สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5 เล่ม

การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติของไทย

T107739

นางสาวชัฌชา ธนพรจรัส
นางสาวปารณีย์ จรรยา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107739
วัน,เดือน,ปี.....10 พ.ค. 2553

b.12210717
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of Tapioca Starch as Thai natural resource

Miss Chatcha Tanaponjarus

Miss Parane Janya

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษเรื่อง การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติของไทย

นักศึกษา นางสาว ชัฌชา ธนพรจรัส

นางสาว ปารณีย์ จรรยา

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี **คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต**

	คณะกรรมการตรวจสอบ		**ลายมือชื่อ**
ประธานกรรมการ	รศ.อรุณี	คงศักดิ์ไพศาล	.....
กรรมการ	อ.พรทิพย์	ศัพทอนันต์	.....
กรรมการ	รศ.ดร.นิพนธ์	วงศ์วิเศษสิริกุล	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษเรื่อง การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติของไทย

นักศึกษา นางสาว ชัฌชา ธนพรจรัส

นางสาว ปารณีย์ จรรยา

ภาควิชา **เคมี**

คณะ **วิทยาศาสตร์**

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยสังเคราะห์แป้งกราฟท์สไตรีนบิวทิลอะคริเลตจากแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นนำไปผสมกับพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและเติมไดเอทิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆแล้วนำไปขึ้นโฟมโดยใช้ซูเปอร์คริติคอลคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผสมแป้งกราฟท์สไตรีนบิวทิลอะคริเลตและพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยใช้เครื่องผสมอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว คือ อุณหภูมิบริเวณหัวฉีด ช่วงที่1 ช่วงที่2 และช่วงที่3 เท่ากับ 170 , 160 , 150 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการขึ้นโฟมด้วยเครื่องขึ้นโฟมความดันสูงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าอัตราส่วนที่ดีสุดในการขึ้นรูปโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ผลิตได้จากแป้งกราฟท์สไตรีนและบิวทิลอะคริเลตผสมกับพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วอัตราส่วน 10 : 90 และใช้ไดเอทิลีนไกคอล 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้สภาวะในการขึ้นรูปโฟม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Utilization of Tapioca Starch as Thai natural resource

Name Miss Chatcha Tanaponjaras

Miss Parane Janya

Departrment Chemistry

Programs Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2005

Special Project Advisor Assoc.Prof .Dr.Nipon Wongvisetsirikul

ABSTRACT

This special project is to study the utilization of tapioca starch as Thai natural resource for the production of biodegradable plastic foam. Biodegradable plastic was obtained from styrene butyl acrylate graft tapioca starch compounding with polystyrene plastic waste in difference ratio and adding difference amount of diethylene glycol. The microcellular biodegradable plastic foam was produced by super critical CO_2 which physical method of foam production.

From experiment, the compounding by used single screw extruder, the optimum temperature of the nozzle, zone1, zone2, zone3 were 170, 160, 150, 140 degree celcious, respectively. The biodegradable plastic was compressed by hot compression machine at 170 degree celcious. After that the microcellular foam was produced by foam forming machine at high pressure and the temperature at 100 degree celcious for 3 hours. The form morphology was studied by scanning electron microscope.

The suitable condition to produce the lowest density of microcellular biodegradable plastic foam from 10% of styrene butyl acrylate graft tapioca starch and 90% of polystyrene plastic waste was used 5% of DEG at 100 °C and 3000 psi for 3 hours.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังนี้จะประสบผลสำเร็จได้ ต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ข้อเสนอแนะต่างๆตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ในการแก้ปัญหาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และอาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้โครงงานพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือด้านเครื่องมือวิเคราะห์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นางสาวกนกรัตน์ เขมานุวงศ์ และ นายปิยะชาย ศรีจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจตลอดมา ทำให้โครงงานพิเศษนี้มีคุณค่า และพัฒนาสิ่งแวดล้อมได้ไม่มากก็น้อย

นางสาว ชัฌชา ธนพรจรัส

นางสาว ปารณีย์ จรรยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามคำศัพท์

$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
aq. $K_2S_2O_8$	=	สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
aq. $Na_2EDTA\ 2H_2O$	=	สารละลายเกลือไดโซเดียมของกรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระแอซีติก
DEG	=	ไดเอทิลีนไกลคอล
EA	=	เอทิลอะคริเลตมอนอเมอร์
mL	=	มิลลิลิตร
MMA	=	เมทิลเมทาอะคริเลตมอนอเมอร์
Waste-PS	=	พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
St-Bu-GCP	=	พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สัญลักษณ์คำย่อ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	**3**
2.1 พลาสติก	3
2.2 ตัวการที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์	4
2.3 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ	6
2.4 สารตัวเติม	6
2.4.1 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ด	6
2.4.2 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นยาง	7
2.4.3 สารตัวเติมที่เป็นเรซิ่นสังเคราะห์	7
2.4.4 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การนำแป้งมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ	8
2.6 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง	8
2.6.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง	8
2.6.2 ชนิดของแป้ง	8
2.6.3 การสังเคราะห์แป้ง	9
2.6.4 องค์ประกอบภายในแป้ง	9
2.6.5 การเกิดเป็นเจลของแป้ง	13
2.6.5.1 การบวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง	13
2.6.5.2 การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน	13
2.6.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล	13
2.7 ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน	14
2.8 โฟม	14
2.9 กลไกในการเกิดโฟม	15
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	**17**
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 วิธีการทดลอง	18
3.3.1 การเตรียมสาร	18
3.3.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์	18
3.3.3 การเตรียมพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	19
3.3.4 การผสมสูตร	19
3.4 การขึ้นรูปร้อน	20
3.5 การขึ้นโฟม	21
3.6 การศึกษาสมบัติของโฟม	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ **23**

4.1 การหาความหนาแน่นของโฟมด้วยเครื่อง Electronic densimeter 23

4.2 สัณฐานวิทยาโฟม 24

4.1.1 ลักษณะรูปร่างของโฟม 24

4.1.2 ผลของความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม 26

4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายในทางชีวภาพ 52

4.3.1 ผลของปริมาณ St-Bu-GCP ในพอลิเมอร์ผสม 52

4.3.2 ปริมาณของ DEG ที่ใช้ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 10:90 52

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ **53**

5.1 สรุปผลการวิจัย 53

5.2 ข้อเสนอแนะ 53

เอกสารอ้างอิง **54**

ภาคผนวก **55**

ภาคผนวก ก กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม

ภาคผนวก ข ลักษณะเซลล์เฉลี่ยของโฟมที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน 10

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส 11

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนการผสมสูตรพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว 20

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 10%ของ St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว กับ DEG 20

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว 52

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วอัตราส่วน 10:90 และDEGในปริมาณต่างๆ 52

ภาคผนวก **55**

ภาคผนวก ข ลักษณะเซลล์เฉลี่ยของโฟมที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส 10

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอะไมโลเพกติน 12

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด (ข) เซลล์ปิด 15

รูปที่ 3.1 ภาพแสดงเครื่องบดพลาสติก (1) และ เครื่องขึ้นรูปร้อน (2) 21

รูปที่ 3.2 แผ่นพลาสติกก่อนขึ้นรูปโฟมขนาด 10 x10 x 0.2 เซ็นติเมตร (1) และ ขนาด1 x 3 x 0.2 เซ็นติเมตร (2) 21

รูปที่ 3.3 โฟมที่ผลิตได้หลังการขึ้นรูป 22

รูปที่ 4.1 กราฟความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ100องศาเซลเซียส 23

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCPกับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆที่ ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 800 เท่า 24

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 25

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 25

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 28

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 28

รูปที่ ที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 29

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา-เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 29

รูปที่ 4.10 รูปแสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 31

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา-เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 32

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 33

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผนังเซลของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 33

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 35

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 36

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา- เซลเซียสและกำลังขยาย 300 เท่า 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 37

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 37

รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 39

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ ต่างๆ ในสภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศา-เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 40

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 40

รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ในสภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศา-เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 41

รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย300 เท่า 43

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 44

รูปที่ 4.27 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 44

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 45

รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศา - เซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 47

รูปที่ 4.31 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 48

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 48

รูปที่ 4.33 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 49

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 49

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% St-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยเปลี่ยนแปลง DEG ในปริมาณต่างๆ ที่ความดันต่างๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% St-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยเปลี่ยนแปลงความดันแตกต่างกัน และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า 51

ภาคผนวก **52**

ภาคผนวก ก กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีต่างๆเจริญขึ้นมากทำให้มีปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา หนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ปัญหาจากขยะพลาสติก เพราะพลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกที่มีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุอื่น ๆ เนื่องมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมพลาสติก ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดใหม่ ๆ ที่ให้สมบัติในการใช้งานดี ซึ่งทำให้ขยะที่เกิดจากพลาสติกมีปริมาณสูงขึ้น เพราะพลาสติกส่วนใหญ่มีความคงทนต่อการย่อยสลายให้หมดไป หากนำไปเผาทำลายก็จะได้ก๊าซที่เป็นพิษ และถ้านำไปทิ้งในทะเลก็อาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลได้

สาเหตุที่พลาสติกสังเคราะห์ ไม่สามารถย่อยสลายได้มี 2 ประการคือ

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์
2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำมีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวน้อย ส่งผลทำให้เอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ซึมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปสัมผัสกับผิวพลาสติกน้อยลง จึงยากที่จะทำให้พลาสติกย่อยสลายได้

เนื่องจากพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นในหลายประเทศจึงพยายามผลักดันให้มีการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพทดแทนพลาสติกสังเคราะห์

ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาให้มีการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ โดยพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถผลิตได้หลายวิธี แต่วิธีที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง คือ การนำแป้งมาผสมลงในพลาสติก

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางในพื้นที่หลายจังหวัดของประเทศ ผลผลิตของมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะส่งออกไปขายยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป แต่มักประสบปัญหาความไม่แน่นอนของตลาด ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น และเป็นการนำผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมาใช้ทดแทนพอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ คือการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติของไทยไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
2. เพื่อทำการผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
3. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของโฟมพลาสติกที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ผลิตพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง
2. ศึกษาสูตรการผลิตพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
4. ศึกษาสมบัติต่างๆของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง
2. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

พลาสติก หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สังเคราะห์ขึ้นใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ มีสมบัติเมื่อเย็นจะแข็งตัว และเมื่อให้ความร้อนจะอ่อนตัว มีมากมายหลายชนิด เช่น ไนลอน และพอลิเอทิลีนใช้ผลิตเครื่องใช้ต่างๆ เช่น เสื้อผ้า อุปกรณ์ และ ส่วนประกอบของเรือ หรือรถยนต์

พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของสารมอนอเมอร์ที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม

พลาสติกแบ่งตามสมบัติทางความร้อนได้ 2 ประเภท คือ

1. เทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกที่ได้รับความร้อนแล้วจะหลอมตัวเป็นของเหลว พลาสติกชนิดนี้ มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาว ทำให้ทนต่อแรงดึงได้ เช่น

1.1 พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกอ่อน สีขาวขุ่น มีสมบัติอ่อนตัวราคาไม่แพง ใช้ประโยชน์มากที่สุด เป็นฉนวนไฟฟ้า และมีน้ำหนักเบา เช่น ถุงบรรจุอาหาร ตุ๊กตาเด็กเล่น ฟิล์ม ถาด ทำน้ำแข็ง เป็นต้น

1.2 พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ พีวีซีผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่น มีสมบัติพิเศษ คือ ทนต่อกรด แอลกอฮอล์ และพวกอัลคาไลพีวีซีมีทั้งชนิดแข็งและอ่อน ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟ เสื้อกันฝน กระเบื้องยาง หนังเทียมที่ใช้หุ้มเบาะเก้าอี้ ข้อเสียของพีวีซีคือ ไม่ทนต่อความร้อน และแสงแดด

1.3 พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่มีความใส ไม่มีสีและสามารถย้อมสีได้ มีความแข็งแต่เปราะ มีสมบัติทนกรด ด่าง และเกลือ ละลายได้ดีในตัวทำละลายอะโรมาติก ใช้ทำโฟม ไม้บรรทัด กล่องใส่ซีดี และเทป เป็นต้น

1.4 พอลิพรอพิลีนผลิตจากก๊าซพรอพิลีน ใช้ทำถุงพลาสติกร้อน เชือกพลาสติกและ กล่องแบตเตอรี่

1.5 ไนลอนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อด่าง กรด และสารละลายอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่ทนต่อแสงแดด และความร้อน ใช้ทำผ้าร่ม เอ็น อวน ใบเรือและเชือก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พลาสติกเทอร์โมเซตเป็นพลาสติก ที่ได้รับความร้อนแล้วไม่อ่อนตัว หรือหลอมตัวได้แก่

2.1 เรซินฟีนอล – ฟอร์มัลดีไฮด์ ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่าง ฟีนอล และ ฟอร์มัลดีไฮน์ ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนมีสมบัติแข็ง และทนต่อความร้อน ใช้ทำฉนวน และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

2.2 เรซินยูเรีย - ฟอร์มัลดีไฮด์ ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นพลาสติกที่แตกง่าย มีสีขาวใส สามารถย้อมเป็นสีต่างๆได้ ไม่ทนต่อกรด ด่าง และแรงกระแทก ใช้ทำกาวไม้อัด และด้ามเครื่องมือ เป็นต้น

2.3 เรซินเมลามีน – ฟอร์มัลดีไฮด์ ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่าง เมลามีน และฟอร์มัลดีไฮด์ ทนความร้อนสูงได้ถึง 250° C ทนต่อสารเคมี แรงกระแทก และรอยขีดข่วนได้ดี ใช้ทำภาชนะพลาสติก เช่น จาน ถ้วย ชาม และถาด เป็นต้น

2.2 การย่อยสลายของพอลิเมอร์

การย่อยสลายที่เกิดกับพอลิเมอร์ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสมบัติโดยการสลายตัวของโครงสร้าง หลังจากนำพอลิเมอร์ไปใช้งานแล้ว การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์มีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีสมบัติต่างๆเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากการสูญเสียพลาสติไซเซอร์ที่ผสมเข้าไว้ เนื่องจากความร้อนหรือแสง เป็นต้น สาเหตุที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นตัวการทางพลังงาน แบ่งออกเป็น

- พลังงานความร้อน
- พลังงานกล
- พลังงานรังสี

กลุ่มที่ 2 เป็นตัวการทางเคมี แบ่งออกเป็น

- การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส
- การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- การเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ

ตัวการแต่ละชนิดมีผลต่อการย่อยสลายของพอลิเมอร์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การย่อยสลายโดยความร้อน พอลิเมอร์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดการย่อยสลายโดยสายโซ่โมเลกุลจะแตกออกหรือขาดออก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง การย่อยสลายโดยความร้อนอาจเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

- การย่อยสลายแบบสุ่ม จะเกิดกับพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น การสลายพันธะเกิดขึ้นที่จุดใดๆ ก็ได้ในสายโซ่พอลิเมอร์

- การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน หรืออาจเรียกว่า unzipping คือ มอนอเมอร์จะสลายตัวออกครั้งละ 1 หน่วยจากสายโซ่โมเลกุล จะเกิดกับพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว

2. การย่อยสลายโดยพลังงานกล พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวๆ บางครั้งเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกอาจทำให้เกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ตัวอย่างเช่นเมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงเฉือนสูง ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะสารละลายหรือของแข็งก็ตาม จะทำให้เกิดการฉีกขาดได้

3. การย่อยสลายโดยพลังงานรังสี พอลิเมอร์ที่นำไปใช้ในงานส่วนมากจะต้องสัมผัสกับแสงเกือบทั้งนั้น เพราะฉะนั้นโอกาสเกิดการย่อยสลายโดยพลังงานรังสีจึงมีมาก พลังงานรังสีทำให้เกิดการเร้า หรืออาจทำให้เกิดการอิออไนซ์ เรียกว่ารังสีพลังงานสูง พลังงานที่จะเร้าให้อิเล็กตรอนย้ายไปอยู่ในออร์บิตัลใหม่ที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเดิม ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกออกของพันธะระหว่างอะตอม แต่ถ้าพลังงานสูงขึ้นจะทำให้มีโอกาสเกิดการย้ายอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ทำให้เกิดการอิออนไนซ์ได้เป็นไอออน

4. การย่อยสลายจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส พอลิเมอร์ที่เกิดจากพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นจะถูกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส เช่น พอลิเอสเทอร์

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสจะเร็วขึ้นถ้ามีไฮโดรเจนไอออน หรือไฮดรอกซิลไอออน นอกจากนี้ตัวเร่งในธรรมชาติ เช่นเอนไซม์ ก็ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสได้เช่นกัน พวกพอลิเมอร์ที่มีอะตอมต่างชนิดกันในสายโซ่ เช่น พอลิแอซีตอล พอลิเอสเทอร์ และพอลิเอไมด์ จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์ทีมีอะตอมชนิดเดียวกันในสายโซ่โมเลกุล

5. การย่อยสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การย่อยสลายที่เกิดในพอลิเมอร์มีผลมาจากการถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน นับเป็นการย่อยสลายที่พบมาก แต่กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพอลิเมอร์ค่อนข้างจะซับซ้อนมาก และเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดในพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอน เช่น พอลิเอทีลีน พอลิพรอพิลีนและยาง จะมีกลไกที่แตกต่างกัน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นพอรลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ถ้าไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยมาก โดยอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะตอมคาร์บอนและอะตอมไฮโดรเจนได้สารประกอบไฮโดร-เปอร์ออกไซด์

ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวให้หมู่คีโทนกับน้ำ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวไม่ทำให้เกิดการย่อยสลายของสายโซ่ เพียงแต่เกิดหมู่คีโทนขึ้นมากในสายโซ่โมเลกุล ทำให้สีของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง ความแข็งแรงลดลง ในกรณีที่สัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเลต ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นซับซ้อนมาก จะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นและทำให้สายโซ่โมเลกุลสลายตัว

2.3 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ

การสลายตัวได้ในทางชีวภาพของพลาสติกในทางชีวภาพมี 3 ลักษณะคือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่ง ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุน และต่อไปกลายเป็นผงละเอียด
2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายต่อไป
3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกโดยตรง เช่น พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากพอลิคาร์โปรแลคโทน และพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรตอะดิเพต เป็นต้น

2.4 สารตัวเติม

สารตัวเติมเป็นสารเติมแต่งของแข็งที่ใส่เข้าไปในพอลิเมอร์เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล สารตัวเติมมีลักษณะดังนี้

2.4.1 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผง

แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ไชนาเคลย์ (china clay) เขม่าดำ และคาร์บอนแบล็ค (carbon black) เป็นสารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สารตัวเติมไม่เสริมแรง เป็นสารตัวเติมที่ใส่เข้าไปเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่าง เช่น พีวีซีชนิดอ่อน สารตัวเติมไม่เสริมแรงจะช่วยลดการบวมตัวที่หัวดาย (die swell) เพิ่มมอดูลัสและความแข็ง ทำให้มีพื้นขาว ปรับปรุงสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า และลดเหนียวติดกัน โดยทั่วๆ ไปเป็นสารที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ไชนาเคลย์ ทัลค์(talc) แบเรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลเฟต (barium sulphate) โดยปกติสารตัวเติมจะต้องไม่ละลายในของเหลวใดๆ ที่พอลิเมอร์สัมผัส สารตัวเติมแต่ละชนิดมีหลายเกรด แตกต่างกัน เนื่องจากดังนี้

1. ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย และการกระจายขนาดของอนุภาค เมื่อใช้สารตัวเติมในอิลาสโตเมอร์ พบว่าสารตัวเติมที่มีอนุภาคละเอียดจะให้สมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรงดึง มอดูลัส และความแข็งสูงขึ้น

2. รูปร่างของอนุภาคและความพรุน มีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของพลาสติกอย่างมาก

3. ธรรมชาติทางเคมีของผิวหน้า สารตัวเติมที่เป็นแร่ธาตุ มักมีหมู่ที่มีขั้วอยู่บนผิวหน้า เช่น หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งทำให้เปียกน้ำได้ง่าย การปรับปรุงให้สารตัวเติมเกาะติดกับพอลิเมอร์ได้ดีจำเป็นต้องปรับปรุงผิวหน้าของสารตัวเติมเสียก่อน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตปรับปรุงผิวหน้าด้วยกรดสเตียริก

4. สารปนเปื้อน เช่น กรด ทราย และไอออนของโลหะ สารปนเปื้อนที่มีอยู่ในสารตัวเติมซึ่งมาจากแร่ธาตุจะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์อย่างมาก

2. สารตัวเติมเสริมแรง ใช้ได้ดีกับอิลาสโตเมอร์ เช่นยางสไตรีนบิวทะไดอีนที่ผ่านการวัดคาไนซ์แล้ว เมื่อผสมเขม่าดำเข้าไปและช่วยเสริมแรง ความทนทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเพิ่มค่ามอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความทนทานต่อการขัดถูก อีกด้วย

2.4.2 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นยาง

สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นยางจะใส่เข้าไปในเทอร์โมพลาสติกอสัณฐานที่แข็งเปราะ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว เช่นการเติมยางพอลิบิวทะไดอีนเข้าไปในพอลิสไตรีน ทำให้มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง

2.4.3 สารตัวเติมที่เป็นเรซินสังเคราะห์

การผสมเรซินสังเคราะห์หรือพลาสติกเข้าไปในยาง เช่น เรซินบิวทะไดอีน-สไตรีนที่ประกอบด้วยสไตรีนอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปผสมกับยางเพื่อทำเป็นพื้นรองเท้า และแปรงล้างรถ

2.4.4 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย

เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติและเส้นใยอินทรีย์สังเคราะห์สั้นๆ เช่น ไนลอน สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความทนทานต่อแรงกระแทก และความเหนียวของผลิตภัณฑ์พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การนำแป้งมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆอย่างมากมาย เช่น สารยึดติดสิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น การที่สามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความเหนียวข้น การเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดเป็นฟิล์ม แป้งมีราคาถูกและหาได้ง่าย แป้งสามารถผสมกับพลาสติกโดยใช้เป็น *"สารตัวเติม"* เพื่อทำให้พลาสติกมีสมบัติในการย่อยสลายทางชีวภาพและมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อด้วย ในปัจจุบันได้มีการผลิตโฟมพลาสติกจากแป้ง เพื่อทำเป็นภาชนะ ถ้วย และถาด เป็นต้น

2.6 ความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืช พบในใบและในส่วนที่ใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว เป็นต้น มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศของแต่ละประเทศ ซึ่งแป้งเป็นแหล่งที่ให้พลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ องค์ประกอบหลักของอาหารทุกชนชาติส่วนใหญ่จะมีแป้ง เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น

2.6.1 ความรู้ทั่วไป

แป้ง (starch) เป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยโมเลกลูกลูโคสจัดเรียงตัวต่อกันเป็นสายโซ่ แป้งเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น พบอยู่ในพืชทุกชนิด

รูปร่างและขนาดของแป้งจะขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมาผลิต ซึ่งแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมท้ายตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 ไมโครเมตร

กระบวนการผลิตแป้งมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปของการผลิต คือ การแยกเม็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน และเกลือแร่ ทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ และทำการปั่นแยก แล้วอบแห้งต่อไป

2.6.2 ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัว และการละลายแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

1) แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัว 2 ชั้น แต่มีกำลังการพองตัว และการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง

2) แป้งจากส่วนรากหรือส่วนลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัว และการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูง เนื่องจากพันธะภายในอ่อนแอ การพองตัวจะเกิดเพียงชั้นเดียวที่อุณหภูมิต่ำ

2.6.3 การสังเคราะห์แป้ง

การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นในส่วนของพืชที่มีสีเขียว ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในการจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในการสังเคราะห์กลูโคสและออกซิเจนกระบวนการสังเคราะห์แสง สามารถแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$6H_2O + 6CO_2 \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสงแดด}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ในกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ และสังเคราะห์กรดฟอสโฟกลีเซอริก ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และจะผ่านวัฏจักรเคลวิน ได้เป็นน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม จากนั้นจะสังเคราะห์พอลิเมอร์ของกลูโคสขึ้นมาจากการทำงานของเอนไซม์ พอลิเมอร์ของกลูโคสเรียกว่า “แป้ง”

2.6.4 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกูลโคส ซึ่งประกอบด้วย $C_6H_{10}O_5$ (anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลคอซิดิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ที่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่หมู่แอลดีไฮด์ แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์โซ่ตรงเรียกว่า อะไมโลส และพอลิเมอร์โซ่กิ่งเรียกว่า อะไมโลเพกติน แป้งจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

1. อะไมโลส
2. อะไมโลเพกติน
3. สารตัวกลาง

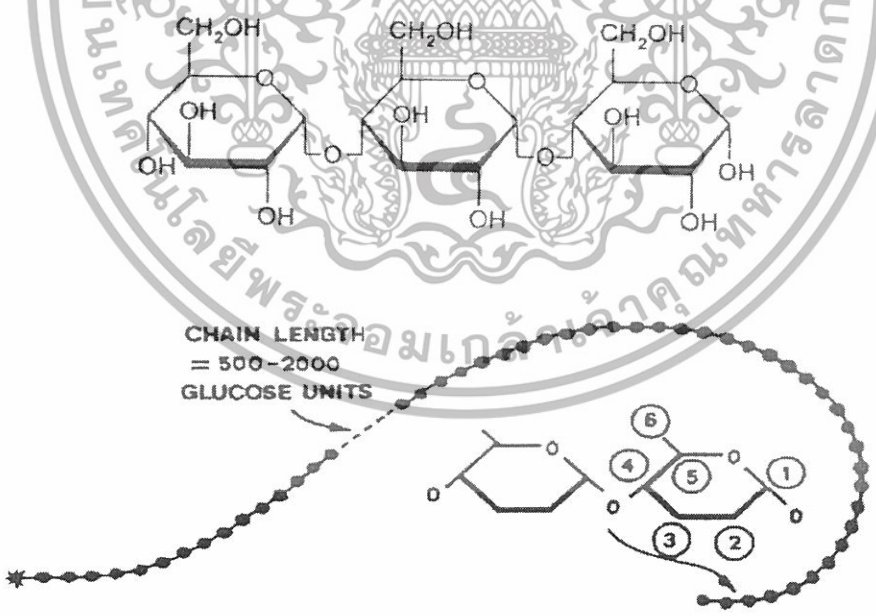
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติสำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	พอลิเมอร์ของกลูโคสเกาะกัน เป็นโซ่ตรง	พอลิเมอร์ของกลูโคสเกาะกัน เป็นโซ่กิ่ง
ชนิดของพันธะ	α-1,4	α-1,4และα-1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
ปฏิกิริยากับไอโอดีนลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อน	สีน้ำเงิน จับตัวเป็นเจลและแผ่นแข็ง	สีม่วงแดง ไม่จับตัวแข็ง

1. อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลคอซิดิกแบบ α-1,4 ดังรูปที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมากทำให้มีสมบัติไฮโดรฟิลิก สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด และแป้งข้างฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาคู มีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20% waxy starch ไม่มีอะไมโลสเลย และแป้ง amylomaize มีปริมาณอะไมโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมีองศาของพอลิเมอไรเซชัน (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังจะมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้น จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะไมโลสจะมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลสของแป้งหลายๆชนิดแสดง ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส

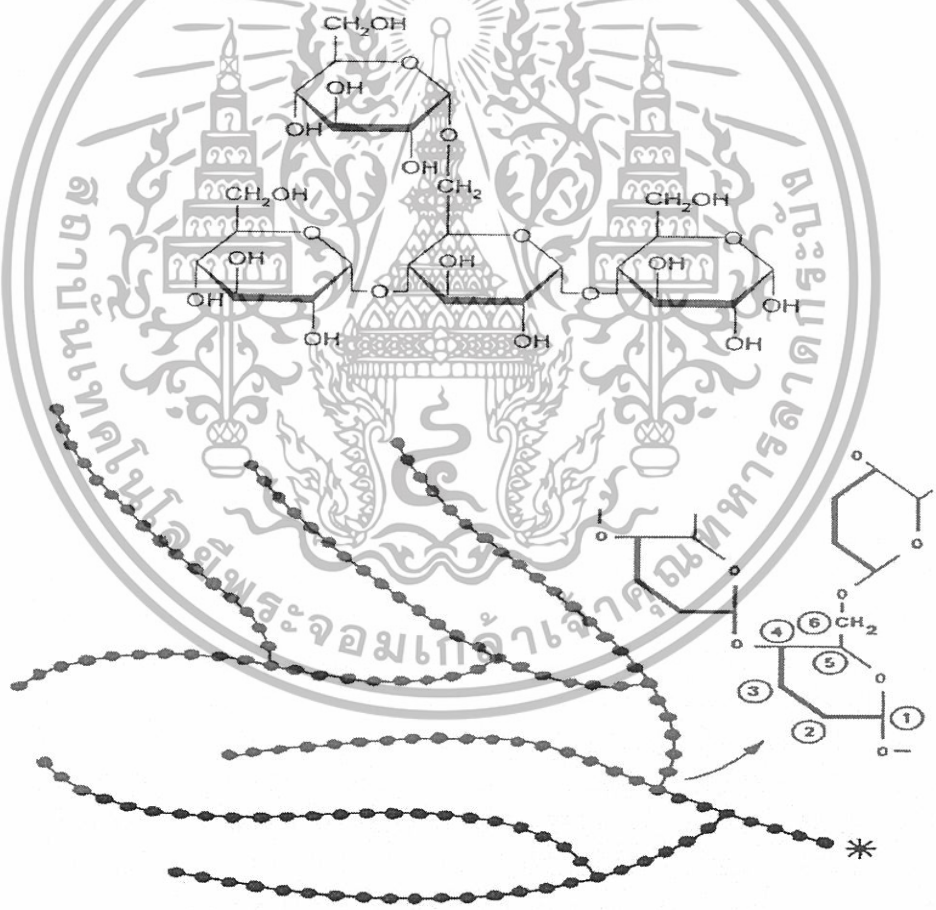
แหล่งของแป้ง	ปริมาณของอะไมโลส (%)	β-Amylolysis limit(%)	DPเฉลี่ย	จำนวนสายโซ่เฉลี่ย	ความยาวสายโซ่เฉลี่ย	โซ่กิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	4
แป้งข้าวเจ้า	17	-	-	-	-	-
Indica	-	73	1,00	4.0	250	49
Japonica	-	81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของอะไมโลสในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000

2. อะไมโลเพกติน

อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์โซ่กิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลคอซิดิกแบบ α-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลคอซิดิกแบบα-1,6 ดังรูปที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอะไมโลเพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การเกิดเป็นเจลของแป้ง

2.6.5.1 การบวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55-80 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่ยึดติดเม็ดแป้งไว้ด้วยกันจะอ่อนตัวลง และเม็ดแป้งจะเริ่มบวมตัวอย่างรวดเร็ว

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งจะอุ้มน้ำไว้และบวมตัวหลายเท่าจากปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนและปั่นกวนส่วนผสมไปด้วยพร้อมกัน จะทำให้ส่วนผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดของน้ำแป้งมีค่ามากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและอุ้มน้ำไว้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นจะเกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ความหนืดจะลดลง ขณะที่เม็ดแป้งที่เป็นเจลแตกออกจากกัน

เม็ดแป้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่เป็นอสัณฐาน ซึ่งในระหว่างเกิดการบวมตัวที่สามารถคืนกลับได้นั้น น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและทำให้เกิดการบวมตัว โดยส่วนที่เป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อทำให้เม็ดแป้งแห้ง น้ำที่แทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นสัณฐานจะถูกกำจัดออกโดยไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติของเม็ดแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนมีอุณหภูมิเกินอุณหภูมิการเกิดเจล น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกด้วย

2.6.5.2 การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน

สมบัติที่สำคัญของแป้ง ก็คือการเกิดเป็นลักษณะแป้งเปียกที่หนืดเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดในขณะที่ให้ความร้อนแก่เม็ดแป้งเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายสมบัติของแป้ง การทำให้เกิดการบวมตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น

2.6.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับวิธีการให้ความร้อน และสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะการให้ความร้อน จะทำให้ได้สมบัติของแป้งที่เป็นเจลตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วของการปั่นกวน pH และชนิดของสารตัวเติมและสิ่งเจือปนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของแป้ง

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง สามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้แป้งทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อกับมอนอเมอร์ โดยทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง

โดยสามารถทำได้ 2 ประเภท ดังนี้

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการฉายรังสีเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเกิดเป็นไอออนจากการสลายพันธะ จากนั้นไอออนเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว

การกระตุ้นทางเคมี เป็นการใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ตัวเริ่มปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ tertiary-butylhydroperoxide นอกจากนี้ยังมีตัวริเริ่มปฏิกิริยาอื่นๆอีก เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบเปอร์ออกไซด์อื่นๆ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ และโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น

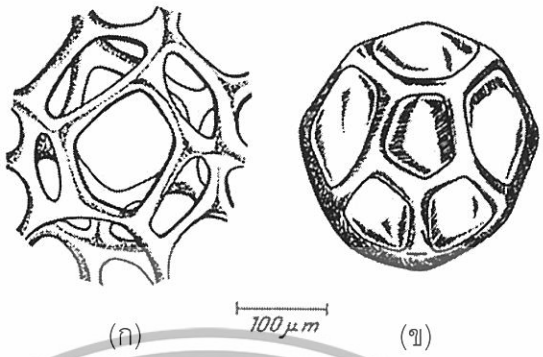
ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของแป้งด้วยพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เม็ดแป้งจะยังคงอยู่ในสภาพเดิมไม่ละลายน้ำ แต่จะอยู่ในสภาพแขวนลอย และละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำจะสามารถบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และสามารถแยกแป้งส่วนที่ไม่บวมออกจากน้ำได้ แต่ถ้าแป้งที่ใช้สามารถบวมตัวได้จะแยกด้วยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล เป็นต้น

สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้ขึ้นกับชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้ ค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้จะมีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของพอลิเมอร์ ถ้าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ร่วมต่ำ จะทำให้พอลิเมอร์ร่วมที่ได้อ่อนตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิการใช้งาน ทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ ค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ร่วมขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วม

2.8 โฟม (Foam)

เซลลูลาร์พลาสติก หรือพลาสติกโฟม หมายถึง พลาสติกที่ขยายตัวหรือพองฟูคล้ายฟองน้ำ โดยทั่วไปพลาสติกโฟม จะมีส่วนประกอบอย่างน้อย 2 วัฏภาค ได้แก่ วัฏภาคที่เป็นพอลิเมอร์ของแข็ง และวัฏภาคก๊าซซึ่งเกิดขึ้นจากสารที่เรียกว่า สารช่วยให้เกิดโฟม ส่วนที่เป็นวัฏภาคของแข็ง จะประกอบด้วยพอลิเมอร์หนึ่งชนิดหรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด (ข) เซลล์ปิด

รูปทรงของเซลล์อาจเป็นแบบเซลล์เปิดหรือเซลล์ปิด ดังรูปที่ 2.3 โฟมแบบเซลล์ปิดหมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลล์ไม่ต่อถึงกัน เหมาะสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน และโดยทั่วไปจะมีลักษณะแข็ง ในขณะที่โฟมแบบเซลล์เปิด หมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลล์ต่อถึงกันจนทำให้ก๊าซหรืออากาศหมุนเวียนถึงกันได้ เหมาะสำหรับทำเบาะที่นั่งในรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ และฉนวนกันเสียง หรือใช้งานอื่นๆ ที่มีลักษณะยืดหยุ่น ถ้าโฟมประกอบด้วยเซลล์ปิดและเปิดอยู่ด้วยกันเรียกว่าโฟมเซลล์ผสม โครงสร้างของเซลล์จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของการทำให้เกิดโฟมและชนิดของสารช่วยให้เกิดโฟม

โฟมพลาสติกที่ผลิตได้จะมีความหนาแน่นแตกต่างกันมากมาย ซึ่งมีช่วงประมาณ 1.6 กก./ม.^{3} ถึงมากกว่า 96 กก./ม.^{3} การประยุกต์ใช้งานของโฟมเหล่านี้จะพิจารณาจากช่วงความหนาแน่นของโฟมที่ผลิตได้ เนื่องจากสมบัติเชิงกลจะเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของโฟม ดังนั้นโฟมแบบแข็งเหมาะสำหรับการทนรับแรงซึ่งต้องมีความหนาแน่นสูง และมีการเสริมแรงด้วยเส้นใย ในขณะที่โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำโดยทั่วไปเหมาะสำหรับทำฉนวนกันความร้อน โฟมที่ยืดหยุ่นจะมีความหนาแน่นต่ำ (ประมาณ 30 กก./ม.^{3}) จะใช้ในการผลิตเป็นเบาะเฟอร์นิเจอร์และเบาะที่นั่งในรถยนต์ ส่วนโฟมที่มีความหนาแน่นสูงจะประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรองพรม และตัวดูดซับพลังงาน

2.9 กลไกการเกิดโฟม

การเกิดโฟมเป็นปรากฏการณ์เกิดวัฏภาคใหม่ที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์และเคมี เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ การเกิดวัฏภาคใหม่สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิดนิวเคลียส ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในหรือจากสารอื่นที่แพร่เข้ามา พื้นฐานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดโฟมเกี่ยวข้องกับการเกิดนิวเคลียสของฟองก๊าซ และการเจริญเติบโตของฟองก๊าซ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นโฟม

การเกิดโฟม มีหลักการสำคัญคือ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่กระจายเข้าไปในวัฏภาคของพอลิเมอร์ และมีพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะแรงดันภายนอกเพื่อขยายขนาด จึงมองเห็นโฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นฟองพองออกมา หากความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์เกิดขึ้นมากจะไปกระตุ้นการเกิดนิวเคลียส ทำให้เกิดกลุ่มของฟองก๊าซจำนวนมากภายในช่วงเวลาสั้นๆ การทำให้เกิดความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างเพียงพอสำหรับการเกิดนิวเคลียสมี 2 วิธีการ คือ การลดความดันและการเพิ่มอุณหภูมิ พอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติกมีการนำความร้อนที่ไม่ดีและจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้วิธีการลดความดันมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ

กระบวนการเกิดโฟมประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอน ได้แก่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. แป้งมันสำปะหลัง เกรดการค้า
2. โซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต เกรดการค้า
3. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เกรดวิเคราะห์
4. สไตรีนมอนอเมอร์ เกรดการค้า
5. บิวทิลอะคริเลตมอนอเมอร์ เกรดการค้า
6. พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
7. ไดเอทิลไกลคอล (DEG) เกรดการค้า

3.2 เครื่องมือที่ใช้

1. เทอร์โมมิเตอร์ 0-100 องศาเซลเซียส
2. ชุดเครื่องแก้วต่าง ๆ
3. ถาดอะลูมิเนียม
4. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบได้
5. หม้อปฏิกิริยาแบบ 4 คอ ขนาด 2 ลิตร
6. ใบพัดกวนเสตนเลส แบบใบพัดปั่นกวน 2 ชั้น
7. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. เครื่องให้ความร้อนแบบเตาหลุม (heating mentle)
9. ตู้อบแบบลมร้อน
10. เครื่องบดพลาสติก
11. เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว
12. เครื่องขึ้นรูปร้อน
13. เครื่องขึ้นโฟม
14. เครื่องวัดความหนาแน่น
15. กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope ; SEM)
16. เครื่องวัดอุณหภูมิการสลายตัว (Thermogravimetric analyzer ; TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107739

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสาร

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

1. การเตรียมสารละลาย Na_2 EDTA.$2H_2O$ ความเข้มข้น 0.54 โมลาร์

1. ชั่งเกลือไดโซเดียมของกรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระแอซีติก 2 โมเลกุลของน้ำ ($Na_2EDTA.2H_2O$) จำนวน 49.9 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร

3. กวนสารให้เข้ากันและให้ความร้อนแก่สารในขณะที่กวนตลอดเวลา จนส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด

4. ทำให้สารละลายเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง

5. เทสารละลายในขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร

6. เติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายมีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

1. ชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต จำนวน 27 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เทสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ลงไปพอประมาณ

3. คนให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ลงไป

5. ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร เทเก็บในขวดสีชา

3. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มอล

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้วพอประมาณ กวนสารให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายจนหมด

3. เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นที่ต้มแล้ว

3.3.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์

1. เติมแป้งมันสำปะหลังจำนวน 150 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่น 1700 มิลลิลิตร

2. ทำการปั่นกวน 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องปั่นกวน

3. ลดอุณหภูมิเหลือ 60 องศาเซลเซียส

4. เติม NP 40 จำนวน 18.75 กรัม มอนอเมอร์สไตรีน 83.33 กรัม สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Na_2EDTA\ 2H_2O$ 37.5 มิลลิลิตร และพรอพิลีนไกลคอล 1.5 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปั่นกวน

5. ทำการปั่นกวนที่ 450 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

6. เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์ 150 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปั่นกวน และทำการปั่นกวนที่ 450 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

7. เพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส แล้วทำการปั่นกวนที่ 450 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

8. ได้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ทำการอบที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส

9. บดให้ละเอียด จะได้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

3.3.3 การเตรียมพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

1. เอากล่องใส่ซีดีที่ใช้แล้วมาทำความสะอาด

2. เช็ดให้แห้ง

3. ทำการบดให้ละเอียดจะได้พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวใส

3.3.4 การผสมสูตร

1. นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (St-Bu-GCP) และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วผสมกันตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

2. นำสารผสมใส่ลงในเครื่องบาร์เบนเดอร์170 องศาเซลเซียส ตั้งอุณหภูมิที่ทำการผสมเป็นเวลา 4 นาที

3. นำสารผสมที่ได้มาทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนการผสมสูตรพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

ปริมาณของ St-Bu-GCP (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
50	50
30	70
20	80
10	90

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 10%ของ St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว กับ DEG

อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง St-Bu-GCP และ ปริมาณพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	ปริมาณของ DEG (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
10:90	3
10:90	4
10:90	5

3.4 การขึ้นรูปร้อน

1. นำพลาสติกที่ได้จากตัดเป็นชิ้นเล็กๆมาใส่ลงในเครื่องบดพลาสติก
2. นำพลาสติกที่บดแล้วมาวางลงในแม่พิมพ์ โดยจะต้องทำการเคลือบแม่พิมพ์ด้วยซิลิโคนก่อน
3. นำมาเข้าเครื่องขึ้นรูปร้อน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำการอัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วอัดเย็นต่อเป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
4. จะได้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพที่ขึ้นรูปแล้ว ขนาด 10x10x0.2 เซ็นติเมตร
5. ตัดและขัดโดยกระดาษทรายให้มี ขนาด 1 x 3 x 0.2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) (2)

ภาพที่ 3.1 เครื่องบดพลาสติก (1) และ เครื่องขึ้นรูปร้อน (2)

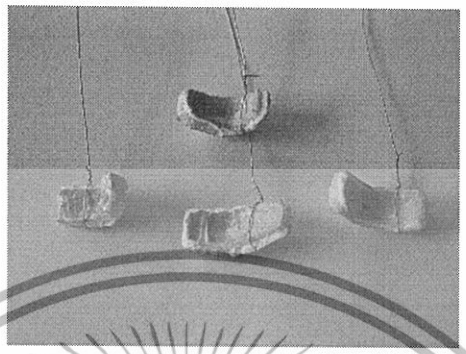
(1) (2)

ภาพที่ 3.2 แผ่นพลาสติกก่อนขึ้นรูปโฟมขนาด 10 x10 x 0.2 เซ็นติเมตร (1) และขนาด 1 x 3 x 0.2 เซ็นติเมตร (2)

3.5 การขึ้นรูปโฟม

1. นำพลาสติกที่มี ขนาด 1 x 3 x 0.2 เซ็นติเมตร มาใส่ในเครื่องขึ้นรูปโฟม
2. ทำการวางพลาสติกลงบนฟลอยที่ด้านในของเครื่องขึ้นรูปโฟม
3. ทำการล๊อคเครื่องขึ้นรูปโฟมให้แน่นหนาพอ
4. ทำการอัดแก๊สให้ได้ตามความดันที่ต้องการและอัดแก๊สให้เครื่องขึ้นรูปโฟมเมื่อความดันลดลงให้ความดันคงที่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 โฟมที่ได้หลังการขึ้นโฟม

3.6 การศึกษาสมบัติของโฟม

1. การหาความหนาแน่นของโฟมด้วยเครื่อง Electronic densimeter
2. การศึกษาสมบัติการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis)
3. การศึกษาสัณฐานวิทยาโฟมด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆมาทำการศึกษาที่ ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะได้ ความหนาแน่นก่อนและหลังการขึ้นรูปโฟม ลักษณะรูปร่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยและ จำนวนเซลล์เฉลี่ยดังนี้

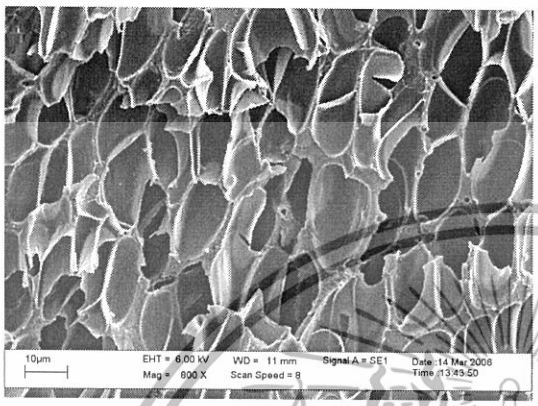
4.1 การหาความหนาแน่นของโฟมด้วยเครื่อง Electronic densimeter

รูปที่ 4.1 กราฟความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

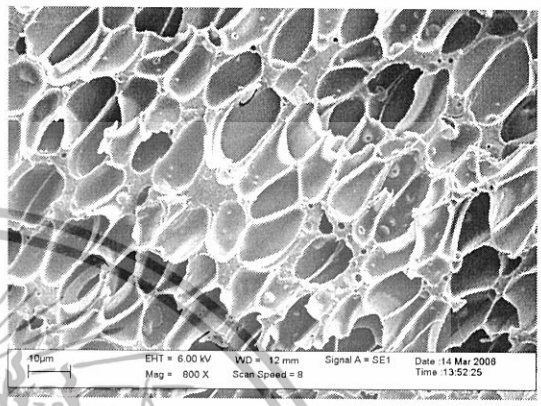
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สัณฐานวิทยาโฟม

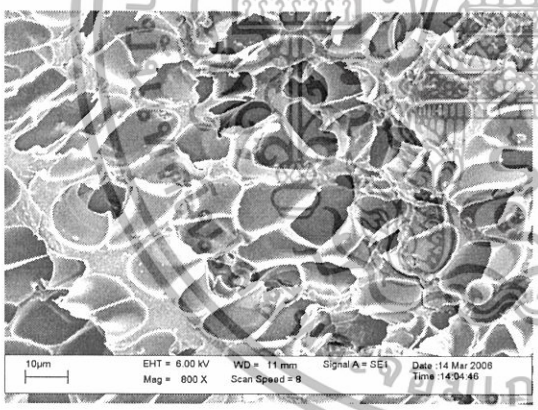
4.1.1 ลักษณะรูปร่างของโฟม



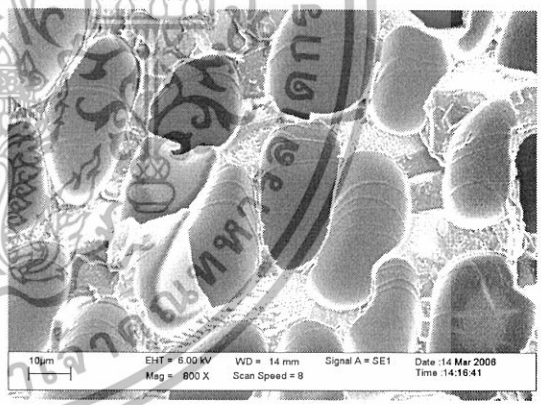
อัตราส่วนของ St-Bu-GCP ต่อ Waste-PS เป็น 10:90



อัตราส่วนของ St-Bu-GCP ต่อ Waste-PS เป็น 20:80



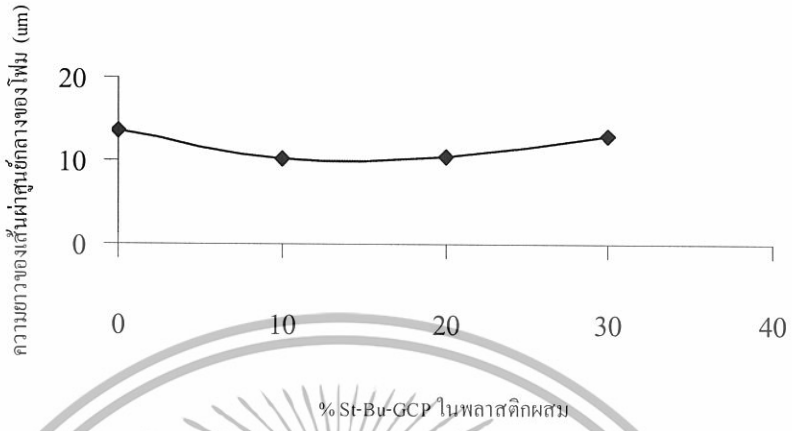
อัตราส่วนของ St-Bu-GCP ต่อ Waste-PS เป็น 30:70



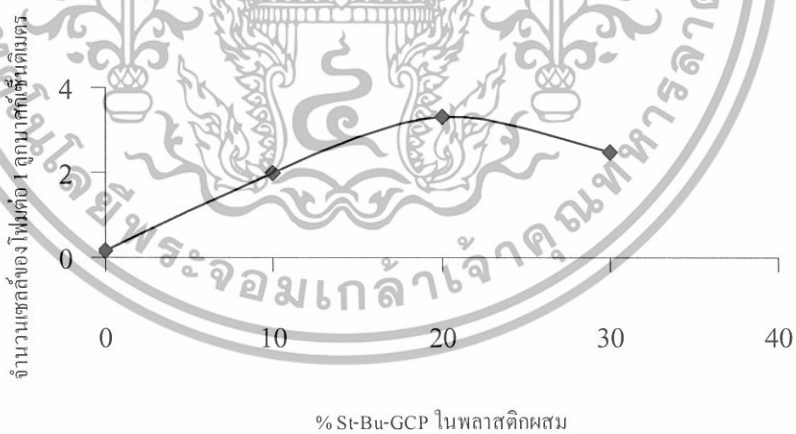
อัตราส่วนของ St-Bu-GCP ต่อ Waste-PS เป็น 0:100

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCPกับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆที่ ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 800 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP กับ พลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ ในสภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

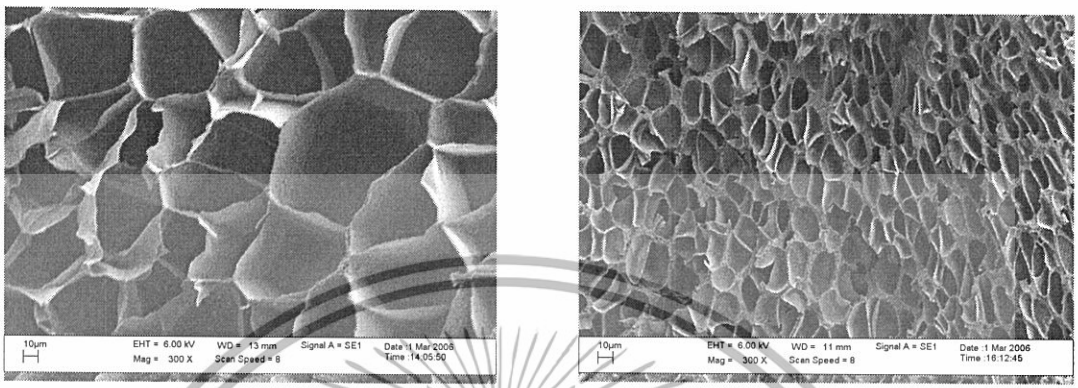
4.1.2 ผลของความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม

1. ลักษณะรูปร่างโฟมที่ผลิตได้จากพลาสติกผสมระหว่าง 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ และ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

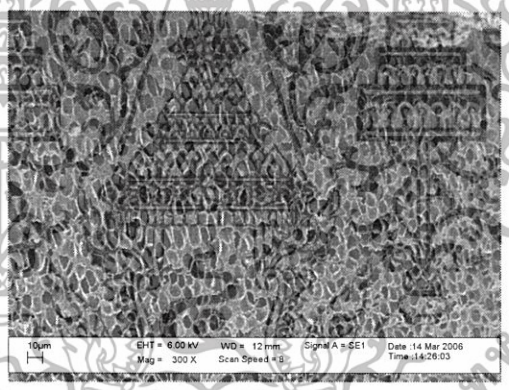
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% St-Bu-GCP กับ90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,200 , 3,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะให้ลักษณะรูปร่างของโฟมแสดงในรูปที่ 4.5 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูปที่ 4.7 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.8และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์รูปที่ 4.9 พบว่า

- ที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์บางมาก
- ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนค่อนข้างมาก และมีผนังเซลล์บาง
- ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้นมาก ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์หนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



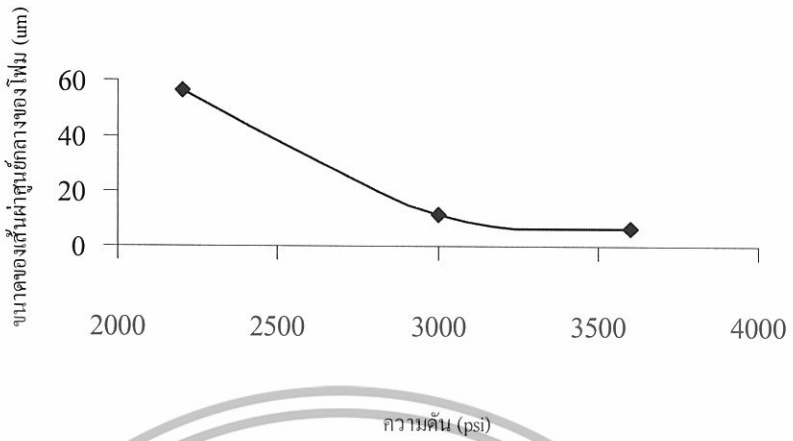
(ก) 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ข) 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



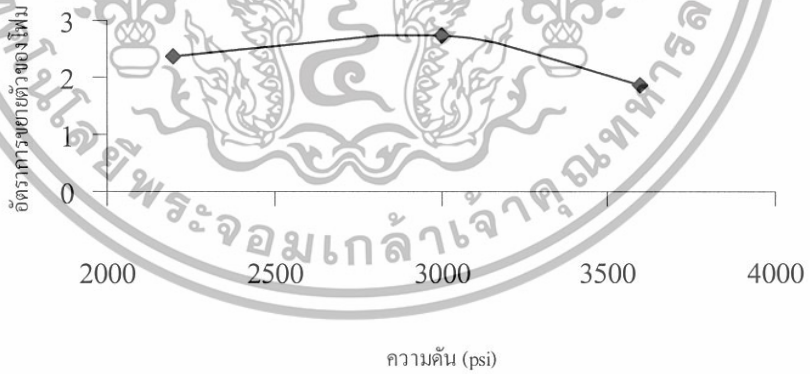
(ค) 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

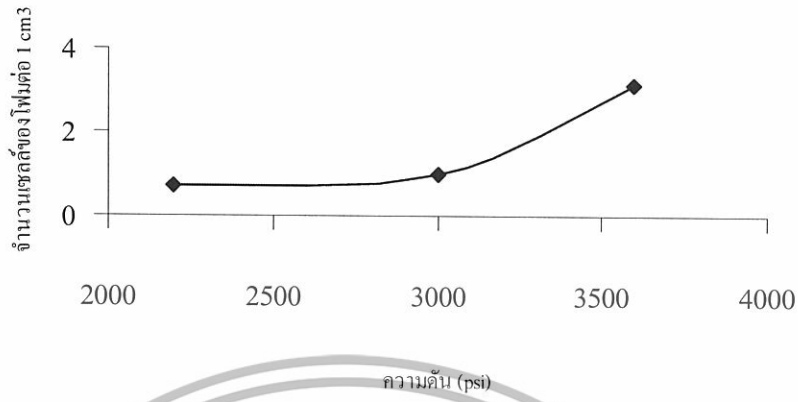


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะรูปร่างโฟมที่ผลิตได้จากที่ 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

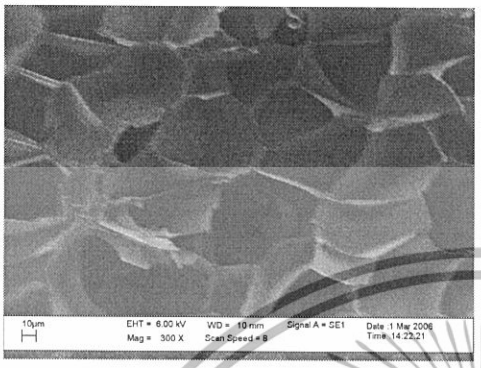
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,200 , 3,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะให้ลักษณะรูปร่างของโฟมดังแสดงในรูปที่ 4.10 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.11 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูปที่ 4.12 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.13 และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ดังรูปที่ 4.14 พบว่า

- ที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์บางมาก

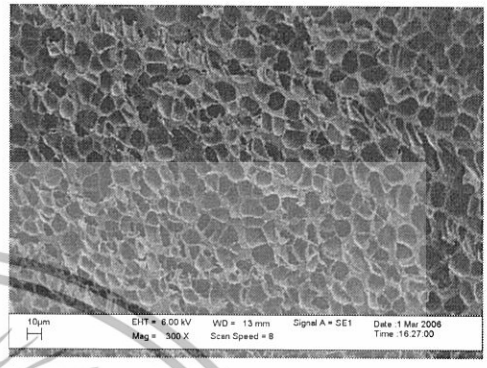
- ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนค่อนข้างมาก และมีผนังเซลล์บาง

- ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้นมาก ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์หนา

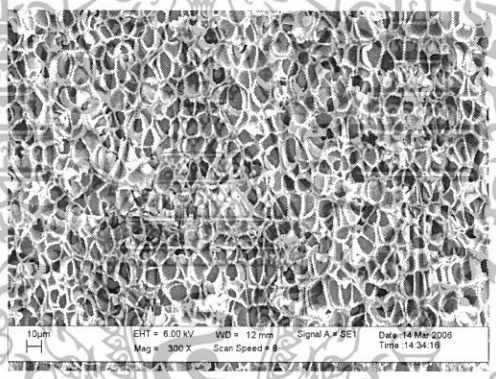
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



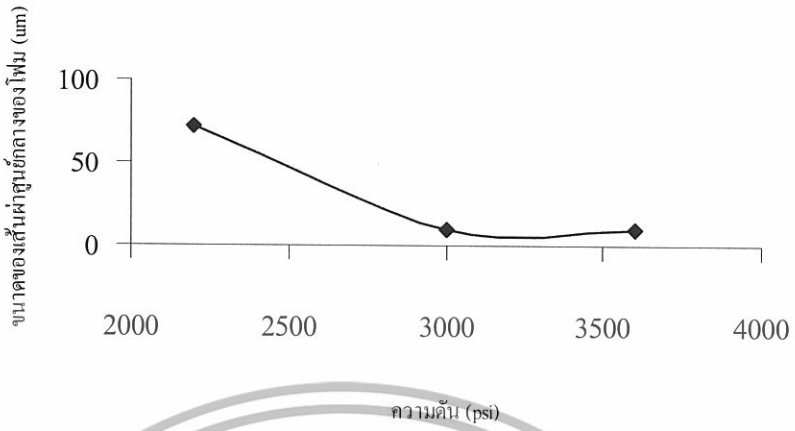
(ข) 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



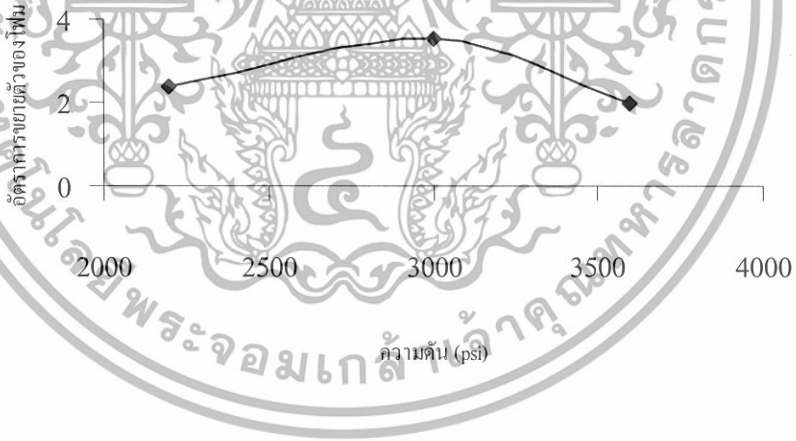
(ค) 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

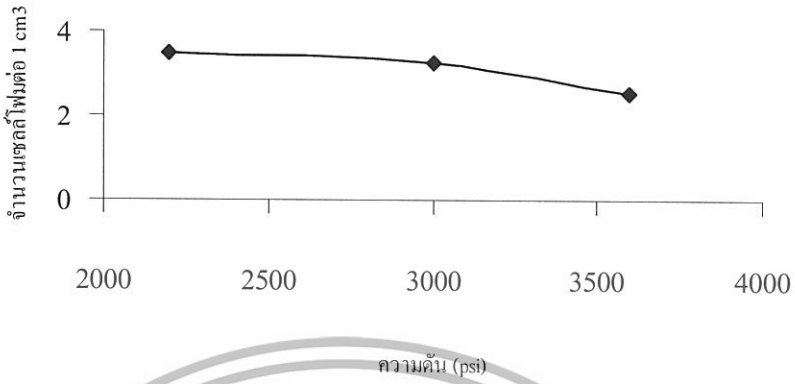


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

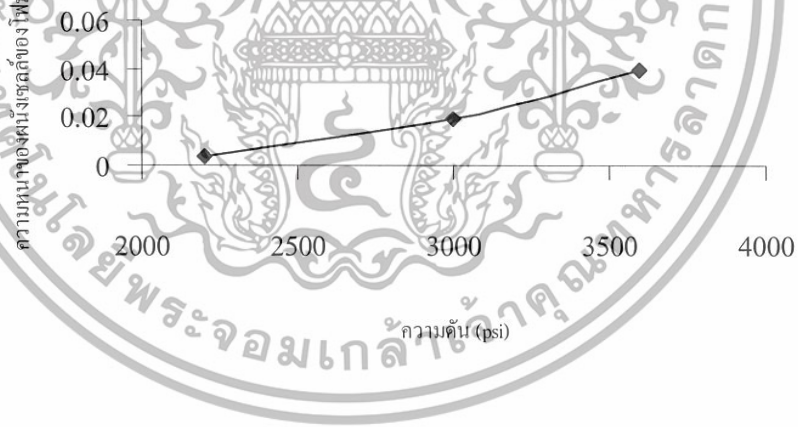


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ในสภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลักษณะรูปร่างของโฟมที่ผลิตได้จากที่ 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

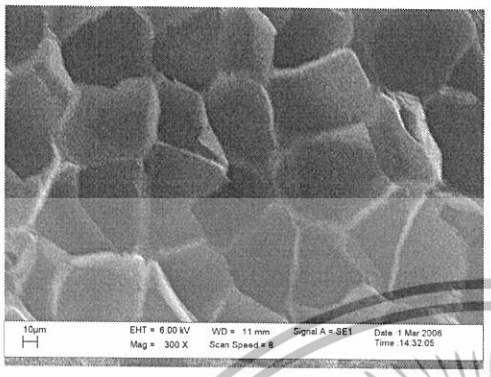
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,200 , 3,000 และ 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะให้ลักษณะรูปร่างของโฟมแสดงในรูปที่ 4.15 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.16 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูปที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.18 และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์รูปที่ 4.19 พบว่า

- ที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์บางมาก

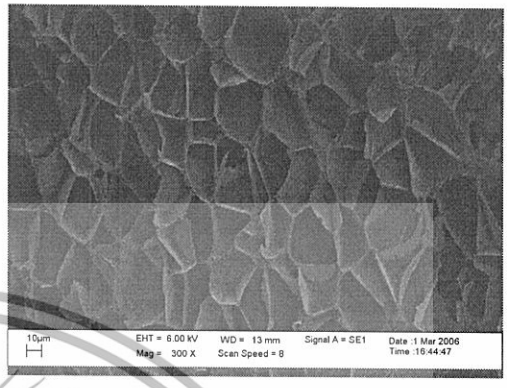
- ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนค่อนข้างมาก และมีผนังเซลล์บาง

- ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้นมาก ทำให้ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์หนา

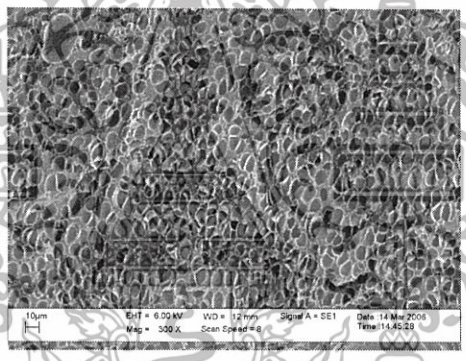
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



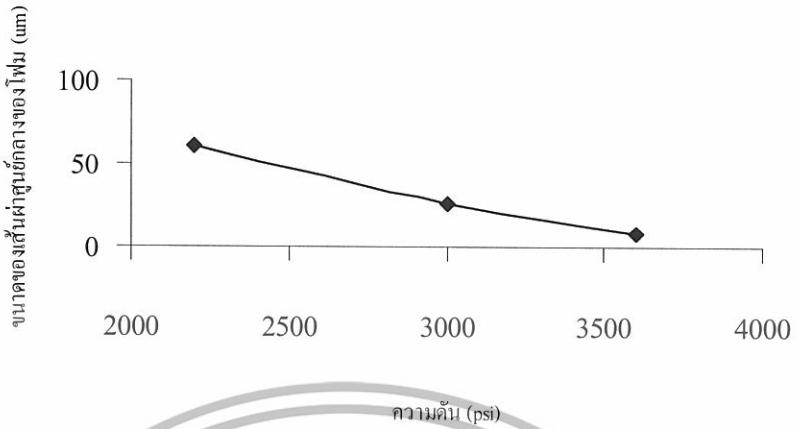
(ข) 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



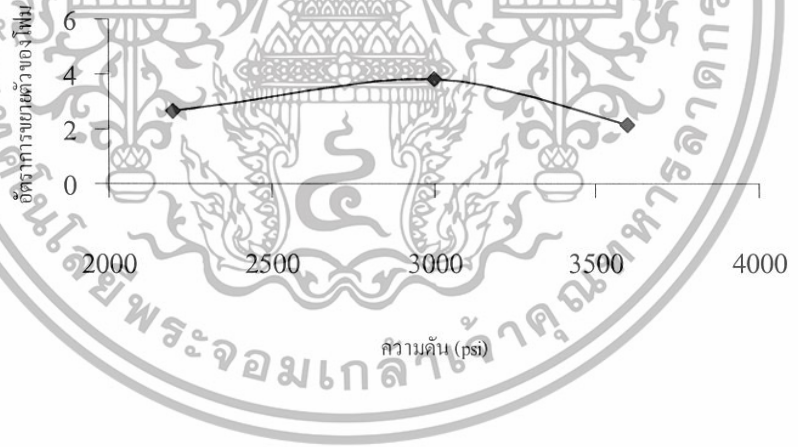
(ค) 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

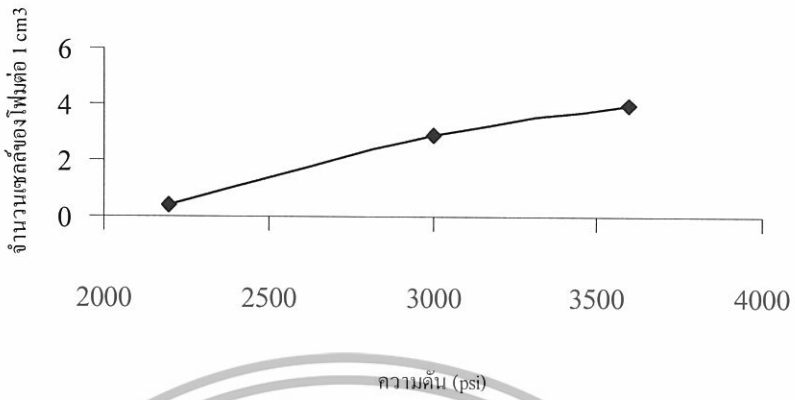


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

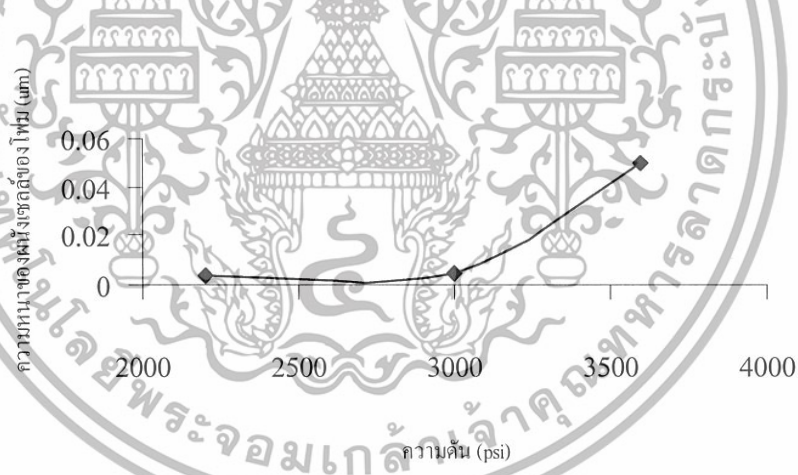


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 - เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก St-Bu-GCP ที่สภาวะความดันต่างๆ อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

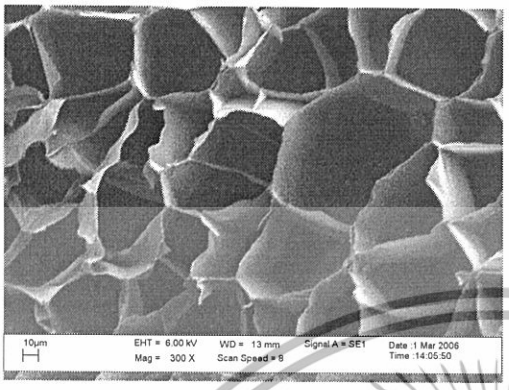
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลักษณะรูปร่างโฟมที่ผลิตได้จากที่ 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

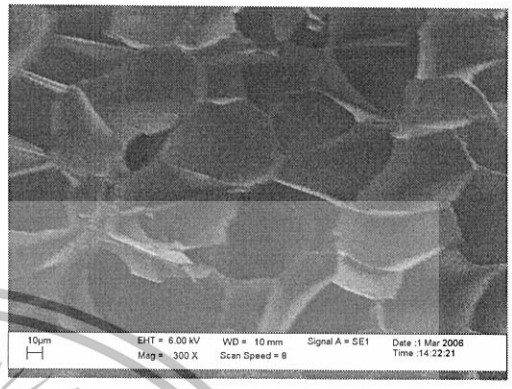
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส จะให้ลักษณะรูปร่างโฟมดังแสดงในรูป-ที่ 4.20 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.21 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูปที่ 4.22 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.23 และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์รูปที่ 4.24 พบว่า

- ที่ 3% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวน้อย ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์หนามาก
- ที่ 4% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวน้อย ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์บาง
- ที่ 5% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนแล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวมาก ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 3% DEG

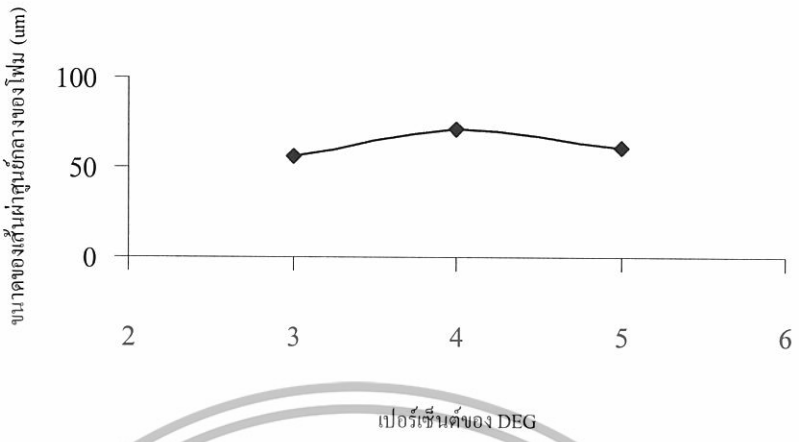


(ข) 4% DEG

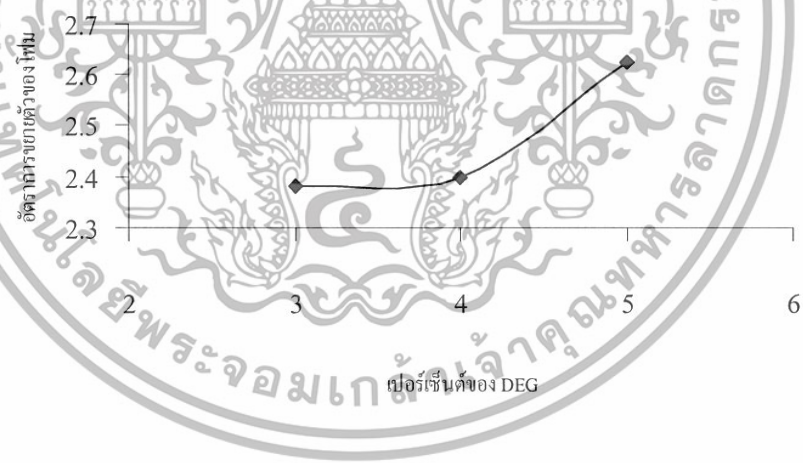
(ค) 5%DEG

รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

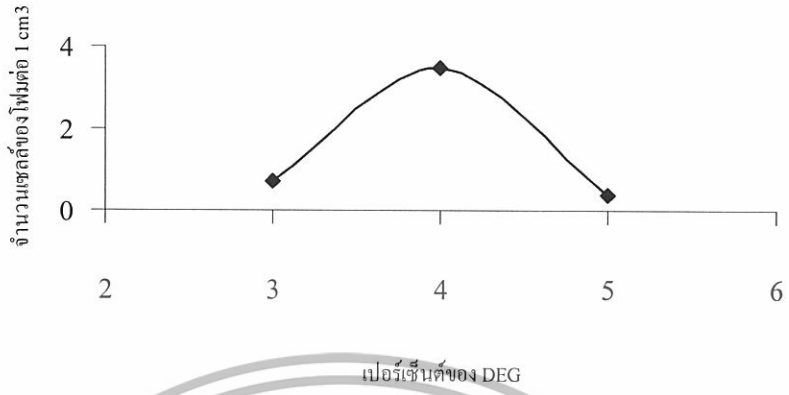


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ใน - ปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

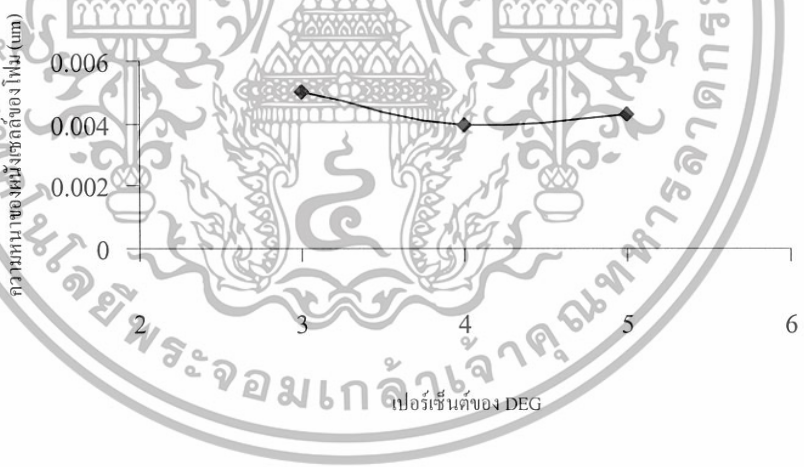


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ – ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ลักษณะรูปร่างโฟมที่ผลิตได้จากที่ 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 - ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

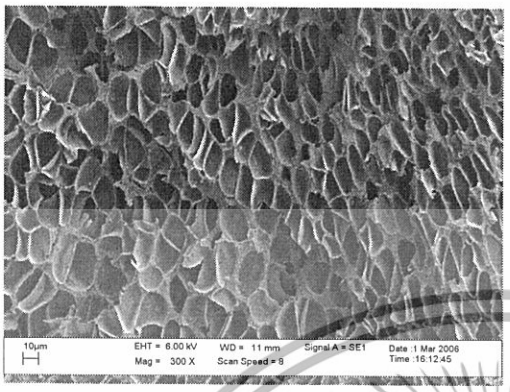
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส จะให้ลักษณะรูปร่างโฟมในรูปที่ 4.25 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.26 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูป - ที่ 4.27 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.28 และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์รูป - ที่ 4.29 พบว่า

- ที่ 3% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวน้อยมาก ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อยมาก และมีผนังเซลล์หนามาก

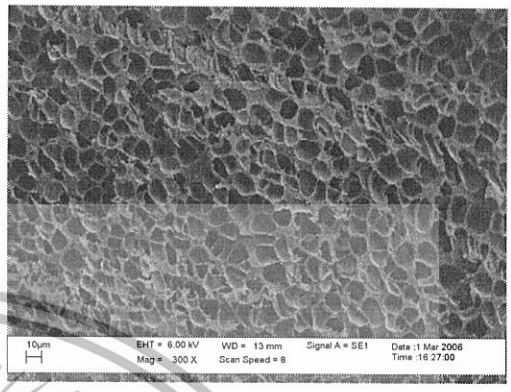
- ที่ 4% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้นมาก ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวน้อย ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์บาง

- ที่ 5% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้างมาก ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวมาก ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์บางมาก

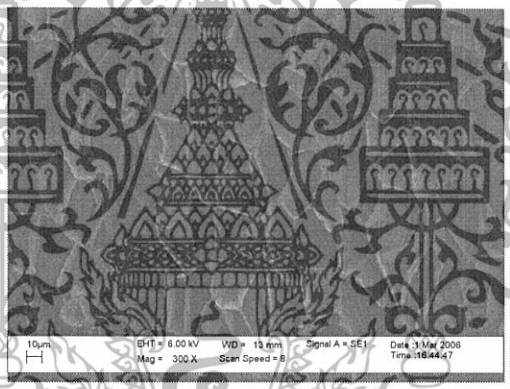
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 3% DEG



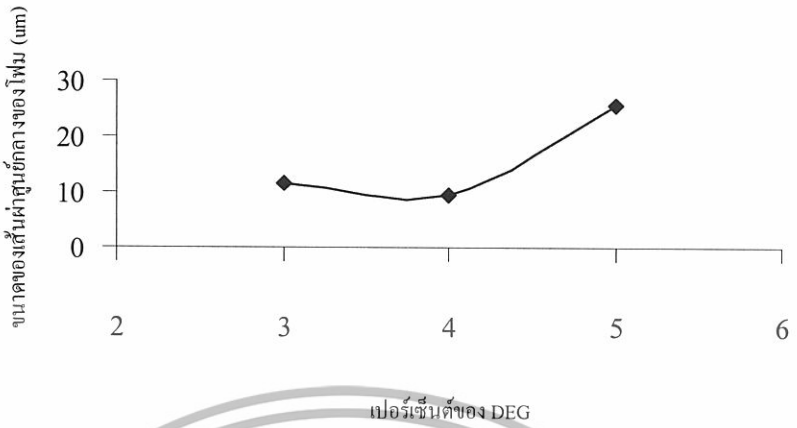
(ข) 4% DEG



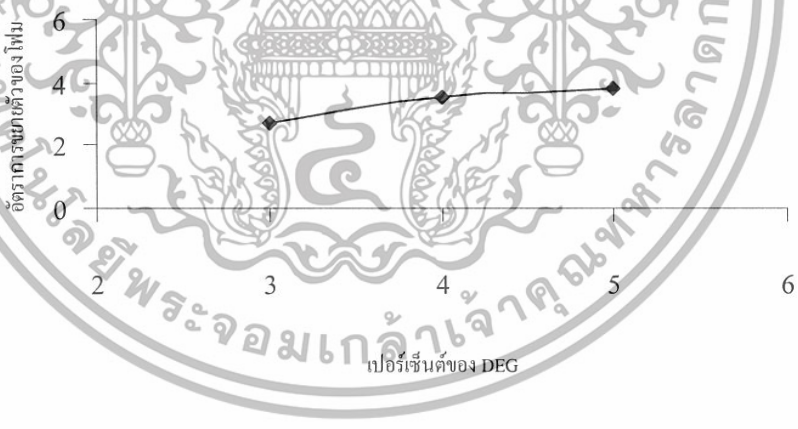
(ค) 5%DEG

รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

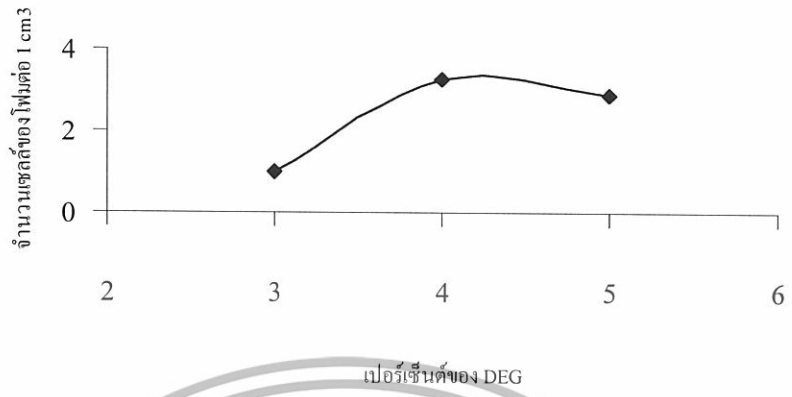


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ใน - ปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย - 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย - 300 เท่า

รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ใน - ปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ลักษณะรูปร่างโฟมที่ผลิตได้จากที่ 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 - ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

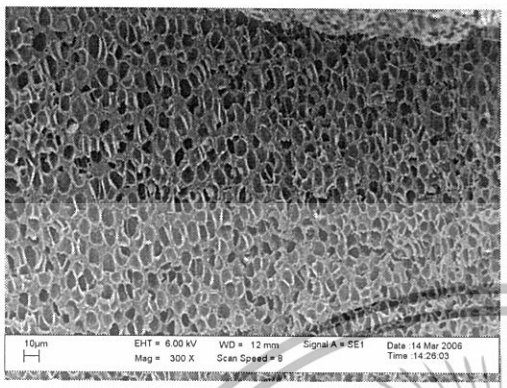
เมื่อนำพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ มาทำการขึ้นรูปโฟมที่ความดัน - 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะให้ลักษณะรูปร่างโฟม แสดงรูปที่ 4.30 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมรูปที่ 4.31 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมรูปที่ 4.32 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมรูปที่ 4.33 และ กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์รูปที่ 4.34 พบว่า

- ที่ 3% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้นมาก ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวได้น้อยมาก ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อย และมีผนังเซลล์หนา

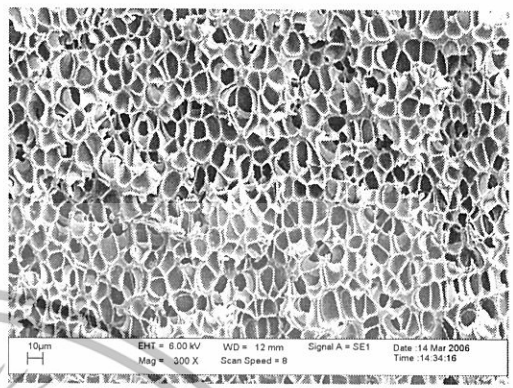
- ที่ 4% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวได้น้อย ปริมาณรูพรุนมีจำนวนน้อยมาก และมีผนังเซลล์บางมาก

- ที่ 5% DEG ของน้ำหนัก St-Bu-GCP จะมีขนาดรูพรุนเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางสั้น ทำให้โฟมมีอัตราการขยายตัวได้มาก ปริมาณรูพรุนมีจำนวนมาก และมีผนังเซลล์บาง

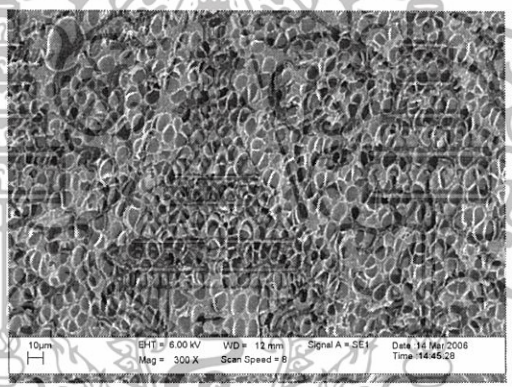
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 3% DEG



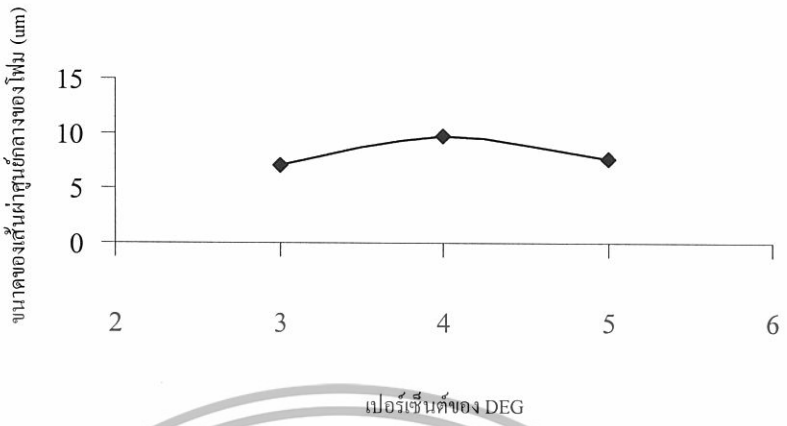
(ข) 4% DEG



(ค) 5%DEG

รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะรูปร่างของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

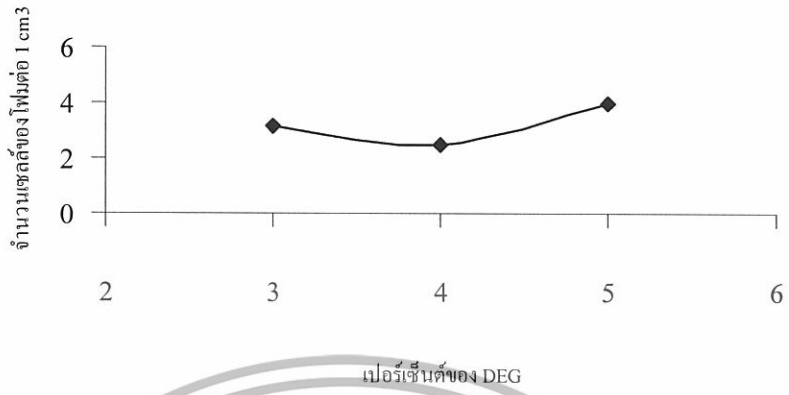
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ใน - ปริมาณ ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงอัตราการขยายตัวของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย - 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



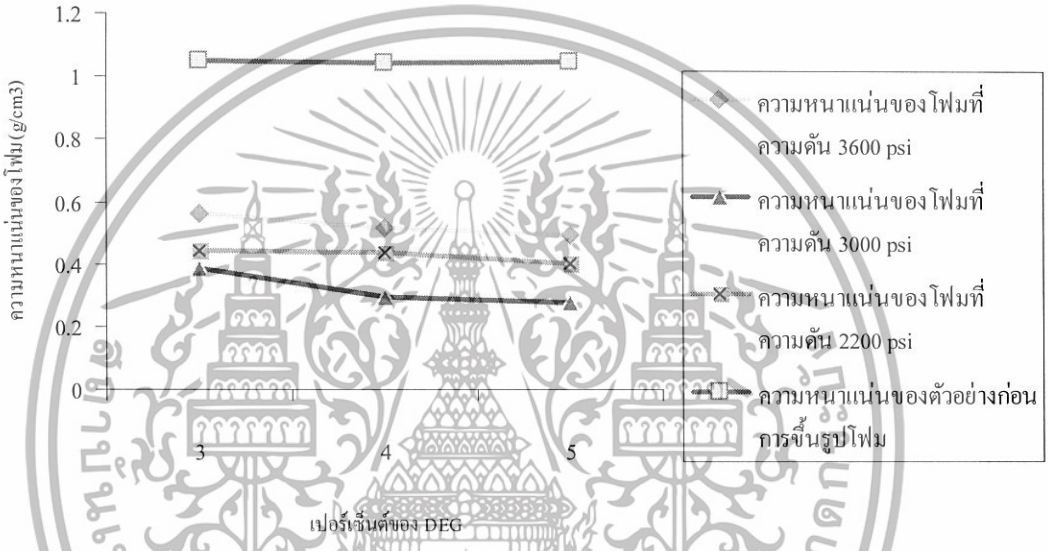
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย - 300 เท่า

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความหนาของผนังเซลล์ของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ใน - ปริมาณต่างๆ ที่สภาวะความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

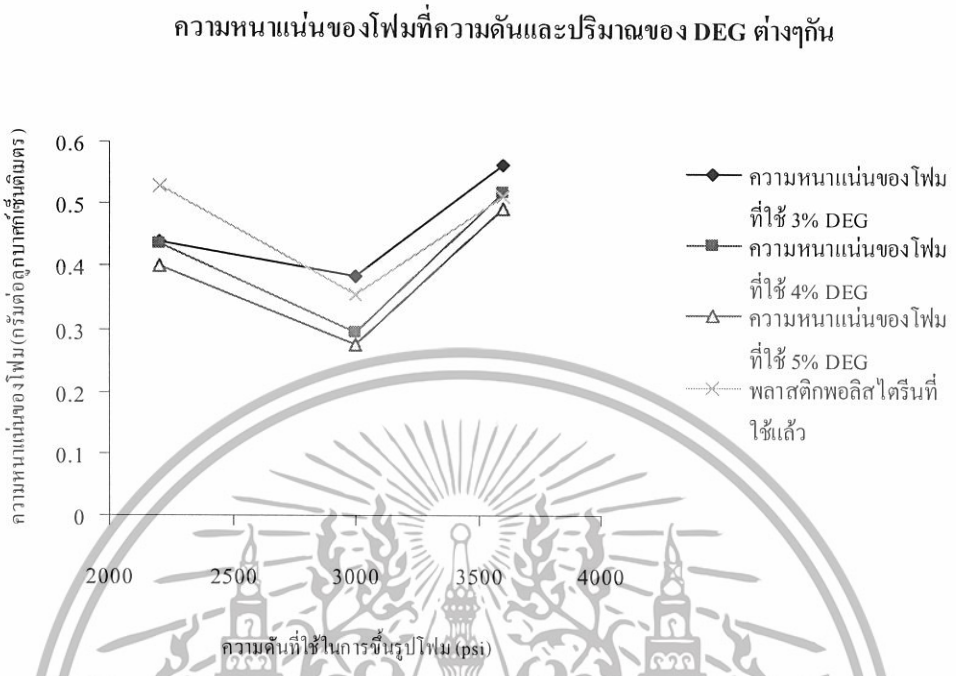
เมื่อนำค่าความหนาแน่นของโฟมและความดันที่มาใช้ในการขึ้นรูปโฟมพล๊อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความดันที่ใช้ดีที่สุดในการขึ้นรูปโฟม พบว่าเมื่อใช้ 5%DEG และ ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะให้โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด

ความหนาแน่นก่อนและหลังการขึ้นรูปโฟมที่ปริมาณ %DEG ต่างๆ



ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% St-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยเปลี่ยนแปลง DEG ในปริมาณต่างๆ ที่ความดันต่างๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตได้จาก 10% St-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยเปลี่ยนแปลงความดันแตกต่างกัน และใช้ DEG ที่ปริมาณต่างๆ อุณหภูมิ100องศาเซลเซียส และกำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายในทางชีวภาพ

4.3.1 ผลของปริมาณของ St-Bu-GCP ในพอลิเมอร์ผสม

พอลิสไตรีนที่ใช้แล้วจะมีค่าอุณหภูมิการสลายตัวเท่ากับ 373.430 องศาเซลล์เซียส อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 340.63 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลง

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังและพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว	อุณหภูมิที่สลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไป
0:100	373.43
10:90	366.67
30:70	355.56
100:0	340.63

4.3.2 ปริมาณ DEG ที่ใช้ในพอลิเมอร์ผสมที่ผลิตจากพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 10:90

เมื่อเพิ่มปริมาณของ DEG ในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังและพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วอัตราส่วน 10:90 พบว่าจะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวที่ 50%ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วอัตราส่วน 10:90 และใช้ของ DEG ในปริมาณ - ต่างๆ

ปริมาณของ DEG (%โดยน้ำหนักของ St-Bu-GCP)	อุณหภูมิที่สลายตัวที่ 50% ของน้ำหนักที่หายไป
3	342.20
4	343.75
5	347.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการขึ้นรูปโฟมของพลาสติกผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆคือ 10:90 , 20:80 , 30:70 , 50:50 พบว่าขนาดของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตขึ้นในสภาวะความดันแตกต่างกันจะมีลักษณะรูปร่างของรูพรุนที่แตกต่างกันด้วยพลาสติกผสมที่ผลิตจาก พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วเท่ากับ 10: 90 สามารถนำไปผลิตโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติดีที่สุด

จากนั้นการศึกษาปริมาณของ DEG ในอัตราส่วน 3 , 4 , 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำการขึ้นรูปโฟม ทดสอบด้วยเครื่อง SEM และหาค่าความหนาแน่นของโฟม พบว่าเมื่อใช้ DEG ปริมาณ 5 - เปอร์เซ็นต์จะให้โฟมที่มีลักษณะรูปร่างดีที่สุด

จากการศึกษาผลของความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟมคือ 2,200 , 3,000 , 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะสามารถขึ้นรูปโฟมได้ดีที่สุด

ดังนั้นเมื่อใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง 10% ของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และ ใช้ปริมาณ 5% DEG ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส จะให้โฟมพลาสติกที่มีสมบัติดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองเครื่องขึ้นรูปโฟม จะต้องใส่ฟอยล์เพื่อเพิ่มความดัน จึงควรใส่ฟอยล์ใน - ปริมาณทมากเพียงพอ
2. การขึ้นรูปโฟม จะต้องทำให้อุณหภูมิของแก๊สเหมาะสมและมีความดันมากพอ จึงจะอัดความดันได้ตามต้องการ
3. ในการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงมากเกินไป เพราะว่าจะทำให้พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังเกิดการเสื่อมสภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Klempher, D., and Frisch, K.C., *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Hanser, Munich, 1991.

[2] Lee, S. T., *Foam Nucleation In Gas-Dispersed Polymeric System.* Japan, 1998.

[3] Krause, B., Boerrigter, M.E., van der Vegt, N.F.A., Strathmann, H., Wessling, M., *Novel Open-cellular Polysulfone Morphologies Produced with Trace Concentrations of Solvents as Pore Opener*, **Journal of Membrane Science** 187, 181-192, 2001.

[4] Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., *Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th ed. ,McGraw-Hill, 531-534,706-707,2001.

[5] Welty, J.R., Wicks, C.E., Wilson ,R.E. and Rorrer, G. L., *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Tranfer*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc, 2001.

[6] Areerat S., *Solubility, Diffusion Coefficient and Viscosity in Polymer / CO_2 Systems*, Doctored thesis, Kyoto University, Japan, 2002.

[7] Marais , S., Bureau ,E., Gouanvé , F., Ben Salem ,E., Hirata ,Y., Andrio ,A., Cabot ,C., Atmani ,H., Transport of water and gases through EVA/PVC blend Films permeation and DSC investigations, **Polymer Testing**, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

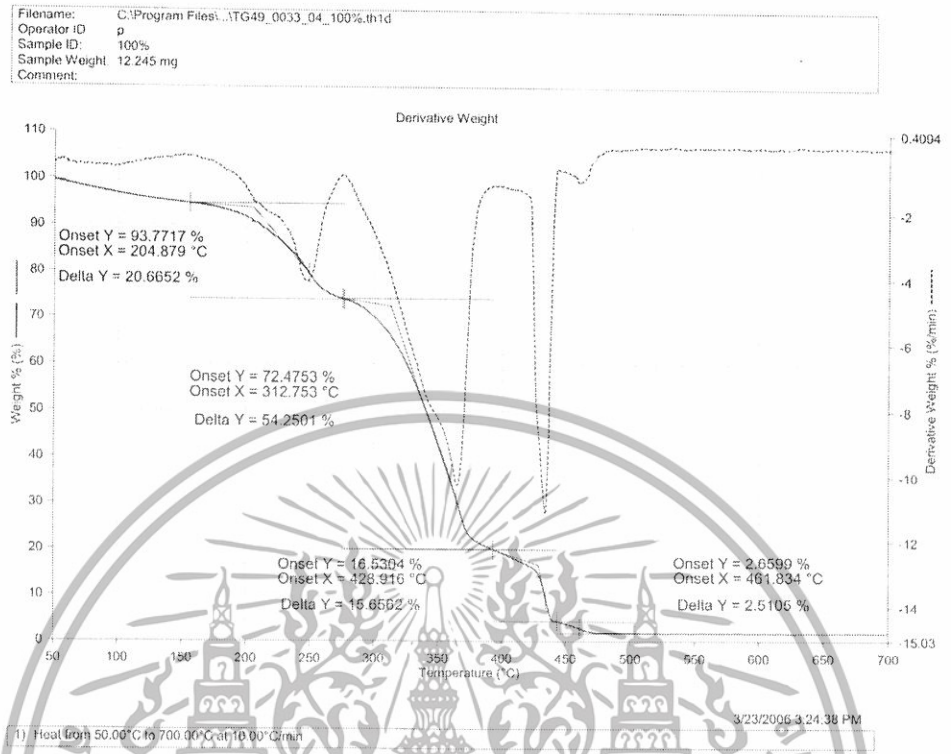
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

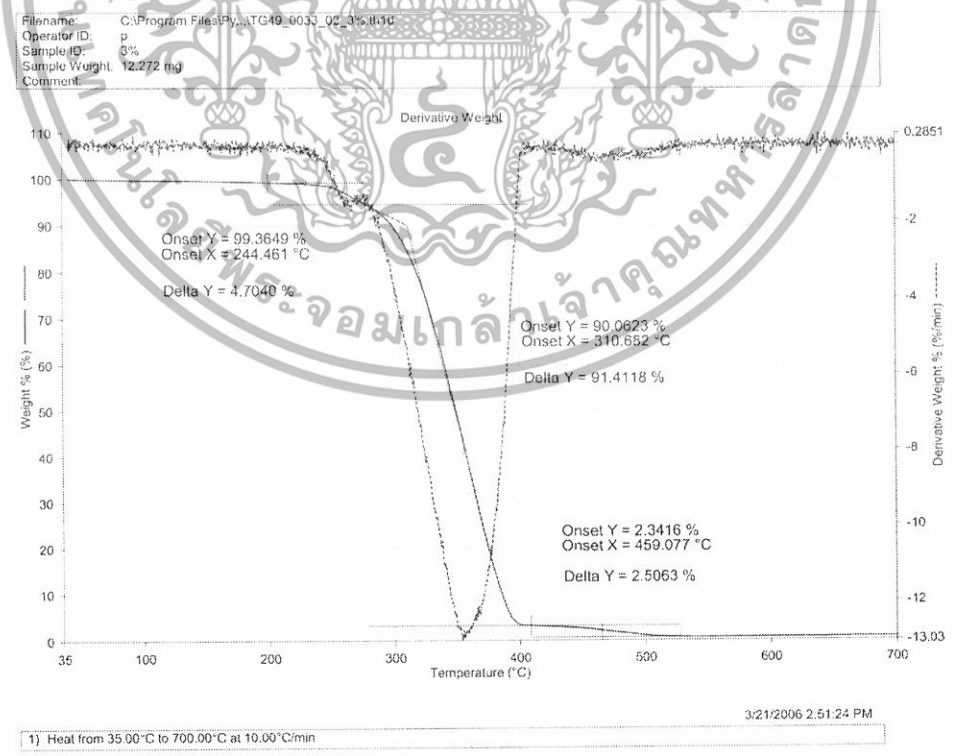
ภาคผนวก ก

กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

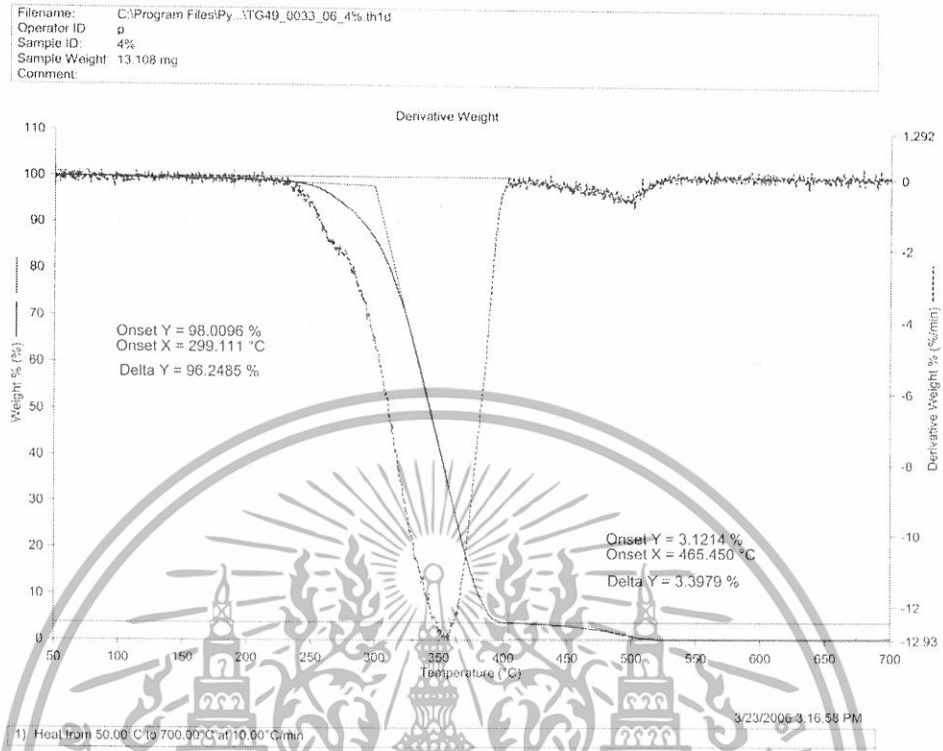


ภาพที่ ก-3 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 100%ของSt-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยปราศจาก DEG

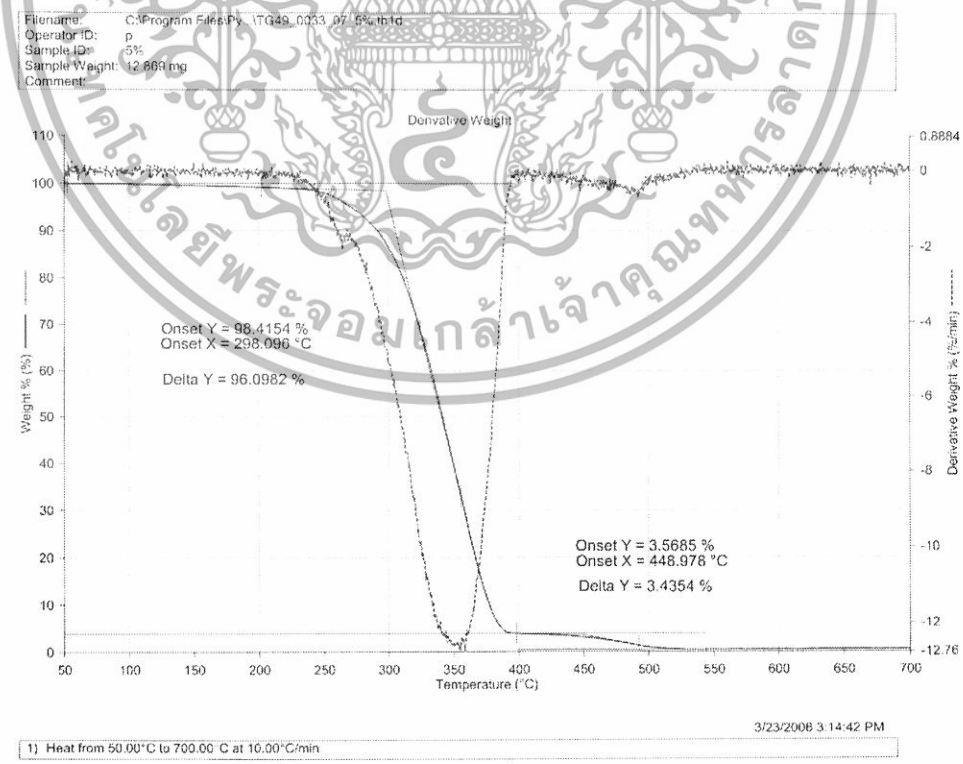


ภาพที่ ก-4 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10%ของSt-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

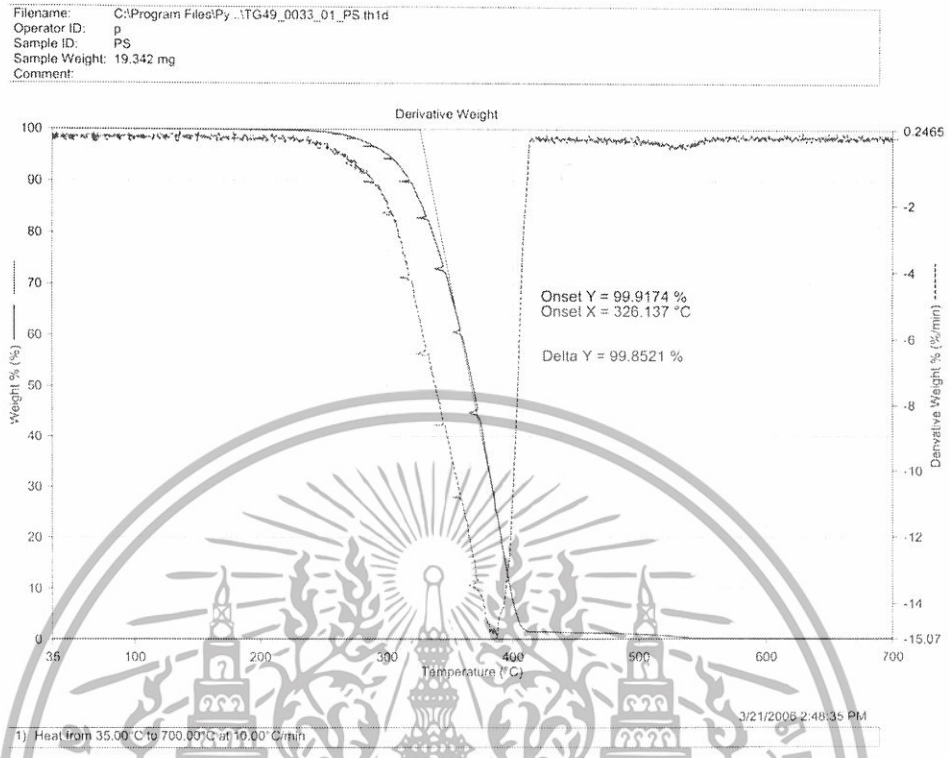


ภาพที่ ก-5 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10%ของSt-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง



ภาพที่ ก-6 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 10%ของSt-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก-6 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ลักษณะเซลล์เฉลี่ยของโฟมที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ลักษณะเซลล์เฉลี่ยของโฟมที่ผลิตได้จาก St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

ตารางที่ ข-1 แสดงลักษณะเซลล์เฉลี่ยของโฟมที่ผลิตได้จากพลาสติกผสมระหว่าง St-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความดัน 3,600 ปอนด์-ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส.

% ของ St-Bu-GCP	%ของ Waste-PS	ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	อัตราการขยายตัว	จำนวนเซลล์ต่อ cm^3
0	100	13.56	2.030	1.8×10^8
10	90	10.24	2.063	2.0×10^9
20	80	10.59	1.922	3.3×10^9
30	70	12.93	1.829	2.5×10^9

ตารางที่ ข-2 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ผลิตได้จาก 10% ของ St-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่ความดัน 2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ปริมาณของ DEG ที่ใช้ (%wt)	ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	อัตราการขยายตัว	จำนวนเซลล์ต่อ cm^3	ความหนาของผนังเซล(μm)
3	56.44	2.380	7.5×10^7	17.687
4	72.03	2.399	3.5×10^8	22.287
5	61.76	2.628	3.8×10^7	16.705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

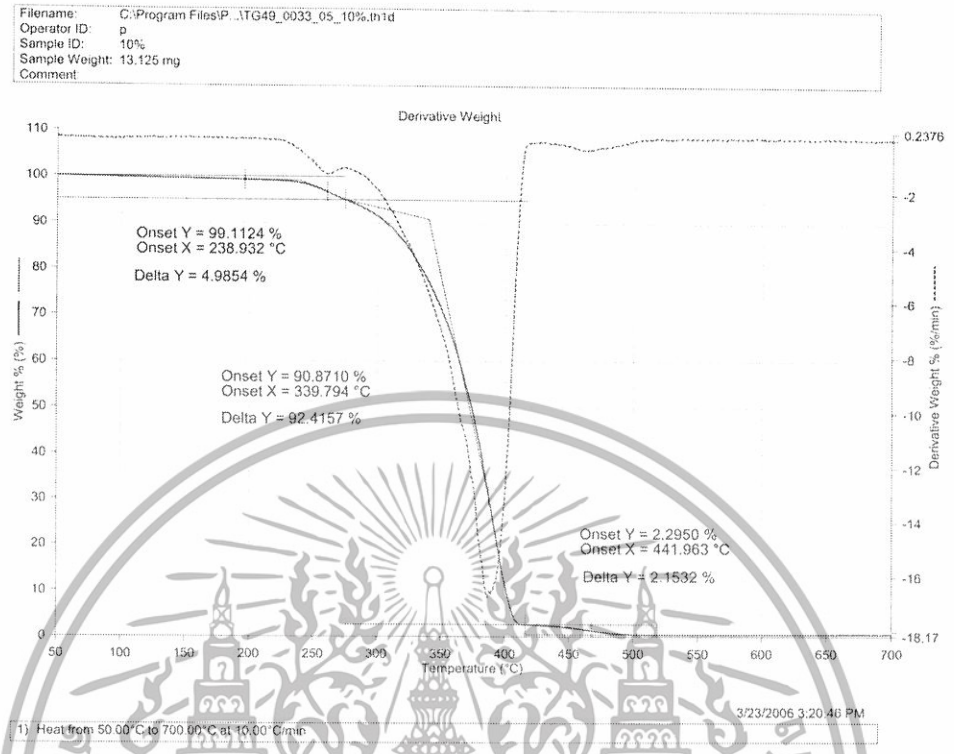
ตาราง ข-3 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ปริมาณของ DEG ที่ใช้ (%wt)	ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	อัตราการขยายตัว	จำนวนเซลล์ต่อ (cm^3)	ความหนาของผนังเซลล์ (μm)
3	11.50	2.733	7.0×10^9	2.943
4	9.40	3.563	3.3×10^9	1.684
5	25.82	3.819	2.9×10^9	4.235

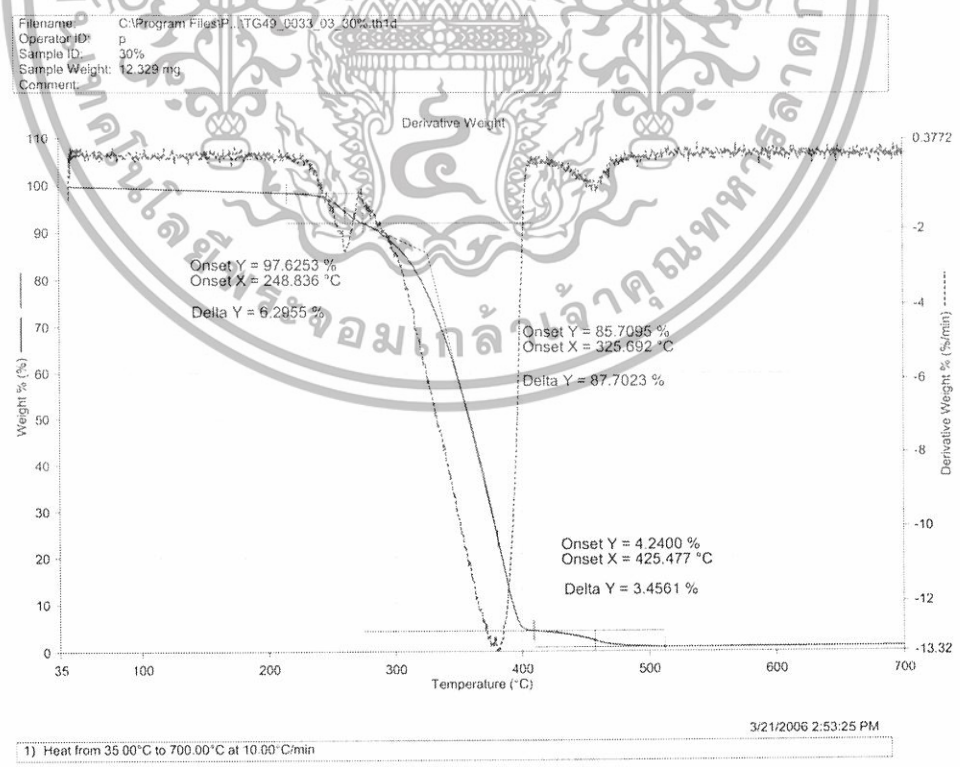
ตาราง ข-4 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโฟมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้จาก 10% ของSt-Bu-GCP กับ 90%ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว และใช้ DEG ในปริมาณต่างๆ ที่ความดัน 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ปริมาณของ DEG ที่ใช้ (%wt)	ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	อัตราการขยายตัว	จำนวนเซลล์ต่อ (cm^3)	ความหนาของผนังเซลล์ (μm)
3	7.056	1.861	3.2×10^9	3.319
4	9.82	2.014	2.5×10^9	4.019
5	7.76	2.129	4.0×10^9	2.895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก10%ของSt-Bu-GCP และ 90% ของพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยปราศจาก DEG



รูปที่ ก-2 อุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติกผสมที่ผลิตได้จาก 30%ของSt-Bu-GCP และพลาสติกพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยปราศจาก DEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้