

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

๒๓

การผลิตไมโครเซลดิสก์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากขวดพลาสติกเหลือทิ้ง
ชนิด High Impact Polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลัง



T107786

นางสาวจินดารัตน์ ว่องปฏิเวธ
นายณัฐพัฒน์ บุญรัตนพันธุ์

๒/๗
๑ ๔ ๕ ๗
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107786
วัน,เดือน,ปี..... 1 4 พ.ค. 2553

b. 12212489
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Production of Biodegradable Microcellular Foam From High Impact Polystyrene (HIPS)

waste and Tapioca Starch



**A special project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Buclelor of science Department of Chemistly
Fuculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตไมโครเซลล์ลูลาร์โพลีที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจาก
 ขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด High Impact Polystyrene (HIPS) และ
 แป้งมันสำปะหลัง

นักศึกษา นางสาวจินดารัตน์ ว่องปฏิเวธ
 นายณัฐพัฒน์ บุญรัตนพันธุ์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล	

.....
 (ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิต ไมโครเซลลูลาร์โฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด High Impact Polystyrene (HIPS) และ แป้งมันสำปะหลัง
นักศึกษา	นางสาวจินดารัตน์ ว่องปฏิเวธ นายณัฐวัฒน์ บุญรัตนพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์พิเศษศิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตโฟมที่ย่อยสลายได้จากขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด High Impact Polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีการเกิดโฟมทางกายภาพ ซึ่งอาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือวิกฤตเข้าไปในเนื้อโพลิเมอร์โดยตรง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก ทำให้ผลิตผลที่ได้จากการหมักมีคุณภาพดีขึ้น

ในการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด HIPS และแป้งมันสำปะหลัง เป็น 100/0 90/10 80/20 70/30 60/40 และ 50/50 ตามลำดับ โดยใช้ไดเอทิลีนไกลคอล ร้อยละ 5 ของแป้งมันสำปะหลัง ทำการผสมลงในเครื่องบราวเนเดอร์ กำหนดอุณหภูมิ คือ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบคือ 40 รอบต่อนาที นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นพอลิเมอร์ใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทำการย่ำ 5 ครั้ง จากนั้นหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที นำแผ่นพอลิเมอร์ที่ได้ไปเตรียมไมโครเซลลูลาร์โฟม ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์โฟม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวัดค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์โฟมที่เตรียมได้

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด HIPS ต่อแป้งมันสำปะหลังที่ให้ผลิตภัณฑ์โฟมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการหมักได้ดีที่สุด คือ ใช้ขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด HIPS ต่อแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50:50 และใช้ไดเอทิลีนไกลคอล ร้อยละ 5 ของแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความดัน 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลิตภัณฑ์โฟมที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.8 ไมโครเมตร และความหนาแน่นโฟมประมาณ 0.886 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

คำสำคัญ: ไมโครเซลลูลาร์โฟม, ขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด HIPS, แป้งมันสำปะหลัง

Report Title	Production of Biodegradable Microcellular Foam from High Impact Polystyrene Waste and Tapioca Starch
Name	Miss Jindarat Wongpatiwate Mr. Nuttapat Boonyarattapun
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2006
Special Project Adviser	Assoc.Prof.Dr.Nipon Wongvisetsirikul

Abstract

This special project was studied the of production biodegradable foam from high impact polystyrene waste and tapioca starch by physical foaming method in which supercritical carbon dioxide is directly dissolved into polymers matrix. This microcellular foam used in fermentation industry which increases quality of product.

In this experiment, the ratio of blending between high impact polystyrene waste and tapioca starch were varied 100/0 90/10 80/20 70/30 60/40 and 50/50, 5% by weight of tapioca diethylene glycol (DEG), was mixed in the blends. The biodegradable plastic was compound by Brabender which the optimum condition temperature starch 185 degree celcius and the rotor speed was 40 rpm. The biodegradable plastic sheet was produced by hot compression machine at temperature at 180 degree celcius for 2 minutes. repress 5 times and cooled down at 5 degree celcius for 1 minute. After that the microcellular foam was produced by foam forming machine at pressure 2000 and 3000 psi, the temperature 70 degree celcius for 1 hour. The foam morphology was performed by scanning electron microscope.

From the experiment found that suitable condition to produce biodegradable microcellular foam was high impact polystyrene was and tapioca starch ratio equal 50:50 using 5% DEG at temperature 70 degree celcius and pressure 3000 psi for 1 hour. The microcellular foam density was 0.886 g/cm^3 , while the average cell diameter was about $7.8 \text{ }\mu\text{m}$

Keywords: Microcellular Foam, High Impact Polystyrene Waste, Tapioca Starch

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษที่จะสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่าย ซึ่งต้องขอขอบคุณไว้ ณ
ที่นี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาช่วยแก้ไขปัญหาและเอา
ใจใส่ดูแลในโครงการพิเศษจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ อ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ อ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไข
โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่สถานปฏิบัติการโรงฝึกงาน
อุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้
ความกรุณาเอื้อเฟื้อ เครื่องขึ้นรูปไมโครเซลลูลาร์โฟม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพอย่างสูง ที่คอยเป็นกำลังใจและคอย
สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้มาตลอด ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ สาขาวิชาเคมีทรัพยากร
สิ่งแวดล้อมสำหรับคำแนะนำและกำลังใจที่แสนดี ที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้ได้สำเร็จ
ลุล่วง ทางผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

น.ส.จินดารัตน์ ว่องปฏิเวธ

นายณัฐพัฒน์ บุษบรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พลาสติก (Plastic)	3
2.2 พอลิโอสไตรีน	4
2.3 โฟม (Foam)	9
2.4 กลไกในการเกิดโฟม	10
2.5 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โฟม	10
2.6 ตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์	11
2.7 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ	13
2.8 สารตัวเติม (Fillers)	13
2.9 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง	16
2.10 การนำแป้งมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ	18
2.11 เทคโนโลยีการหมัก	18
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและสารที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 วิธีการทดลอง	23
3.4 การวิเคราะห์ผล	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	
4.1 ความหนาแน่น	29
4.2 ความเป็นรูปพรุนหรือจำนวนเซลล์	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างพอลิสไตรีน	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง high impact polystyrene	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด, (ข) เซลล์ปิด	9
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะมิโลส	17
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของดั่งหมักจุลินทรีย์	20
รูปที่ 3.1 เครื่องบราเบนเดอร์	23
รูปที่ 3.2 เครื่องตัดชิ้นงาน	24
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน	24
รูปที่ 3.4 (ก) เครื่องขึ้นรูปไมโครเซลลูลาร์โฟม	25
รูปที่ 3.4 (ข) เครื่องขึ้นรูปไมโครเซลลูลาร์โฟม	26
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์	26
รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	28
รูปที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นของ โฟมที่ใช้เป่ามันสำปะหลังร้อยละต่างๆ โดยน้ำหนักของพอลิสไตรีนเหลือทิ้ง กับ ไดเอทิลีน ไกลคอล ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของเป่ามันสำปะหลัง ที่ความดัน 2000 psi และ 3000 psi	29
รูปที่ 4.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์โฟมที่ใช้เป่ามันสำปะหลังร้อยละต่างๆ โดยน้ำหนักของพอลิสไตรีนเหลือทิ้ง กับ ไดเอทิลีน ไกลคอล ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของเป่ามันสำปะหลัง ที่ความดัน 2000 psi และ 3000 psi	30
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นผิวของ โฟมที่มีไม่มีเป่าเป็นส่วนผสม (เป่า 0%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า(ก) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi	32
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะพื้นผิวของ โฟมที่มีมีเป่าเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (เป่า 10%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ค) ความดัน 2000 psi (ง) ความดัน 3000 psi	33
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นผิวของ โฟมที่มีเป่าเป็นส่วนผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (เป่า 20%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (จ) ความดัน 2000 psi (ฉ) ความดัน 3000 psi	34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีแข็งเป็นส่วนผสมร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (แข็ง 30%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ข) ความดัน 2000 psi (ช) ความดัน 3000 psi	35
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีแข็งเป็นส่วนผสมร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (แข็ง 40%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ฅ) ความดัน 2000 psi (ฌ) ความดัน 3000 psi	36
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีแข็งเป็นส่วนผสมร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (แข็ง 50%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ฎ) ความดัน 2000 psi (ฏ) ความดัน 3000 psi	37



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติของ PS และ HIPS	6
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของ high impact polystyrene (HIPS) ชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมต่างๆระหว่าง พอลิสไตรีนเหลือทิ้งและแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ ไคเอทิลีน ไกคอล 5% ของแป้งมันสำปะหลัง	24
ตารางที่ ก.1 แสดงค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีน และแป้งมันสำปะหลังที่ความดัน 2000 psi ที่อัตราส่วนต่างๆ	42
ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีน และแป้งมันสำปะหลังที่ความดัน 3000 psi ที่อัตราส่วนต่างๆ	42
ตารางที่ ก.3 แสดงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีนและ แป้งมันสำปะหลังที่ความดัน 2000 และ 3000 psi ที่อัตราส่วนต่างๆ	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ด้วยสมบัติเด่นในด้านความคงทน น้ำหนักเบา และดัดแปลงเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงถูกนำมาใช้แทนวัสดุจากธรรมชาติเช่น ไม้ แก้ว และโลหะ เป็นต้น แต่ข้อเสียของพลาสติกคือ ยากต่อการย่อยสลายจึงทำให้ปริมาณของเสียพลาสติกที่ถูกทิ้งทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากแหล่งชุมชน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุที่พลาสติกสังเคราะห์จากพอลิเมอร์ ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้มี 2 ประการคือ

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี
2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวน้อย ส่งผลทำให้เอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจาก จุลินทรีย์ซึมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปสัมผัสกับผิวพลาสติกน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกย่อยสลายได้

วิธีการจัดการกับพลาสติกเหลือทิ้ง เช่น การเผา หรือการฝังกลบ เป็นวิธีการจัดการที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก การจัดการกับพลาสติกเหลือทิ้งที่เหมาะสมที่สุด คือการนำพลาสติกเหลือทิ้งกลับมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ (recycle) โดยวิธีการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งในปัจจุบันเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาการนำขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตไมโครเซลลูลาร์โฟมที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยใช้สารช่วยให้เกิดฟองทางกายภาพ (physical blowing agent) ซึ่งอาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤต จะได้โฟมที่มีขนาดรูพรุนเล็กระดับไมโครเมตร ผลิตภัณฑ์ไมโครเซลลูลาร์โฟมที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการหมัก (เอทานอล ซีอิ๊ว เป็นต้น)เพื่อเป็นที่ยึดเกาะและเป็นแหล่งอาหารสำหรับแบคทีเรีย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อศึกษาและทดลองการผลิตไมโครเซลลูโลสโพรที่สามารทย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลัง
3. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลังในการผลิตไมโครเซลลูโลสโพรเพื่อนำไปใช้กับอุตสาหกรรมนมหมัก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ เป็นการผลิตและศึกษาสมบัติ ของไมโครเซลลูโลสโพรที่ผลิตโดยเทคนิค super critical fluid CO₂ จากขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างพลาสติกเหลือทิ้งชนิด High Impact Polystyrene (HIPS) กับแป้งมันสำปะหลัง เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดและใช้ไดเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น เพื่อสามารถนำไมโครเซลลูโลสโพรไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมนมหมัก เป็นการเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ทำให้ผลิตผลที่ได้จากการหมักมีประสิทธิภาพดีขึ้น สมบัติที่ทำการศึกษาคือ ความหนาแน่น และสัณฐานวิทยาของโพร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตไมโครเซลลูโลสโพรที่สามารทย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมนมหมักจากขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลัง
2. สามารถลดปริมาณขยะพลาสติก ซึ่งเป็นการลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม
3. สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งมันสำปะหลัง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติก (Plastic)

พลาสติก หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้น ใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดก็แข็งตัวถาวร มีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า พานหระ ส่วนประกอบของเรือ หรือ รถยนต์

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากเซลลูโลส (cellulos) และสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ เป็นต้น

พลาสติกแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่ให้ความร้อนแล้วจะหลอมตัวกลายเป็นของเหลวได้

2.1.1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) เป็นพลาสติกชนิดอ่อน สีขาวขุ่น อ่อนตัวได้ ราคาไม่แพง ใช้ในท้องตลาดมากที่สุด เป็นฉนวนไฟฟ้า น้ำหนักเบาผลิตได้จากก๊าซเอทิลีน เช่น ถุงบรรจุอาหาร ตุ๊กตาเด็กเล่น ฟิล์ม และ ถาดทำน้ำแข็ง เป็นต้น

2.1.1.2 พอลิไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl Chloride) หรือ PVC ผลิตได้จากไวนิลคลอไรด์ โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถเป่าด้วยลมร้อน ให้ติดกันได้ทนต่อกรด แอลกอฮอล์ และพวกอัลคาไล PVC มีทั้งชนิดแข็งและอ่อน ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟ เสื้อกันฝน กระเบื้องยาง เบาะเก้าอี้ ข้อเสียของ PVC คือ ไม่ทนต่อความร้อน และแสงแดด

2.1.1.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นพลาสติกมีความใสเหมือนแก้ว ไม่มีสีและสามารถย้อมสีได้ เพราะ มีสมบัติทนกรด ด่าง และเกลือ ละลายได้ดีในตัวทำละลายพวก อินทรีย์ เป็นรอยขีดข่วนได้ง่าย ใช้ทำโฟม ไม้บรรทัดและแปรงสีฟัน เป็นต้น

2.1.1.4 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) ผลิตได้จากก๊าซโพรเพน ใช้ทำถุงพลาสติก ร้อน เชือกมัดของ และกล่องเบตเตอรี

2.1.1.5 ไนลอน (Nylon) เป็นพอลิเมอร์ที่ทนต่อต่าง กรด อินทรีย์และสารละลายอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่ทนต่อแสงแดด และความร้อน ใช้ทำผ้าร่ม อวน ใบริ้ว และเชือก เป็นต้น

2.1.1 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติก ที่ถูกความร้อนแล้วไม่อ่อนตัว ได้แก่

2.1.1.1 ฟีนอล – ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Phenolformaldehyde resin) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง phenol กับ formaldehyde ทำให้แข็งโดยใช้ความร้อนมีสมบัติ คือ แข็ง ทนต่อความร้อน ใช้ทำฉนวนไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

2.1.1.2 ยูเรีย - ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Urea formaldehyde resin) ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่าง formaldehyde กับ ยูเรีย เป็นพลาสติกที่แตกง่าย มีสีขาวใส สามารถย้อมเป็นสีต่างๆ ได้ ไม่ทนต่อกรด ด่าง และแรงกระแทก ใช้ทำกาวไม้อัด และทำปุ่มจับค้ำมือเป็นต้น

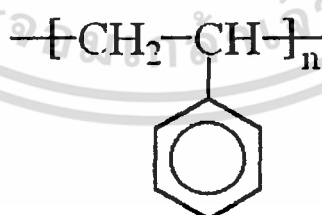
2.1.1.3 เมลามีน - ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน (Melamin formaldehyde Resin) เป็นปฏิกิริยาระหว่าง formaldehyde กับ Melamine ทนต่อความร้อน ทนต่อสารละลาย และแรงกระแทก และรอยขีดข่วนต่างๆ ใช้ทำพลาสติกที่มีราคาแพง และฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

2.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) [6]

พอลิสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะทั้งที่เป็นเม็ด เป็นผงและเป็นของเหลว เหมาะสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีต่างๆผลิตภัณฑ์ทั่วไป ได้แก่ ถ้วยจาน แก้วน้ำ ซ้อนส้อม กล่องบรรจุอาหารและผลไม้ ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ด้ามลูกอมขมเม็ดเล็ก ขวดหรือกรวยขวดใส่ยา ชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์และฉนวนความร้อน

ชื่อทางการค้า : Styron

สูตรโครงสร้างทางเคมี :



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของพอลิสไตรีน

สมบัติของพอลิสไตรีน :

- มีความใส มีความแข็ง แต่เปราะ แตกหักได้ง่าย
- น้ำหนักเบา ราคาถูก
- ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความใส ผิวเรียบ ใสสีเติมแต่งได้ง่าย และคงความโปร่งใส
- ทนทานต่อกรด ด่าง ฮาโลเจน ตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์
- ไม่ทนต่อสารไฮโดรคาร์บอนและตัวทำละลายอินทรีย์
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ไม่ดูดความชื้น เกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ทำให้ดูดฝุ่นละอองได้ดี
- การหดตัวสูงเมื่อเย็นตัว ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย
- ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก ผิวเสื่อมสภาพเร็ว ไม่ทนต่อการถูกขีดข่วน
- ความหนาแน่นประมาณ $1.05-1.07 \text{ g/cm}^3$
- มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ $50,000 - 200,000 \text{ g/mol}$
- ไม่ทนทานต่อความร้อนเพราะอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อยู่ที่ประมาณ $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- เชื้อต่อสารเคมี
- ทนทานต่อแรงดึงได้ดี
- สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งเปราะ

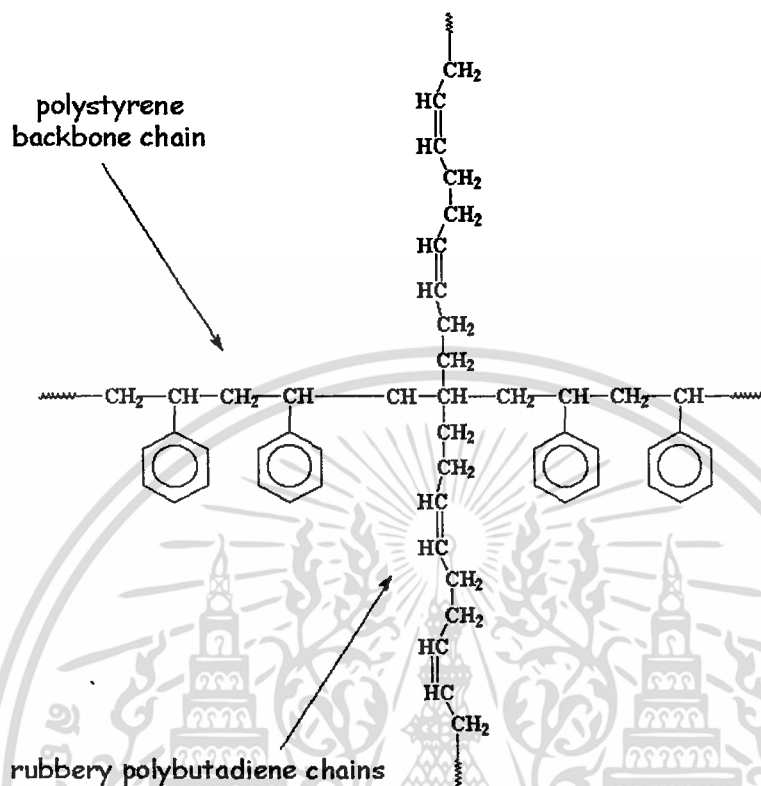
แม้ว่าพอลิสไตรีน (PS) จะมีสมบัติเด่นหลายอย่างเช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูง และรีไซเคิลได้ แต่มีข้อเสียคือ เปราะและทนต่อแรงกระแทกต่ำ จึงมีการพัฒนาและปรับปรุงพอลิสไตรีนให้เหนียวและทนทานต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยการเติมยางบิวทาไดอินลงในพอลิเมอร์เรียกว่าพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติของ PS และ HIPS

สมบัติ	PS	HIPS
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	3.5	1.6
ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดคราก (MPa)	-	17.15
ค่าการยืดตัวที่จุดคราก (%)	-	2
ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาด (MN/m ²)	54	21
ค่าการยืดตัวที่จุดขาด (%)	2.1	40
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (J/cm ²)	1	4.5
อุณหภูมิที่เกิดการเสีรูรูป (°C)	100	96
การส่งผ่านของแสง	ใส	ทึบแสง

2.2.1 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS)

การผสมยางกับพอลิสไตรีนในสัดส่วนร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทกของพอลิสไตรีนผสมได้เป็นอย่างดี โดยที่ยางทำหน้าที่เป็นสาร impact modifier ให้กับพอลิสไตรีนผสม นอกจากการผสมโดยตรงเพื่อเพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทกแล้ว การนำมอนอเมอร์บางชนิด เช่น บิวทาไดอีน อะครีโลไนไทรล์ เกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์เชชันกับสไตรีนมอนอเมอร์ จะได้โคพอลิเมอร์ เช่น ABS ที่มีความทนทานต่อแรงกระแทก โครงสร้างของพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกเป็นดังนี้



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง High Impact polystyrene

พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกนั้นเมื่อมีความหนาไม่มากจะมีความใสแต่เมื่อมีความหนาจะทึบแสง การนำไปใช้งานมักจะทำเป็นภาชนะบรรจุของเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของ high impact polystyrene (HIPS) ชนิด
ต่างๆ

Properties	HIPS Normal	HIPS UV	HIPS Stabilizer Fire retardant
Density (g/cm ³)	1.08	1.10	1.13
Surface hardness	RM30	RM30	RM30
Tensile strength (MPa)	42	40	28
Flexural modulus (GPa)	2.1	2.1	2
Notched izod (kJ/m ²)	0.1	0.08	0.06
Linear expansion (°C x 10 ⁻⁵)	7	7	12
Elongation at break (%)	1.5	5	2.5
Strain at yield (%)	1.8	1	0.9
Max. operating temperature (°C)	50	50	50
Water absorption (%)	0.2	0.2	0.3
Oxygen index (%)	18	18	28
Volume resistivity (log ohm.cm)	16	15	15
Dielectric strength (MV/m)	15	15	15
Dissipation factor 1kHz	0.0006	0.0006	0.0006
Dielectric constant 1kHz	2.8	2.8	2.8
HDT @ 0.45 MPa (°C)	85	85	95
HDT @ 1.80 MPa (°C)	75	75	85
Material. drying hrs @ (°C)	2@70	2@70	3@70
Melting temperature range (°C)	210-270	210-270	210-250
Mould shrinkage (%)	0.5	0.5	0.5
Mould temperature range (°C)	20-50	20-50	20-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โฟม (Foam) [1]

เซลล์าร์พลาสติกหรือพลาสติกโฟม หมายถึง พลาสติกที่ขยายตัวหรือพองฟูคล้ายฟองน้ำ โดยทั่วไปพลาสติกโฟมจะมีส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ภูมิภาค ได้แก่ ภูมิภาคที่เป็นพอลิเมอร์ของแข็ง และภูมิภาคแก๊ส ซึ่งเกิดขึ้นจากสารที่เรียกว่า สารช่วยให้เกิดฟอง (blowing agent) สำหรับภูมิภาคที่เป็นของแข็งนั้น อาจประกอบด้วยพอลิเมอร์หนึ่งชนิดหรือมากกว่า เช่น ในกรณีที่ผสมพอลิเมอร์สองชนิดเข้าด้วยกัน โฟมอาจมีลักษณะที่อ่อนนุ่ม หรือแข็งก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ว่าอยู่ในช่วงที่ต่ำ หรือสูงกว่า อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด, (ข) เซลล์ปิด

รูปร่างของเซลล์อาจเป็น เซลล์เปิดหรือเซลล์ปิด ดังรูปที่ 2.3 โฟมแบบเซลล์ปิด หมายถึงโฟมที่มีโพรงของเซลล์ ไม่ต่อถึงกัน เหมาะสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน และโดยทั่วไปจะมีลักษณะแข็ง ในขณะที่โฟมแบบเซลล์เปิด หมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลล์ต่อถึงกันจนทำให้แก๊สหรืออากาศหมุนเวียนถึงกันได้ เหมาะสำหรับทำเบาะที่นั่งในรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ ฉนวนกันเสียง การใช้งานอื่นๆที่มีลักษณะยืดหยุ่น ถ้าโฟมประกอบด้วยเซลล์ปิดและเปิดอยู่ด้วยกันเรียกว่าเซลล์ผสม โครงสร้างของเซลล์นี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของการทำให้เกิดฟองโฟมและชนิดของสารช่วยให้เกิดฟอง

โฟมพลาสติกที่ผลิตได้จะมีความหนาแน่นต่างๆแตกต่างกันมากมาย การประยุกต์ใช้งานของโฟมเหล่านี้จะพิจารณาจากช่วงความหนาแน่นของโฟมที่ผลิต เนื่องจากสมบัติเชิงกลจะมีสัดส่วนกับความหนาแน่นของโฟม ดังนั้น โฟมแบบแข็งเหมาะสำหรับทนรับแรงซึ่งต้องมีความหนาแน่นสูง มีการเสริมแรงโดยไฟเบอร์หรือจะต้องมีทั้งสองอย่าง ในขณะที่โฟมความหนาแน่นต่ำ

โดยทั่วไป จะใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เบาะที่นั่งในรถยนต์และ โฟมมีความหนาแน่นสูงกว่านี้จะใช้สำหรับแผ่นรองของพรม (carpet backing) และตัวดูดซับพลังงาน (energy-absorbing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลไกในการเกิดโฟม

การเกิดโฟมเป็นปรากฏการณ์การเกิดวัฏภาคใหม่ที่เกี่ยวข้องกับทางฟิสิกส์และทางเคมี เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์นั้น การเกิดวัฏภาคใหม่ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิดนิวเคลียส (nucleation) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในตัวเอง หรือจากสารอื่นที่แพร่เข้ามา พื้นฐานของการเกิดโฟมเกี่ยวข้องกับการเกิดนิวเคลียสของฟองแก๊ส (bubble nucleation) และการเจริญเติบโตของฟองแก๊ส (bubble growth) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นโฟม ซึ่งนิยามของโฟมที่ได้คือ เซลล์ของแก๊สที่กระจายตัวใน โครงสร้างของพอลิเมอร์

การเกิดโฟมมีหลักการสำคัญคือ โมเลกุลของแก๊สจะแพร่กระจายในวัฏภาคของพอลิเมอร์ และมีพลังงานเพียงพอ ที่จะเอาชนะแรงดันภายนอก เพื่อขยายขนาด จึงมองเห็น โฟมที่เกิดขึ้น มีลักษณะเป็นฟองฟองออกมา หากความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic instability) เกิดขึ้นมาก ก็จะไปกระตุ้นการเกิดนิวเคลียส ทำให้เกิดกลุ่มของฟองแก๊สจำนวนมาก ภายในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งวิธีการในการทำให้เกิดความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างเพียงพอ สำหรับการเกิดนิวเคลียสมี 2 วิธีการ คือ การลดความดันและการเพิ่มอุณหภูมิ พอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก มีการนำความร้อนที่ไม่ดีและจะสลายตัวที่ความร้อนสูง จึงนิยมใช้วิธีการลดความดันมากกว่า การเพิ่มอุณหภูมิ หากพิจารณาเป็นขั้นตอนการเกิดโฟมแล้ว กระบวนการเกิดโฟมประกอบด้วย ขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอนได้แก่

- 2.4.1. การเริ่มเกิดฟองแก๊ส (bubble initiation) หรือ การเกิดนิวเคลียส (nucleation)
- 2.4.2. การเจริญเติบโตของฟองแก๊ส (bubble growth)
- 2.4.3. การคงสภาพของโฟม (stabilization)

2.5 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไมโครเซลลูลาร์โฟม [8,9]

สำหรับไมโครเซลลูลาร์โฟมโดยทั่วไปขนาดจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมโครเมตร มีจำนวนเซลล์มาก และมักจะเป็นเซลล์ปิด ขนาดของเซลล์และความหนาแน่นไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเกรดของพอลิเมอร์ แต่ยังขึ้นกับสถานะของกระบวนการ โฟมด้วย เป็นโฟมที่มีรูพรุนหรือขนาดเซลล์เล็ก ระดับไมโครเมตร ไม่สามารถมองเห็นรูพรุนได้ด้วยตาเปล่า และเป็นชิ้นงานที่มีน้ำหนักเบา เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี แต่มีน้ำหนักเบา เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร ฉนวน เป็นต้น ซึ่งช่วยประหยัดต้นทุนสำหรับวัตถุดิบ

การผลิตโฟมด้วยเทคนิคการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในเนื้อพอลิไตรีน นั้น พบว่าความดัน และอุณหภูมิมีผลต่อโครงสร้าง ไมโครเซลลูลาร์โฟม คือ เมื่อทำการเพิ่มความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นจะเป็นสาเหตุให้จำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น และขนาดเซลล์ลดลง แต่เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ จำนวนเซลล์จะลดลง ขนาดของเซลล์จะใหญ่ขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากการละลายของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ

2.6 ตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์

การย่อยสลายที่เกิดกับพอลิเมอร์ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในลักษณะที่มีการแตกออกของโครงสร้าง หลังจากที่น่าพอลิเมอร์นั้นไปใช้งานแล้ว การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์มีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลสายโซ่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้สมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการสูญเสียตัวพลาสติกไซเซออร์ที่ผสมเข้าไว้ เนื่องจากการถูกความร้อนหรือแสงเหล่านี้เป็นต้น เราอาจแยกสาเหตุที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นตัวการทางด้านพลังงาน แบ่งออกเป็น

- พลังงานจากความร้อน
- พลังงานกล
- พลังงานจากรังสี

กลุ่มที่ 2 เป็นตัวการทางเคมี แบ่งออกเป็น

- การเกิดไฮโดรลิซิส
- การเกิดออกซิเดชัน
- การเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ

ตัวการแต่ละชนิดมีผลต่อการเกิดการย่อยสลายของพอลิเมอร์ ดังนี้

2.6.1. การย่อยสลายโดยความร้อน พอลิเมอร์ที่ใช้งานกับอุณหภูมิสูงๆ จะเกิดการย่อยสลายโดยสายโซ่โมเลกุลจะแตกออกหรือขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ลักษณะของการย่อยสลายอาจเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

- การย่อยสลายแบบสุ่ม (random degradation) มักเกิดกับพอลิเมโรเลฟินแบบควบแน่น การแตกออกของสายโซ่จะเกิดที่จุดใดๆ ก็ได้ในสายโซ่พอลิเมอร์ คือ มีโอกาสเกิดการแตกออกได้เท่าๆ กันทุกจุดไม่แน่นอน ส่วนที่เหลือจะยังคงใหญ่กว่ามอนอเมอร์

- ดีพอลิเมโรเลฟิน (depolymerization) หรืออาจเรียกว่า unzipping คือมอนอเมอร์จะหลุดออกครั้งละ 1 หน่วยจากสายโซ่โมเลกุล มักเกิดกับพอลิเมอร์ที่ได้จากพอลิเมโรเลฟินแบบรวมตัว

2.6.2 การย่อยสลายโดยพลังงานกล ในพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวๆ บางครั้งถ้าได้รับแรงกระทำจากภายนอกอาจทำให้เกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ตัวอย่างเช่น เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงกระทำด้วยอัตราการเลื่อนไหลสูงไม่ว่าจะอยู่ในสถานะสารละลายหรือของแข็งก็ตามทำให้เกิดการฉีกขาดได้

2.6.3 การย่อยสลายโดยพลังงานจากรังสี พอลิเมอร์ที่นำไปใช้ในงานส่วนมากจะต้องถูกแสงเกือบทั้งนั้น เพราะฉะนั้น โอกาสเกิดการย่อยสลายโดยพลังงานจากรังสีจึงมีมากทีเดียว รังสีดังกล่าวทำให้เกิดการเร้า (exciting) หรืออาจทำให้เกิดการอ็อกไนซ์ ซึ่งเรียกว่ารังสีพลังงานสูง กรณีแรกพลังงานที่เพียงพอที่จะเร้าให้อิเล็กตรอนย้ายไปอยู่ในออร์บิทัลใหม่ที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเดิม ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกออกของพันธะระหว่างอะตอม แต่ถ้าพลังงานสูงขึ้นจะทำให้มีโอกาสดเกิดการย้ายอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ทำให้เกิดการอ็อกไนซ์ได้เป็นอ็อกไนซ์

2.6.4. การย่อยสลายจากการเกิดไฮโดรลิซิส พอลิเมอร์ที่เกิดจากพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายได้โดยการไฮโดรไลซิส เช่น พอลิเอสเทอร์

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นถ้ามีกรด หรือเบส เอนไซม์ ก็เป็นตัวเร่งทำให้เกิดไฮโดรลิซิสด้วยเช่นกัน พวกพอลิ-เมอร์ประเภทอะตอมต่างชนิดกันในสายโซ่ เช่น พอลิอะซิเตต พอลิเอสเทอร์ และพอลิเอไมด์ จะถูกไฮโดรไลซิส ง่ายกว่าพอลิเมอร์ที่มีอะตอมชนิดเดียวกันในสายโซ่

2.6.5 การย่อยสลายจากการถูกออกซิไดซ์ การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์ซึ่งมีผลมาจากการถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน นับเป็นการย่อยสลายที่พบมากเช่นกัน แต่กลไกของการเกิดออกซิเดชันในพอลิเมอร์ค่อนข้างจะซับซ้อนมาก และเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ ส่วนใหญ่พบว่าออกซิเดชันที่เกิดในพอลิเมอร์พวกไฮโดรคาร์บอน เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และยาง จะมีกลไกที่แตกต่างกันไปในกระบวนการออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว การเกิดออกซิเดชันในพอลิเอทิลีน เนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ถ้าไม่ได้ถูกแสงจากดวงอาทิตย์จะเกิดออกซิเดชัน โดยออกซิเจนน้อยมาก ลักษณะที่ถูกออกซิไดซ์คือ ออกซิเจนจะสอดเข้าไปตรงระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับอะตอมของไฮโดรเจนให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์

ถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ อาจจะสลายตัวได้หมู่คาร์บอนิลกับน้ำ การเกิดออกซิเดชันลักษณะดังกล่าวนี้ไม่ทำให้เกิดการย่อยสลายภายในสายโซ่ เพียงแต่เกิดหมู่คีโตนขึ้นมาภายในสายโซ่โมเลกุล สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ความแข็งแรงจะลดน้อยลง ในกรณีที่ถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต ปฏิกิริยาจะซับซ้อนมากขึ้น และจะเกิดเรดิคอลทำให้สายโซ่จะถูกย่อยสลาย

2.7 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ [5]

การสลายตัวได้ในทางชีวภาพของพลาสติกมี 3 ลักษณะคือ

2.7.1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุน และต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2.7.2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป

2.7.3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นโดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตนและพอลิไฮดรอกซีบีวทีเรตอะคริเลต เป็นต้น

2.8 สารตัวเติม (Fillers)

คำว่า “ฟิลเลอร์” ปกติจะใช้กับสารเติมแต่งซึ่งเป็นของแข็งที่ใส่เข้าไปในพอลิเมอร์เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล สารตัวเติมที่ของแข็งอาจมีลักษณะ ดังนี้

2.8.1 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ด (Particulate filler) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ไชนาเคลย์ (china clay) ผงเขม่าดำ หรือคาร์บอนแบล็ค (carbon black) เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.8.1.1. สารตัวเติมไม่เสริมแรง (Inert filler) เป็นสารตัวเติมที่ใส่เข้าไปเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่าง ตัวอย่างเช่น ในพลาสติกไซต์พีวีซี การเติมสารตัวเติม ไม่เสริมแรงจะช่วยลดการบวมตัวที่หัวตาย (die swell) เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีด เพิ่มมอดูลัสและความแข็งแรง อาจทำให้มีพื้นผิวเพื่อการใส่สีต่างๆต่อไป ปรับปรุงสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า และลดการยึดเหนี่ยวติดกัน (tackiness) โดยทั่วๆ ไปใช้เป็นส่วนที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ไชนาเคลย์ ทัลค์ (talc) แบเรียมซัลเฟต (barium sulphate) โดยปกติสารตัวเติมนี้ไม่ละลายในของเหลวใดๆ สารตัวเติมแต่ละชนิดอาจมีได้หลายเกรด แตกต่างกัน เนื่องจาก

- ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย และการกระจายขนาดของอนุภาค เมื่อใช้สารตัวเติมในพอลิเมอร์พบว่า สารตัวเติมที่มีอนุภาคละเอียดจะให้สมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรงดึง (tensile strength) มอดูลัส ความแข็ง (hardness) ที่สูงขึ้น สำหรับอนุภาคที่หยาบจะทำให้ความแข็งแรงของสารประกอบต่ำกว่าสารประกอบที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม แต่ถ้าขนาดของอนุภาค

ละเอียดมากจนกระทั่งทำให้สมบัติที่กล่าวมาแล้วนี้สูงขึ้นมากปรากฏการณ์นี้จะเรียกว่าการเสริมแรง (reinforcement)

- รูปร่างของอนุภาคและความพรุน (Porosity) โดยรูปร่างของอนุภาคมีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ด้วยตัวอย่างเช่น อนุภาคของโซนาเคลย์มีลักษณะเป็นแผ่น มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติเป็น Anisotropic ส่วนอนุภาคของสารตัวเติมที่มีรูพรุนจะดูดซับสารตัวเติมอื่นๆ ไว้ทำให้สารตัวเติมที่ถูกดูดไว้ไร้ประสิทธิภาพ

- ธรรมชาติทางเคมีของผิวหน้า (Chemical nature of the surface) สารตัวเติมที่เป็นแร่ธาตุ (mineral filler) มักมีหมู่ที่มีขั้วอยู่บนผิว เช่น หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งทำให้เปียกน้ำได้ง่าย แต่ไม่เกาะติดกับพอลิเมอร์ การปรับปรุงให้สารตัวเติมเกาะติดกับพอลิเมอร์ได้ดีจำเป็นต้องบำบัด (treat) ผิวของสารตัวเติมเสียก่อน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตอาจถูกบำบัดด้วยกรดสเตียริก เพื่อให้หมู่ฟังก์ชันของกรดยึดติดกับอนุภาคของสารตัวเติม ขณะที่สายโซ่อะลิฟาติก สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้

- สารปนเปื้อน (Impurity) เช่น กรดทราไซ อีออนของพวกโลหะ สารปนเปื้อนที่มีอยู่ในสารตัวเติมซึ่งมาจากแร่ธาตุจะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์อย่างมาก กรดทราไซขนาดใหญ่จะเป็นจุดอ่อนอยู่ในเนื้อพลาสติก ทำให้พลาสติกแตกหักภายใต้ความเค้นได้ง่าย หรือถ้ามีเศษทองแดง แมงกานีส และเหล็กเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชัน ขณะที่ตะกั่วจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ที่อยู่ในสารเติมแต่ง หรือไอของซัลเฟอร์ ที่มีอยู่ในบรรยากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีขึ้น

2.8.1.2. สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) ใช้ได้ผลมากกับพวกอีลาสโตเมอร์ (แต่อาจใช้กับพลาสติกไซดส์พีวีซีซึ่งทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้น) สำหรับยางสะไตร์นบิวตะไดอิน (SBR) ที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว เมื่อผสมคาร์บอนแบล็คเข้าไปช่วยเสริมแรง ค่าความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเพิ่มค่ามอดุลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) อีกด้วย แต่เมื่อ ปริมาณคาร์บอนแบล็คมากเกินไป จะทำให้ปริมาตรของยางในคอมโพสิต (Composites) ลดลงซึ่งจะไม่สามารถที่จะยึดอนุภาคของสารตัวเติมไว้ได้ทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มน้อยลง สำหรับสารตัวเติมที่มีอนุภาคมีขนาดเท่าๆ กัน คาร์บอนแบล็คจัดเป็นสารตัวเติมที่มีอำนาจในการเสริมแรงสูงสุดแต่ผงซิลิกา (silica) สามารถใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่มีสีอื่นๆที่ไม่ใช่สีดำ ส่วนสารตัวเติมอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซิงก์ออกไซด์ และแคลเซียมซัลไฟด์ก็มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงได้บ้าง

2.8.2 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นยาง (Rubbery filler) มักใส่เข้าไปในเทอร์โมพลาสติก อสังฐานที่แข็งเปราะ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว (toughness) ตัวอย่างที่รู้จักดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือการเติมยาง SBR และพอลิบิวทอะไดอิน เข้าไปในพอลิสไตรีน ทำให้ได้พอลิสไตรีน ที่สามารถทนแรงกระแทกสูง ที่เรียกว่า HIPS (high impact polystyrene) หรือการใส่ยางบิวทอะไดอินอะครีโลไนไตรล์ในพีวีซี และการใช้ยางเอทิลีนพรอพิลีน ในพอลิพรอพิลีน เป็นต้น

2.8.3 สารตัวเติมที่เป็นเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin) เมื่อผสมยางเข้าไปในเรซินหรือวัสดุพลาสติก จะได้เรซินหรือพลาสติกผสมเข้าไปในยาง ตัวอย่างเช่น บิวทอะไดอินสไตรีนเรซินที่มีสไตรีน ไม่น้อยกว่า 50% สามารถนำไปผสมกับยางเพื่อทำเป็นพื้นรองเท้า และแปรงล้างรถ ฟีนอลิกเรซินมีความหนืดต่ำที่อุณหภูมิของการผลิตจะช่วยเพิ่มการไหลและความสามารถในการแปรรูปได้ ในระหว่างกระบวนการวัลคาไนเซชันพร้อมๆ กับเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แข็งแรงขึ้น

2.8.4 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous filler) สารตัวเติมชนิดนี้มีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว โดยใช้เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติและเส้นใยอินทรีย์สังเคราะห์สั้นๆ เช่น ไนลอน ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความทนทานต่อแรงกระแทก ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เส้นใยอินทรีย์ เช่น ใยหิน (asbestos) เส้นใยแก้ว (glass fiber) มักใช้กับทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ต้องการสมบัติด้านความคงทนต่อความร้อนและความแข็งแรง

สารตัวเติมจะถูกใช้ให้ได้ผลดีที่สุด เมื่อมีแรงยึดเกาะ (adhesion) ระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ วิธีที่นิยมใช้กันมานาน ได้แก่ การเคลือบผิวสารตัวเติมด้วยสารเคมีที่มีส่วนว่องไวต่อปฏิกิริยา 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะยึดกับสารตัวเติม อีกส่วนหนึ่งยึดกับพอลิเมอร์ ตัวอย่างที่รู้จักกันดี ได้แก่ การเคลือบเคลือบเชื่อมคาร์บอนด้วยกรดสเตียริก (เรียกเคลือบเชื่อมคาร์บอนที่เคลือบผิวนี้ว่า “activated whitening”) ซึ่งมักใช้กับยางไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ หรือการเคลือบผิวไซนาเคลือบด้วยสารพวกเอมีน

สารเคมีที่เพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติมนี้เรียกว่า สารคู่ควบ (coupling agent) โดยหลักการ คือ ด้านหนึ่งของสารคู่ควบจะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะโคเวเลนต์กับสารตัวเติม และเมื่อใส่สารตัวเติมซึ่งผ่านการเคลือบผิวแล้วเข้าไปในพอลิเมอร์ ปลายอีกด้านของสารคู่ควบจะเกิดพันธะเคมีกับพอลิเมอร์ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การใช้สารคู่ควบในผลิตภัณฑ์เส้นใยแก้วโดยการใช้ไวนิลไตรคลอโรซิลาน (vinyltrichlorosilane) ซึ่งเชื่อมกับเรซิน ของพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester resin) ที่หมู่ไวนิลที่ไม่อิ่มตัวเป็นต้น

2.9 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง [7]

- แป้ง (starch) เป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด

รูปร่างและขนาดของแป้งจะขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมาผลิต ซึ่งแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมทึบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 ไมโครเมตร

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปของการผลิต คือ การแยกเม็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน เกลือแร่ ทำให้บริสุทธิ์ โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยก แล้วอบแห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้ จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

แป้งสามารถจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยา วัคซีน และวัตถุดิบก่อสร้าง เป็นต้น คุณสมบัติของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดฟิล์ม คุณภาพสามารถควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายและราคาถูก

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

2.8.1 อะมิโลส (amylase)

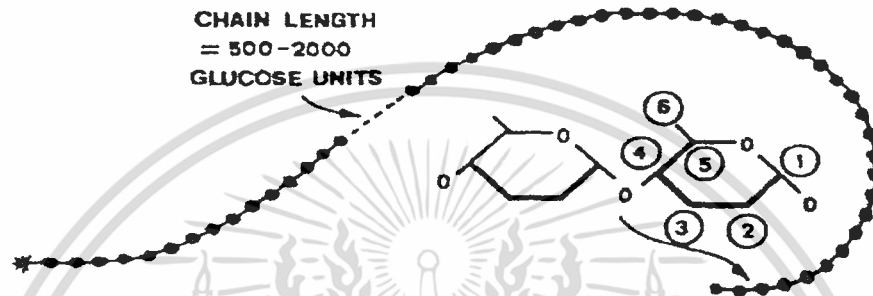
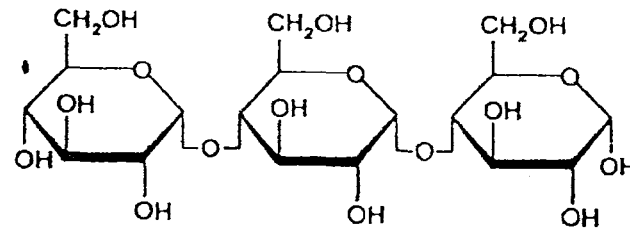
2.8.2 อะมิโลเพกติน (amylopectin)

2.8.3 สารตัวกลาง (intermediate material)

อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.4

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะมิโลส

อะมิโลสมีหมู่ไฮดรอกซีปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง

อะมิโลเพกติน

อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkage

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัว และการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

- แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัว และการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัว และการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

- แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำล้างการพองตัว และการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากและจะเกิดเจลลาทีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

- แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูง เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte)

2.10 การนำแป้งมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างมากมาย เช่น สารยึดติดสิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น การที่สามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความเหนียวขึ้นการเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดเป็นฟิล์ม แกรมยังมีราคาถูกและหาได้ง่าย นอกจากนั้นแป้งยังสามารถผสมกับพลาสติกเป็น “สารตัวเติม” เพื่อให้มีสมบัติในการย่อยสลายทางชีวภาพและยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อด้วย โดยปัจจุบันได้มีการทำโฟมพลาสติกจากแป้ง โฟมจากแป้ง เพื่อทำภาชนะใส่ของ ถ้วย ถาด เป็นต้น

2.11 เทคโนโลยีการหมัก (Fermentation Technology) [11]

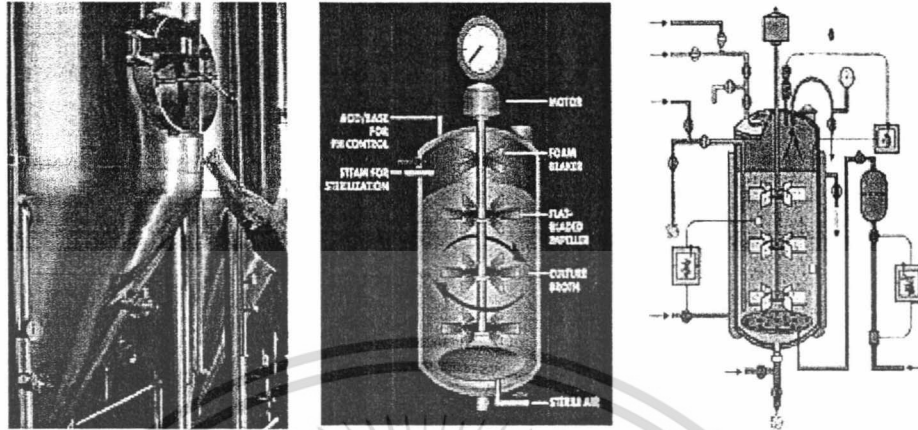
เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่นำเอาจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม โดยอาศัยการจัดการสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต และเอื้อให้จุลินทรีย์สร้างน้ำย่อยหรือเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้ สิ่งที่ต้องการจากกระบวนการ อาจเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์เอง (เช่น โปรตีนเซลล์เดียวที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน) หรือเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น (เช่น เอนไซม์ที่ใช้ผสมกับผงซักฟอกเพื่อกำจัดคราบไขมัน คราบโปรตีน) หรือผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นในสภาพแวดล้อมนั้นๆ (เช่น กรดซิตริก หรือกรดมะนาว) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมักในชีวิตประจำวันของเราเช่น เต้าเจี้ยวและซีอิ๊ว ที่ได้จากการหมักถั่วเหลืองและแป้งสาลีหรือแป้งข้าวเจ้า หรือแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเจ้า โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus oryzae* ไวน์ เบียร์ และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อื่นๆ ซึ่งได้จากการหมักผลไม้ ข้าว ด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำว่า “การหมัก” มาจากภาษาละติน คือ “Fervere” หมายถึงการเดือด (Boil) ซึ่งสื่อถึงลักษณะของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นในการหมักผลไม้และข้าวมอลต์โดยยีสต์ การที่น้ำหมักที่ได้มีลักษณะเป็นฟองเนื่องจากยีสต์ใช้น้ำตาลในผลไม้เป็นแหล่งอาหาร (แหล่งอาหารของยีสต์ นักวิชาการเรียกว่าแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน) ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้เองที่ทำให้หมักที่ได้มีลักษณะเป็นฟอง ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ได้ให้คำจำกัดความของการหมักกว้างขึ้น โดยเน้นว่าการหมักเป็นกระบวนการแปรสภาพทางชีวเคมีเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยกระบวนการดังกล่าวต้องอาศัยการผลิตเอนไซม์ของจุลินทรีย์

ขั้นตอนแรกเกี่ยวข้องกับการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ ให้บริสุทธิ์ การทดสอบคุณสมบัติและความสามารถด้านต่างๆ ของจุลินทรีย์ รวมถึงการดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อให้ได้จุลินทรีย์ที่มีลักษณะที่ต้องการ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยวิธีการที่เหมาะสมและจำเพาะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ จุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เมื่อได้จุลินทรีย์ที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนที่สองเป็นการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (inoculum) ซึ่งคือการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ให้แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอต่อการหมัก และการเตรียมวัตถุดิบ (raw Material หรือ substrate) ถำหรับนำมาถ้ำยลงในถังหมักเพื่อให้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ สำหรับภาชนะสำหรับเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดการหมัก เรียกว่า ถังหมัก (fermenter) หรือ ถังปฏิกรณ์ทางชีวภาพ (Bioreactor) สิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้ คือการปรับสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในปริมาณสูงในห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) โดยทั่วไปนิยมใช้ถังหมักขนาดเล็ก หรือในบางกรณีอาจใช้ขวดรูปชมพู่ หากขั้นตอนนี้ประสบความสำเร็จได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปริมาณสูง ก็ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนที่สาม เป็นการขยายถังหมัก และปรับปรุงกระบวนการผลิตในขนาดที่ใหญ่ขึ้นในระดับต้นแบบ (pilot scale) และขยายไปสู่กระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (large scale หรือ Industrial scale) ซึ่งถังหมักที่ใช้มีขนาดรูปร่าง วัสดุที่ใช้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน และผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปฏิกริยาระหว่างกระบวนการหมักค่อนข้างซับซ้อนและมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องได้แก่ ส่วนผสมต่างๆ สำหรับเลี้ยงจุลินทรีย์ และสภาวะในการหมัก เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง การให้อากาศ อัตราการไหลของสารเข้าสู่ถังหมัก เป็นต้น ขั้นตอนที่สี่ เป็นขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นและการทำให้บริสุทธิ์ วิธีการยุ่งยากซับซ้อนเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นยารักษาโรคต้องอาศัยวิธีการทำให้บริสุทธิ์มากกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างถังหมักจุลินทรีย์

กระบวนการหมักในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงในการควบคุมปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิต ตลอดจนการจัดการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเทคโนโลยีการหมักต้องอาศัยความรู้จากหลายสาขาวิชา ได้แก่ จุลชีววิทยา ชีวเคมี พันธุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เคมีฟิสิกส์ คอมพิวเตอร์ และเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำมาดำเนินการในการเลี้ยงจุลินทรีย์ในสภาวะที่เหมาะสม

พัฒนาการทางด้านอุตสาหกรรมหมักยังมีขอบเขตกว้างมากในอนาคต ถือเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีศักยภาพเปลี่ยนวัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นเป้าหมายหนึ่งในการพัฒนาประเทศ

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ.2542 D. Zuchowska, D. Hlavatae และคณะ [11] ทำการทดลองนำพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ หรือพอลิโพรพิลีนมาผสมกับแป้งในอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก นำพอลิเมอร์ผสมมาทดสอบมาฝั่งดิน 4 เดือน จากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% โดยน้ำหนักนาน 5 วัน พบว่า แป้งในพอลิเมอร์ผสมสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ในดินสมบัติเชิงกลลดลงและน้ำหนักลดลง

ปีพ.ศ.2547 ปรียวัชณ์ รักษ์สวย [4] ปรับปรุงคุณภาพพอลิยูทิลเทนโพลีสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพวงมาลัยรถยนต์ ศึกษาสถานะวิทยาของพอลิยูทิลเทนโพลี โดยฉีดพอลิยูทิลเทนโพลีลงในกระบอกแม่พิมพ์ เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดโพลีในแม่พิมพ์ พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ ตั้งแต่ 10 ถึง 80 องศาเซลเซียส พบว่าพอลิยูทิลเทนโพลีที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 130 ถึง 170 ไมโครเมตร และ 220 ถึง 230 ไมโครเมตรสำหรับผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านในและด้านนอก ตามลำดับ ความหนาแน่นของพอลิยูรีเทนโฟมมีค่าประมาณ 0.360 ถึง 0.400 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปีพ.ศ.2546 กมลรัตน์ สุนทรลาภ [1] ศึกษาการเตรียมโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับยางธรรมชาติโดยวิธีการเกิดโฟมทางกายภาพ (physical foaming method) อาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤตเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ผสมโดยตรง โดยมุ่งเน้นให้ได้เซลล์ที่มีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร ในลักษณะของไมโครเซลล์รูปร่างโฟม โดยพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โฟมที่ดีที่มีความหนาแน่น ของระดับไมโครเมตร และมีความละเอียดของเนื้อโฟมที่ดี ใช้เอทิลีนไวนิลอะซิเตทต่ออย่างธรรมชาติในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 ใช้สารเชื่อมโยงไดคลอริวเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมคือ 45 ถึง 55 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์โฟมที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 110 ถึง 150 ไมครอน และมีจำนวนเซลล์ประมาณ 1.45 ถึง 1.6×10^7 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของโฟมประมาณ 0.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปีพ.ศ.2547 ณัฐกานต์ นิลกำแหง [2] เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตโฟม ที่ผสมกับจำนวนเส้นใยแก้ว โดยวิธีการเกิดโฟมทางกายภาพ (physical foaming method) อาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤตเข้าไปในเนื้อพอลิพรอพิลีนโดยตรง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ถึง 5 ชั่วโมง ภายใต้ความ 10 และ 14 เมกกะพาสคา ตามลำดับ พบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 170 ถึง 200 ไมครอน และมีจำนวนเซลล์ประมาณ 1×10^{16} เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปีพ.ศ.2548 ปิยะชาย ศรีจันทร์ [3] ศึกษาการผลิตโฟมพลาสติกที่ย่อยสลายได้ โดยวิธีการเกิดโฟมทางกายภาพ (physical foaming method) อาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤต โดยนำแป้งมันสำปะหลังกราฟสไตรีนผสมกับแป้งมันสำปะหลังและไดเอทิลีนไกลอลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าแป้งมันสำปะหลัง กราฟสไตรีนผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 10 ต่อ 90 และ 5% ไดเอทิลีนไกลอล เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ความดัน 3,000 psi เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โฟมที่มีความหนาแน่น และมีความละเอียดของเนื้อโฟมที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารที่ใช้ในการทดลอง

1. แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch)
2. ขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS)
3. ไดเอทิลีน ไกคอล (Diethylene glycol,DEG)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโฟม (Foam forming machine)
2. เครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope,SEM)
4. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding machine) รุ่น LP 20: Labtech Engineering Co.,Ltd.
5. เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic densimeter) MD-2000S
6. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม (Electronic weight) 4 ตำแหน่ง รุ่น AE-200 รุ่น Mettler
7. เครื่องตัดพลาสติก (Granulator) บริษัท BOSCO Engineering
8. ภาชนะกึ่งนิยัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสาร

นำขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) มาล้างทำความสะอาด จากนั้นตากให้แห้งและนำเข้าเครื่องตัดพลาสติก

3.3.2 ขั้นตอนการผสม

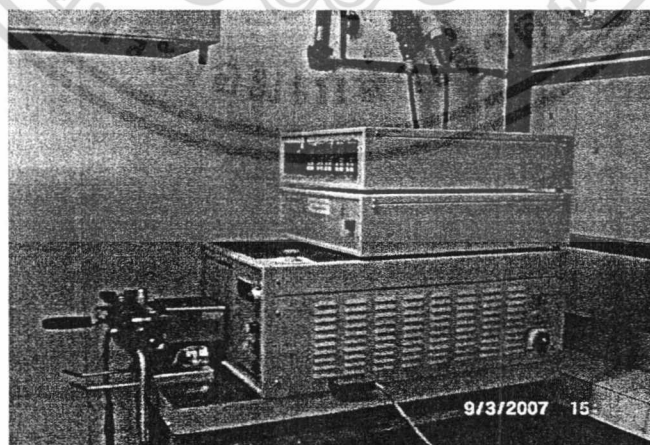
1. เปิดเครื่องบราเบนเดอร์โดยตั้งอุณหภูมิที่ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ คือ 40 รอบต่อนาที รอจนได้อุณหภูมิตามที่กำหนด

2. นำแป้งมันสำปะหลังในแต่ละอัตราส่วน ดังตาราง 3.1 ผสมกับ ไดเอทิลีน ไกลคอลเป็น สารช่วยผสม 5% ของแป้งคลุกเคล้าให้เข้ากัน เทขึ้นพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) ผสมกันในบีกเกอร์ตามอัตราส่วน ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 อัตราส่วนผสมต่างๆระหว่าง พลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ ไดเอทิลีน ไกลคอล 5% ของแป้งมันสำปะหลัง

ส่วนผสม	อัตราส่วน					
พอลิสไตรีนเหลือทิ้ง (กรัม)	100	90	80	70	60	50
แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	0	10	20	30	40	50
ไดเอทิลีน ไกลคอล (กรัม)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5

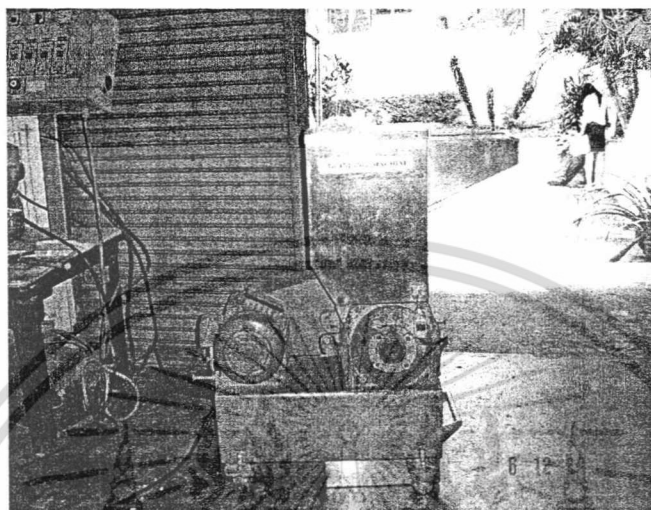
3. จากนั้นเทลงเครื่องบราเบนเดอร์ ใช้เวลาในการผสมประมาณ 20 นาที ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องบราเบนเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ออกจากเครื่องบราวนเดอร์
5. นำพอลิเมอร์ที่ผสมได้เข้าเครื่องตัดพลาสติก



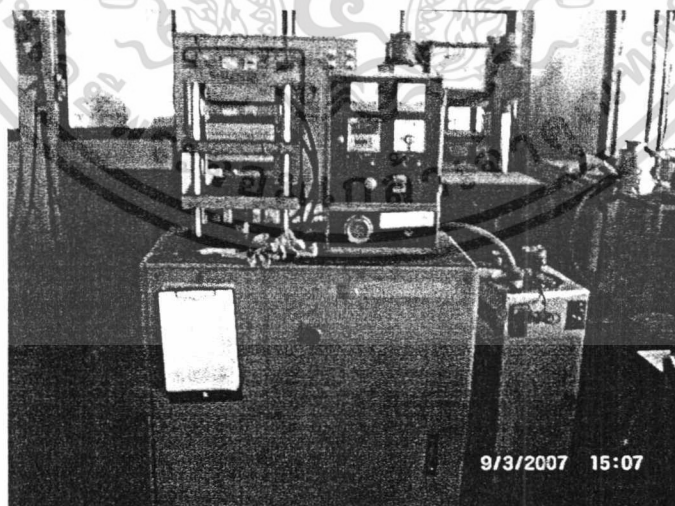
รูปที่ 3.2 เครื่องตัดพลาสติก

6. นำพลาสติกออกจากเครื่องตัดพลาสติก

3.3.3 การอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

1. ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมินำหล่อเย็นที่ 4

องศาเซลเซียส



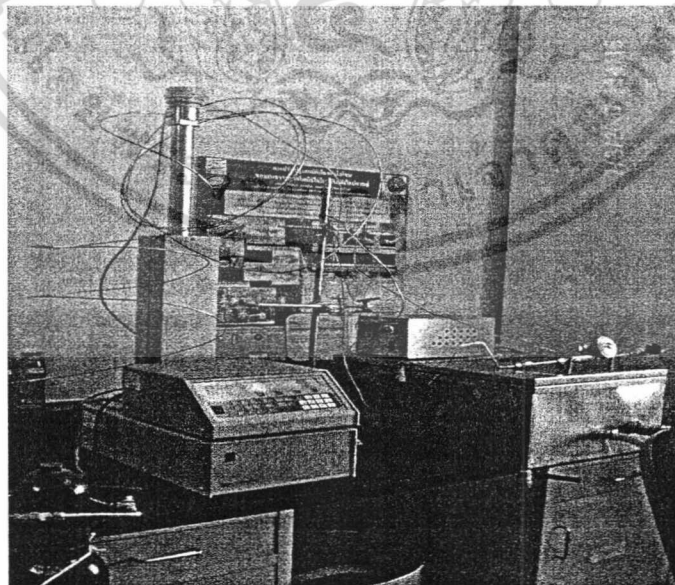
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทาซิลิโคนที่ผิวแม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ผสมติดแม่พิมพ์ อุ่นแม่พิมพ์โดยวางบนเครื่องอัด ย้ำ 5 ครั้งๆละ 2 นาที
3. วางพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากข้อ 2 ในช่องหล่อเย็น อัดเป็นเวลา 2 นาที
4. แกะพอลิเมอร์ผสมออกจากแม่พิมพ์

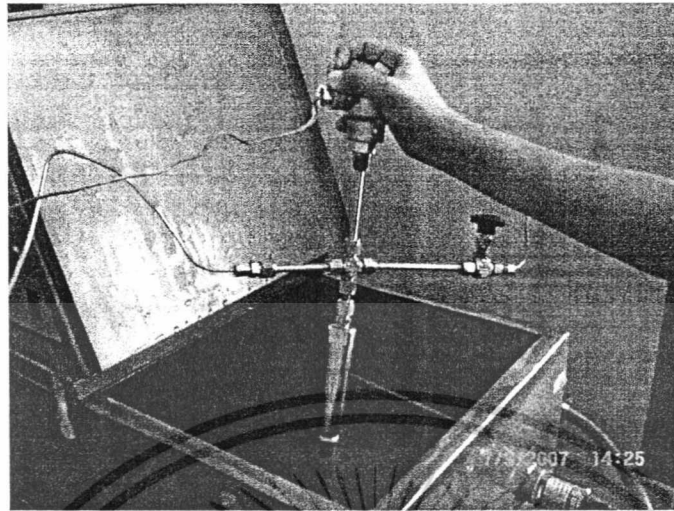
3.2.4 การเตรียมโฟม

1. ตัดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ให้มีขนาด กว้าง 0.2 × ยาว 1× หนา 0.2 เซนติเมตร ด้วยเลื่อย ใช้กระดาษทรายขัดให้เรียบ
2. ตั้งค่าเครื่องผลิตโฟมที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
3. เมื่ออุณหภูมิได้ 70 องศาเซลเซียส ใส่พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ลงในเครื่องผลิตโฟม 1 ชิ้น
4. ตั้งค่าความดันที่ 2000 psi
5. ไล่อากาศที่ยังค้างอยู่ในระบบ
6. ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์เข้าสู่เครื่องผลิตโฟม ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
7. ปิดเครื่อง ทำการไล่แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ค้างอยู่ออกให้หมดแล้วจึงนำโฟมออก
8. ทำการทดสอบเช่นเดิมโดยเปลี่ยนค่าความดันเป็น 3,000 psi



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) เครื่องผลิตโฟม

3.4 การวิเคราะห์ผล

3.4.1 ความหนาแน่นของโฟม



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ MD-200S ใช้หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes) เพื่อหาความหนาแน่นและกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำคือ 1 กรัมต่อลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นค่าอ้างอิง เครื่อง MD-200S สามารถวัดความหนาแน่นของวัตถุที่เป็นของแข็งและของเหลวได้ ยกเว้นวัตถุที่เป็นผงและของเหลวที่มีความหนืดสูง

วัตถุตัวอย่างที่นำมาทดสอบคือ โฟมที่เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีนกับแป้งมันสำปะหลัง โดยตัวกลางของเหลวคือน้ำ ก่อนที่จะทำการวัดค่า จะต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที ก่อนการใช้งาน เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิห้อง (20 องศาเซลเซียส)

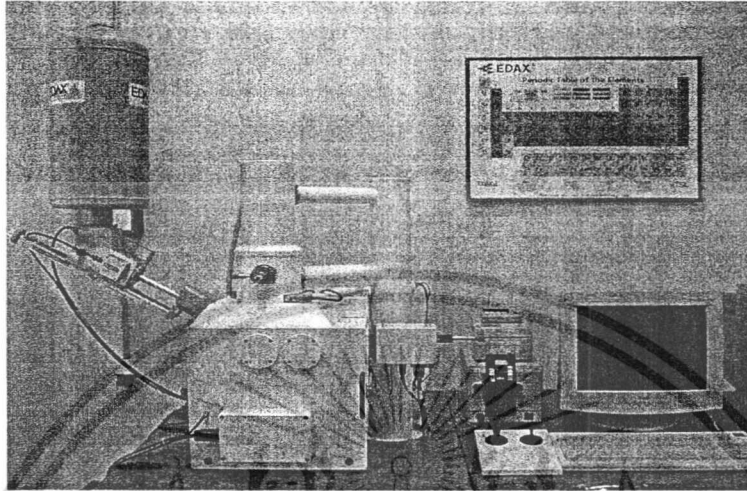
ขั้นตอนการใช้งาน

1. ตั้งค่าน้ำจอบแสดงผลให้เป็นศูนย์ (set zero)
2. ชั่งน้ำหนักของวัตถุตัวอย่างในอากาศขณะแห้ง กดปุ่ม memory เพื่อให้เครื่องบันทึกค่าไว้
3. ชั่งน้ำหนักของวัตถุตัวอย่างอีกครั้งในน้ำ (หากมีฟองอากาศเกาะอยู่ที่ชิ้น โฟมตัวอย่างพยายามกำจัดออก) กดปุ่ม memory เพื่อให้เครื่องคำนวณค่าความหนาแน่นของวัตถุตัวอย่าง
4. เครื่องจะแสดงค่าความหนาแน่นในหน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (สามารถเลือกให้แสดงผลเป็นปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เมตรได้ โดยการกดปุ่ม A)
5. นำวัตถุตัวอย่างออกจากเครื่อง

หมายเหตุ : ในการนำชิ้นโฟมตัวอย่างเข้าหรือออกจากเครื่องควรใช้คีมจับ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นออกมาทำความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สันฐานวิทยาของโฟม



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. เนื่องจากผลิตภัณฑ์โฟมที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มและเหนียว ดังนั้นการตัดตัวอย่างเพื่อถ่ายภาพตัดขวางของโฟม จึงต้องแช่โฟมตัวอย่างลงในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การแช่ไนโตรเจนเหลวจะช่วยให้โฟมแข็งและเปราะ สามารถแตกหักได้ง่าย จากนั้นทำการหักโฟมตัวอย่าง
2. ทำการเคลือบทองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้พลาสติกมีสมบัติในการนำไฟฟ้า
3. ศึกษาสันฐานวิทยาของโฟมกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

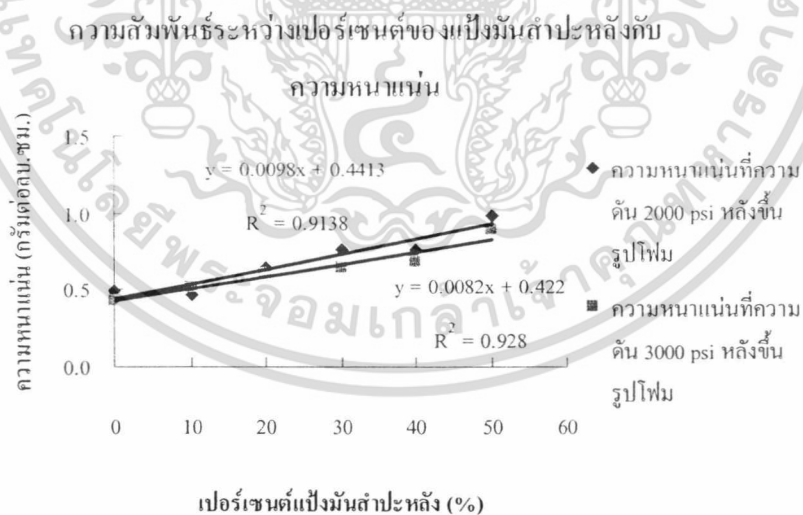
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

เนื่องจากในปัจจุบัน ไมโครเซลล์ลาร์โพลิเมอร์เป็นเทคโนโลยีใหม่ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาวัสดุให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยขนาดของไมโครเซลล์ลาร์โพลิเมอร์จะมีขนาดเล็กกว่าโพลิเมอร์ตามทั่วไปซึ่งขนาดที่ได้จะอยู่ในช่วงไมโครเมตร และความหนาแน่นของเซลล์โพลิเมอร์หนึ่งหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรจะมากกว่าโพลิเมอร์ทั่วไป งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมบัติของโพลิเมอร์ ได้แก่ ความหนาแน่น และความเป็นรูพรุนของไมโครเซลล์ลาร์โพลิเมอร์ที่ผลิตจากขบวนการอัดฉีดที่ high density polystyrene (HIPS) และแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลัง โดยอาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤติเป็นสารช่วยให้เกิดฟองโพลิเมอร์ โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลังร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ใช้ไดเอทิลีนไกลคอล 5% ของแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลัง โดยน้ำหนักภายใต้ความดัน 2000 psi และ 3000 psi ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

4.1 ความหนาแน่น



รูปที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลังร้อยละต่างๆ โดยน้ำหนักของขบวนการอัดฉีด (ยาคูลท์) กับ ไดเอทิลีนไกลคอล ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลัง ที่ความดัน 2000 psi และ 3000 psi

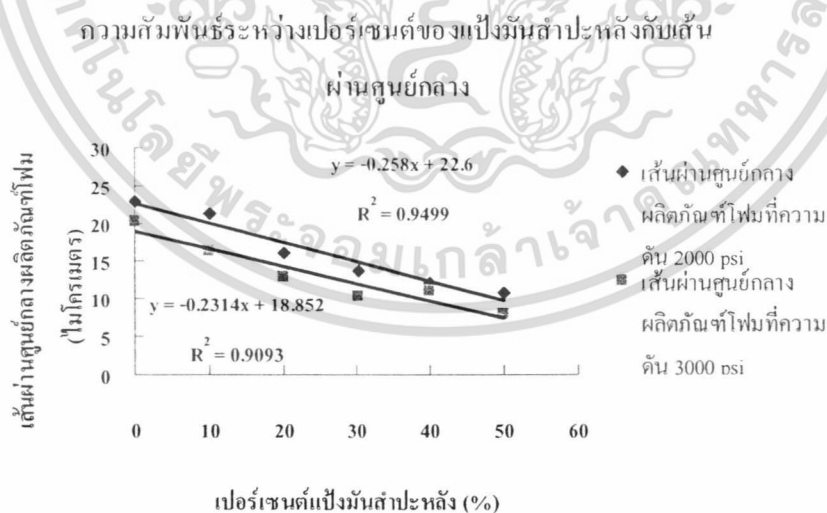
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณร้อยละของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นความหนาแน่นหลังโหมจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการแพร่ผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดได้ดีกับเนื้อพอลิเมอร์ซึ่งในที่นี้คือ พลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถแพร่ผ่านอนุภาคแป้งมันสำปะหลังอยู่ในวัฏภาคที่เป็นของแข็งได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น ปริมาณพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) จะน้อยลง ดังนั้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่ได้น้อยลง

4.2 ความเป็นรูพรุนหรือจำนวนเซลล์

จากการทดลองพบว่าโหมที่ผลิตได้ส่งดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อดูลักษณะพื้นผิวโหม พบว่าแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลังรวมตัวกัน ได้ไม่ดีกับเนื้อพลาสติกจะเห็นว่าเม็ดแป้งมันสำปะหลังกระจายตัวอยู่

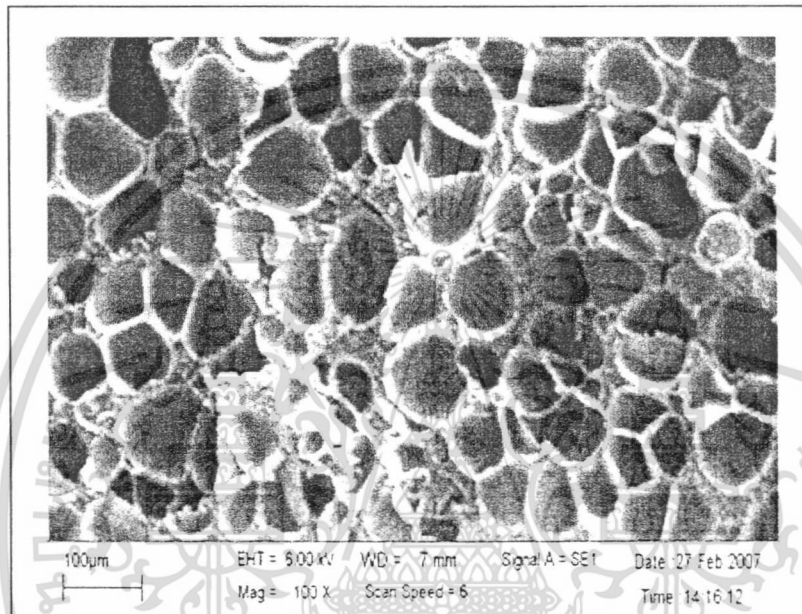
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าโหมที่มีปริมาณของแป้งมันสำปะหลังจะมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าโหมที่มีปริมาณของแป้งมันสำปะหลังต่ำ เพราะว่ามีปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการขยายตัวของพอลิเมอร์ลดลง หรือขนาดรูพรุนเล็กลง



รูปที่ 4.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์โหมที่ใช้แป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลังร้อยละต่างๆ โดยน้ำหนักของขบวนการเปรี๊ยว (ยาคุลท์) กับ ไคเอทีลิน ไกลคอลล ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลัง ที่ความดัน 2000 psi และ 3000 psi

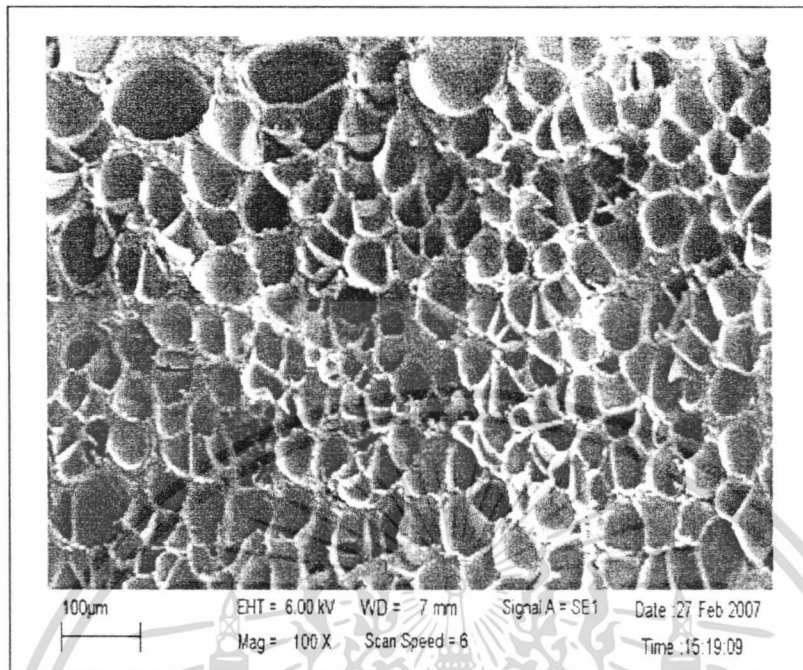
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอธิบายได้ว่า ความสามารถในการละลาย (solubility) ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อพอลิสไตรีนจะเป็นไปตามกฎเฮนรี (Henry's law) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากขึ้นจะสามารถเพิ่มค่าการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) ได้ นั่นคือที่ความดัน 3000 psi มีปริมาณเซลล์มากกว่าที่ความดัน 2000 psi ดังรูปที่ 4.3



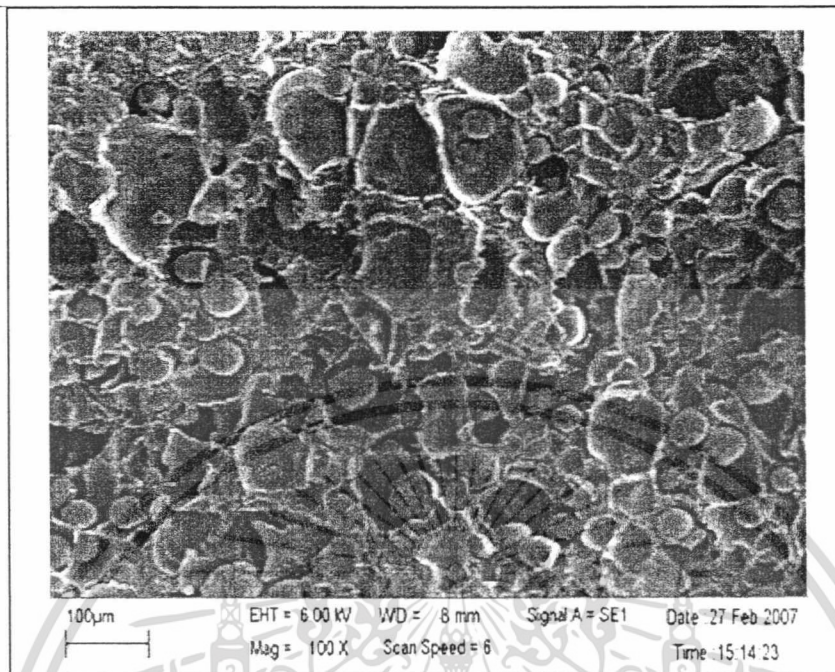
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

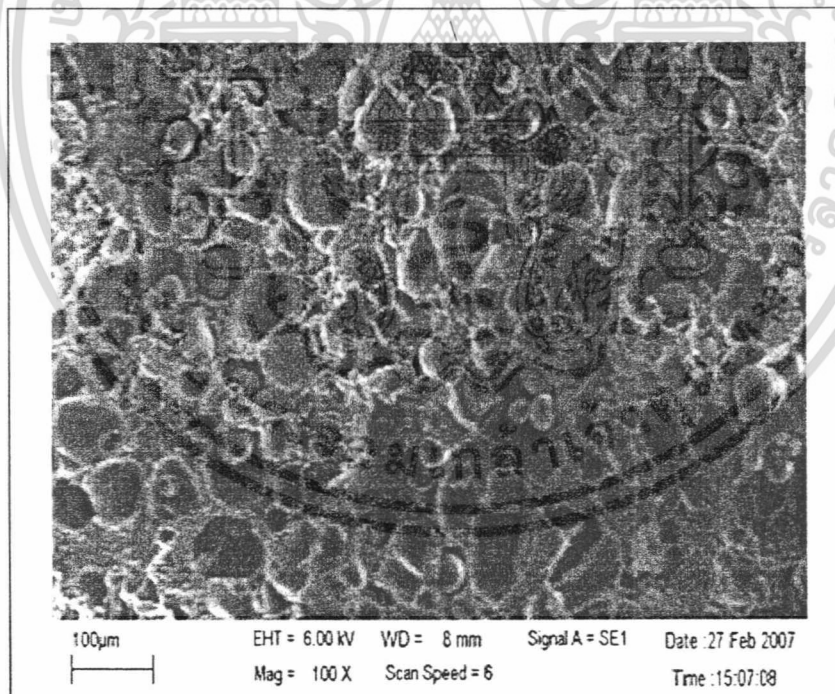


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นผิวของโพมที่ไม่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม (แป้งมันสำปะหลัง 0%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ก) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



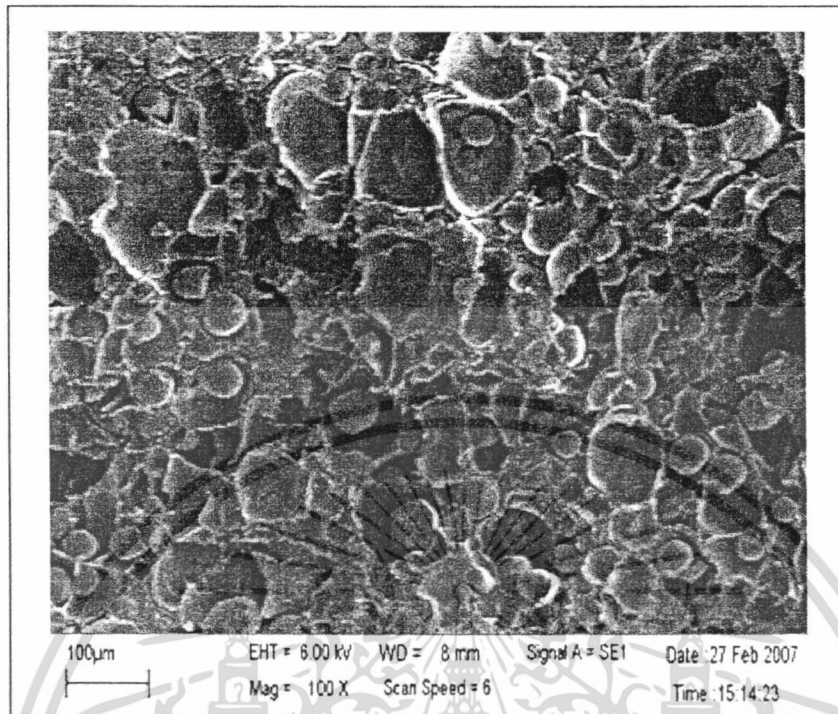
(ก)



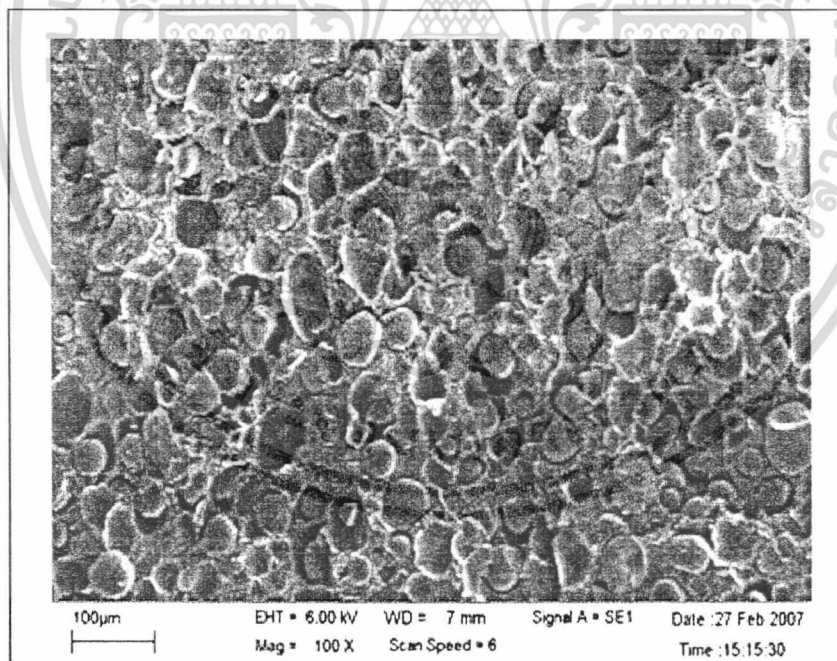
(ข)

รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีมีน้ำมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (น้ำมันสำปะหลัง 10%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ก) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



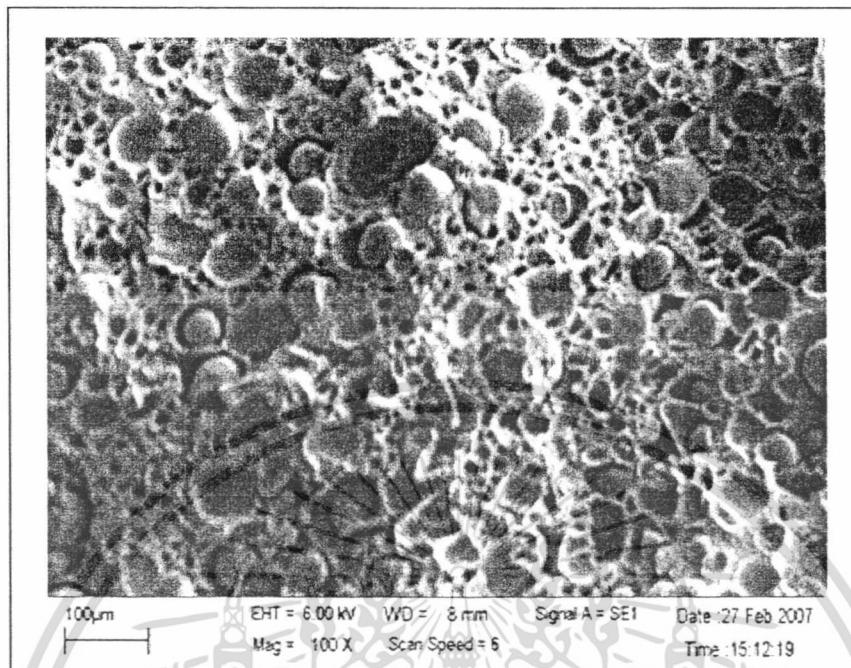
(จ)



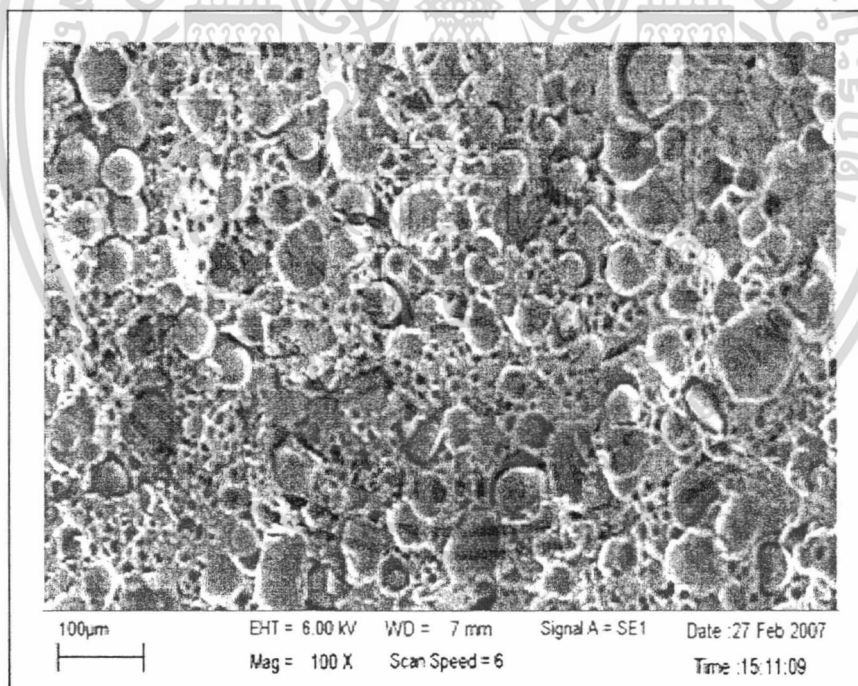
(ฉ)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีเป็งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (เป็งมันสำปะหลัง 20%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (จ) ความดัน 2000 psi (ฉ) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



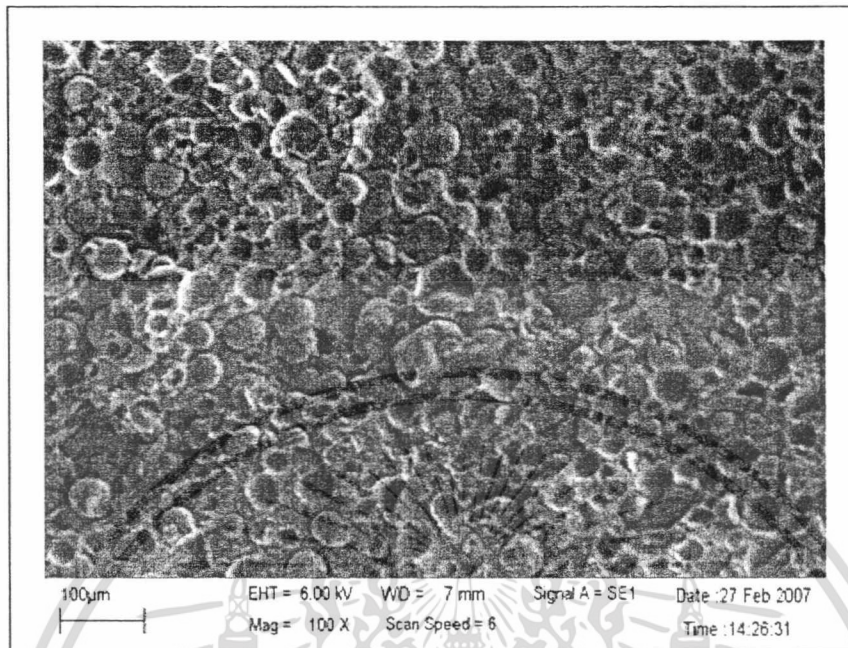
(ข)



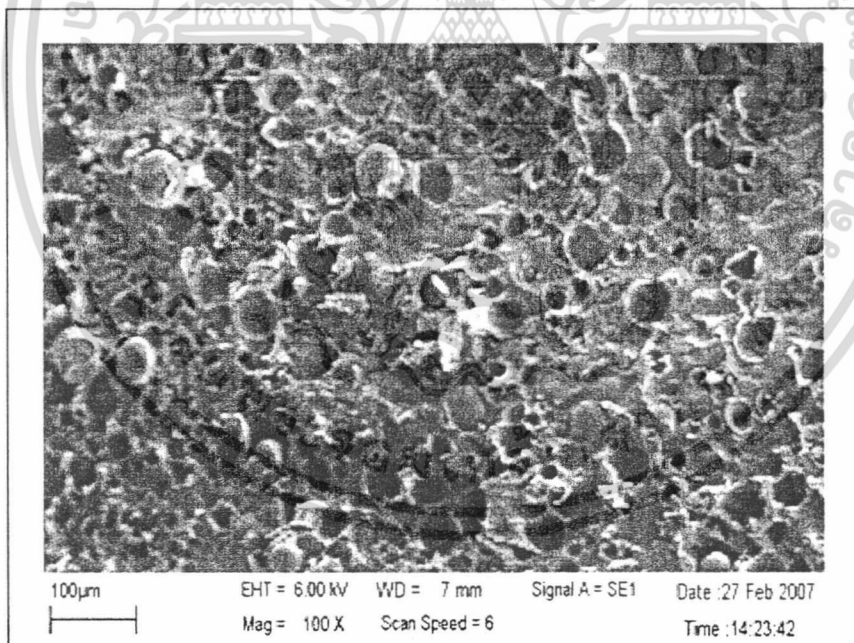
(ข)

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (แป้งมันสำปะหลัง 30%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ข) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



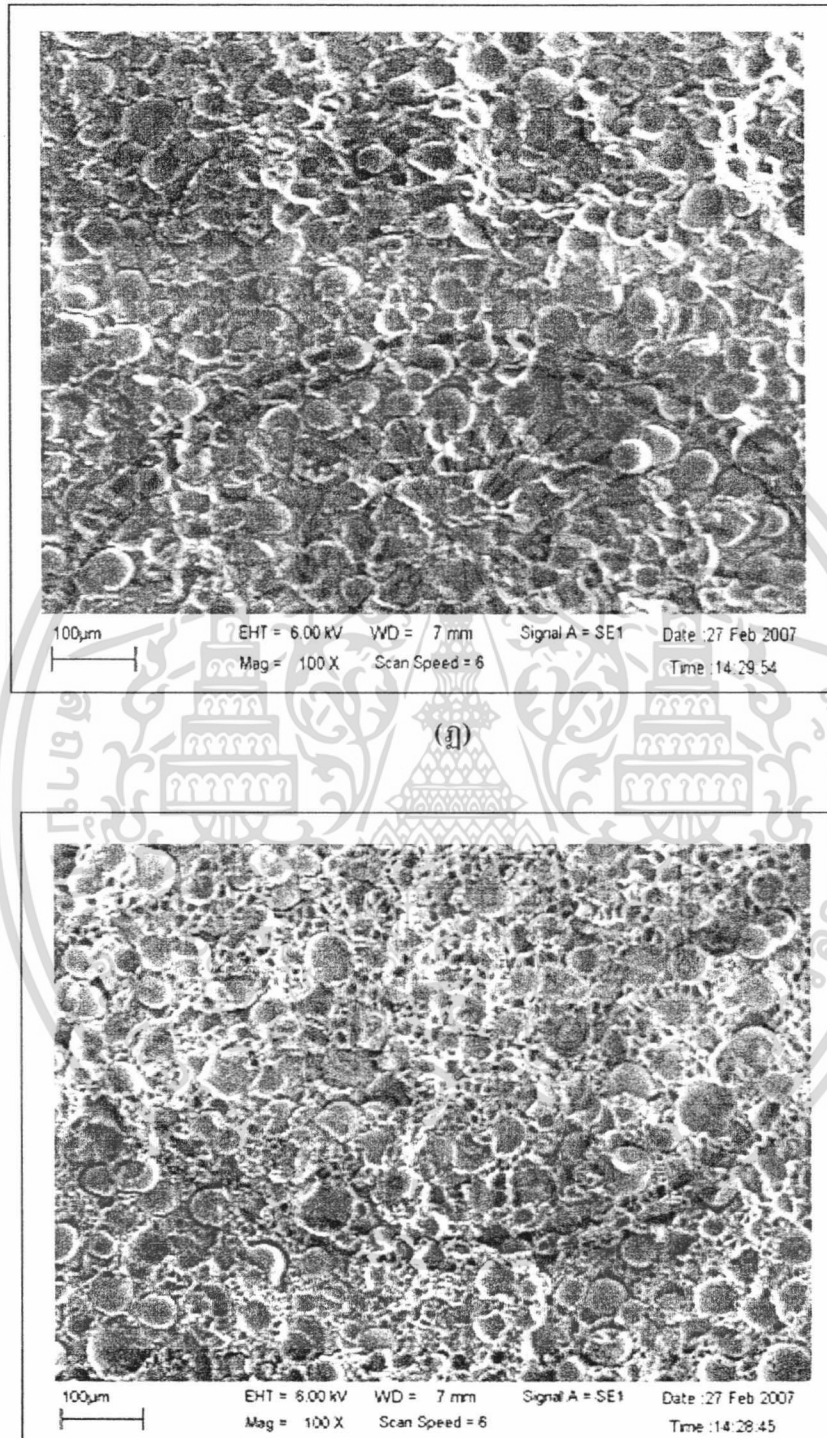
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีเป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (เป้งมันสำปะหลัง 40%) ที่กำลังขย 100 เท่า (ก) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมที่มีเป็งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (เป็งมันสำปะหลัง 50%) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ก) ความดัน 2000 psi (ข) ความดัน 3000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรุปที่ 4.3-4.8 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดไมโครเซลลูลาร์โฟมของขวดพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) ที่ความดัน 2000 psi จะน้อยกว่าบริเวณที่เกิดไมโครเซลลูลาร์โฟมของพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) ที่ความดัน 3000 psi ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น นั่นคือ

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 3000 psi จะมีความสามารถในการละลายได้มากกว่าที่ความดัน 2000 psi จึงทำให้ขนาดเซลล์เลดลง และจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high density polystyrene (HIPS) กับแป้งมันสำปะหลังมันสำปะหลังในการเกิดไมโครเซลลูลาร์โฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ 50:50 ใช้ไดเอทิลีนไกลคอล 5% ของแป้งมันสำปะหลัง พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไมโครเซลลูลาร์โฟมโดยเฉลี่ยคือ 7.8 ไมโครเมตร ที่ภาวะความดัน 3000 psi ซึ่งมีแป้งมากที่สุดเพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์และผลผลิตอื่นๆ ส่วนที่เป็นพลาสติกนั้นจะเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมบัติของไมโครเซลลูโลสโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ ความหนาแน่น และความเป็นรูพรุนของไมโครเซลลูโลสโฟมที่ผลิตจากพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene และแป้งมันสำปะหลัง โดยอาศัยการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะเหนือวิกฤติเป็นสารช่วยให้เกิดโฟม โดยอัตราส่วนแป้งร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีน โดยใช้ไดเอทิลีนไกลคอล 5% ของแป้งมันสำปะหลังโดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 2000 psi และ 3000 psi ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

5.1 ผลการทดลองสรุปผล

1. ความหนาแน่นของไมโครเซลลูโลสโฟม เมื่ออัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น พบว่าค่าความหนาแน่นของไมโครเซลลูโลสโฟมที่ได้ มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ดีกับเนื้อพอลิเมอร์ซึ่งในที่นี้คือ พลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่สามารถแพร่ผ่านแป้งมันสำปะหลังซึ่งอยู่ในวัฏภาคที่เป็นของแข็ง
2. ความดันที่เหมาะสมในการเกิดไมโครเซลลูโลสโฟม คือความดันที่ 3000 psi พบว่าความหนาแน่นของไมโครเซลลูโลส จะมิต่ำน้อยกว่าที่ความดัน 2000 psi และขนาดรูพรุนจะเล็ก และมีปริมาณของเซลล์ มีมากกว่าที่ความดัน 2000 psi ความสามารถในการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อพอลิสไตรีนจะเป็นไปตามกฎเฮนรี (Henry's law) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากขึ้นจะสามารถเพิ่มค่าการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene ได้มากขึ้น
3. อัตราส่วนผสมระหว่างพลาสติกเหลือทิ้งชนิด high impact polystyrene กับแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการเกิดไมโครเซลลูโลสโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ 50:50 ซึ่งเกิดรูพรุนที่มีจำนวนมากและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากโดยเฉลี่ยคือ 7.8 ไมโครเมตร เป็นอัตราส่วนที่มีแป้งผสมอยู่มากที่สุด ซึ่งเป็นส่วนที่จุลินทรีย์ในถังหมักจะสามารถนำไปใช้เป็นอาหารได้มากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มการศึกษาสมบัติทางกายภาพเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงาน
2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง ซึ่งจะช่วยให้พอลิเมอร์กับแป้งมันสำปะหลังเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น
3. เปลี่ยนชนิดของพลาสติกเป็นชนิดอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและเพิ่มทางเลือกในการรีไซเคิลพลาสติก ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่เป็นมลภาวะสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กมลรัตน์ สุนทรลาภ ., “ศึกษากการเตรียมโพลีเมอร์ผสมระหว่างเอทิลีนไวไนลอะซีเตทกับยางธรรมชาติ” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด
2. ณัฐกานต์ นิลกำแหง “เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตโพลีที่ผสมกับฉนวนเส้นใยแก้ว.” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546
3. ปิยะชาย ศรีจันทร์ “ศึกษากการผลิตโพลีพลาสติกที่ย่อยสลายได้”โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546
4. ปรีชวัฒน์ รักสวย., “ปรับปรุงคุณภาพพอลิยูทิลีนโพลีสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพวงมาลัยรถยนต์” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2547
5. ลลิตา บุญโถม.,”การผลิตวัสดุโพลีเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอสเลฟินและสาหร่ายแดง (*Garcilaria fisheri*)”โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.1999
6. วรวิทย์ โพชนิกกร., “การศึกษากการย่อยสลายพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ” วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2546
7. สุพจน์ เดชผล และเสริมศักดิ์ โกวินธนาพัฒน์., “การศึกษากการย่อยสลายพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในดิน”โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2546
8. Dai,X., Liu,Z., Yang,G.,Xu,J.,and Han,b.(2005),J. of Supercritical Fluids,33:259-267
9. Reverchon,E.and,Cardea,S.(2007), J. of Supercritical Fluids,40:144-152
10. Zuchowska,D.,(1999), Polymer Degradation and Stability,64: 215-228
- 11.<http://www.biotech.or.th/biotechnology-th/newsdetail.asp?id=1843>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตาราง

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าความหนาแน่นของไมโครเซลลูลาร์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีน และเป็งมันสำปะหลังที่ความดัน 2000 psi ที่อัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50

อัตราส่วน	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50
ความหนาแน่น ก่อนโฟม	1.036	1.086	1.116	1.145	1.186	1.193
	1.036	1.086	1.116	1.145	1.186	1.193
	1.035	1.086	1.116	1.146	1.186	1.193
Mean	1.035667	1.086	1.116	1.145333	1.186	1.193
SD	0.000577	0	0	0.000577	0	0
ความหนาแน่น หลังโฟม	0.388	0.533	0.693	0.724	0.744	0.914
	0.476	0.598	0.679	0.763	0.881	0.926
	0.494	0.464	0.625	0.769	0.769	0.977
Mean	0.452667	0.531667	0.665667	0.752	0.798	0.939
SD	0.056722	0.06701	0.035907	0.024434	0.072959	0.033451

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีน และเป็งมันสำปะหลังที่ความดัน 3000 psi ที่อัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50

อัตราส่วน	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
ความหนาแน่น ก่อนโฟม	1.036	1.086	1.116	1.145	1.186	1.193
	1.036	1.086	1.116	1.145	1.186	1.193
	1.035	1.086	1.116	1.146	1.186	1.193
Mean	1.035667	1.086	1.116	1.145333	1.186	1.193
SD	0.000577	0	0	0.000577	0	0
ความหนาแน่น หลังโฟม	0.413	0.455	0.650	0.656	0.649	0.902
	0.43	0.556	0.644	0.657	0.710	0.864
	0.423	0.513	0.613	0.644	0.684	0.891
Mean	0.422	0.508	0.635667	0.658667	0.681	0.885667
SD	0.008544	0.050685	0.019858	0.016166	0.03061	0.019553

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกเหลือทิ้งพอลิสไตรีนและ
 แป้งมันสำปะหลังที่ความดัน 2000 และ 3000 psi ที่อัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10
 ,80 : 20 ,70 : 30 ,60 : 40 ,50 : 50

ความดัน	จำนวนครั้ง	อัตราส่วน					
		100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
2000psi	ครั้งที่1	22.2	21.4	13.6	13.7	11.9	11.0
	ครั้งที่2	23.0	21.7	17.9	14.0	12.9	10.8
	ครั้งที่3	23.1	21.1	16.5	13.7	11.9	10.4
	ค่าเฉลี่ย	22.8	21.4	16.0	13.8	12.2	10.7
	SD	0.5	0.3	2.2	0.2	0.6	0.3
3000psi	ครั้งที่1	18.6	14.2	12.7	9.9	11.0	9.2
	ครั้งที่2	20.6	15.8	11.8	9.9	11.0	8.2
	ครั้งที่3	21.6	18.8	13.9	10.9	11.0	6.1
	ค่าเฉลี่ย	20.3	16.3	12.8	10.2	11.0	7.8
	SD	1.5	2.3	1.1	0.6	0.0	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้