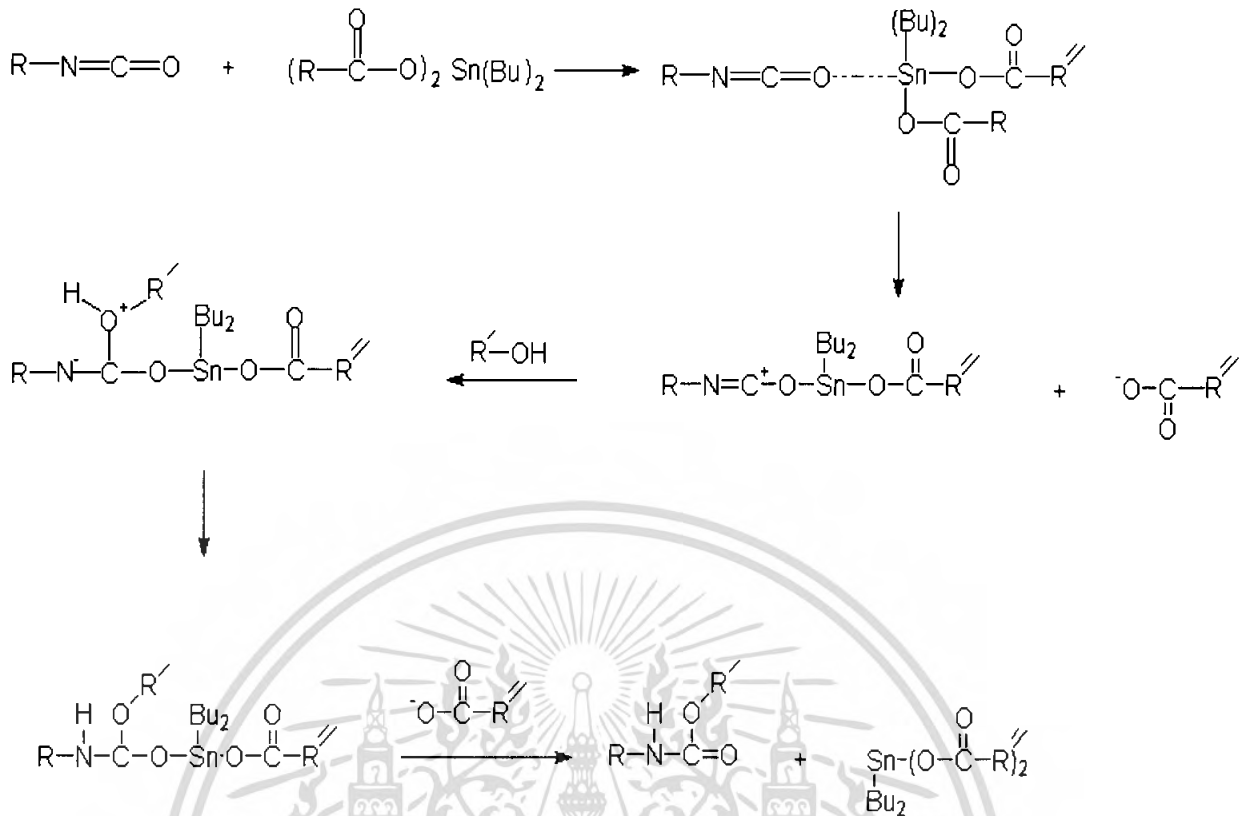
เอมีนตติภูมิที่มีหมู่แทนที่ขนาดใหญ่ จะมีความแข็งแรงของความเป็นเบสมากขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความเกะกะ (Steric effect) จะทำให้มีความว่องไวมากขึ้น ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1.2 แสดงความว่องไวของเอมีนตติภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่าง ฟีนิลไอโซไซยานต และบิวทานอล [1]

Amine	Base strength (pKa)	ความว่องไวสัมพัทธ์
Trimethylamine	9.9	2.2
Ethylenedimethylamine	10.2	1.6
Diethylenedimethylamine	10.4	1.0
Triethylamine	10.8	0.9
Triethylenediamine	8.2	3.3

สารประกอบของโลหะดีบุกที่นิยมใช้ เช่น สแตนเนสออกโตเนต (Stannous octonate) หรือ ไดบิวทิลทินไดแอซิเตต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาการเตรียมไอโซไซยาเนตขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ด้วย ซึ่งพบว่าสารประกอบของโลหะดีบุกจะมีความว่องไวที่สุด ดังตารางที่ 2.3 และพบว่าสารประกอบของโลหะดีบุกมีความว่องไวในการเตรียมไอโซไซยาเนตแบบปฏิกิริยาการเติมด้วยตัวเอง (Self addition reactions)

ตารางที่ 2.1.3 ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนจากฟีนิลไอโซไซยาเนต [1]

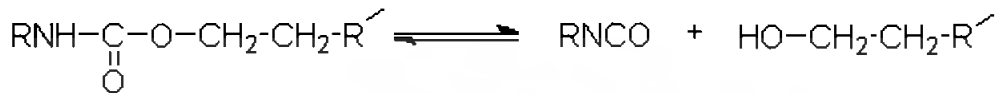
ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดปฏิกิริยากับ		
	n-บิวทานอล	น้ำ	ไดเฟนิลยูเรีย
ไม่มี	1.0	1.1	2.2
N-methylmorpholine	40	25	10
Triethylamine	86	47	4
Tetramethyl-1,3-butanediamine	260	100	12
Triethylenediamine	1200	380	90
Tributyltin acetate	8000	14000	8000
Dibutyltin diacetate	600000	100000	120000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

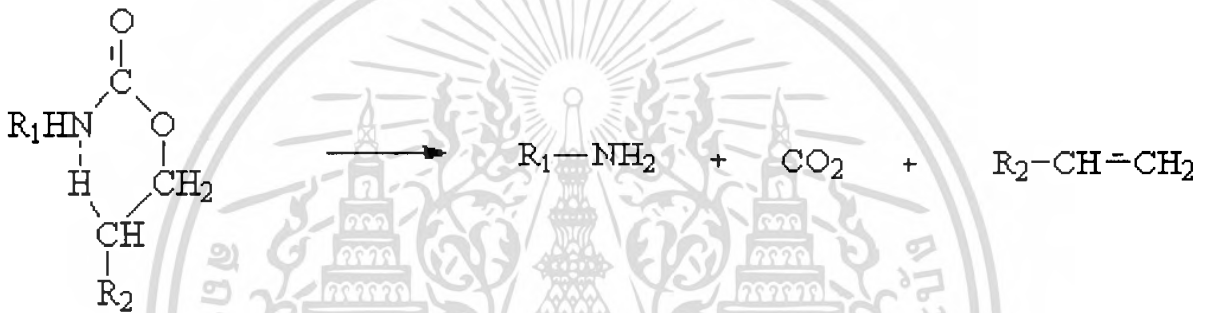
4.) ตัวทำละลาย (Solvent)

พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้หากมีจุดหลอมเหลวมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะยากแก่การเตรียมจากวิธีการเกิดพอลิเมอร์เซชันแบบหลอมเหลว (Melt polymerization) เพราะพันธะยูรีเทนไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียส การสลายตัวของยูรีเทนที่เกิดจากไฮโซไซยานาตกับแอลกอฮอล์ อาจเป็นแบบ

- แยกตัวกลับไปเป็น ไฮโซไซยานาต และ แอลกอฮอล์



- แยกตัวกลายเป็น เอมีนปฐมภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์ และ โอลิฟิน



- แยกตัวกลายเป็น เอมีนทุติยภูมิ และ คาร์บอนไดออกไซด์



หรือเมื่ออุณหภูมิสูงหมู่ไฮโซไซยานาตอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ซึ่งจะทำให้เสียสมดุลไป เช่น อาจเกิดไตรเมอไรเซชัน หรือ เกิดอัลโลฟานาต (Allophanate) ได้

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง จึงเตรียมพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก คือน้อยกว่า 120 องศาเซลเซียสและเป็นการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution polymerization) ซึ่งพบว่า การเลือกตัวทำละลายมีความสำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทน การที่จะได้พอลิยูรีเทนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะต้องเลือกตัวทำละลายพอลิยูรีเทนที่สามารถละลายพอลิยูรีเทนที่เกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ N-เมทิลไพโรลิโดนและซัลโฟเลน เป็นต้น

5.) สารช่วยให้เกิดฟอง (Blowing agent)

พอลิยูรีเทนนำไปใช้เป็นโฟมทั้งโฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็ง สารช่วยให้เกิดฟองเป็นสารเติมแต่งที่สำคัญในการทำให้เกิดโฟม โดยสารช่วยให้เกิดฟองจะทำให้พอลิยูรีเทนมีความเป็นรูพรุน (Pores) ได้ สารช่วยให้เกิดฟองที่นิยมใช้ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ และ ของเหลวที่ระเหยได้ง่าย คือ มีความถ่วงจำเพาะสูงๆแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น สารประเภทฟลูออรีนอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Fluorinated aliphatic hydrocarbon) ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.1.4 สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง [1]

สารช่วยให้เกิดฟอง	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น (g/cm ³)	จุดเดือด (°C)
Cyclohexane	84.00	0.774	80.8
Trichloroethane	131.00	1.466	87.2
1,2 Dichloroethane	98.97	1.245	83.5
1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	187.39	1.565	47.6
Acetone	58.08	0.785	56.2

การเกิดฟองอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ หรือโดยการเติมสารช่วยให้เกิดฟองจำพวก ฟลูออรีนไฮโดรคาร์บอน แต่เนื่องจากสารตัวนี้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศอย่างมาก ปัจจุบันจึงใช้สารหรือของเหลวที่ระเหยง่ายอื่นๆแทน โดยขั้นตอนในการเกิดฟองหรือก๊าซ จะเกิดพร้อมกับการเกิดพอลิยูรีเทน (เกิดการพอลิเมอไรเซชัน) ดังนั้นจะต้องให้ปฏิกิริยาทั้งสองนั้นเกิดสมดุลกัน คือต้องให้ฟองก๊าซติดอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ (Polymer matrix) ถ้าการเกิดฟองเร็วเกินไปจะทำให้การพองตัวของโฟมไม่ถาวรคือจะยุบลงมาได้ เนื่องจากการพอลิเมอไรเซชันยังไม่ได้สร้างพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะกักก๊าซเหล่านั้นไว้ได้ แต่ถ้าพอลิเมอไรเซชันเกิดเร็วเกินไปโฟมก็จะไม่เกิดการพองตัว บางครั้งจึงต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เช่น ซิลิโคนพอลิอัลคิลีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Silicone-polyalkylene block copolymer) ด้วยเพื่อทำให้โฟมเสถียร ในกรณีที่พอลิเมอร์ที่เตรียมได้ยังไม่แข็งแรงพอ

2.1.2 การขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทน

กระบวนการขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทนโดยทั่วไปมี 3 วิธี ดังนี้

1.) กระบวนการ เตรียมโฟมยูรีเทนในขั้นตอนเดียว

สามารถใช้ทั้งพอลิเอสเทอร์พอลิออล และ พอลิอีเทอร์พอลิออลเพื่อเตรียมพอลิยูรีเทนได้ โดยพอลิเอสเทอร์ที่ใช้นั้นจะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2000 และของผสมทั้งหมดได้แก่ พอลิเอสเทอร์พอลิออล ไอโซไซยาเนต สารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวดัดแปลงต่างๆจะถูกผสมกันในเตาปฏิกรณ์ ประมาณ 2-3 นาที โฟมพอลิยูรีเทนจะเกิดได้อย่างเต็มที่ ในขณะที่พอลิอีเทอร์พอลิออลนั้นเมื่อผสมของผสมทั้งหมดซึ่งได้แก่ พอลิอีเทอร์พอลิออล สารไอโซไซยาเนต สารทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารเพิ่มเสถียรภาพแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้โฟมพอลิยูรีเทนออกมา จากนั้นนำไปอบประมาณ 10-24 ชั่วโมงก่อนจะนำออกไปใช้งาน

2.) กระบวนการ ฟรีพอลิเมอร์

สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเอสเทอร์พอลิออล และ พอลิอีเทอร์พอลิออล แต่นิยมใช้พอลิอีเทอร์พอลิออล มากกว่า ทำได้โดยให้พอลิออลทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตที่มากเกินไปก่อนจะได้ฟรีพอลิเมอร์ที่ปลายไซเป็นไอโซไซยานาเนต ซึ่งเสถียรในภาวะที่แห้งและเมื่อเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวดัดแปลงลงไปจึงเกิดเป็นโฟมพอลิยูรีเทน

3.) กระบวนการ ควอลิฟรีพอลิเมอร์

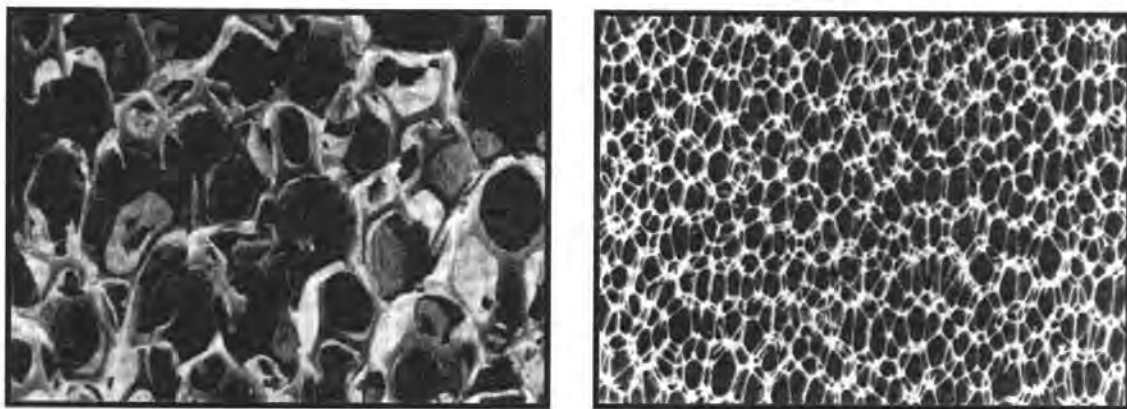
วิธีนี้คล้ายกับกระบวนการฟรีพอลิเมอร์ แต่ใช้ปริมาณไอโซไซยาเนตจำนวนมากทำปฏิกิริยากับพอลิออล ได้พอลิยูรีเทนน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีไอโซไซยาเนตอิสระเหลืออยู่มาก จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับพอลิออลต่อในขั้นตอนที่ 2 พร้อมเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวดัดแปลงลงไปจึงเกิดเป็นโฟมพอลิยูรีเทน

2.1.3 ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน

โฟมพอลิยูรีเทนแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- โฟมยืดหยุ่น (Flexible foam)
- โฟมแข็ง (Rigid foam)

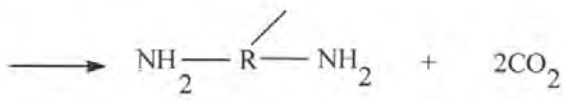
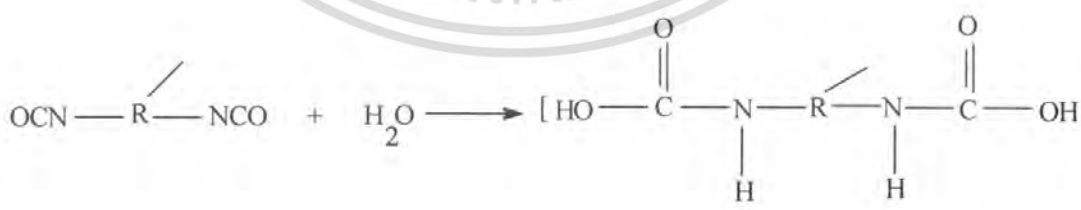
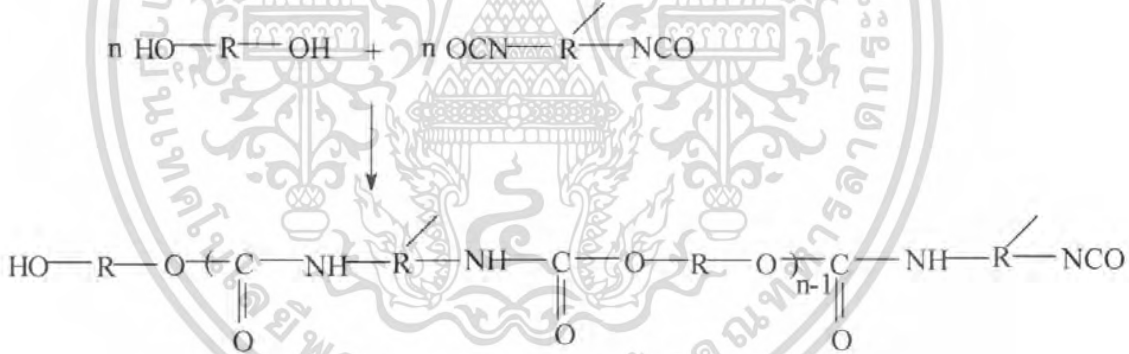
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างเซลล์แบบเปิด (open cell) ของโฟมยืดหยุ่น (ข้าว) และโครงสร้างเซลล์แบบปิด (close cell) ของโฟมแข็ง (ขมิ้น)

- โฟมยืดหยุ่น (Flexible foam)

การผลิตโฟมยืดหยุ่นจะประกอบด้วยการใช้ พอลิออล ไดไอโซไซยาเนต และสารช่วยให้เกิดฟอง เกิดปฏิกิริยา ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู/ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 NH₂-R-NH₂ + OCN-R'-NCO → NH-C(=O)-NH-R'-NH-C(=O)-NH-
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีทำเนาไปใช้

โดยจะใช้พอลิออลทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนตที่มากเกินพอ จนกระทั่งกลายเป็นพรีพอลิเมอร์ หรือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อน แล้วจึงเติมสารที่ทำให้เกิดฟองและตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ในการเตรียมโฟมยืดหยุ่นคือ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต ส่วนพอลิออลที่ใช้อาจเป็นพอลิอีเทอร์หรือพอลิเอสเทอร์ก็ได้ โดยส่วนใหญ่ประมาณ 80% ของโฟมยืดหยุ่นจะเตรียมจากพอลิอีเทอร์เพราะทนต่อการแตกตัวด้วยน้ำได้ดีกว่า ส่วนโฟมพอลิเอสเทอร์จะทนต่อตัวทำละลายต่างๆ ได้ดีกว่า

- โฟมแข็ง (Rigid foam)

การผลิตโฟมแข็งมีกระบวนการเหมือนกับการผลิตโฟมยืดหยุ่นแต่จะต่างกันตรงระดับการเชื่อมโยง โดยโฟมแข็งจะมีการเชื่อมโยงมากกว่าโฟมยืดหยุ่น ส่วนใหญ่จะเตรียมจากพอลิอีเทอร์และมีการเติมสารช่วยให้เกิดฟอง เช่น ฟลูออโรคาร์บอน และ คลอโรคาร์บอน เช่น เมทิลซีนไดคลอไรด์

โฟมพอลิยูรีเทนมีข้อดีกว่าโฟมทั่วไปคือ มีสภาพนำความร้อนต่ำ ทนความร้อนได้ดีมาก มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ น้ำหนักเบาและผลิตได้ง่าย

2.1.4 สมบัติและการประยุกต์ใช้งานของโฟมพอลิยูรีเทน [2]

โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจัดเป็นเทอร์โมเซต ซึ่งมีความต้านทานต่อการสลายตัวทางความร้อนที่ดี ประมาณ 198.89 - 254.44 °C อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ได้อย่างต่อเนื่อง อยู่ในช่วง 100-135 °C ส่วนพอลิโอลิฟินส์ พอลิสไตรีน โฟมสไตรีนโคพอลิเมอร์ ไม่สามารถใช้งานได้เกิน 71-79°C โดยทั่วไปโฟมจะติดไฟได้ง่าย แต่การเติมสารหน่วงการติดไฟจะทำให้มีระดับการติดไฟที่ต่างกันทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

ส่วนใหญ่โฟมแข็งที่มีความหนาแน่นต่ำ ($<0.064\text{g/cm}^3$) จะทำให้เป็นโฟมด้วยฮาโลคาร์บอน ยกตัวอย่างเช่น ฟลูออโรไตรคลอโรมีเทน(ฟลูออโรคาร์บอน-11)ใช้เพียงชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกับไดฟลูออโรไดคลอโรมีเทน แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้วเนื่องจากเป็นสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โฟมที่มีความหนาแน่นสูงบางตัว (มากกว่า 0.064g/cm^3) จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการขยายตัว เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไอโซไซยาเนตกับน้ำที่เติมลงไป โดยในโฟมที่เกิดการขยายตัวเนื่องจากสารประกอบฮาโลคาร์บอน จะให้ค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนมากกว่าโฟมที่เกิดการขยายตัวเนื่องจากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าความต้านทานต่อความร้อนเริ่มต้นของตัวอย่าง โฟมที่มีขนาด 1 นิ้ว จะมีค่าอยู่ในช่วง 9-7 หลังจากทำการทดลองที่สภาวะการใช้งานจริง เป็นเวลา 6 เดือน ถึง 1 ปี ค่าความต้านทานต่อความร้อนจะลดลงถึง 6 หน่วยถือว่าลดลงเล็กน้อยและค่าความต้านทานต่อความร้อนของโฟมที่ใช้ฮาโลคาร์บอนเป็นสารทำให้เกิดฟอง จะลดลงเรื่อยๆ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงช้ามาก เนื่องมาจากผลของการแพร่ของอากาศและไอน้ำในเซลล์และฮาโลเจน แต่ในที่สุดค่าความต้านทานของตัวอย่างที่มีขนาด 1 นิ้ว จะมีค่าลดลง 4-4.5 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมพอลิยูรีเทนที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายจะอยู่ในรูปของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอันดับสองรองจากโฟมพอลิสไตรีนที่เป็นเทอร์โมพลาสติก ถึงแม้ว่าโฟมพอลิยูรีเทนจะมีราคาแพงกว่าวัสดุที่เป็นฉนวนอื่นๆ แต่โฟมยูรีเทนจะมีประโยชน์มากกว่า คือมีค่าความต้านทานต่อความร้อนสูงในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนามาก มีน้ำหนักเบา มีการซึมผ่านของก๊าซค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นโฟมยูรีเทนยังสามารถปรับให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน การนำไปเป็นฉนวนทางความร้อน เป็นวัสดุแกนกลางในโครงสร้างแบบประกบ การบรรจุหีบห่อ และการทำเฟอร์นิเจอร์

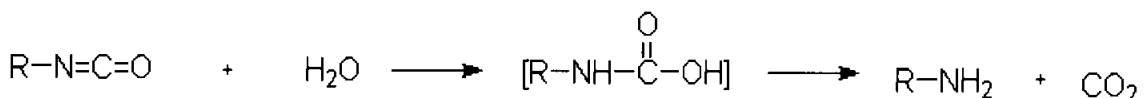
โฟมแข็งยูรีเทนที่เกิดจากการขยายตัวด้วยฮาโลคาร์บอน จะถูกใช้เป็นฉนวนความร้อนในช่วงอุณหภูมิกว้าง -88 ถึง 127 °C การใช้งานส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในผนังและหลังคา ทั้งในที่อยู่อาศัยและในอุตสาหกรรมหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ แผ่นมูลี่ ม่าน ใช้ทำฉนวนกันความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำในเครื่องทำความเย็นหรือในรถบรรทุกที่มีตู้ทำความเย็น เป็นฉนวนในอุตสาหกรรมท่อและแท็งค์เก็บ เป็นฉนวนบนหลังคาตาดฟ้าเรือ เนื่องจากโฟมแข็งยูรีเทนมีโครงสร้างแบบเซลล์ปิด มีการดูดซึมน้ำต่ำ มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้โฟมแข็งสามารถลอยตัวได้เป็นเวลานาน จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ทำท่าเรือลอยน้ำ ทำทุ่นลอยน้ำในเรือท่องเที่ยว ทำแผ่นโฟมลอยน้ำ ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และอื่นๆ

2.1.5 ปฏิกริยาพื้นฐานของโฟมพอลิยูรีเทน

ปฏิกริยาในการเกิดพอลิยูรีเทนที่สำคัญมี 2 ปฏิกริยา คือปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบและปฏิกริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ ซึ่งเป็นปฏิกริยาพื้นฐานสำหรับการเกิดพอลิยูรีเทน และอาจพิจารณาได้จากปฏิกริยาลูกโซ่ สำหรับปฏิกริยาอย่างง่าย นำเสนอโดยสารประกอบแบบมอนอเมอร์ฟังก์ชันนอล ดังสมการ

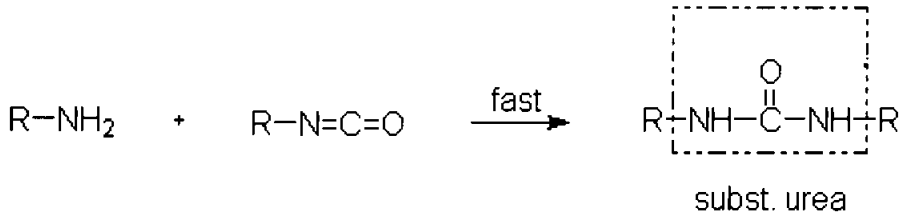


ปฏิกริยาที่สองที่ใช้สำหรับการเกิดพอลิยูรีเทน ในการผลิตโฟมแบบยืดหยุ่น โดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพร้อมกับการเกิดหมู่ของยูเรียที่เข้าแทนที่ ขั้นตอนแรกของปฏิกริยานี้เป็นการเกิดกรดคาร์บามิกที่ไม่เสถียร (Unstable carbamic acid) ที่แตกตัวเพื่อก่อตัวเป็นเอมีนและคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการ

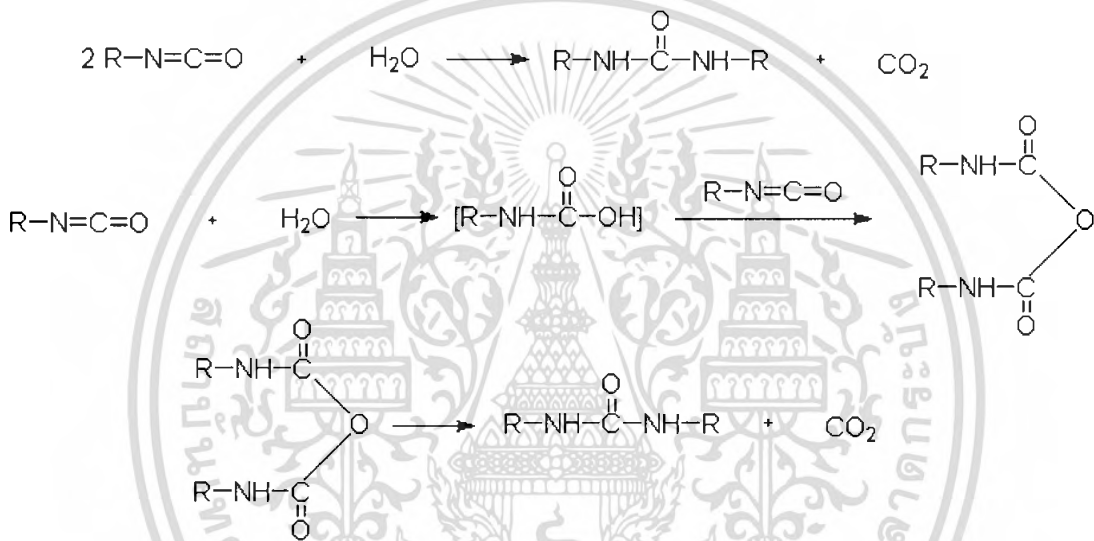


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

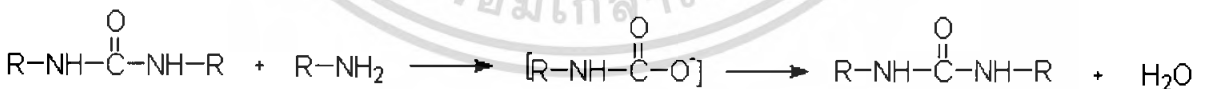
เอมีนจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตที่เติมลงไปเพื่อก่อตัวเป็นพอลิยูรีเทนแทนที่ตามสมการปฏิกิริยาโดยรวม ดังนี้



สมการแสดงกลไกของการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดกรดคาร์บาไมกแอนไฮไดรด์ ตามด้วยการแตกตัวไปเป็นยูเรียที่ใช้แทนที่ และคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงได้ดังนี้

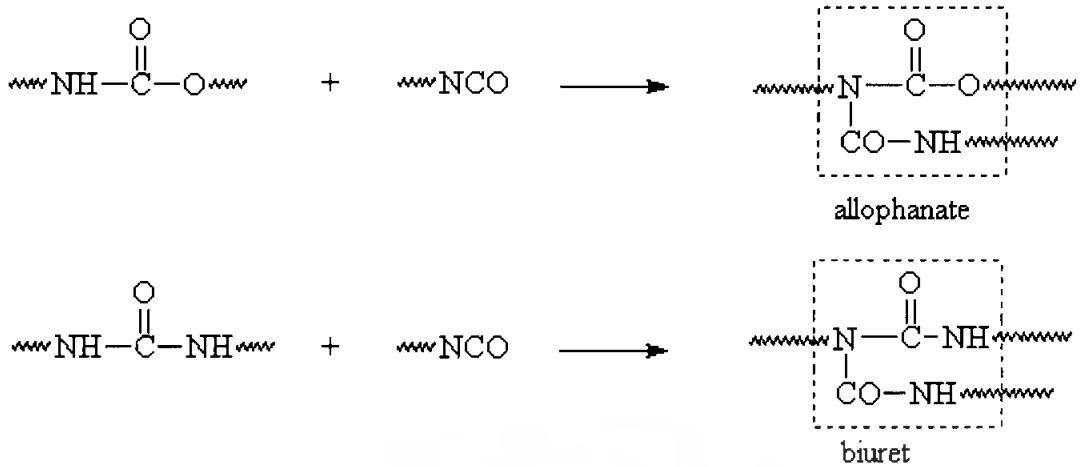


ปฏิกิริยาอีกปฏิกิริยาหนึ่งที่น่าจะเกิดขึ้นในบางขอบเขต คือการเกิดเกลือของเอไมด์ของกรดคาร์บาไมกที่แตกตัวภายใต้ความร้อนเพื่อให้น้ำและยูเรียตามสมการ

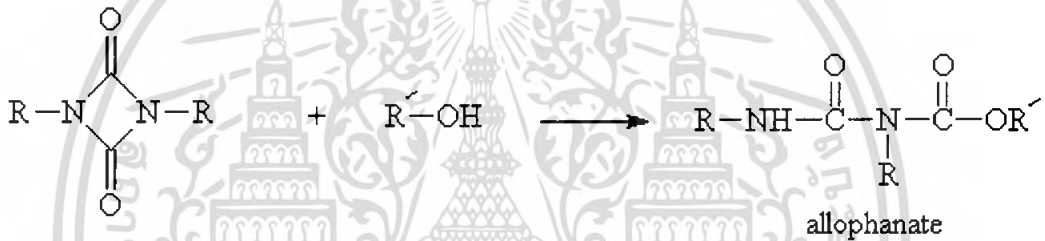


ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาความชื้นของสารเคลือบไอโซไซยาเนตชนิดหนึ่งส่วน (One component isocyanate-terminated coating) นอกจากนี้ ยังดึงดูดที่สำคัญของการใช้งานส่วนประกอบที่แห้งอย่างสมบูรณ์แบบในการเกิดสารเคลือบผิว อีลาสโตเมอร์ที่เป็นของแข็งและสารเชื่อมต่อนที่ประกอบด้วยหมู่ที่ไม่มีไอโซไซยาเนต นำมาใช้ในการหลีกเลี่ยงการเกิดฟองที่ไม่ต้องการที่มาจากคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



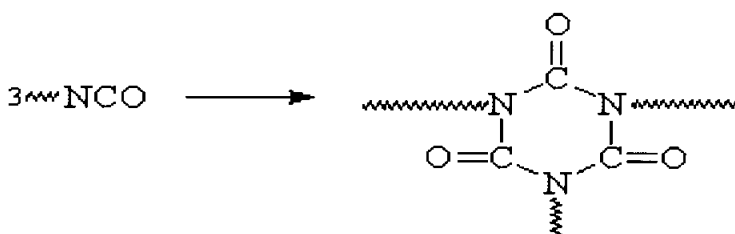
อัลโลฟานเนต อาจเกิดจากการก่อตัวในปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ กับ ไดเมอร์อะโรมาติก ไอโซไซยาเนตตามสมการ



ไอโซไซยาเนตไดเมอร์ทำปฏิกิริยากับเอมีนจะให้ ไบยูเรต ที่สอดคล้องกัน ตามสมการ



ปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยงอีกปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ การเกิดไตรเมอร์ที่นำไปสู่การเกิดวงแหวนไอโซไซยาเนต ตามสมการ



isocyanurate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เศษด้ายไหม

2.2.1 ไหม [3]

ไหมเป็นแมลงประเภทผีเสื้อกลางคืนที่กินใบหม่อนเป็นอาหาร โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* Linn. ชื่อสามัญ คือ Silkworm วงศ์ Bombycidae การเจริญเติบโตของไหมจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสมบูรณ์ ใน 4 ขั้นตอน คือ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะผีเสื้อ ตัวหนอนในช่วงสุดท้าย จะพ่นใยไหม เพื่อทำรังห่อหุ้มตัวแล้วลอกคราบกลายเป็นดักแด้ ใยไหมจัดเป็นเส้นใยตามธรรมชาติที่มีความเหนียวมากที่สุด

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของไหม [3]

เส้นไหม เป็นเส้นใยโปรตีนที่ได้จากธรรมชาติและเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว (filament) ต่างจากเส้นใยธรรมชาติอื่นเช่นฝ้าย ขนสัตว์ ลินินที่ล้วนเป็นเส้นใยสั้น (staple fiber) รังไหมจะประกอบด้วยเส้นไหมดิบ ที่เรียกว่าเส้นไหมไฟโบรอิน (fibroin) สองเส้นร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่เกาะติดกันและเคลือบด้วยกาวไหม หรือที่เรียกว่า sericin ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในเส้นไหมจะมีไขมันและน้ำมันอยู่ประมาณ 0.5-1% และสารสีธรรมชาติประมาณ 1-1.4% ปริมาณของกาวไหมจะขึ้นกับพันธุ์ไหม เช่นไหมเลี้ยงพันธุ์ *Bombyx mori* หรือ Mulberry silk จะมีกาวไหม 20-30% ดังนั้น เมื่อจะทำการสาวเส้นไหมจากรังไหมจะต้องนำรังไหมไปต้ม เพื่อให้รังไหมอ่อนนิ่มสม่ำเสมอหมดจด ทั้งรัง และกาวไหมบางส่วนจะละลายออกไป ทำให้สาวหาเงื่อนได้ง่ายและไม่ขาดบ่อยเพราะเส้นใยคลายตัวออกอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้สามารถสาวไหมออกจากรังได้ง่ายมีปริมาณเศษไหมชั้นนอก เศษไหมชั้นใน และรังไหมที่สาวไม่ออกเหลือน้อยที่สุด ซึ่งรังไหมของหนอนไหมแต่ละรังจะสามารถสาวเป็นเส้นใย ซึ่งมีความยาวต่อเนื่องได้ประมาณ 1500 ฟุต หรือ 500 หลา *Bombyx mori* เป็นพันธุ์ของหนอนไหมที่มีคุณภาพดีที่สุดในนิยมซื้อขายกว้างขวางและพบในเขตตะวันออกกลาง) สำหรับเส้นใยที่ขาดไม่มีความยาวต่อเนื่องหรือที่เป็นส่วนด้านในของรังที่มีความยาวไม่มากนักจะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายที่เรียกว่า ไหมปั่น (spun silk) ส่วนประกอบที่สำคัญของไหมที่มีอยู่ในรังไหมแต่ละรังคือ fibroin และ sericin ดังนั้นกระบวนการการผลิตต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการลอกกาวไหม การฟอกขาวไหม การย้อมหรือการตกแต่งสำเร็จไหมก็คงต้องมีความเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบดังกล่าวนี้

fibroin ก็คือส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยไหมจริงๆ มีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดเดียวกับ sericin คือ glycine, alanine serine และ tyrosine ประมาณ 43.99% 26.54% 11.41% และไนโตรเจน(N) 17-19% สำหรับซัลเฟอร์(S) จะมีปริมาณน้อยมากขึ้นกับโมเลกุลข้างเคียง จึงทำให้เส้นไหมแตกต่างจากเส้นใยขนสัตว์ซึ่งต่างก็เป็นเส้นใยโปรตีนเหมือนกัน แต่เส้นใยขนสัตว์จะเป็นโปรตีนชนิดเคราติน(keratin)และมีปริมาณของซัลเฟอร์ 0.7-5% เนื่องจาก fibroin มีโครงสร้างที่เป็นผลึกมาก มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบ และสายโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นเอกลักษณ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับแต่เห็นประโยชน์ในเชิงวิชาการแล้วไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลสูงมีลักษณะเหนียวยืดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโน จึงทำให้ fibroin ไม่ละลายน้ำ

2.2.3 การผลิตด้ายไหม [4],[5]

ด้ายไหม เกิดจากการตีเกลียวใยไหมสั้นให้เกาะกันเป็นเส้นด้าย สมบัติต่างๆ ของการเป็นไหม ยังคงอยู่ แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงชัดเจนในลักษณะทางกายภาพ เช่น ความมันวาวลดลง การทิ้งตัวของผ้า มีมากขึ้น ความอ่อนนุ่มมากขึ้นและยังดูแลรักษาได้ง่ายขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ผ้าไทยที่ทอจาก ด้ายไหมปั่น สามารถนำไปใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้มากขึ้น โดยการผลิตด้ายไหมมีขั้นตอนดังนี้

1.การสาวไหม การสาวไหม คือการนำรังไหมไปต้มทำลายกาวที่ผนึกเส้นใยที่อัดแน่นออกจากกัน แล้วดึงเอาเส้นใยออกมาตามกรรมวิธีซึ่งเรียกว่า "การสาวไหม" และเส้นไหมได้มาจากการดึงเส้นใยจากหลาย ๆ รังรวมเป็นเส้นเดียวกันในการสาวไหมคราวเดียวกัน เพื่อให้เส้นไหมของแต่ละรังพันกันเป็นเกลียว ทำให้เกิดการเกาะยึดซึ่งกันและกัน มีความเหนียวทนทาน เนื้อยังกระชับแน่น มีการสะท้อนแสง และหักเหไปในทิศทางต่างกัน ดูสวยงามเป็นมันวาวเมื่อทอเป็นผืนผ้าไหมการสาวไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การสาวไหมด้วยมือแบบพื้นบ้าน (เส้นไหมพุ่ง)
2. การสาวไหมด้วยเครื่องจักรทันสมัย

ขั้นตอนการสาวไหมประกอบมีขั้นตอนดังนี้

- นำน้ำร้อน (ประมาณ 80 องศาเซลเซียส) เอารังไหมที่จะสาวไหมใส่ลงไปในห้องซักพักหนึ่ง

(2-3 นาที)

- ขณะต้มหมั่นเขี่ยเพื่อให้รังไหมสุกทั่วกัน แล้วเอาไม้คีบหรือแปลงเกลี้ยรังไหมเบา ๆ เส้นไหมจะติดไม้ขึ้นมา

-ใช้มือรวบเส้นไหมจากไม้เกลี้ยดึงมารวมสาวเป็นไหมใหญ่ก่อน

-ไหมใหญ่จะเป็นไหมชั้นนอกหรือปูยไหม เมื่อสาวไหมใหญ่เสร็จแล้วตัดรังไหมออกพักไว้ก่อนแล้วเติมรังไหมใหม่ลงไปอีก ทำการสาวไปเรื่อยๆ จนหมดรังไหมที่จะสาวในวันนั้น ระหว่างทำการสาวนี้ต้องหมั่นคอยเติมน้ำเย็นลงเป็นระยะๆ ระวังอย่าให้น้ำถึงกับเดือดได้ ไหมที่สาวครั้งแรกนี้เรียกว่า ไหมชั้น 3 หรือไหมชั้นนอกหรือไหมใหญ่หรือไหมหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อสาวเอาไหมชั้น 3 ออกหมดแล้ว ชั้นต่อไปคือ การสาวไหมชั้นในต่อ การสาวไหมชั้นนี้ผู้สาว ต้องคอยเติมรังไหม เพื่อได้เส้นไหมที่สม่ำเสมออยู่เรื่อย ๆ และรังไหมที่สาวเอาเส้นหมดแล้วจะเหลือแต่ ปลอกเป็นเยื่อบาง ๆ ห่อหุ้มดักแด้จมลงไปในก้นหม้อ เมื่อเห็นว่ามิดักแด้จมลงไปมาก ผู้สาวจะต้องดักเอา ออกมาเสียบ้าง ไหมที่สาวได้นี้เรียกว่าไหมชั้น1หรือไหมน้อยหรือไหมยอด

อีกวิธีหนึ่งยังมีผู้นิยมทำกัน คือ การสาวรวมกันทั้งหมด โดยไม่แยกเป็นไหมชั้นนอกและชั้นใน ซึ่ง ผู้สาวที่ชำนาญจะสาวได้เส้นไหมที่สม่ำเสมอดีเกือบเท่าไหมชั้น 1 การสาวแบบนี้เรียกว่า ไหมสาว แต่ไหม สาวรวมนี้ปัจจุบันไม่เป็นที่ต้องการของตลาด เพราะเมื่อนำมาทอเป็นผ้าจะได้ผ้าไหมที่ไม่สวยงาม เกษตรกรจึงควรสาวไหมชั้น 1 และไหมชั้น 3 เท่านั้น เมื่อสาวเสร็จแล้วก็ทำเป็นเช็ด (เป็นใจ) โดยแยก ชนิดต่าง ๆ ของเส้นไหมเช่นไหมใหญ่ ไหมสาวเลยหรือไหมยอด โดยใช้เครื่องทำเช็ด ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า "เหล่ง" เพื่อให้สะดวกแก่ผู้ใช้ เหล่งที่ใช้ก็ควรใช้ขนาดมาตรฐานคือ เส้นรอบวง 150 เซนติเมตร และไหม แต่ละเช็ดควรมีน้ำหนักประมาณ100กรัม

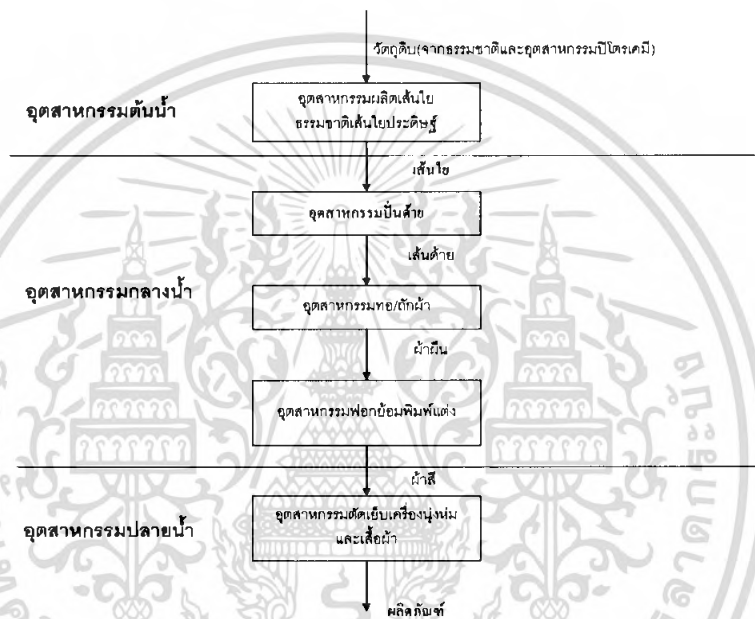
2. การกรอเส้นไหม โดยการนำเส้นไหมที่สาวได้มาเข้าเครื่องกรอ เพื่อขยายเส้นไหมจากอัก โดยใช้ น้ำอุ่นเป็นตัวช่วยชุบเส้นไหมที่จะกรอพร้อมกันเป็นการรวบรวมเงื่อนปลายของเส้นไหมมาผูกด้วยกันและ ทำเช็ด เช็ดหนึ่งๆหนัก 130 กรัม ซึ่งเส้นไหมที่ได้นี้เรียกว่าไหมดิบ สามารถบรรจุหีบห่อส่งขายได้เลย
3. การแช่น้ำยาเส้นไหม จุดประสงค์ก็เพื่อลดความผิดของเส้นไหม ทำให้เส้นไหมเรียบและยืดตัวตรง ทำให้เส้นไหมมีความสม่ำเสมอกัน โดยใช้สารเคมีที่มีลักษณะขุ่นขาว ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำมันพืช อัตราส่วนการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดสารเคมีและคำแนะนำของผู้ผลิตไม่สามารถกำหนดตายตัวลงไปได้
4. การเข้าหลอด โดยนำเอาเส้นไหมดิบผ่านการจุ่มแช่น้ำยาที่เสร็จจากการกรอมาบรรจุลงในหลอดเล็ก ๆ เพื่อเตรียมนำไปควบต่อไป
5. การควบเส้นไหม โดยนำเอาเส้นไหมดิบมารวมกันตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป หลังจากควบก็นำไปตีเกลียว และนิยมเส้นไหมขนาด 21 ดิเนียร์ควบ 3 เส้น
6. การตีเกลียวเส้นไหม ตีเกลียวเพื่อให้เส้นไหมรัดกันแน่นและยังเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่เส้นไหมอีกด้วย นอกจากนี้การตีเกลียวทำให้เส้นไหมกลมเรียบมากขึ้น ในบ้านเรานิยมตีเกลียว 300-500 เกลียว/ เมตร
7. การอบฆ่าเกลียว เพื่อมิให้เส้นไหมคลายตัวออกจากกัน ซึ่งจำเป็นมากสำหรับเส้นไหมที่มีจำนวนการ ตีเกลียวสูง ๆ โดยการใช้ความร้อนฆ่าเกลียวให้อยู่ตัว
8. การกรอกลับเพื่อทำเช็ด โดยนำเอาเส้นไหมที่ตีเกลียวและอบฆ่าเกลียวเสร็จเรียบร้อยแล้วมา กรอกลับเพื่อทำเป็นเช็ด (เส้นไหม 1 เช็ด หนัก 50 กรัม) และทำเป็นมัด ๆ ละ 2 กิโลกรัม เพื่อเตรียม จำหน่ายต่อไป

โดยด้ายไหมที่ผลิตขึ้นนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในส่วนของอุตสาหกรรมกลางน้ำ
 เกล็ดในอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่ทำหน้าเปลี่ยนเส้นด้าย/ผ้าดิบ ทำ โดยการใส่กระบวนการทางเคมีที่ปรับเปลี่ยน
 ไม่ว่าคุณสมบัติของเส้นใยโดยการใส่สารเคมีและสีย้อม โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลาง ได้ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายย้อมสี/ผ้า

ผืนย้อมสี เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ขายตรงหรือส่งไปยังอุตสาหกรรมตัดเย็บต่อไป โดยกระบวนการฟอกย้อม แบ่งเป็นขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเตรียมผ้า/เส้นด้าย (Pretreatment)
2. การย้อม (Dyeing)
3. การพิมพ์ (Printing)
4. การตกแต่งสำเร็จ (Finishing)

โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอแสดงได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ [5]

โดยในกระบวนการเตรียมผ้าจะต้องผ่านขั้นตอนการเผาขน (Singeing) ซึ่งเป็นการกำจัดขนบนผ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งผ้าที่ได้จากเส้นใยสั้น กำจัดให้ผิวเรียบโดยใช้ความร้อน เมื่อนำไปย้อม ทำให้สีติดผ้า สม่ำเสมอ ดูดซึม แปรกระจาย คมชัด การเผาขนมีหลายวิธี หัวเผาเปลวไฟจากแก๊ส เผาด้วยไฟฟ้า เผาด้วยแผ่นโลหะร้อน แต่วิธีแรกนิยมใช้มากที่สุดโดยการผ่านผ้า/เส้นด้าย เปลวไฟในอัตราเร็วสูงพอที่ผ้าไม่ติดไฟ หลังจากนั้นส่งผ้าผ่านอ่างน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของผ้า ซึ่งในขั้นตอนนี้ก็จะเกิดเศษด้ายไหมที่เกิดจากการนำผ้าและเส้นด้ายไหมผ่านเปลวไฟ เกิดเป็นขยะทางอุตสาหกรรมขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พลาสติกรับการย่อยสลายได้ [6]

2.3.1 เสถียรภาพของพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งานและสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี แต่ก็มีปัญหาคือ มีความยุ่งยากในการกำจัดหรือทำลายขยะที่เป็นพลาสติกให้หมดไป

ได้มีการศึกษาว่าเหตุใดพลาสติกที่เกิดจากสารพอลิเมอร์ที่ได้มาจากการสังเคราะห์ จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อ คือ

1.) พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียมและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง สายโซ่พอลิเมอร์มีความยาวของสายโซ่มาก ทำให้มีความต้านทานต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ดี

2.) พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จะไม่มีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกที่มีขนาดเล็กลงโดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และยังมีค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จึงทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการที่พลาสติกไม่มีความเป็นรูพรุน ทำให้พื้นผิวสัมผัสย่น้อยลงไปอีกจึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกจะถูกย่อยสลายได้

2.3.2 การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลายไป

สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1.) การนำไปถมในที่ว่าง

วิธีนี้เป็นการใช้ในการกำจัดขยะที่ใช้กันอยู่แล้วเป็นจำนวนมาก เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ควรทำอย่างถูกลักษณะคือใช้แผ่นพลาสติกคลุมและถมดินทับอีกครั้งหนึ่ง

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ พื้นที่ที่ถมมักเกิดปัญหาในเรื่องของการยุบตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้เป็นพื้นที่สำหรับก่อสร้าง การบดย่อยพลาสติกให้เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนอาจช่วยแก้ปัญหาได้บ้างแต่นั่นก็เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

2.) การนำไปเผาทิ้ง

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วในการกำจัดพลาสติก และมีการใช้อยู่อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีที่สามารถใช้ได้ดี และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษหากทำให้ถูกวิธี

ข้อเสียของการกำจัดพลาสติกด้วยวิธีการเผาทิ้ง นอกจากจะต้องสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแล้ว ข้อเสียใหญ่ก็คือการอาจเกิดก๊าซพิษหากมีขยะที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคลอรีน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือมีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น พอลิยูรีเทน พอลิเอไมด์ หรือ เรซิน เมลามีนปนอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) การทำให้พลาสติกสลายตัวได้

วิธีการนี้หมายถึง การทำให้พลาสติกสลายตัวได้เองตามธรรมชาติเหมือนขยะประเภทอื่นๆ ในภาวะแวดล้อมธรรมชาติ สิ่งที่ช่วยให้พลาสติกสลายตัวได้ คือ แสง น้ำ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อาจทำได้โดยทำให้เป็น

- พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยแสง

เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการสลายตัว

- พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติกอันเกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นต้น และจะเกิดใน 3 ลักษณะ คือ

ก. พลาสติกไม่ได้ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสารเติมแต่งประเภทอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกในโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

ข. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อไป

ค. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นโดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน และ พอลิไฮดรอกซีบีโวลิตเวทอาร์เรท เป็นต้น

2.3.3 การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวทางคือ

1.) การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ ดังที่กล่าวมาแล้วว่า พลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นจะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ และ นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายชนิดเช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก และ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งก็เป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น

นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ที่ใช้ทั่วไป เช่น เอทิลีน หรือ สไตรีนกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น อะคริลิกแอซิดอะคริลาไมด์ หรือ ไวนิลอะซิเตตจะทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติการย่อยสลายดี

3.) การศึกษาการใส่สารเติมแต่งลงในพลาสติก เพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่สนใจในการทดลองนี้ และนำมาทำการศึกษาคือ เศษด้ายไหม

การเติมเศษด้ายไหมเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่น พลาสติกประเภทนี้จะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในส่วนของเศษด้ายไหม ทำให้เหลือโครงสร้างพลาสติกในรูปโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ต่อมาก็จะกลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของ จุลินทรีย์

2.3.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น

พลาสติกสามารถสลายตัวได้โดยวิธีอื่นอีกมากมายหลายวิธี เช่น การสลายตัวได้ด้วยน้ำ และการสลายตัวได้โดยใช้วิธีการทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้แต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (Azoaromatic) และ หมู่คีโต (Keto group) ที่วงไวต่อแสง ในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (Azo) จะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากเลิกใช้งานไปแล้ว พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม ทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย และเหลือหมู่ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้ในที่มีแสงก็จะสามารถย่อยสลายได้

2.3.5 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย

ในปัจจุบันมีหลายองค์กร เช่น ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ISO (International Standards Organization) ได้พัฒนาการคำนวณความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ กัน เช่น ดิน น้ำทะเล ระบบน้ำเสีย การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน หรือ การทำปุ๋ยหมัก

ASTM มีวิธีการวิเคราะห์การย่อยสลาย 5 วิธีคือ

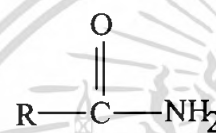
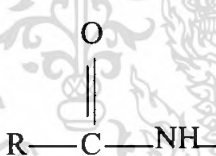
- 1.) วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติก โดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในขณะที่มี Municipal sewage sludge (D5209-91)
- 2.) วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติก โดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในขณะที่มี Municipal sewage sludge (D5210-91)
- 3.) วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติก โดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบน้ำเสีย Activated sludge (D5271-92)
- 4.) วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติก โดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบที่มีการควบคุมสภาวะแบบหมัก (D5338-93)
- 5.) วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติก โดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในขณะที่มีจุลินทรีย์ที่ได้รับการเลือกมา (D5247-92)

ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองวิธีแรกจะจำลองสภาพแวดล้อมของระบบน้ำเสีย นั่นคือสภาวะการหมักและระบบบำบัดน้ำเสียให้ให้สามารถทราบว่าการย่อยสลายควรใช้ระบบใด ในส่วนของวิธีสุดท้ายไม่ได้ทดสอบระบบจริงแต่เป็นวิธีที่มาตรฐานในการทดสอบ ความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ทราบชนิดแน่นอนที่พบทั่วไปในสิ่งแวดล้อม

2.4 การดูดซับ IR ของสาร [7]

ตารางที่ 2.4.1 แสดงค่าการดูดซับ IR ของสาร

Compound	Group	Absorption frequency (cm ⁻¹)
Amides	(a)Primary 	3500 ,3400 1690 , 1650
	(b)Secondary 	3400 1700-1670 1680-1630
Amines	(a)Primary Alkyl-NH ₂	3500-3300 1650-1590 1220-1020
	(b)Secondary Alkyl-NH-R	3350-3310 1650-1550 1220-1020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

Compound	Group	Absorption frequency (cm-1)
Alcohol	(a)Primary $R-CH_2-OH$	3640 1050
	(b)Secondary $\begin{array}{c} R \\ \diagdown \\ CH \\ \diagup \\ R \end{array} - OH$	3630 1100
	Polymeric OH	3400-3200
Urethane	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-O-C-NHR \end{array}$	1736-1700
Isocyanates	$R-N=C=O$	2275-2250
Urea	$\begin{array}{c} O \\ \\ RNH-C-NHR \end{array}$	1660±5
Ether	$C-O$	1400-1300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทก คือ วัสดุที่ถูกนำมาใช้เพื่อ ปกป้องสินค้าจากการ สูญเสียเนื่องมาจากการ กระแทกอย่างรุนแรง และ/หรือการสั่นสะเทือน ระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้าย ขนถ่าย หลักการ พื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการของวัสดุกันกระแทกในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสินค้า คือ

1. วัสดุกันกระแทกถูกนำมาใช้เพื่อดูดซับแรงกระแทกและปกป้องการส่งผ่านแรงกระแทกมายังตัวสินค้า
2. วัสดุกันกระแทกมีประสิทธิภาพในการลดการเคลื่อนที่ของสินค้าในหีบห่อ ซึ่งเป็นการลดการเคลื่อนที่มา กระแทกกันจากการสั่นสะเทือนในปัจจุบันมีวัสดุหลายชนิดได้รับการนำมาใช้เพื่อทำหน้าที่เป็นวัสดุกัน กระแทก การเลือกใช้วัสดุที่ให้ผลในการคุ้มครองเพียงพอในระดับราคาที่เหมาะสมจะช่วยควบคุมต้นทุน ของสินค้าและลดการสูญเสียของสินค้าลงได้

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุกันกระแทก

1. รูปทรง ขนาด และน้ำหนักของสินค้า
2. ความเปราะบางของสินค้า
3. ความแตกต่างของการขนส่งแต่ละแบบ ว่าได้รับแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนแบบใด ขนาด ของแรง ประมาณเท่าใด
4. คุณสมบัติ ราคา และการใช้ประโยชน์ของวัสดุกันกระแทก แต่ละชนิด

ชนิดของวัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูก , โฟมพอลิสไตรีน , โฟมพอลิ ยูรีเทน , โฟมพอลิเอทิลีน , แผ่นพลาสติกอัดอากาศ , ฝอยไม้ และฝอยกระดาษ วัสดุแต่ละชนิดมี คุณลักษณะประจำตัว และความเหมาะสมต่อการใช้งาน แตกต่างกันไปดังนี้

- แผ่นกระดาษลูกฟูก

ใช้ทำหน้าที่แผ่นรอง ตัวกันหรือแผ่นกัน เพื่อเก็บสินค้าภายใน บรรจุก้นท์ หรือทำหน้าที่เป็นตัว ห่อหุ้มสินค้า แผ่นกระดาษลูกฟูกมีข้อจำกัดในการดูดซับแรงกระแทกอย่างรุนแรง และไม่คืนรูปกลับเป็น อย่างเดิม หลังถูกแรงกระทำ มีการดูดซึมความชื้น และอ่อนตัวลงในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง แต่ เนื่องจากการที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาจากเศษ วัสดุเหลือหลังใช้งาน ตัวอย่างการนำกระดาษลูกฟูกมาใช้งาน ได้แก่ การใช้แผ่นชนิด 3 ชั้น ในการกันแบ่ง ช่องของกล่องบรรจุเครื่องแก้ว เพื่อป้องกันการกระแทกกระทึกซึ่งกันและกัน หรือใช้ทำหน้าที่ลดการ เคลื่อนที่ภายในกล่องหัตถกรรมที่มี รูปทรงแปลกๆ ชนิด 2 ชั้น (กระดาษ ลูกฟูกหน้าเดียว) ใช้เพื่อการห่อหุ้ม เป็นหลัก เช่น ใช้ห่อหุ้มชิ้นส่วน ของเฟอร์นิเจอร์หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โฟมพอลิสไตรีน

โครงสร้างวัสดุเป็นเซลล์ปิดน้ำหนักเบามาก มีคุณสมบัติที่ป้องกันการกระแทกได้เป็นอย่างดี ไม่ดูดซับความชื้น แต่มีขีดจำกัดในการขึ้นรูป ทำให้ไม่เหมาะกับงานที่รับการกระแทกอย่างรุนแรงหลายๆ ครั้ง ลักษณะกึ่งแข็งสามารถขึ้นรูปทรงที่ซับซ้อนได้ในราคาที่เหมาะสม เช่น ใช้ในรูปของการทำตามแม่แบบเฉพาะตามรูปแบบของสินค้า แผ่น สีเหลืองขนาดความหนาต่างๆ และชิ้นเล็กๆ ในกรณีใช้งานมากๆ การใช้แม่แบบในการผลิตจะดีมาก และถ้ามีการใช้น้อยจะใช้วิธีตัดขึ้นรูปได้จากแผ่นสีเหลืองที่มีความหนาต่างๆ ส่วนชิ้นเล็กๆ มีการผลิตในหลายๆ รูปทรง และสามารถเติมสีลงไปช่วยเสริมให้เกิดความสวยงาม โฟมพอลิสไตรีนมี การใช้อย่างแพร่หลาย แต่การใช้งานก่อให้เกิดปัญหาเศษวัสดุเหลือหลัง ใช้งานเพราะสลายตัวยาก ตัวอย่างการนำโฟมพอลิสไตรีนมาใช้งาน ได้แก่ การนำโฟมชนิดขึ้นรูปจากแม่แบบใช้กับพวกเครื่องแก้ว เซรามิก อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือเครื่องใช้ที่มีความประณีต ชิ้นชิ้นเล็กๆ ใช้สำหรับเติมในช่องว่างของกล่องที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงแปลกๆ

- โฟมพอลิยูรีเทน

โครงสร้างมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดจนถึงมีเซลล์ปิด 80 เปอร์เซ็นต์ ยอมให้อากาศหนีออกเมื่อได้รับแรงกระแทกและดูดอากาศกลับเมื่อหมดแรง กระแทก การขึ้นรูปดีมากทำให้เป็นวัสดุกันกระแทกที่ดี ไม่ดูดซับความชื้นในอากาศ มีการใช้งานทั้งชนิดขึ้นรูปจากแม่แบบมาก่อน และขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าไปขยายตัวในช่องว่าง ในกรณีขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดให้เข้าไปขยายตัวใน ช่องว่าง สินค้าจะถูกนำมาห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (ปกติใช้ฟิล์มพอลิเอทิลีน) เพื่อป้องกันการติดของโฟมที่ใสไม่ให้เกิดติด สินค้า จากนั้นวางสินค้าดังกล่าวลงภายในกล่องแล้วฉีดโฟมลงในที่ว่าง การใช้เครื่องเติมโฟมประเภทมือถือจะช่วยให้ทำงานสะดวกมากขึ้น การใช้งานโฟม ชนิดนี้จะพบในการห่อสินค้าที่ค่อนข้างละเอียดอ่อน เครื่องมือมีราคาแพงหรือสินค้าที่มีขนาดรูปทรงเปลี่ยนแปลงบ่อยมากๆ จนไม่คุ้มกับการลงทุนโฟมชนิดขึ้นรูปมาก่อน

- โฟมพอลิเอทิลีน

มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเซลล์ปิด มีการขึ้นรูปดีหลังรับแรง กระแทก น้ำหนักเบา ทนทานต่อสารเคมี โฟมพอลิเอทิลีนมีการใช้ 2 รูป คือ Crosslink และ Non-crosslink ชนิด Crosslink จะมีน้ำหนักมากกว่า และมีราคาแพงกว่าชนิด Non-crosslink แต่จะให้สมบัติในการเป็นวัสดุกันกระแทกที่ดีกว่า มีการผลิตโฟมชนิดนี้ในรูปแบบสีเหลืองที่มีความหนาต่างๆ สามารถตัด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

F. Kawai [8] สรุปการศึกษาการย่อยสลายที่เกิดกับพอลิเอเทอร์และอธิบายเกี่ยวกับการย่อยสลายของ copoly(ether/ether)s และ copoly(ether/ester) โดยพอลิเอเทอร์จะเกิดการย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียและไลเปส พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (\bar{M}_n) ระหว่าง 400-6000 สามารถเปลี่ยนอาหารให้เป็นสารดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์หลายชนิด พอลิเมอร์รวมแบบกลุ่มระหว่างพอลิเอทิลีนไกลคอลกับพอลิพรอพิลีนไกลคอล (PEG-PPG) สามารถย่อยสลายได้โดย PEG และ/หรือ PPG จะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ผลจากการศึกษางานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า พอลิเอเทอร์เป็นส่วนที่ช่วยให้ส่วนที่แข็ง (hard segment) สามารถยืดหยุ่นได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์รวมที่เกิดการย่อยสลายได้

Sung-Il Lee, Soo-Chang Yu, Youn-Silk Lee [9] พอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอาจจะถูกนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกซึ่งสามารถใช้แทนที่ฟิล์มธรรมดาที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเช่น พอลิเอทิลีน และ พอลิพรอพิลีน พรีพอลิเมอร์ ถูกสังเคราะห์จากพอลิบิวทิลีนซัคซินิคโพลีออล (PBS, \bar{M}_n 1,650) พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG, \bar{M}_n 1000) และ 4,4-ไดไซโคเฮกซิลมีเทนไดไฮโดรไซยาเนต โดยใช้ 1,4-บิวเทนไดออลเป็น เซนเอ็กเทนเดอร์ ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารจะอยู่ที่ 30000-38000 และมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 99-101 องศาเซลเซียส ค่า tensile strength ($2.0 - 2.4 \text{ kg} / \text{mm}^2$) ของพอลิเมอร์ที่ได้มีค่าค่อนข้างดีกว่าค่าของ PBS ($1.6 \text{ kg} / \text{mm}^2$) ที่ได้รายงานไว้เมื่อเทียบที่น้ำหนักโมเลกุลที่เท่ากัน (\bar{M}_n 20000) แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงดึงยืดที่จุดขาด (230-330%) มีค่าดีกว่า PBS (42%) พอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถเสียสภาพได้อย่างรวดเร็วในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถวัดได้จากน้ำหนักที่หายไป 30-60% ภายใน 2 วัน ซึ่งผลจากการเสียสภาพนี้จะขึ้นอยู่กับส่วน Hard segment ของ PEG หรืออีกนัยหนึ่งกล่าวได้ว่า พอลิยูรีเทนที่มีส่วนผสมของ PBS เป็น Soft segment จะทำให้อัตราการเสียสภาพช้ากว่าภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน

D.S. Wales and B.F. Sagar [10] ศึกษาผลของโครงสร้างพอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีกับโครงสร้างของจุลินทรีย์ของตัวอย่าง การขึ้นรูปฟิล์มพอลิยูรีเทนและผลของจุลินทรีย์ต่อสมบัติแรงดึง พบว่าพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์จากไดไฮโดรไซยาเนตที่แตกต่างกันมีส่วนที่เรียกว่า "hard block" และ "soft block" โดยทำการแทนที่ส่วนต่างด้วยสเปอร์ของจุลินทรีย์ ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้สามารถวิเคราะห์ได้จากองศาการย่อยสลายโดยตรวจวัดได้จากน้ำหนักโมเลกุลหายไป จากการทดลองให้ผลว่าความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ยูรีเทนที่ไฮโดรไลซิสกับความยาวของสายโซ่คาร์บอนในพอลิยูรีเทนแปรผกผันกัน โดยพอลิเอเทอร์แทนที่การย่อยของจุลินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้ามากกว่าพอลิเอสเตอร์

ไมวารณมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G.T. Howard [11] พอลิยูรีเทนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ความเป็นผลึก การเชื่อมโยงและหมู่ฟังก์ชันของสารเคมีจากการศึกษาพบว่าหมู่เอสเทอร์ในพอลิเมอร์พอลิออลสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์โดยเอนไซม์เอสเทอร์จะทำการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์

S.J. Huang , M.S. Roby , C.A. Macri and J.A. Carmeron. 1992 [12] ศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 40000 ทำการตรวจสอบจากการเติมไนโตรเจน พบว่าพอลิยูรีเทนทั้งที่เป็นอะลิฟาติกไดไอโซไซยานาตและอะโรมาติกไดไอโซไซยานาตสลายตัวได้ โดยอะโรมาติกพอลิเมอร์จะสลายตัวช้ากว่าอะลิฟาติกพอลิเมอร์ พบว่าการเติมไนโตรเจนจะไปลดการสลายตัว

H. Hatakeyama , S. Hirose , T. Hatakeyama , N. Kunio , K. Kobashigawa and N. Morohoahi. 1995. [13] ศึกษาคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนซีสและพอลิยูรีเทนโพน โดยการนำพอลิเอทีลีนไกลคอลมาผสมกับกากน้ำตาล, ลิกนิน, เศษไม้หรือกากกาแฟก่อนนำไปทำปฏิกิริยากับไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยานาตที่อุณหภูมิห้องจะได้พอลิยูรีเทนซีส ส่วนพอลิยูรีเทนโพนเตรียมได้จากการนำส่วนแรกที่กล่าวมาทำการผสมไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยานาตที่เติม พลาสติไซเซอร์, สารลดแรงตึงผิว, ตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมน้ำจากนั้นนำไปปั่นกวน จากการทดลองสามารถสรุปว่าได้พอลิยูรีเทนที่เตรียมจากส่วนที่เป็นเศษไม้และลิกนินจะทำปฏิกิริยาที่ส่วนที่แข็งของพอลิยูรีเทนและพบว่าพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ส่วนพอลิยูรีเทนที่เติมกากน้ำตาลและกากกาแฟ อัตราส่วนการย่อยสลายทางชีวภาพขึ้นอยู่กับ cryptomeria และ beech

P.J. Coppola and M. Conn [14] ศึกษาการเตรียม Semi-rigid พอลิยูรีเทนสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทกและบรรจุภัณฑ์ของสินค้าที่เกิดการสั่นสะเทือนแล้วเสียหายง่าย โดยโพนสังเคราะห์ได้จากพอลิอีเทอร์พอลิออลพอลิเมอร์ลิกไดไอโซไซยานาตกับน้ำปริมาณมาก และ สารทำให้เกิดโพน โดยการทำปฏิกิริยาของของผสมมีดัชนีระหว่าง NCO/OH ต่ำ ประมาณ 30-60 เติมซิลิโคนเป็นสารลดแรงตึงผิวคิดเป็น 1.8-3 ส่วนในพอลิออล 100 ส่วน

K. Gnamratanapaiboon, R. Ousomboon, A. Bamrungpol and C. Thongpin [15] โดยปกติแล้วพอลิยูรีเทนโพนไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีธรรมชาติ ผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนโพนที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบซึ่งมีมากในประเทศ และศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ด้วยแบคทีเรีย ในงานวิจัยนี้จะนำแบ่งมาใช้โดยไม่จำเป็นต้องนำมาตัดแปรก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้แบ่งต่างชนิดกัน กล่าวคือ แบ่งมันสำปะหลัง และแบ่งข้าวโพด โดยแบ่งทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลไมวากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพศดินที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติของพอลิยูรีเทนโฟมที่ได้ พอลิยูรีเทนโฟมเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตของเฮกซะเมทิลซีนไดไอโซไซยาเนต(HDI) กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิคาโพรแลคโตนไตรออล(PCLT) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง (crosslinking agent) โดยให้ปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และแป้ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายสายโซ่ (chain extender) โดยใช้น้ำเป็นสารที่ทำให้เกิดฟอง (blowing agent) ซิลิโคนออยล์ และ dibutyl tin dilaurate N',N'-dimethyl benzylamine ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพฟองที่เกิดขึ้น และเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ ปริมาณ PCLT ที่ใช้ในการสังเคราะห์ครั้งที่ จากการทดสอบพอลิยูรีเทนโฟมที่ได้พบว่า ปริมาณแป้งมีผลต่อความหนาแน่น compression set, compressive strength และการสลายตัวเชิงความร้อน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้โฟมที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดอยู่ที่การใช้แป้งที่ 2 กรัมต่อ ส่วนผสมรวมของพอลิคาโพรแลคโตนไตรออล 8 กรัม และ PEG 3 กรัม การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายโฟม ด้วยเชื้อแบคทีเรีย Bacillus S.U 3 พบว่าในเวลา 20 วัน ขึ้นตัวอย่างโฟมที่แช่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ สามารถถูกย่อยสลาย โดยดูจากน้ำหนักที่ลดลง ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียนี้จะมีมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งที่ใช้ในการสังเคราะห์มากขึ้น

A.K. Bledzki , W. Zhang and A. Chate. [16] วัสดุประกอบพอลิยูรีเทนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากการเตรียมจะเกิดการกระจายตัวของเส้นใยภายในช่องว่างของโฟม และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรซินที่เติมลงไป ปริมาณช่องว่าง ความหนาแน่น อิทธิพลของเส้นใยที่ช่วยเสริมแรงที่มีต่อปริมาณช่องว่างและสมบัติเชิงกล ผลจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบของแต่ละสูตรพบว่า มีค่าลดลงเล็กน้อยขึ้นกับปริมาณช่องว่างของรูพรุน เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกและความแข็งของวัสดุลดลง เนื่องจากปริมาณช่องว่างในวัฏภาคหลักเพิ่มขึ้น

วรัญญู อิศราธิกุล และ อรุณ ชิงห์ [1] งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนโดยใช้เส้นใยกล้วยเป็นสารเติมแต่ง เพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกที่สามารถย่อยสลายได้ โดยศึกษาผลของปริมาณและขนาดของเส้นใยที่เติมลงไปเป็นสารตัวเติม โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมเส้นใยกล้วย 2 ขนาด คือเส้นใยกล้วยหยาบและเส้นใยกล้วยละเอียด จากนั้นตรวจสอบสมบัติเชิงกล ความหนาแน่น และสัดส่วนวิทยาของโฟม ทำการเปรียบเทียบสมบัติกับโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมโดยไม่มี การเติมเส้นใยกล้วย และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทก จากการทดลองพบว่า โฟมที่มีการเติมเส้นใยกล้วยจะมีสมบัติเชิงกลลดลง ขนาดของรูพรุนในโฟมมีขนาดเล็กลง ส่วนผลของการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังกลบเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าน้ำหนักโฟมที่ผสมเส้นใยกล้วยลดลงมากกว่าโฟมที่ไม่ผสมเส้นใยกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. เศษด้ายไหมจาก บริษัท ชีนาโนเคนซี ประเทศไทย ที่มีความชื้น 0.0053%
2. ไอโซไซยานต (ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยมิตซูซุสเปเชียลตีเคมีคอล)
3. พอลิออลเรซินผสมซิลิโคน (ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยมิตซูซุสเปเชียลตีเคมีคอล)

3.2 อุปกรณ์

1. กระจกพลาสติก
2. แม่แบบไม้ขนาด 5x5 นิ้ว
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เครื่องปั่นน้ำผลไม้ National
5. ตะเกียบไม้
6. ใบบัดกวน Stainless แบบ 2 ใบพัด
7. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RW20DZM
9. Universal Testing Machine รุ่น LR5K
10. Furier Transform Infrared Spectroscope, FTIR
11. Scanning Electron Microscope, SEM
12. เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis, TGA

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมเศษด้ายไหม

นำเศษด้ายไหมมาแยกออกโดยนำมาปั่นให้แยกออกจากกัน จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดผนึกไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ}} \times 100$$

ซึ่งตัวเลขที่ได้จะบอกความชื้นสัมพัทธ์ที่มีในเศษด้ายไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

1. ชั่งสารเคมีแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.1 โดยอัตราส่วนของไอโซไซยาเนตต่อพอลิออล เป็น 50 : 43

ตารางที่ 3.1 สูตรของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่มีการเติมเศษด้ายไหม

สูตร สาร	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
ไอโซไซยาเนต	50	50	50	50	50	50	50
พอลิออล	43	43	43	43	43	43	43
เศษด้ายไหม	0	5	10	15	20	25	30

2. นำเศษด้ายไหมมาผสมกับพอลิออล ตามอัตราส่วนในตารางและคนให้เข้ากันในกระป๋องพลาสติก

3. เติมไอโซไซยาเนต แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1700 รอบ / นาที เป็นเวลา 10 วินาที

4. เทของผสมลงในแม่แบบสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 นิ้ว ปล่อยให้ของผสมเกิดการพองตัวเป็นโฟมอย่างสมบูรณ์ โดยไม่ยุบตัวทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วจึงนำออกจากแม่แบบ

5. ทำซ้ำจนได้โฟมครบทุกสูตรตามตาราง

6. เปลี่ยนวิธีการเตรียมโฟมโดยนำเศษด้ายไหมมาผสมกับไอโซไซยาเนตก่อนตามอัตราส่วนในตารางแล้ว ดำเนินการตามขั้นตอนเดิม ได้ชิ้นงานโฟมสูตร B

**หมายเหตุ สัญลักษณ์ A คือ การเตรียมโฟมโดยผสมเศษด้ายไหมกับพอลิออลก่อน จากนั้นจึงเติม

ไอโซไซยาเนตลงไป

สัญลักษณ์ B คือ การเตรียมโฟมโดยผสมเศษด้ายไหมกับไอโซไซยาเนตก่อน จากนั้นจึงเติม

พอลิออลลงไป

สูตรที่ A1 คือ โฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ค่า Cream time, Gel time และ Tack free time

หลังจากปั่นกวนและเทของผสมลงในแม่แบบแล้ว ขณะที่ปล่อยให้ของผสมเกิดการพองตัวเป็นโฟมอย่างสมบูรณ์นั้นจะทำการจับเวลาเพื่อหาค่า Cream time, Gel time และ Tack free time ไปด้วยโดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่เทลงแม่แบบ ค่าต่างๆหาได้ดังนี้

- Cream time คือ ช่วงเวลาที่ของผสมเริ่มเปลี่ยนเป็นสีครีมและเริ่มพองตัว

- Gel time คือ หลังจากได้ค่า Cream time แล้ว นำตะเกียบไม้จิ้มบริเวณผิวโฟมจนมีเจลติดขึ้นมา เป็นเส้นจะได้ค่า Gel time

- Tack free time คือ ช่วงเวลาที่โฟมพองตัวเต็มที่แล้ว ใช้นิ้วสัมผัสบริเวณผิวโฟมจนกระทั่งเนื้อโฟมไม่ติดที่นิ้วขึ้นมาจะได้ค่า Tack free time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Cream time, Gel time และ Tack free time มีความสำคัญ คือเป็นค่าที่แสดงถึงเวลาในการฟุ้งตัวเป็นโฟมที่สมบูรณ์ของโฟมพอลิยูรีเทน หลังจากการปั่นกวนของผสมระหว่าง ไอโซไซยาเนต กับ พอลิอลกอฮอล์

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

4.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาเศษของด้ายไหม

นำตัวอย่างเศษด้ายไหมไปตรวจสอบเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อส่องดูลักษณะทางกายภาพของเศษด้ายไหมอย่างละเอียดที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยการนำเศษด้ายไหมไปเคลือบด้วยทองและนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานโฟม

นำตัวอย่างชิ้นงานโฟมไปตรวจสอบเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อส่องดูโครงสร้างของรูพรุนและการกระจายของด้ายไหมที่กำลังขยาย 50 เท่า การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยเลือกชิ้นงานตรงส่วนกลางและบริเวณที่มีเศษด้ายไหมอยู่ ตัดชิ้นงานด้วยคัตเตอร์ให้เป็นชิ้นเล็กประมาณ 1 cm นำชิ้นงานมาเคลือบทองและนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตอนที่ 5 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

5.1 การตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 1622)

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความหนาแน่นควรมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนา 1 นิ้ว คำนวณหาปริมาตรที่แน่นอน จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งมาตรฐานโดยมีนัยสำคัญ 1% ในหน่วยน้ำหนักกรัม คำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานได้จากสูตรและนำมาหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน (g)}}{\text{ปริมาตรของชิ้นงาน (cm}^3\text{)}}$$

5.2 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำควรมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนา 1 นิ้ว จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน

ตัดชิ้นงานให้มีขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนา 1 นิ้ว นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำโดยใส่ในถุงซิปลิดน้ำให้เต็มแล้วปิดผนึกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาชั่งและบันทึกน้ำหนักไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจากสูตรแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

5.3 การตรวจวัดแรงกดชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D1621_00)

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงกดควรมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด กว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้วหนา 1 นิ้ว ซึ่งได้จากการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน

นำชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้จากการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ไปตัดให้มีขนาด กว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้วหนา 1 นิ้ว นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (5K) โดยใช้ความเร็วในการกดชิ้นงาน เท่ากับ 2.5 ± 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดและมอดุลัสกดอัด

ตอนที่ 6 การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปี

6.1 การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปีของเศษด้ายไหม

ทำการผสมเศษด้ายไหมประมาณ 2 มิลลิกรัม กับผงโพแทสเซียมโบรไมด์อบแห้งประมาณ 115 มิลลิกรัม และทำการบดสารตัวอย่างให้เข้ากันแล้วนำมาเข้าเครื่องกดอัดให้เป็นแผ่นวงกลมบาง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer , FTIR โดยทำการวิเคราะห์ในช่วง $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ และบันทึกสเปกตรัมของตัวอย่าง

6.2 การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปีของชิ้นงานโฟม

ทำการผสมตัวอย่างชิ้นงานโฟมประมาณ 2 มิลลิกรัมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์อบแห้งประมาณ 115 มิลลิกรัม และทำการบดสารตัวอย่างให้เข้ากันแล้วนำมาเข้าเครื่องกดอัดให้เป็นแผ่นวงกลม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy , FTIR โดยทำการวิเคราะห์ในช่วง $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ และบันทึกสเปกตรัมของตัวอย่าง

ตอนที่ 7 การวิเคราะห์ทางความร้อน

7.1 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเศษด้ายไหม

ชั่งเศษด้ายไหมประมาณ 10 – 15 มิลลิกรัมลงในภาชนะบรรจุสาร(Pt pan) จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermo gravimetric analysis, TGA โดยใช้สภาวะเครื่องดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส ให้อัตราความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิ

900 องศาเซลเซียส และบันทึก Thermogram ของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 การวิเคราะห์ทางความร้อนของชิ้นงานโพน

ซึ่งปริมาณตัวอย่างชิ้นงานโพนประมาณ 10 – 15 มิลลิกรัมลงในภาชนะบรรจุสาร(Pt pan) จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal gravimetric analysis, TGA โดยใช้สภาวะเครื่องดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส ให้อัตราความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และบันทึก Thermogram ของตัวอย่าง

ตอนที่ 8 การทดสอบการย่อยสลาย

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลายควรมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้วหนา 1 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้นงาน

ตัดชิ้นงาน ชั่งและบันทึกน้ำหนักทั้ง 3 ชิ้นไว้ นำไปฝังดินซึ่งอยู่ในกระถางขนาด 15 x 74 x 14.5 เซนติเมตร ฝังลึกประมาณ 10 เซนติเมตร รดน้ำทุกวัน วันละ 2000 มิลลิลิตร(ยกเว้น เสาร์-อาทิตย์) เมื่อครบ 1 เดือน จึงนำขึ้นมาล้างดินออก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป ทำเช่นนี้ทุกเดือนจนครบเวลา 3 เดือน โดยน้ำหนักที่หายไปในแต่ละเดือนจะนำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายได้จากสูตร

$$\% \text{ การย่อยสลาย} = \left(\frac{\text{น้ำหนักที่ลดลงในแต่ละเดือน} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนฝังดิน}} \right)$$

การควบคุมความชื้นของดิน ทำได้โดยการนำดินก่อนทำการทดลองมาชั่ง จดบันทึกน้ำหนักและนำดินไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอให้ดินเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักหาความชื้นของดิน จากนั้นเติมน้ำ 2000 มิลลิลิตร ลงในดิน รอจนวันรุ่งขึ้นให้นำดินมาหาความชื้นอีก จดบันทึกค่าที่ได้ไว้ ทำการเติมน้ำอีก 2000 มิลลิลิตร รอจนวันรุ่งขึ้น ทำเช่นนี้ทุกวัน พบว่าความชื้นในดินมีค่าประมาณ 150% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ ความชื้นในดิน} = \frac{\text{น้ำหนักของดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของดินหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักของดินก่อนอบ}}$$

ซึ่งตัวเลขที่ได้จะบอกความชื้นที่มีอยู่ในดิน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การตรวจวิเคราะห์ค่า cream time, gel time และ tack free time ของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ตาราง 4.1.1 แสดงค่า cream time, gel time และ tack free time ของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรต่างๆ

สูตรที่	Cream time (min)	Gel time (min)	Tack free time (min)
A1	0.14	1.22	3.12
A2	0.06	1.16	2.59
A3	0.09	1.16	2.56
A4	0.14	1.24	3.14
A5	0.22	1.27	3.14
A6	1.01	1.53	2.51
A7	1.15	2.11	2.42
B2	0.05	1.18	2.45
B3	0.11	1.16	2.52
B4	0.15	1.21	3.14
B5	0.16	1.25	3.15
B6	0.18	1.27	2.48
B7	0.32	1.39	2.42

หมายเหตุ

สูตรที่ A1 คือ ชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่ผสมเศษด้ายไหม

สูตรที่ A2 A3 A4 A5 A6 A7 เป็นการเตรียมชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โดยผสมพอลิโอดกับเศษด้ายไหม 5 10 15 20 25 30 กรัม ตามลำดับ ก่อนเติมไอโซไซยาเนต (วิธีเตรียมแบบA)

สูตรที่ B2 B3 B4 B5 B6 B7 เป็นการเตรียมชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โดยผสมไอโซไซยาเนตกับเศษด้ายไหม 5 10 15 20 25 30 กรัม ตามลำดับ ก่อนเติมพอลิโอด (วิธีเตรียมแบบB)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1.1 พบว่าค่าเวลา cream time, gel time และ tack free time จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านในอนณตใหนำไปใช้ประโยชน์ดานกรรคาน้อยเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหม 10 กรัม อาจเนื่องจากเศษด้ายไหมมีหมู่เอมีน (-NH₂) และหมู่ไฮดรอกซิลไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหามมีใหดดแปลงเนื้อหา และตององงถึงเจาของเอกสารทุกคร้งที่มำกรนำไปใช้

(-OH) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลไฮดรอกไซด์ได้ปฏิกิริยาจึงเกิดเร็ว แต่เมื่อปริมาณเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้น จาก 15-30 กรัม ค่าเวลา cream time, gel time และ tack free time จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าเศษด้ายไหม สามารถดูดซับพอลิเอทิลีนและไฮดรอกซิลไฮดรอกไซด์ได้มาก ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอทิลีนจึงใช้เวลานานขึ้น ซึ่งการเตรียมโฟมพอลิเอทิลีนแบบ A และแบบ B ให้ผลในการทำงานเดียวกัน

จากการหาค่าเวลา cream time, gel time, tack free time หรือเวลาในการฟุ้งตัวเต็มที่ของโฟม ทำให้ทราบว่า ค่า cream time ,gel time ,tack free time ของโฟมที่มีการเติมเศษด้ายไหมต่างๆ กันมีความแตกต่างกันอย่างไร โฟมแต่ละสูตรใช้เวลาในการฟุ้งตัวเป็นโฟมเร็วหรือช้าอย่างไร ซึ่งค่าเหล่านี้จะทำให้ทราบเวลาในการผลิต(cycle time)ชิ้นงานและทราบกำลังในการผลิตในแต่ละวัน ซึ่งค่า Cream time เป็นช่วงเวลาที่ของผสมมีสีครีมและเริ่มเกิดการขยายตัวหรือฟุ้งตัว ,Gel time เป็นช่วงเวลาที่ของผสมมีลักษณะคล้ายเจล เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการนำตะเกียบไม้ส้อมฝัดบริเวณผิวโฟม จะพบว่าเมื่อเจลติดขึ้นมาเป็นเส้น,Tack free time เป็นเวลาที่โฟมฟุ้งตัวเต็มที่ ซึ่งค่า tack free time สามารถทดสอบได้โดยการใช้นิ้วไปสัมผัสที่ผิวโฟม จะพบว่าไม่มีเนื้อโฟมติดขึ้นมา แสดงว่าปฏิกิริยาได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว

4.2 การตรวจวิเคราะห์สัดส่วนฐานวิทยาของชิ้นงานโฟมพอลิเอทิลีนชนิดแข็งและเศษด้ายไหม ตารางที่ 4.2.1 แสดงขนาดเฉลี่ยของรูพรุนของชิ้นงานโฟมพอลิเอทิลีนชนิดแข็งสูตรต่างๆ

สูตรที่	ขนาดเฉลี่ยของรูพรุน(μm)
A1	675.44 \pm 0.49
A2	535.07 \pm 0.99
A3	372.41 \pm 0.69
A4	341.28 \pm 0.78
A5	303.44 \pm 0.46
A6	275.86 \pm 0.10
A7	264.28 \pm 0.44
B2	514.28 \pm 0.24
B3	365.51 \pm 0.29
B4	351.72 \pm 0.56
B5	307.13 \pm 0.25
B6	279.54 \pm 0.28
B7	275.86 \pm 0.99

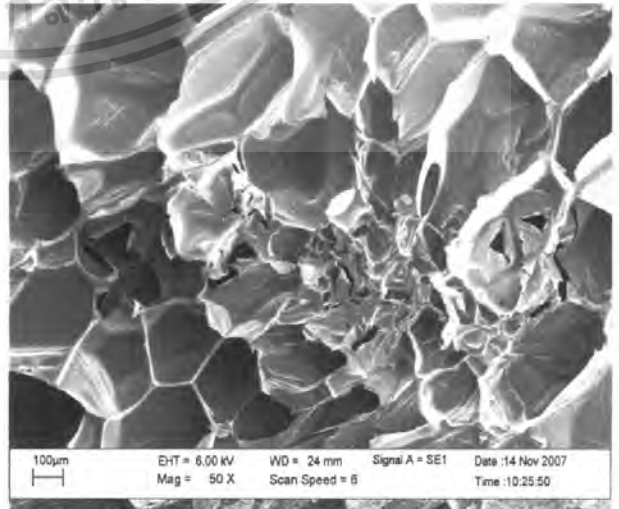
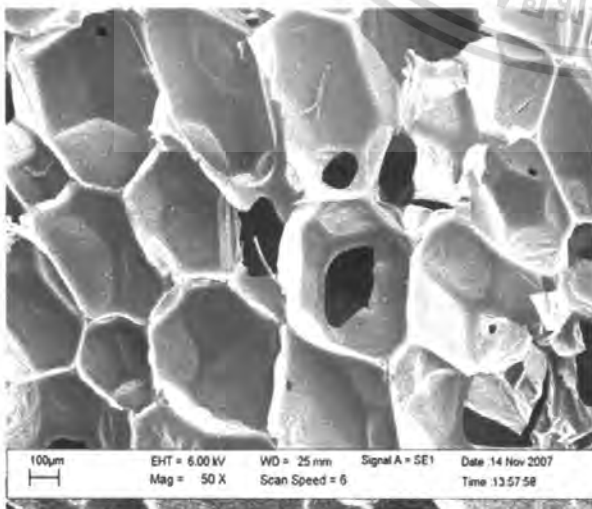
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และดัดแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2.1 พบว่ารูพรุนของโฟมพอลิยูรีเทนมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาขนาดรูพรุนของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่เติมเศษด้ายไหม พบว่าขนาดรูพรุนจะเล็กลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีเศษด้ายไหมยังมีขนาดเล็กลงกว่าบริเวณที่ไม่มีเศษด้ายไหม และเมื่อมีเศษด้ายไหม 20 กรัมขึ้นไปนั้นเศษด้ายไหมจะรวมเป็นกลุ่มลักษณะรูพรุนจะเปลี่ยนไปจากเดิมมาก นั่นคือการใส่เศษด้ายไหมทำให้โครงสร้างรูพรุนเสียหายไปซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิยูรีเทน โดยการที่รูพรุนของโฟมที่ใส่เศษด้ายไหมมีขนาดเล็กลงอาจเนื่องมาจากความชื้นของเศษด้ายไหม (แม้จะมีการอบไล่ความชื้นแล้วก็ตาม) จะระเหยออกมาในขณะที่เกิดพันธะยูรีเทน ยังมีปริมาณเศษด้ายไหมมาก ความชื้นที่เศษด้ายไหมดูดซับไว้ก็ยิ่งมาก จึงทำให้เกิดฟองอากาศรูพรุนเล็กๆ มากขึ้น

ลักษณะเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

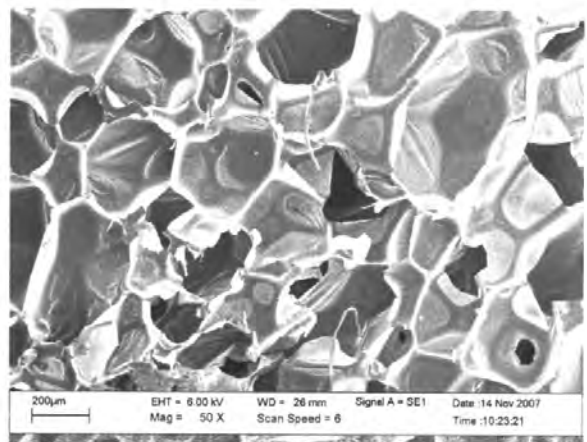
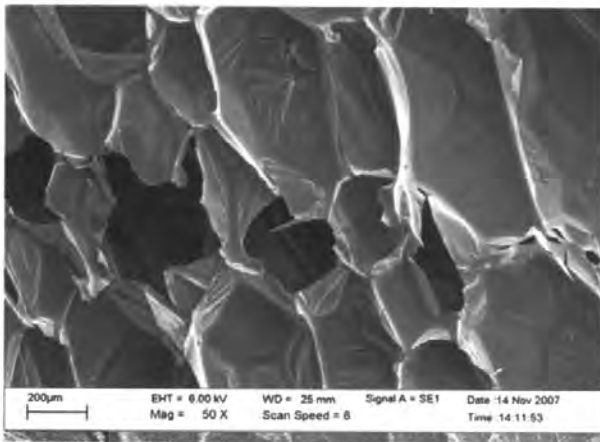


รูปที่ 4.1 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตรที่ A1) จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า

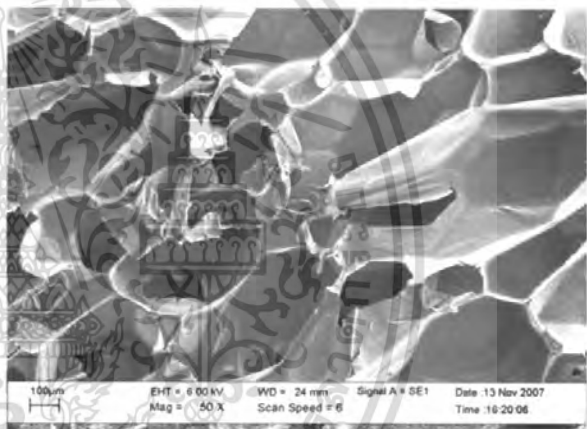
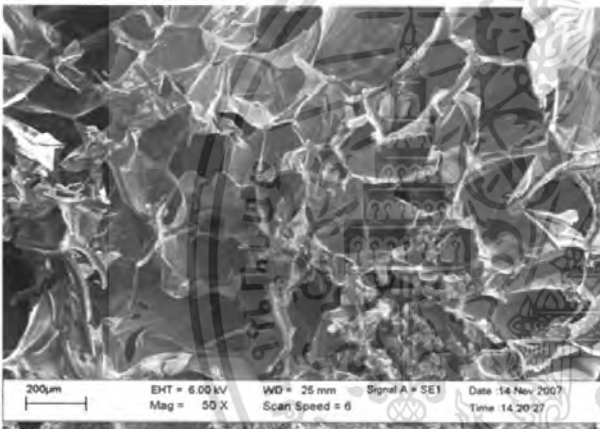


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

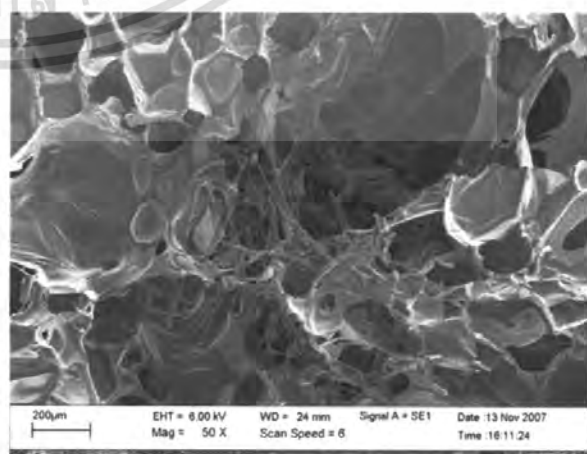
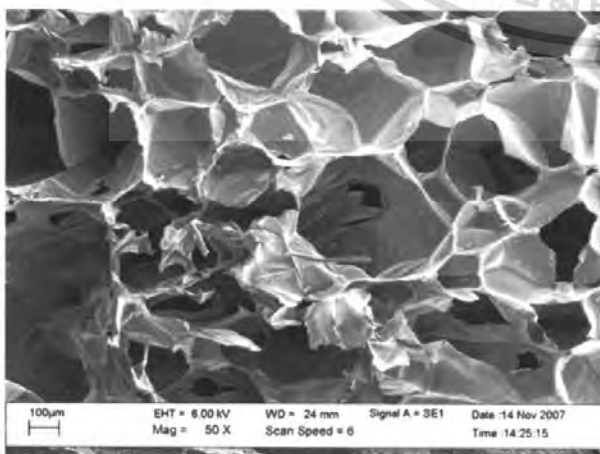
รูปที่ 4.2 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนสูตร A2 (ขวา) และ สูตร B2 (ซ้าย) ที่มีการเติมไม่จำกัดๆ ทั้งสน ออกทงห้ามมเหตดแปลงเนอห้ และดยงอองงดงเงาของเอกสสารทุดคองทมการนาไปเซเศษด้ายไหมปริมาณ 5 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า



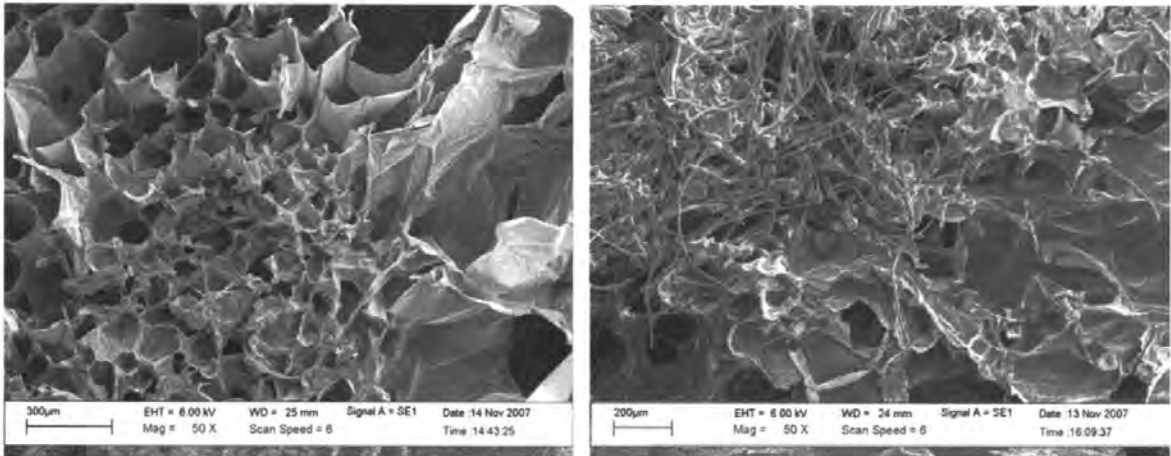
รูปที่ 4.3 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของไฟมพอลิยูรีเทนสูตร A3 (ขวา) และ สูตร B3 (ซ้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 10 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า



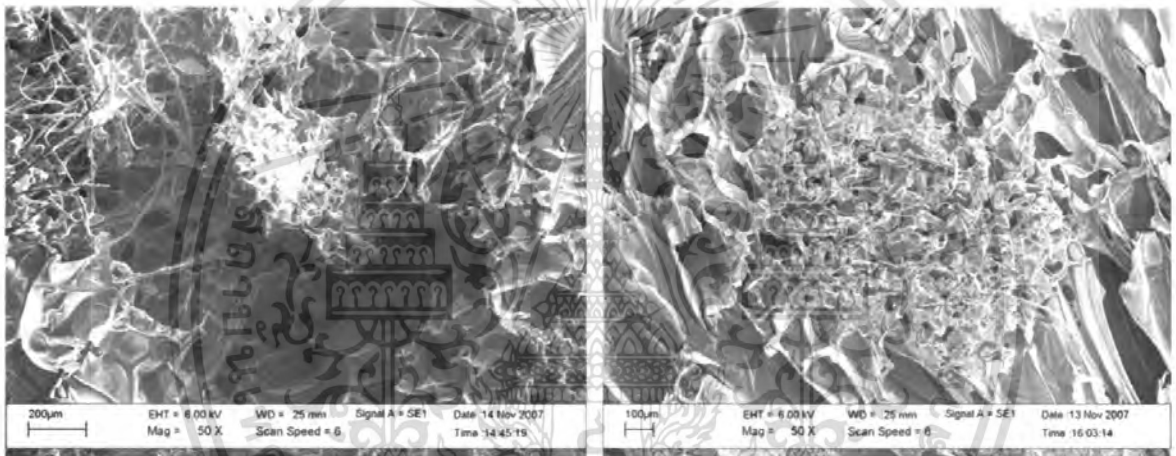
รูปที่ 4.4 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของไฟมพอลิยูรีเทนสูตร A4 (ขวา) และ สูตร B4 (ซ้าย) ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 15 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า



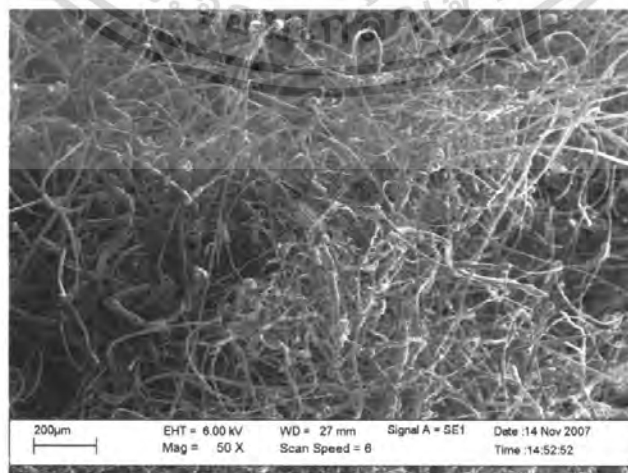
รูปที่ 4.5 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของไฟมพอลิยูรีเทนสูตร A5 (ขวา) และ สูตร B5 (ซ้าย) ที่มีการเติมการค้ำไม้เศษด้ายไหมปริมาณ 20 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่าทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของไฟมพอลิเอทรีเทนสูตร A6 (ขวา) และ สูตร B6 (ซ้าย) ที่มีการเติม เศษด้ายไหมปริมาณ 25 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.7 แสดงภาพลักษณะเซลล์ของไฟมพอลิเอทรีเทนสูตร A7 (ขวา) และ สูตร B7 (ซ้าย) ที่มีการเติม เศษด้ายไหมปริมาณ 30 กรัม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.8 แสดงภาพลักษณะทางกายภาพของเศษด้ายไหม จากการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ซึ่งค่า aspect ratio ของเศษด้ายไหม เท่ากับ 49.19
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

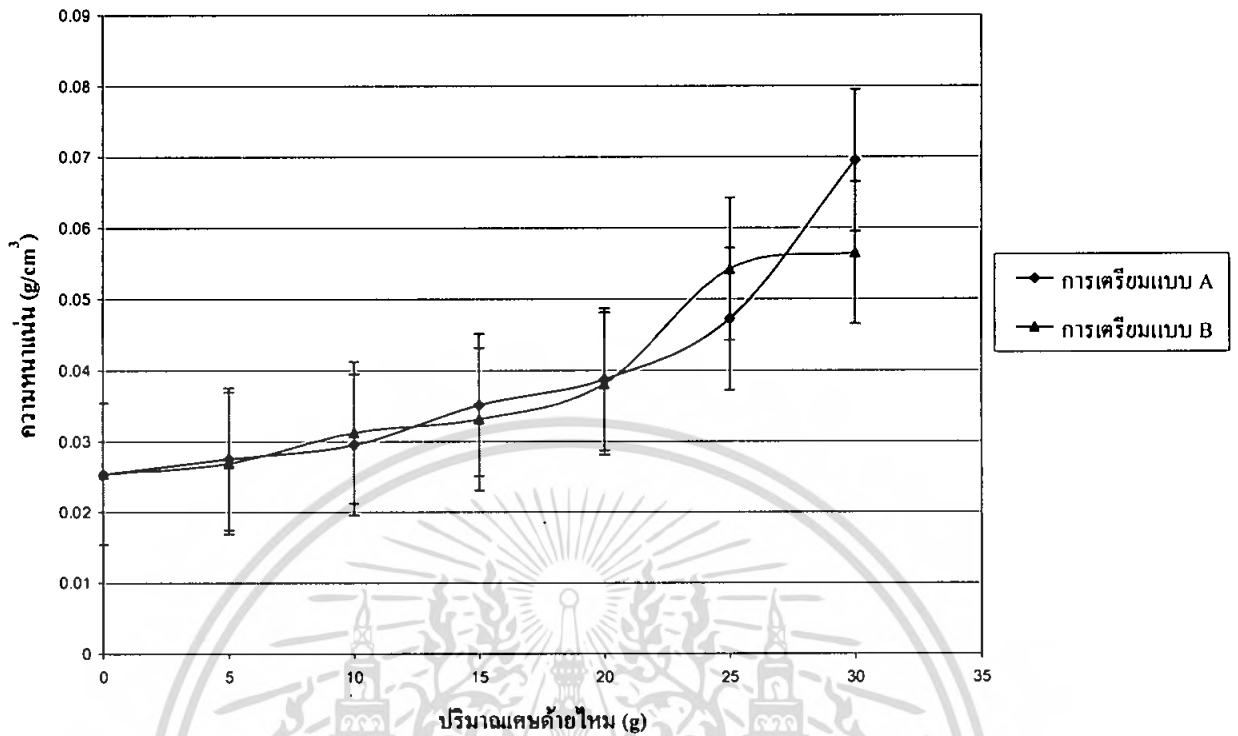
4.3 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

4.3.1 การตรวจวัดความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ แสดงดังนี้

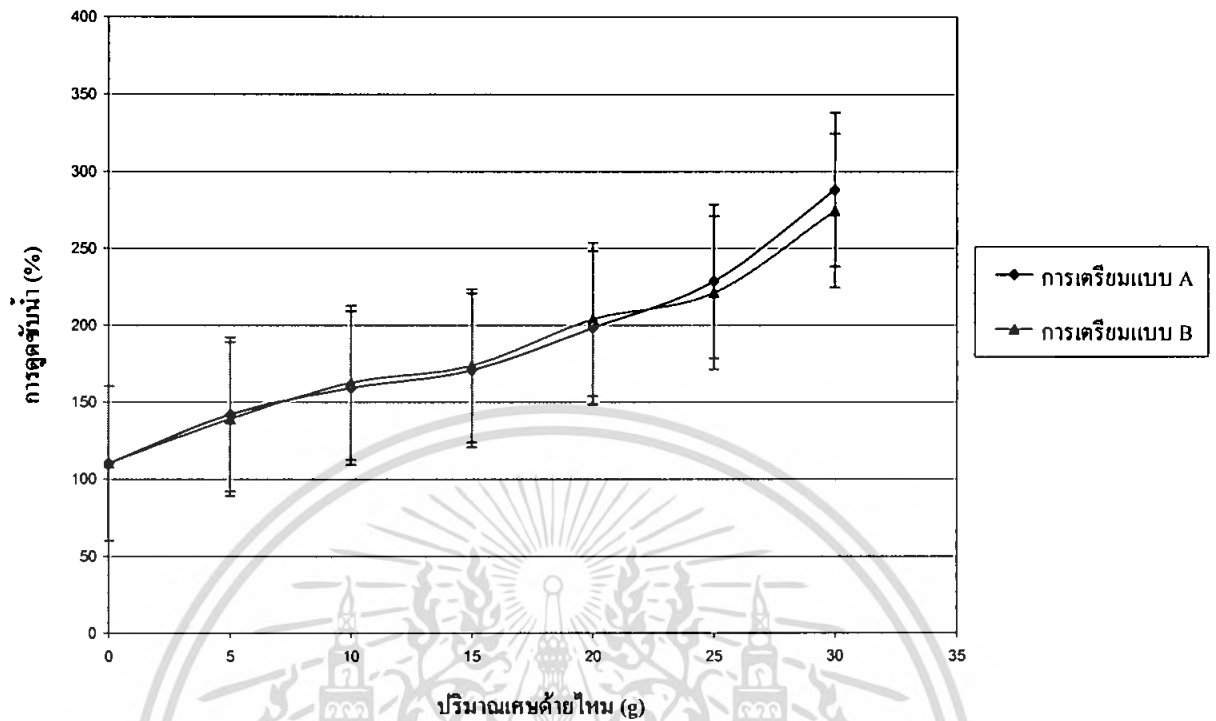
สูตรที่	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การดูดซึมน้ำ (%)
A1	0.0254±0.0005	110.16±0.0200
A2	0.0275±0.0006	141.97±0.0100
A3	0.0295±0.0008	159.09±0.0300
A4	0.0351±0.0004	170.72±0.0300
A5	0.0387±0.0004	198.23±0.0100
A6	0.0472±0.0003	228.61±0.0100
A7	0.0695±0.0004	288.26±0.0000
B2	0.0381±0.0002	139.02±0.0100
B3	0.0312±0.0003	162.52±0.0200
B4	0.0331±0.0006	173.66±0.0100
B5	0.0381±0.0003	203.71±0.0100
B6	0.0542±0.0002	221.06±0.0100
B7	0.0565±0.0003	274.51±0.0100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและโฟมที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 ตามลำดับ โดยวิธีการเตรียมแบบ A และแบบ B

จากตารางที่ 4.3.1 และรูปที่ 4.9 พบว่าความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมมีค่า 0.02 g/cm^3 เมื่อเติมเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้นจาก 5-30 กรัม พบว่าความหนาแน่นของโฟมจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วง 5-15 กรัม และเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหม 20-30 กรัม แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของโฟมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษด้ายไหมที่เพิ่มขึ้น เพราะความหนาแน่นคำนวณจากมวลต่อปริมาตร ในขณะที่ชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเท่ากันแต่มวลของเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของชิ้นงานจึงเพิ่มมากขึ้น โดยการเตรียมโฟมทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลในทำนองเดียวกัน



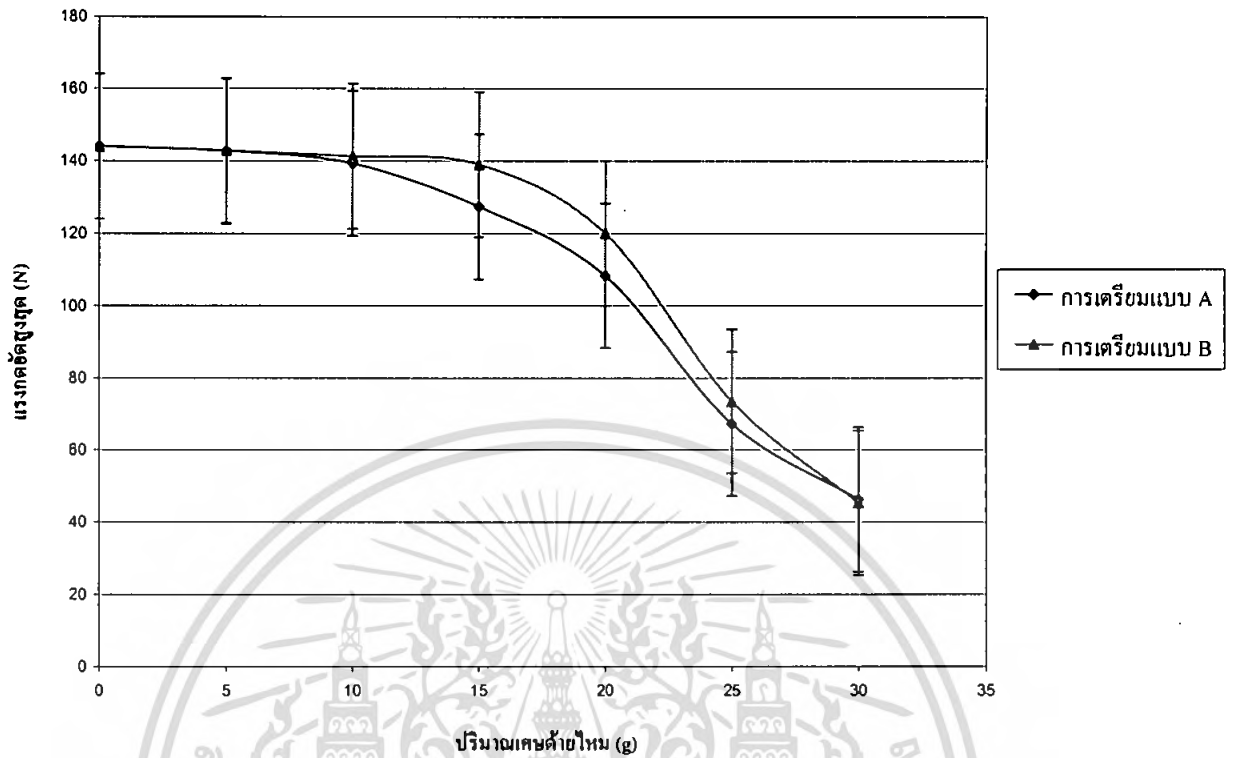
รูปที่ 4.10 แสดงการดูดซับน้ำของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและโฟมที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัม ตามลำดับ โดยวิธีการเตรียมแบบ A และแบบ B

จากตารางที่ 4.3.1 และรูปที่ 4.10 พบว่าค่าการดูดซับน้ำของโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม มีค่าประมาณ 110 % แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหมลงในโฟมทำให้ค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้นจาก 110 % คือ เมื่อเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเปลี่ยนไปอยู่ที่ประมาณ 151 % และค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม ซึ่งเป็นผลจากการที่เศษด้ายไหมสามารถดูดซับน้ำได้และขนาดรูพรุนของโฟมพอลิยูรีเทนที่ผสมเศษด้ายไหมมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนรูพรุนมากขึ้น จึงสามารถดูดซึมและกักเก็บน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งค่าแนวโน้มของการเตรียมทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลไปในลักษณะเดียวกัน

4.3.2 การตรวจวัดความสามารถในการรับแรงกดอัดและมอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยความสามารถในการรับแรงกดอัดและมอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ แสดงดังนี้

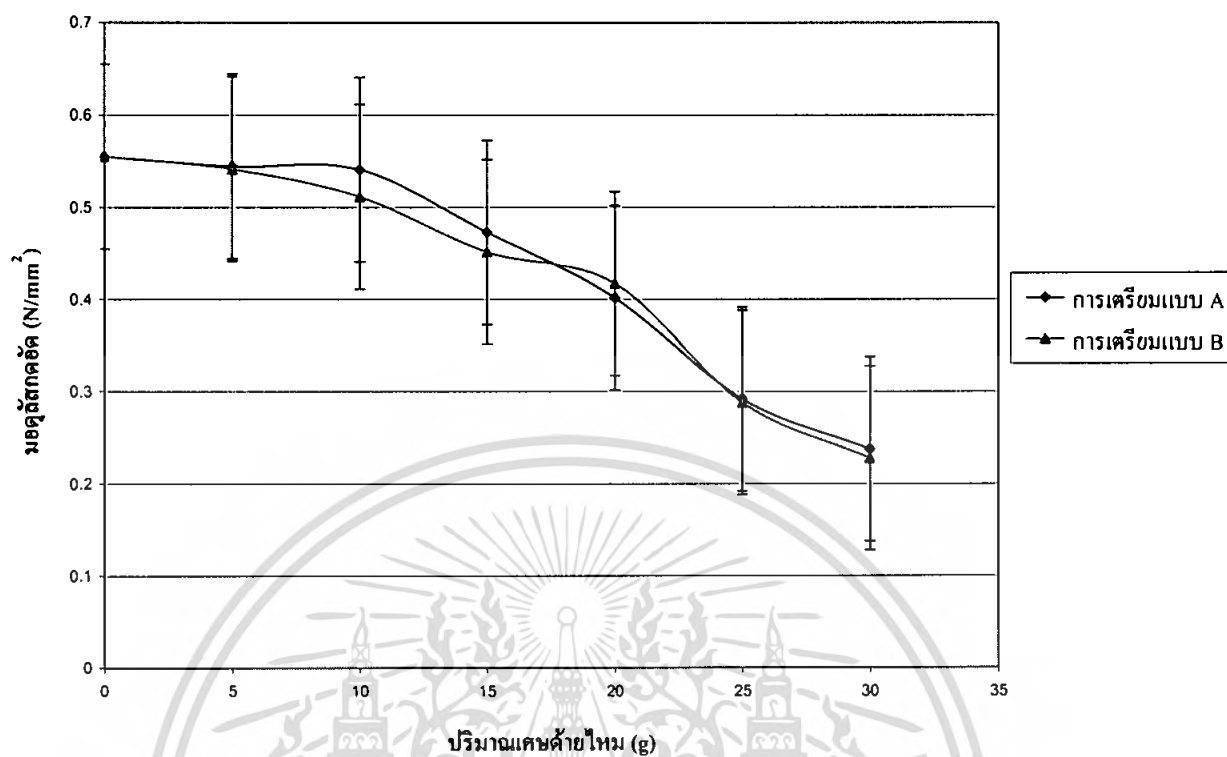
สูตรที่	แรงกดอัดสูงสุด (N)	มอดุลัสกดอัด (N/mm ²)
A1	143.98±0.0283	0.5549±0.0003
A2	142.71±0.0141	0.5443±0.0004
A3	139.27±0.0469	0.5408±0.0003
A4	127.34±0.1527	0.4728±0.0002
A5	108.24±0.0141	0.4017±0.0002
A6	67.18±0.0988	0.2918±0.0003
A7	46.24±0.0283	0.2376±0.0003
B2	142.82±0.0141	0.5412±0.0003
B3	141.27±0.0173	0.5113±0.0002
B4	138.97±0.0245	0.4515±0.0002
B5	119.97±0.0283	0.4172±0.0003
B6	73.46±0.0374	0.2881±0.0001
B7	45.28±0.0341	0.2276±0.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดของไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและไฟมที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัมตามลำดับ โดยวิธีการเตรียมแบบ A และแบบ B

จากตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าไฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมสามารถรับแรงกดอัดสูงสุดได้ 143.98 N. แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหมลงไปจะทำให้สามารถรับแรงกดอัดได้น้อยลงตามปริมาณเศษด้ายไหมที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีปริมาณเศษด้ายไหมตั้งแต่ 15 กรัม แรงกดอัดลดลงอย่างมาก เนื่องจากเศษด้ายไหมอยู่รวมกันเป็นกลุ่มพันกันซึ่งเห็นได้ชัดจากการวิเคราะห์ SEM จึงทำให้ไฟมที่เตรียมได้มี 2 วัฏภาคอย่างชัดเจน เมื่อไฟมได้รับแรงจึงกระจายแรงได้ไม่ดี ดังนั้นความสามารถในการรับแรงของไฟมพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณเศษด้ายไหมมากจึงรับแรงกดอัดได้น้อยลง ซึ่งการเตรียมไฟมทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน

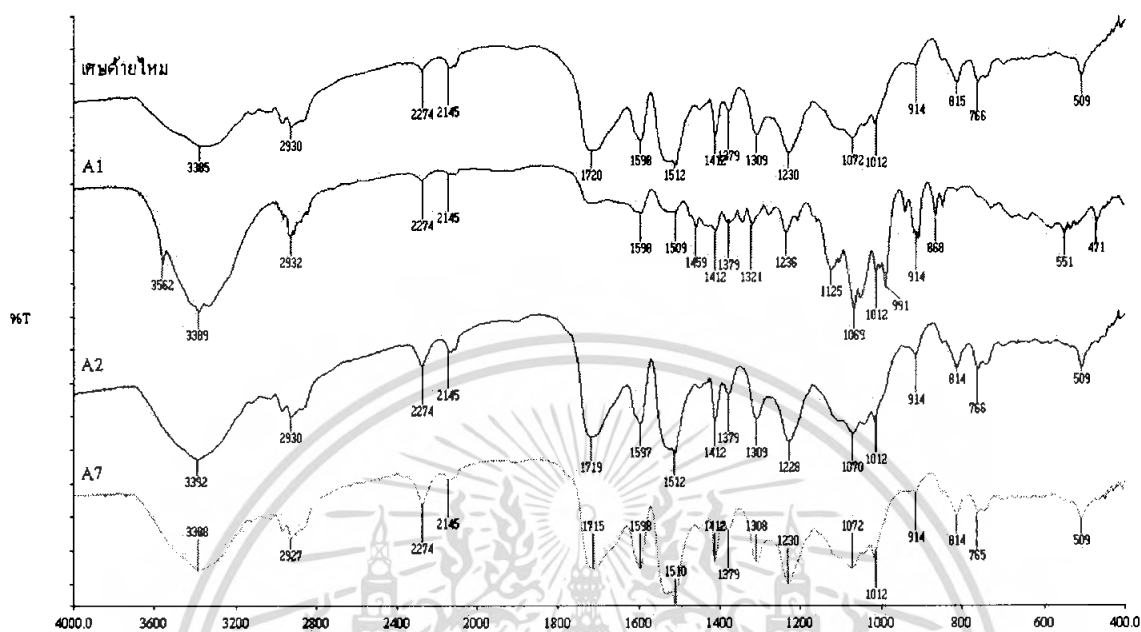


รูปที่ 4.12 แสดงค่ามอดูลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและโฟมที่เตรียมจากวิธีเตรียมแบบ A และแบบ B ที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 10 15 20 25 30 กรัม ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3.2 และรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงค่ามอดูลัสกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและเติมเศษด้ายไหมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดลดลงคือ ค่ามอดูลัสกดอัดจะลดลงอย่างมากเมื่อเติมเศษด้ายไหม อันเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกันกับค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดของโฟมพอลิยูรีเทน ดังที่กล่าวไปในข้างต้น ซึ่งสาเหตุหลักมาจากปริมาณเศษด้ายไหมที่เติมลงไปนั่นเอง จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า การเติมเศษด้ายไหมทำให้ชิ้นงานโฟมที่เตรียมได้นั้นโดยรวมแล้วมีสมบัติเชิงกลไม่ดี เศษด้ายไหมจึงไม่จัดเป็นสารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรง โดยการเตรียมโฟมทั้งแบบ A และแบบ B นั้นให้ผลไปในทำนองเดียวกัน

4.4 การตรวจวิเคราะห์ FTIR ของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งและเศษด้ายไหม

ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR

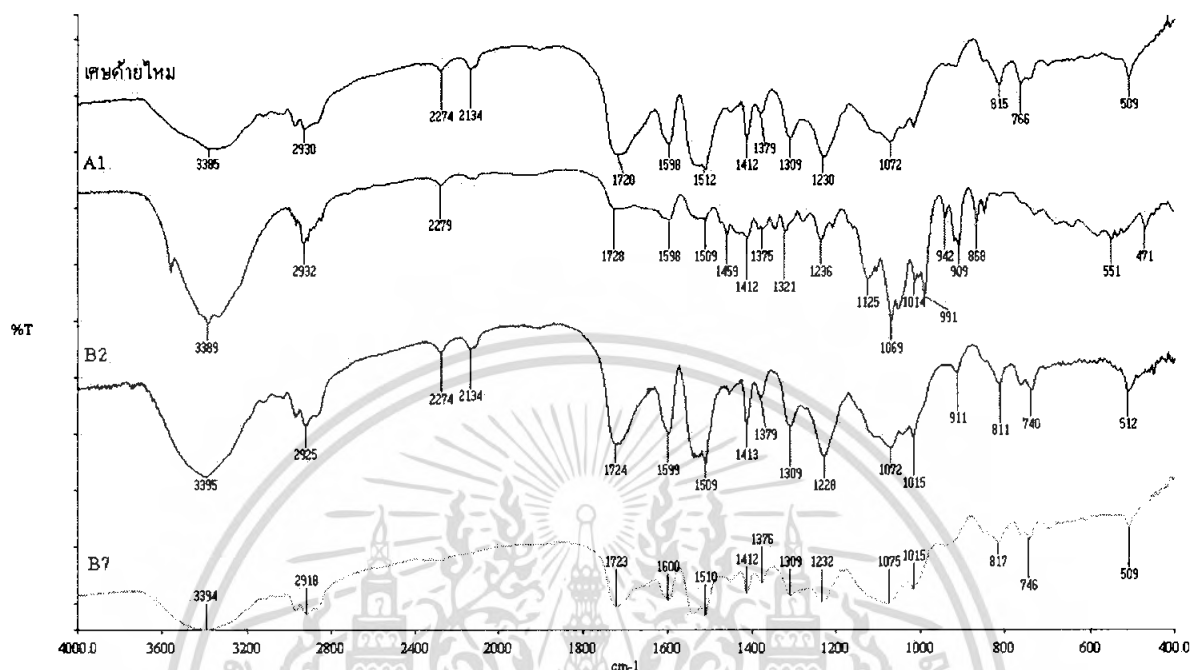


รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (A1) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม (A2) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม (A7)

เนื่องจากทั้งเศษด้ายไหมและโฟมพอลิยูรีเทนมีพันธะเอไมด์ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---NH---} \end{array}$ อยู่เป็นจำนวนมากในโครงสร้าง เมื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR ในรูปที่ 4.20 จึงพบพีคที่ประมาณ 3385 cm^{-1} แสดง N-H stretching และพีคประมาณ 1700 cm^{-1} แสดงหมู่ C=O ของเศษด้ายไหมและของพันธะยูรีเทน ซึ่งทั้งสองพีคนี้จะเป็นพีคหลักที่จะบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ทางเคมีของโฟมพอลิยูรีเทนและเศษด้ายไหม เมื่อผสมเศษด้ายไหมผลการทดลองพบว่าที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1} สูตร A2 A7 พีคจะมีลักษณะกว้าง (Broad) ซึ่งหมายถึงหมู่ -NH ของเอไมด์ที่ไม่เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นและพีคที่ 1700 cm^{-1} เห็นชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะสูตร A7 พีคที่ประมาณ 3385 cm^{-1} มีลักษณะเดียวกับเศษด้ายไหม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจาก สูตร A7 มีการเติมเศษด้ายไหมมากถึง 30 กรัม ทำให้เอกลักษณ์ทางเคมีของโฟมสูตร A7 และเศษด้ายไหมมีความคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ที่เลขคลื่น ประมาณ $1400\text{-}1300 \text{ cm}^{-1}$ (C-O stretching) และที่เลขคลื่น $1125 - 1012 \text{ cm}^{-1}$ (C-N stretching) ซึ่งเป็นพีคที่แสดงเอกลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเคมีของเศษด้ายไหมเช่นกัน จะปรากฏชัดขึ้นในโฟมพอลิยูรีเทนที่มีการผสมเศษด้ายไหม 5 กรัม (สูตร A2) และ 30 กรัม (สูตร A7)



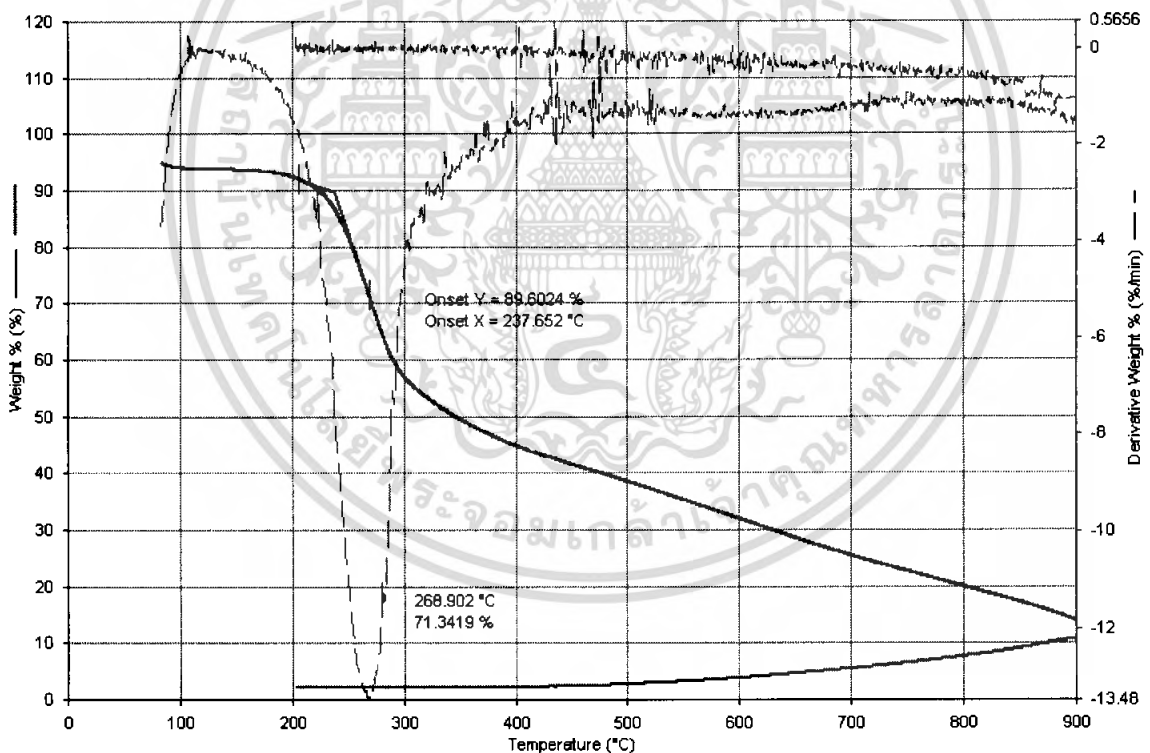
รูปที่ 4.14 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (A1) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม (B2) โฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม (B7)

รูปที่ 4.14 จะพบพีคที่ประมาณ 3385 cm^{-1} แสดง N-H stretching และที่พีคประมาณ 1700 cm^{-1} แสดงหมู่ C=O ของเศษด้ายไหมและของพันธะยูรีเทน ซึ่งทั้งสองพีคนี้จะเป็นตำแหน่งของพีคหลักที่จะบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ทางเคมีของโฟมพอลิยูรีเทนและเศษด้ายไหม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ FTIR ของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้จากวิธีเตรียมแบบ B คือการผสมเศษด้ายไหมกับไอโซไซยานเตก่อนแล้วค่อยเติมพอลิโอด พบว่ามีลักษณะพีคที่คล้ายกับวิธีเตรียมแบบ A คือการผสมเศษด้ายไหมกับพอลิโอดก่อนแล้วค่อยเติมไอโซไซยานเต แสดงว่าการเตรียมโฟมทั้งแบบ A และแบบ B ทำให้ได้โฟมที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

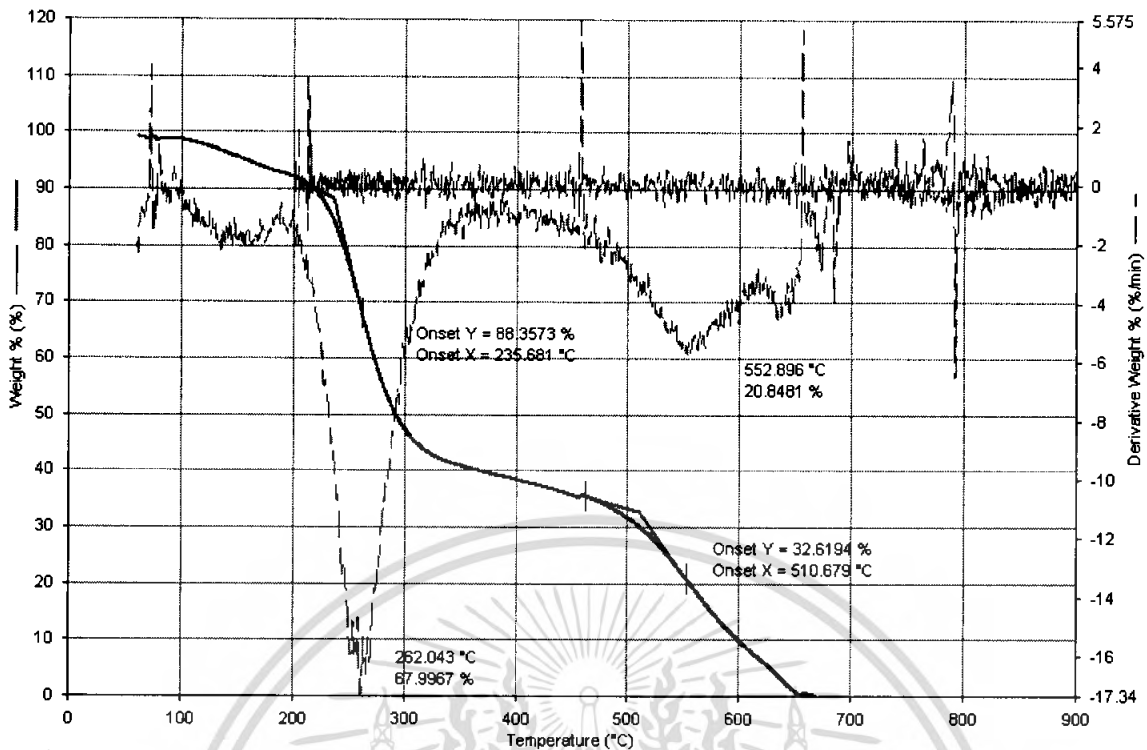
4.5 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนของโพลิเมอร์ชนิดแข็งและเศษด้ายไหมด้วย TGA
ตารางที่ 4.5.1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานโพลิเมอร์ชนิดแข็งและเศษด้ายไหม

สูตรที่	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2
เศษด้ายไหม	268.9	-
A1	262.0	552.8
A2	256.5	525.4
A7	242.2	557.0
B2	274.5	-
B7	264.7	578.9

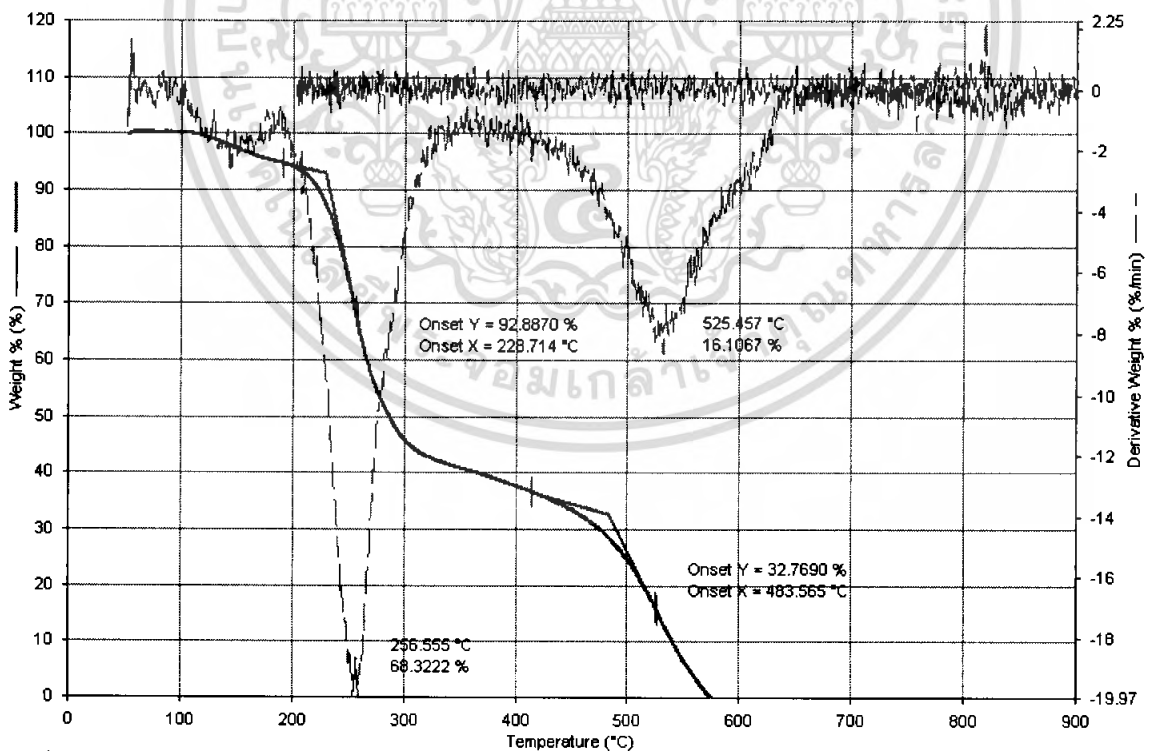


รูปที่ 4.15 แสดงเทอร์โมแกรมของเศษด้ายไหมจากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 1
ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 268.902 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

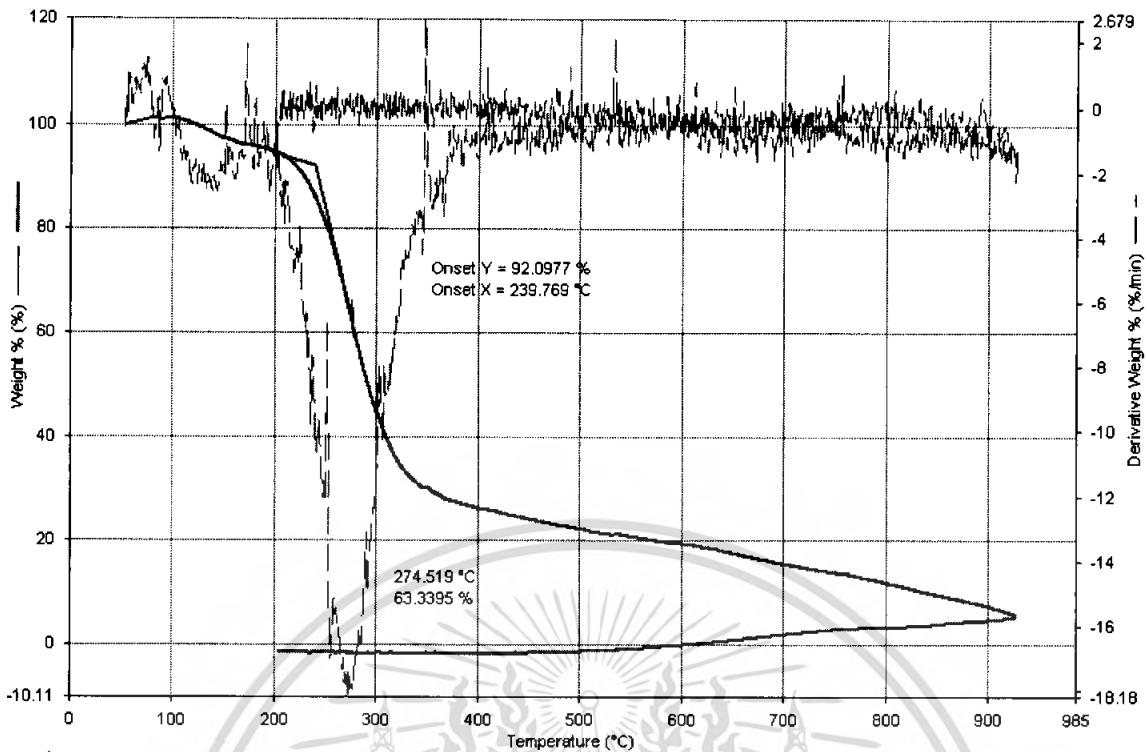


รูปที่ 4.16 แสดงเทอร์โมแกรมของโคมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตร A1) จากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 262.043 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 552.896 องศาเซลเซียส

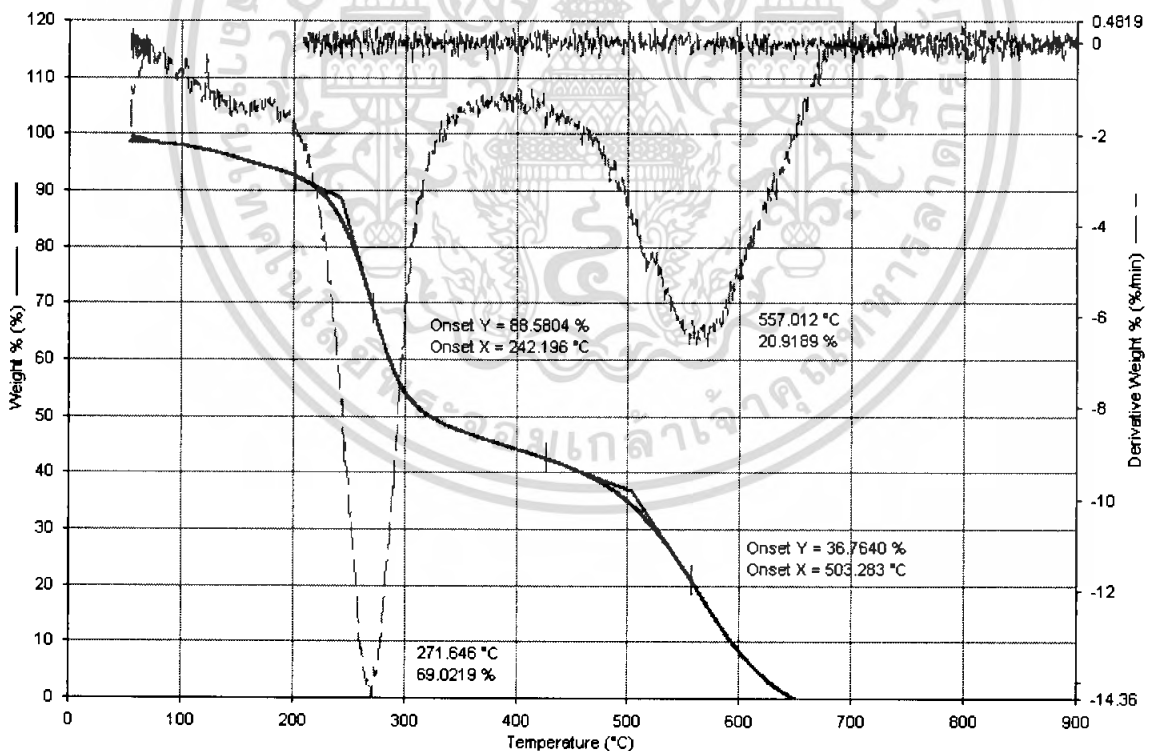


รูปที่ 4.17 แสดงเทอร์โมแกรมของโคมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ A2 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 5 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 256.555 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 525.457 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

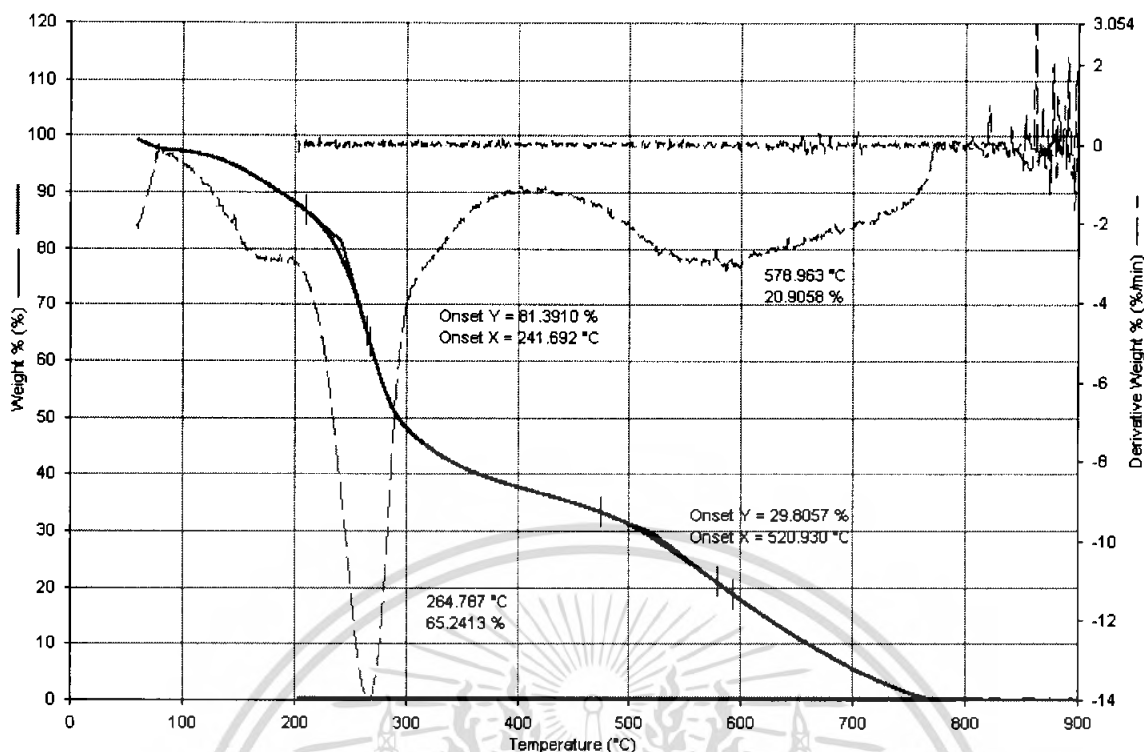


รูปที่ 4.18 แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ B2 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 5 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 1 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 274.519 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.19 แสดงเทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ A7 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 30 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 271.646 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 503.283 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



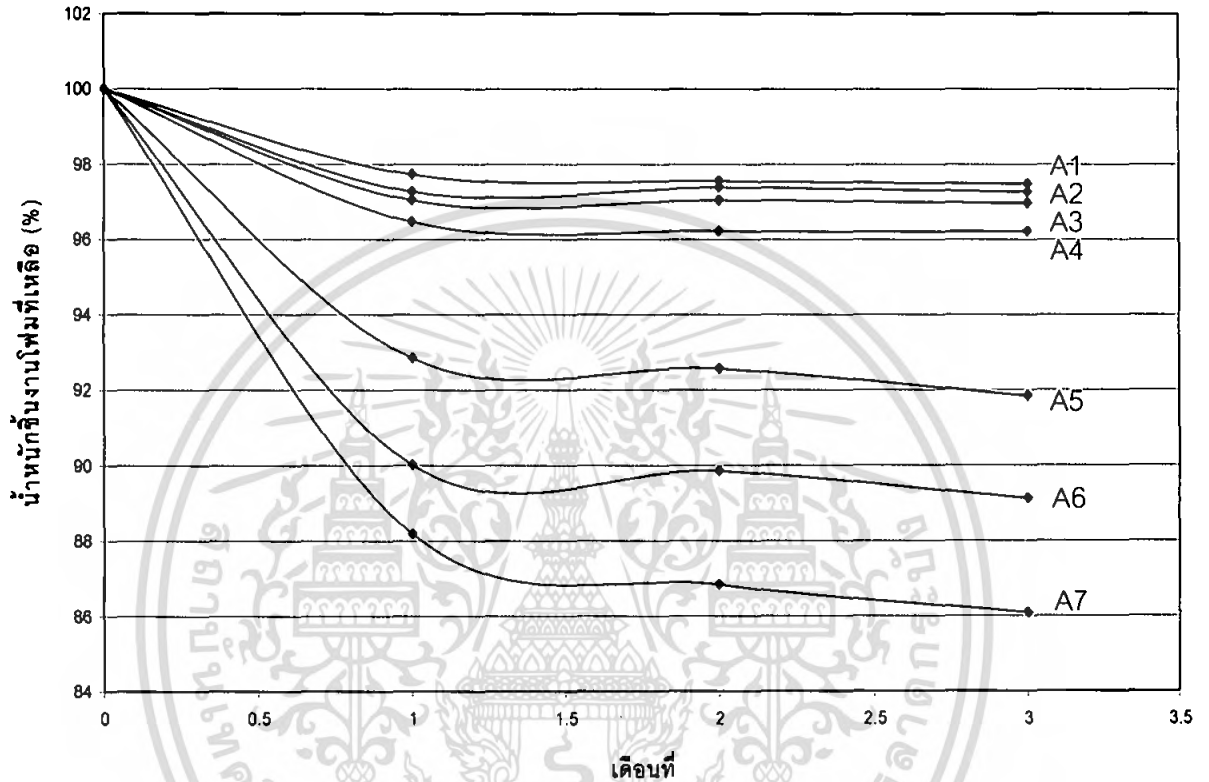
รูปที่ 4.20 แสดงเทอร์โมแกรมของโพลียูรีเทนชนิดแข็ง สูตรที่ B7 ที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 30 กรัม จากการวิเคราะห์ TGA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ 264.787 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 520.930 องศาเซลเซียส

เนื่องจากทั้งเศษด้ายไหมและพอลียูรีเทนมีพันธะเอไมด์ —C(=O)—NH— เช่นเดียวกัน จึงมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกัน จากเทอร์โมแกรมจะเห็นว่าเศษด้ายไหมจะมีขั้นตอนการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิประมาณ 268 องศาเซลเซียส ส่วนโพลียูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตร A1) จะมีการสลายตัวเป็น 2 ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 262 องศาเซลเซียส และ 552 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสลายตัวของบริเวณที่เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ในกรณีผสมแบบ A ไม่ว่าจะเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม (A2) หรือ 30 กรัม (A7) ดังรูปที่ 4.17 และ 4.19 ตามลำดับ พบว่าโพลียูรีเทนนั้นยังมีการสลายตัวเป็น 2 ขั้นตอนเหมือนเดิม

แต่ในกรณีการผสมแบบ B ซึ่งนำเศษด้ายไหมผสมกับไอโซไซยาเนตก่อนแล้วจึงเติมพอลิออล นั้น พบว่าเทอร์โมแกรมของสูตร B2 เมื่อเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม ไม่พบอุณหภูมิการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม พบอุณหภูมิการสลายตัวที่ประมาณ 578 องศาเซลเซียส (เป็นอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 2) และมีลักษณะที่คึกกว้าง อาจเนื่องมาจากหมู่ —NH_2 ของเศษด้ายไหมสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ O=C=N— ของไอโซไซยาเนตได้ดี เมื่อมีปริมาณน้อยมีพันธะยูเรียเกิดขึ้น และอาจเกิดการแทรกตัวของสายโซ่โมเลกุลไหมในสายโซ่โมเลกุลของพอลียูรีเทน ซึ่งอาจไปขัดขวางการเกิดพันธะเชื่อมโยง จึงไม่พบอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 2 (ซึ่งเป็นบริเวณที่แสดงถึงการสลายตัวของพันธะเชื่อมโยง) ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียสในสูตร B2 แต่ในสูตร B7 ที่มีการเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม เศษด้ายไหมส่วนใหญ่ชอบที่จะ

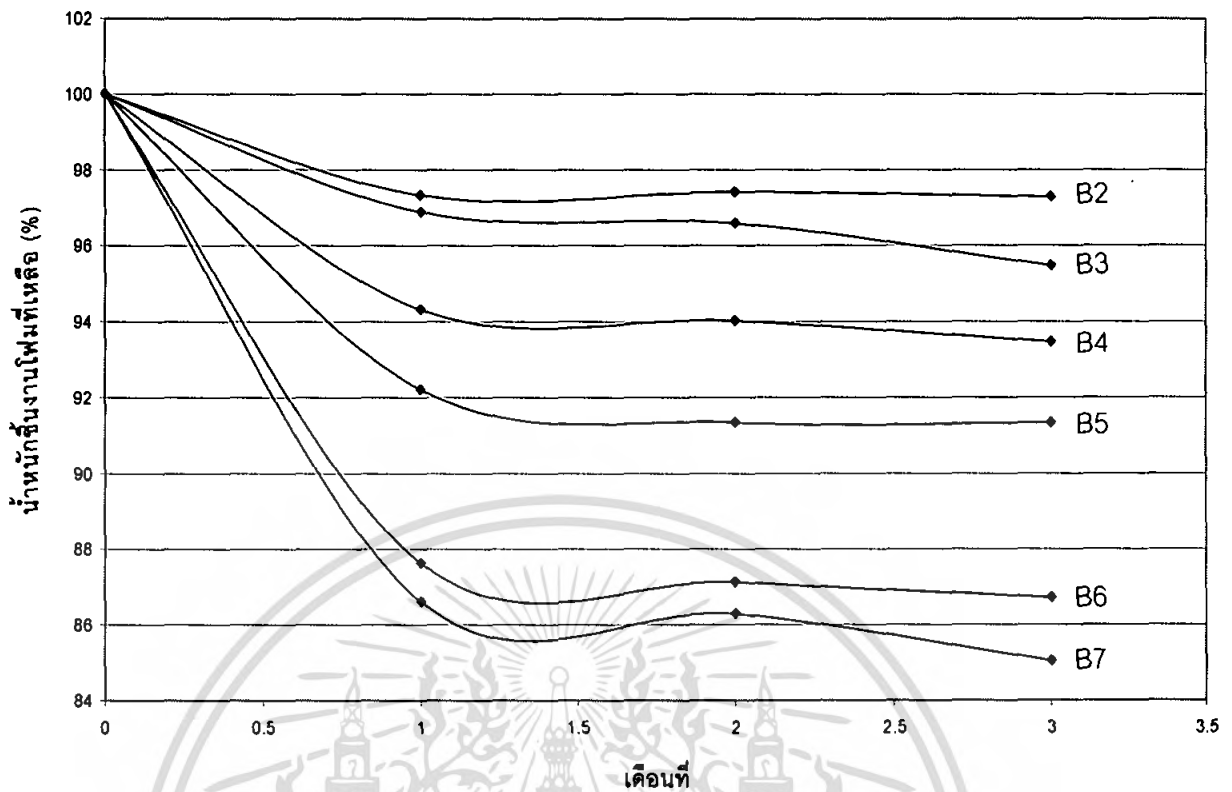
รวมเป็นกลุ่มก่อนมากกว่าที่จะไปเกิดปฏิกิริยากับไอโซไซยานต จึงไปขัดขวางการเกิดพันธะเชื่อมโยง ได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสูตร B2 เพราะฉะนั้นเทอร์โมแกรมของสูตร B7 จึงยังพบการสลายตัวในชั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียสที่แสดงการเกิดพันธะเชื่อมโยงอยู่

4.6 การทดสอบการย่อยสลายของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง



รูปที่ 4.21 แสดง%น้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเตรียมแบบ A (สูตร A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7) หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดง%น้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่มีการเตรียมแบบ B (สูตร B2 B3 B4 B5 B6 B7) หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน

จากรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษด้ายไหมจะทำให้โฟมเกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น โดยโฟมที่เติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 ,10 , 15 กรัมจะให้ค่า % การย่อยสลายที่ใกล้เคียงกัน และการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในชิ้นงานโฟมที่มีการเติมปริมาณเศษด้ายไหมตั้งแต่ 20 กรัมขึ้นไป โดยการเตรียมโฟมทั้งสองวิธีให้ผลการทดสอบการย่อยสลายไปในทิศทางเดียวกัน โดยการย่อยสลายของโฟมนั้นหลักๆขึ้นอยู่กับปริมาณเศษด้ายไหมที่เติมลงไปคือปริมาณเศษด้ายไหมยิ่งมากยิ่งขึ้นส่งผลให้การย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใช้เวลานานในการทดสอบการย่อยสลายนานขึ้นก็จะสังเกตเห็นการย่อยสลายของโฟมได้ชัดเจนเพิ่มมากขึ้น

ลักษณะชิ้นงานหลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลายเป็นเวลา 3 เดือน ที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (A1) และมีการเติมเศษด้ายไหมจากวิธีการเตรียมแบบ A (A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7) และ B (B2 B3 B4 B5 B6 B7) แสดงดังรูปที่ 4.24



A1



A2



B2



A3



B3

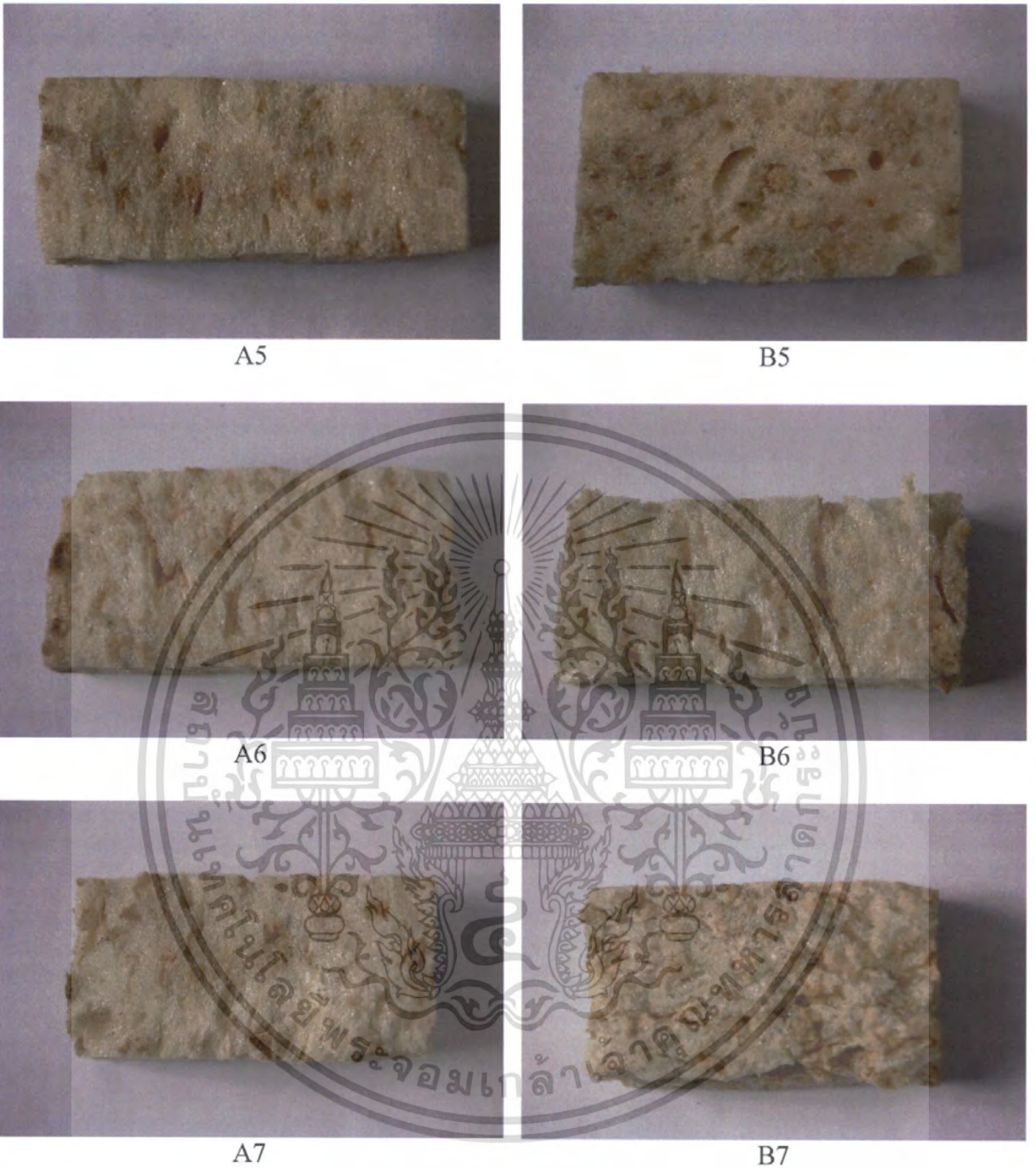


A4



B4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายลักษณะของชิ้นงานหลังฝังดิน 3 เดือน

จากรูปพบว่าไม่ว่าเตรียมโดยวิธี A หรือวิธี B การย่อยสลายจะคล้ายกัน ยังมีปริมาณเศษด้ายไหมมากจะมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานชัดเจนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยใช้เศษด้ายไหมเป็นสารตัวเติม เพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกที่สามารถย่อยสลายได้ โดยศึกษาผลของปริมาณเศษด้ายไหมและวิธีการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนด้วย 2 วิธีที่ต่างกัน และทำการเปรียบเทียบสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหมในปริมาณต่างๆกัน ที่เตรียมได้จากทั้ง 2 วิธีกับโฟมพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม โดยเปรียบเทียบกันในเรื่องของสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล รวมทั้งการวิเคราะห์เวลาฟูตัวของโฟม วิเคราะห์ทางสเปกโทรสโคปี วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโฟม วิเคราะห์ทางความร้อน และเรื่องของการย่อยสลายร่วมด้วย และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทก ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การตรวจวิเคราะห์ค่า cream time, gel time และ tack free time ของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (เวลาฟูตัว)

ค่าเวลา cream time, gel time และ tack free time จะน้อยเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหม 5 และ 10 กรัม นั่นคือปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็ว แต่เมื่อปริมาณเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้นจาก 15-30 กรัม ค่าเวลา cream time, gel time และ tack free time จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าเศษด้ายไหมสามารถดูดซับพอลิโอลและไอโซไซยาเนตได้มาก ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทนจึงใช้เวลานานขึ้น ซึ่งการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนแบบ A และแบบ B ให้ผลในทำนองเดียวกัน

2. การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งและเศษด้ายไหม

พบว่าขนาดรูพรุนและความเป็นระเบียบของโฟมพอลิยูรีเทนจะลดลงเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหมเพิ่มมากขึ้น ส่วนการกระจายตัวของเศษด้ายไหมจะมีการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้น โดยลักษณะรูพรุนของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากวิธี A และ B มีลักษณะเช่นเดียวกัน

3. การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

3.1 ความหนาแน่น

พบว่าความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน เมื่อเติมเศษด้ายไหมจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วง 5-15 กรัม และเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหม 20-30 กรัม เพราะเศษด้ายไหมจะไปแทนที่ส่วนของเนื้อโฟมทำให้มวลของชิ้นตัวอย่างต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยการเตรียมโฟมทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดูดซึมน้ำ

พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของโพลีเอทิลีนเททาเรอเมื่อเติมเศษด้ายไหมสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม เนื่องจากเศษด้ายไหมสามารถดูดซึมน้ำได้และขนาดรูพรุนของโพลีเอทิลีนเททาเรอที่ผสมเศษด้ายไหมมีขนาดเล็กและมีจำนวนรูพรุนมากขึ้น จึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งค่าแนวโน้มของการเตรียมทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลไปในลักษณะเดียวกัน

3.3 การรับแรงกดอัดสูงสุด

พบว่าโพลีเอทิลีนเททาเรอเมื่อเติมเศษด้ายไหมลงไป จะทำให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดมีค่าลดลงตามปริมาณเศษด้ายไหมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษด้ายไหมทำให้รูพรุนของชิ้นงานมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้การกระจายของแรงกดไม่สม่ำเสมอไปด้วยจึงรับแรงกดอัดได้น้อยลง ซึ่งการเตรียมโพลีเอทิลีนเททาเรอทั้งแบบ A และแบบ B ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน

3.4 ค่ามอดุลัสกดอัด

ค่ามอดุลัสกดอัดของโพลีเอทิลีนเททาเรอจะลดลงอย่างมากเมื่อเติมเศษด้ายไหม อันเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกันกับค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดของโพลีเอทิลีนเททาเรอ ดังที่กล่าวไปในข้างต้น

4. การตรวจวิเคราะห์ FTIR ของชิ้นงานโพลีเอทิลีนเททาเรอชนิดแข็งและเศษด้ายไหม

พบว่าจะปรากฏพีคที่ประมาณ 3385 cm^{-1} แสดง N-H stretching ของเศษด้ายไหมและโพลีเอทิลีนเททาเรอ ที่พีคประมาณ 1700 cm^{-1} แสดงหมู่ C=O ของเศษด้ายไหมและตำแหน่งของพันธะยูรีเทนในโพลีเอทิลีนเททาเรอ ซึ่งทั้งสองพีคนี้จะเป็นตำแหน่งของพีคหลักที่จะบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ทางเคมีของโพลีเอทิลีนเททาเรอและเศษด้ายไหม และพบพีคที่เลขคลื่น ประมาณ $1400\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ (C-O stretching) และที่เลขคลื่น $1125\text{ - }1012\text{ cm}^{-1}$ (C-N stretching) ซึ่งเป็นพีคที่แสดงเอกลักษณ์ทางเคมีของเศษด้ายไหมซึ่งจะชัดเจนมากเมื่อมีการเติมเศษด้ายไหม และที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1} สูตร A1 A2 A7 พีคจะมีลักษณะบอร์ดลง เมื่อมีการเติมเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสูตร A7 พีคจะบอร์ดลงจนมีลักษณะเดียวกับเศษด้ายไหม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจาก สูตร A7 มีการเติมเศษด้ายไหมมาก ทำให้เอกลักษณ์ทางเคมีของโพลีเอทิลีนเททาเรอสูตร A7 และเศษด้ายไหมมีความคล้ายคลึงกัน ส่วนการผสมแบบ B จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการผสมแบบ A

5. การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนของโพลีเอทิลีนเททาเรอชนิดแข็งและเศษด้ายไหมด้วย TGA

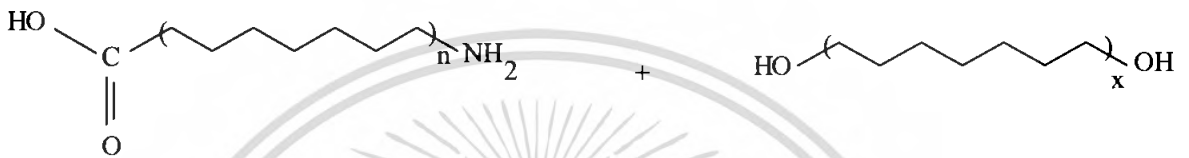
พบว่าเศษด้ายไหมจะมีขั้นตอนการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียว ส่วนโพลีเอทิลีนเททาเรอที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมจะมีการสลายตัวเป็น 2 ขั้นตอน ในกรณีการผสมแบบ A เมื่อมีการเติมปริมาณเศษด้ายไหมลงไปจะพบว่าโพลีเอทิลีนเททาเรอนั้นยังมีการสลายตัวเป็นสองขั้นตอนเหมือนเดิม แต่ในกรณีการผสมแบบ B ซึ่งนำเศษด้ายไหมผสมกับไอโซไซยาเนตก่อนแล้วจึงเติมพอลิเอทิลีนเททาเรอนั้น พบว่าเทอร์โมแกรมของสูตร B2 เมื่อเติมเศษด้ายไหม 5 กรัมไม่พบอุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 2 แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหม 30 กรัมโพลีเอทิลีนเททาเรอนั้นยังมีการสลายตัวเป็น 2 ขั้นตอนเช่นเดิม

ขอแจ้งให้ทราบว่าข้อมูลนี้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

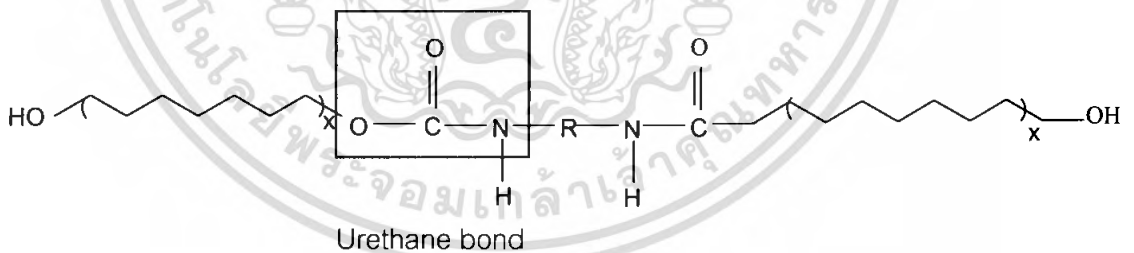
6. การทดสอบการย่อยสลายของโพลียูรีเทนชนิดแข็ง

พบว่า การเติมเศษด้ายใหม่จะทำให้โพลียูรีเทนเกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น โดยการย่อยสลายของโพลียูรีเทนนั้นหลักๆ ขึ้นกับปริมาณเศษด้ายใหม่ที่เติมลงไปคือปริมาณเศษด้ายใหม่มากยิ่งส่งผลให้การย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการทดสอบการย่อยสลายนานขึ้นก็จะสังเกตเห็นการย่อยสลายของโพลียูรีเทนชัดเจนเพิ่มมากขึ้น โดยการเตรียมโพลียูรีเทนทั้งสองวิธีให้ผลการทดสอบการย่อยสลายไปในทิศทางเดียวกัน แต่พบว่า การผสมแบบ B มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายมากกว่าแบบ A จากการทดลองทั้งหมดสรุปเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

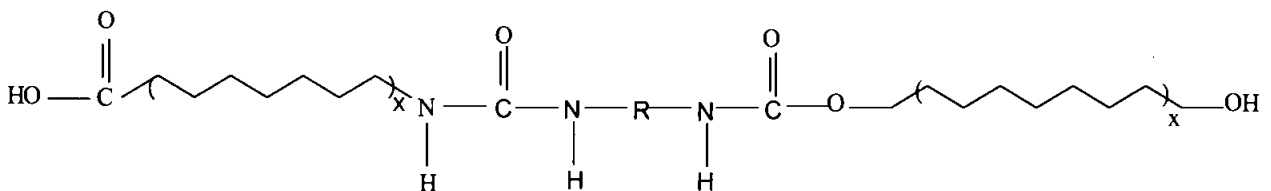
การผสมแบบ A (ผสมพอลิออลกับเศษด้ายใหม่ก่อน)



เกิดแบบที่ 1



เกิดแบบที่ 2

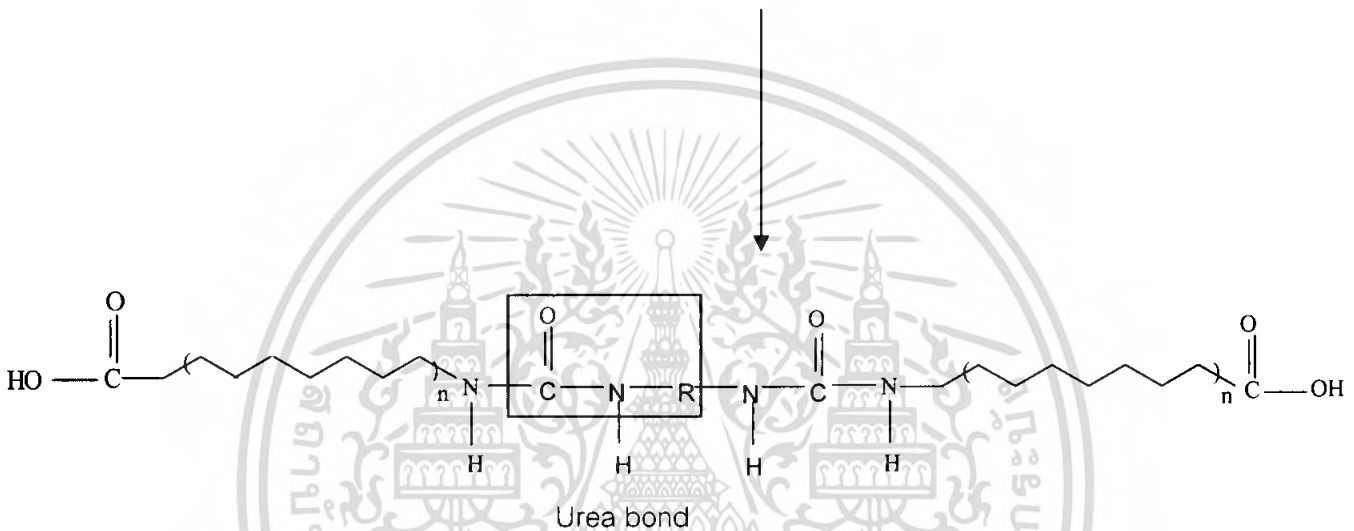
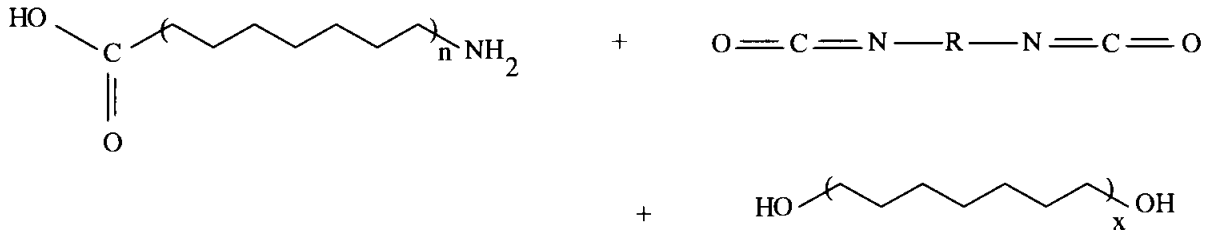


แต่โอกาสเกิดแบบที่ 1 มากกว่าแบบที่ 2 เนื่องจากพอลิออลและไอโซไซยาเนตเป็นของเหลวซึ่งมี

โอกาสที่จะผสมและเข้าทำปฏิกิริยากันได้ดีกว่าของเหลวกับของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมแบบ B (ผสมไอโซไซยานเตกับเศษด้ายไหมก่อน)



จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าหากต้องการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่ย่อยสลายได้สามารถใช้เศษด้ายไหมเป็นสารตัวเติมและสูตรที่น่าจะดีที่สุดคือสูตรที่มีการผสมเศษด้ายไหม 15-20 กรัม เพราะยังสามารถรับแรงกดได้ดีและย่อยสลายได้ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การนำชิ้นงานไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรมควรทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิค Reaction Injection Molding
2. ชิ้นงานที่เตรียมได้ไม่ควรใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในกรณีสูตรที่มีการเติมเศษด้ายไหมปริมาณมาก
3. อาจทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของพอลิฮีสโตอไอโซไซยานเตดูเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล
4. ในการตรวจวิเคราะห์ TGA และ FTIR ควรเลือกตัวอย่างในบริเวณที่มีทั้งเศษด้ายไหมและเนื้อโฟมมาทำการวิเคราะห์
5. ในการตรวจวิเคราะห์ SEM ควรเตรียมชิ้นงานด้วยการหักในไนโตรเจนเหลวจะช่วยรักษาโครงสร้างลักษณะรูพรุนได้ดีกว่าการใช้มีดตัด
6. การทดสอบการย่อยสลายอาจใช้การเพาะเลี้ยงเชื้อ โดยใช้จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ มาเป็นตัวทดสอบการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. วรัญญู อิศราธิกุล และ อรุณ ชิงห์. 2549. การเตรียมโพลีเอทิลีนไดออกไซด์โดยใช้เส้นใยจากกากกล้วยน้ำว้า เป็นสารเติมแต่ง. โครงการพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd168_e.html
3. <http://www.faiqaemmai.com>
4. http://www.doa.go.th/pl_data/SILK/1stat/st01.html
5. <http://www.thailandindustry.com>
6. ชิดชนก แจ่มหิรัญ และ สุรัญญา สิทธิศิริพร. 2548. การศึกษาผลของสารตัวเติมในโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ชนิดแข็งที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. โครงการพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. F.Scheinmann, An Introduction to spectroscopic methods for the identification of organic compounds volume 1, University of Salford Nuclear Magnetic Resonance and Infrared Spectroscopy, 167-191
8. F. Kawai. 1992 . Mechanisms of Bacterial Degradation of Polyethers and their copolymer . In M. Vert , J. Feigen , A. Albertson , G. Scott and E. Chiellieni (eds). Biodegradable of Polymer and Plastic. Cambridge. The Royal Society of Chemistry.
9. S.II Lee , S.Chang Yu and Y.Silk Lee. 2001. Degradable Polyurethane Containing Poly(butylenes succinate) and Poly(ethylene glycol). Polymer Degradation and Stability. 72:81-87.
10. D.S. Wales and B.F. Sagar. 1991. Effect of Structure on Susceptibility of Polyurethane to Biodegradation. In H.W. Rossmore (eds.) , Biodeterioration and Biodegradation. 8:241-248.
11. G.T. Howard. 2002. Biodegradation of Polyurethane:a review. International Biodeterioration and Biodegradation. 49:245-252.
12. S.J. Huang , M.S. Roby , C.A. Macri and J.A. Carmaron. 1992. The Effects of Structure and Morphology on the Degradation of Polymer with Multiple Groups. In M. Vert , J. Feigen , A. Albertson , G. Scott and E. Chiellieni (eds). Biodegradable of Polymer and Plastic. Cambridge. The Royal Society of Chemistry.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. H. Hatakeyama , S. Hirose , T. Hatakeyama , N. Kunio , K. Kobashigawa and N. Morohoahi. 1995. Biodegradable Polyurethane from Plant Components. In A. Albertson and S.J. Huang (eds.) , Degradable Polymers , Recycling and Plastic Waste Management.
14. P.J. Coppola and M. Conn. 1978. Semi-Rigid Polyurethane Foam Used in Packaging. U.S. Patent no. 4,087,389.
15. K. Gnamratanapaiboon, R. Ousomboon, A. Bamrungpol and C. Thongpin. Synthesis of Polyurethane Foam Containing Starch. Material Science and Engineering Department, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus, Nakornprathom, Thailand
16. A.K. Bledzki , W. Zhang , A. Chate. Natural-fiber-reinforce polyurethane microforms, Composites science and Technology. 2405-2402 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงค่า % น้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโพลีเอทิลีนชนิดแข็งสูตรต่างๆ เมื่อทดสอบการย่อยสลายแสดงดังนี้

สูตรที่ / เดือนที่	น้ำหนักก่อนฝัง (g)	น้ำหนักหลังฝัง (g)	น้ำหนักที่หายไป (g)	การย่อยสลาย (%)
A1/1	0.6316	0.6171	0.0143	2.26
A1/2	0.6471	0.6312	0.0158	2.44
A1/3	0.6458	0.5898	0.0162	2.51
A2/1	0.6196	0.6035	0.0161	2.72
A2/2	0.6188	0.6027	0.1661	2.61
A2/3	0.6511	0.6333	0.0178	2.73
A3/1	0.7711	0.7482	0.0228	2.95
A3/2	0.7849	0.7618	0.0231	2.95
A3/3	0.7313	0.7673	0.0241	3.03
A4/1	0.8843	0.8532	0.0311	3.52
A4/2	0.8187	0.7878	0.0309	3.77
A4/3	0.8171	0.7862	0.0309	3.78
A5/1	0.9168	0.8512	0.0656	7.15
A5/2	0.8772	0.8121	0.0652	7.43
A5/3	0.7789	0.7153	0.0636	8.16
A6/1	1.0621	0.9561	0.1001	9.98
A6/2	1.0567	0.9695	0.1072	10.14
A6/3	0.9626	0.8578	0.1048	10.88
A7/1	1.0009	0.9318	0.1191	11.81
A7/2	0.8973	0.7792	0.1181	13.16
A7/3	0.8704	0.8493	0.1211	13.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อ ตารางที่ 1 แสดงค่า % น้ำหนักของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ เมื่อทดสอบการย่อยสลาย

สูตรที่ / เดือนที่	น้ำหนักก่อนฝัง (g)	น้ำหนักหลังฝัง (g)	น้ำหนักที่หายไป (g)	การย่อยสลาย (%)
B2/1	0.6757	0.6757	0.0801	2.66
B2/2	0.6454	0.6454	0.0167	2.58
B2/3	0.6651	0.6471	0.0181	2.71
B3/1	0.6142	0.5951	0.0191	3.11
B3/2	0.6215	0.6003	0.0212	3.41
B3/3	0.5628	0.5376	0.0252	4.47
B4/1	0.6741	0.6357	0.0383	5.68
B4/2	0.6652	0.6254	0.0398	5.98
B4/3	0.6301	0.5889	0.0412	6.53
B5/1	0.7852	0.7241	0.0611	7.78
B5/2	0.7172	0.6551	0.0621	8.65
B5/3	0.6888	0.6291	0.0597	8.66
B6/1	0.8911	0.7808	0.1103	12.37
B6/2	0.8771	0.7642	0.1129	12.87
B6/3	0.8127	0.7061	0.1066	13.28
B7/1	0.8981	0.7778	0.1203	13.39
B7/2	0.7865	0.6786	0.1079	13.71
B7/3	0.7441	0.6328	0.1113	14.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของโพลียูรีเทน

Plastics	Coefficient of Linear Expansion, $10^6/^\circ\text{C}$	Water Absorbtion, Vol %	Density Rang, kg/m^3	Thermal Conductivity, W/m.K	Max Service Temperature, $^\circ\text{C}$	Compressive Strength, N/mm^2
Rigid Polyurethane	1370	10	32 - 640	0.016 - 0.024	148 - 176	172 - 210
Flexible Polyurethane	1650		22 - 320	0.032	107	

รูปที่ ก ถ่ายจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะทางกายภาพของโพลียูรีเทนชนิดแข็งก่อนฝังดิน



A1



A2

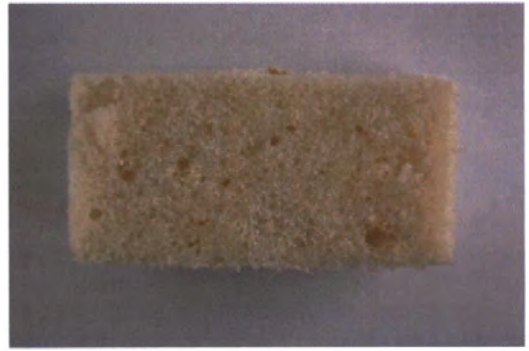


B2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A3



B3



A4



B4



A5



B5



A6



B6



A7



B7

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเศษด้ายไหม

$$\% \text{ความชื้นของเศษด้ายไหม} = \frac{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ}} \times 100$$

โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเศษด้ายไหมที่ใช้ในการขึ้นรูป เท่ากับ 0.0053 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้