

การปรับปรุงโครงสร้างของฟอมไอเอซิส เพื่อใช้รักษาความสดของดอกไม้



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107790
วัน,เดือน,ปี.....14 พ.ค. 2553

b.....12212416
i.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงโครงสร้างของฟอรมโอเอซิส เพื่อรักษาความสดของดอกไม้



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modification of Oasis Formulation for Refreshing Flower

Ms. Kitchaporn Nartetamrongsutt

Ms. Thitikarn Kuhapensaeng

Ms. Saravalee Saengthaveep

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 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับปรุงโครงสร้างของฟอโมโอเอซิสเพื่อใช้รักษาความสดของดอกไม้

นักศึกษา

1. นางสาวกฤษภร นทีฉำรงสุทธิ
2. นางสาวฐิติการ คูหเพ็ญแสง
3. นางสาวสราวลี แสงทวีป

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ <u>ดร. สามารถ คงทวีเลิศ</u>	
กรรมการ <u>ดร. นราธิป วิทยากร</u>	
กรรมการ <u>รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย</u>	

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงโครงสร้างของโพลีเอเอซิสเพื่อใช้รักษาความสดของดอกไม้		
นักศึกษา	1. นางสาวกฤษภร นทีธำรงสุทธิ	รหัสนักศึกษา	46050052
	2. นางสาวฐิติการ คูหเพ็ญแสง	รหัสนักศึกษา	46050063
	3. นางสาวสราวลี แสงทวีป	รหัสนักศึกษา	46050098
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2549		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการผลิตโพลีเอเอซิส สำหรับใช้ในการรักษาความสดของดอกไม้ โดยการใช้สารประเภทฟีนอลิกและแป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถดูดซับน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยทำการสังเคราะห์โพลีเอเอซิสจากฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 0 1 3 5 7 และ 10 กรัม ตามลำดับ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

จากผลการทดลองพบว่า โพลีเอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุดและสามารถสลายตัวได้โดยความร้อนที่อุณหภูมิ 152.02 องศาเซลเซียส เมื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่า โพลีเอเอซิสที่ผลิตได้มีโครงสร้างเป็นเซลล์ขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ ส่งผลให้โพลีเอเอซิสที่ผลิตได้สามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Modification of Oasis Formulation for Refreshing Flower
Name	Ms. Kitchaporn Nartetamrongsutt Ms. Thitikarn Kuhapensaeng Ms. Saravalee Saengthaveep
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Woramongkolchai

Abstract

The purpose of this special project is the production of oasis foam for refreshing flower by using phenolic and cassava starch which can absorb water and biological degradation. This project was synthesized oasis foam from phenol-formaldehyde which added the cassava starch in amount of 0, 1, 3, 5, 7 and 10 gram. Then, physical, thermal and morphology properties were tested for characterization of oasis foam.

The results showed that oasis foam with 10 % cassava starch by weight provided higher water absorption and it could be degraded by thermal at 152.02 ° C. For morphology properties revealed that oasis foam had small and discontinuous cells. Therefore, the oasis foam could absorb and kept less water.

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

กราบขอบพระคุณ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และ ดร.นราธิป วิทยากร อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปถัมภ์ในการทดลอง สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่ เพื่อน น้องและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

นอกเหนือจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือแต่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวกิจชวร นทีธำรงสุทธิ
นางสาวจิตติการ คูหเพ็ญแสง
นางสาวสราวลี แสงทวีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูปภาพ	vii
สารบัญตาราง	ix
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 แป้ง	3
2.2 ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์	11
2.3 สารช่วยให้พองตัวหรือสารฟู	13
2.4 การอัดแบบชนิดเนื้อโฟม	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3 วิธีการทดลอง	
3.3.1 หาอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส	
3.3.1.1 หาอัตราส่วนของสารช่วยให้พองตัวที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	32
3.3.1.2 หาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1.3 หาค่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	36
3.3.2 หาค่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส	38
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	40
3.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	
3.5.1 Thermogravimetric Analysis (TGA)	40
3.5.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)	41
3.6 การทดสอบสัณฐานวิทยา	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	
4.1.1 หาค่าอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส	
4.1.1.1 หาค่าอัตราส่วนของสารช่วยให้ฟองตัวที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	42
4.1.1.2 หาค่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	43
4.1.1.3 หาค่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส	44
4.1.2 หาค่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส	45
4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	
4.2.1 Thermogravimetric Analysis (TGA)	50
4.2.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)	52
4.3 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
5.3 การนำไปใช้ประโยชน์	58
เอกสารอ้างอิง	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ค่าการดูดซับน้ำของโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้จากโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ	62
ภาคผนวก ข การทดสอบสมบัติทางความร้อน	78
ภาคผนวก ค สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสารเคมีที่ใช้	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน	4
รูปที่ 2.3 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่กำลังขยาย 1500 เท่า	6
รูปที่ 2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน	8
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาเอลเทอริฟิเคชันที่เกิดในส่วนอสัณฐาน	9
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับความหนาแน่น ในโฟมยูรีเทนชนิดแข็งแกร่ง(rigid urethane foam)	21
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการซึมผ่านกับความหนาแน่น	22
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการอัดและเซลล์เปิดในโฟมพอลิเอทิลีน	23
รูปที่ 2.9 ผลของอัตราส่วนระหว่างเซลล์เปิดและปิดที่มีต่อการซึมผ่าน	24
รูปที่ 2.10 ผลของแอนไอโซทรอปีที่มีต่อการซึมผ่าน	26
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารช่วยให้พองตัว แตกต่างกัน	32
รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุแตกต่างกัน	34
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว ชนิดประจุลบแตกต่างกัน	36
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แตกต่างกัน	38
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณ สารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ	43
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	44
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำ (%) กับสูตรโฟมไอเอซิสที่ผลิต ได้ซึ่งมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของโพลีโอเอซิสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโพลีโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ	46
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 1 2 และ 3 ของโพลีโอเอซิสที่ผลิตได้	47
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 1 2 และ 3 ของโพลีโอเอซิสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโพลีโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ	48
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลีโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	50
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลีโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	51
รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC ของโพลีโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม	52
รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC ของโพลีโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ	53
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิวของโพลีโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า	54
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของโพลีโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	5
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่าง ๆ	6
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบกระบวนการพื้นฐานสำหรับการผลิตเนื้อโพน	17
ตารางที่ 2.4 ค่า K และ n ของโพนยูริเทนชนิดแข็งที่ได้จากการทดลอง	21
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบชิ้นงานชนิดต่างๆที่เป็นของแข็งกับชิ้นงานที่เป็นโพน	27
ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบกระบวนการที่อาศัยความดันต่ำและความดันสูง	27
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโพนไอเอซิสโดยมีปริมาณสารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน	33
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโพนไอเอซิสโดยมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุแตกต่างกัน	35
ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโพนไอเอซิสโดยมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแตกต่างกัน	37
ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโพนไอเอซิสโดยมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน	39
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ของโพนไอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เปรียบเทียบกับโพนไอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ	49
ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการผลิตโพนไอเอซิส	49
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการหลอมเหลวผลึก(T_m) พื้นที่ใต้กราฟ เอนทัลปี (ΔH_f) และองค์ความเป็นผลึก (X_c) ของโพนไอเอซิสที่ผลิตขึ้นได้จากโพนไอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันการใช้งานโฟมพีนอลิกหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าโฟมไอเอซิส ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางสำหรับงานประดับตกแต่งไม้ดอกไม้ประดับต่าง ๆ เช่น กระเช้าดอกไม้ แจกันดอกไม้ รวมถึงการจัดดอกไม้ในงานพิธีต่าง ๆ อีกมากมาย เพื่อรักษาความสดของดอกไม้ให้มีความคงทน ไม่เหี่ยวเฉา ซึ่งถือเป็นการยืดอายุของดอกไม้ให้มีความสดและความสวยงาม

แต่เนื่องจากโฟมไอเอซิสที่ใช้อยู่ทุกวันนี้ไม่สามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ ทำให้ต้องมีการนำเข้าจากประเทศผู้ผลิตโฟมไอเอซิส เช่น ประเทศมาเลเซีย ประเทศอินโดนีเซีย ประเทศจีน เป็นต้น ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยต้องมีการนำเข้าโฟมไอเอซิสเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเงินตราไหลออกสู่ภายนอกประเทศเป็นจำนวนมากด้วย นอกจากนี้โฟมไอเอซิสเป็นโฟมพอลิเมอร์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ด้านสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น ปัญหาขยะจากเศษวัสดุที่ผ่านการใช้งานแล้ว หรือถ้าหากต้องการกำจัดด้วยความร้อนเพื่อให้เกิดการสลายตัว (Degradation) ก็อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ คือ การผลิตโฟมไอเอซิสขึ้นเองจากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศและสามารถย่อยสลายได้ โดยการนำแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงสมบัติเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์โฟม เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีมากในประเทศไทยและราคาถูกดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาผสมในโฟมเพื่อเพิ่มสมบัติการดูดซับน้ำและสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและลักษณะพื้นฐานวิทยาของโฟมไอเอซิส
2. ผลิตโฟมไอเอซิสจากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ
3. ทดสอบสมบัติของโฟมไอเอซิสที่ผลิตได้และเปรียบเทียบกับโฟมไอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการผลิตโฟมไอเอซิสจากพีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่เหมาะสม
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและลักษณะพื้นฐานวิทยาของโฟมไอเอซิสที่ผลิตได้

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของโฟมไอเอซิส ดังนี้
 - สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption)
 - สมบัติทางความร้อน ได้แก่ การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่าง (TGA) การตรวจวัดความแตกต่างของเอนทัลปีของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง (DSC)
 - ลักษณะพื้นฐานวิทยา ได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว
2. ผลิตโฟมไอเอซิสจากสารประเภทพีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์
3. ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของโฟมไอเอซิสที่ผลิตได้
4. เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของโฟมไอเอซิสที่ผลิตได้กับโฟมไอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตโฟมไอเอซิสได้จากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ
2. โฟมไอเอซิสที่ผลิตได้มีสมบัติคล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกับโฟมไอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แป้ง (Starch) [1]

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ และจากสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้นำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปรับปรุงสมบัติของอาหาร นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (Modified starch) เป็นต้น

แป้งในการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ อยู่น้อยมาก และเมื่อสิ่งเจือปนเหล่านี้ถูกขจัดออกไปจะเหลือแต่แป้งบริสุทธิ์ที่เรียกว่า แป้งสตาร์ช (starch) เนื่องจากแป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีเพื่อการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ มากมาย

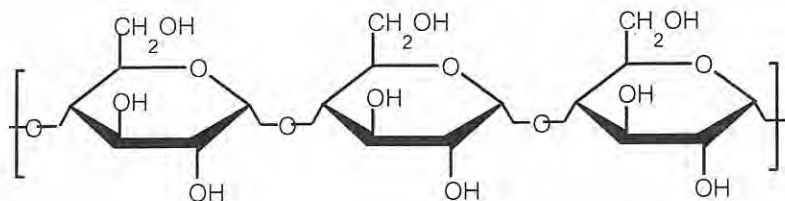
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydro-glucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่หนึ่งทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ซึ่งมีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่อัลดีไฮด์เรียกว่า Reducing end group ซึ่งแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) และ อะไมโลเพกติน (Amylopectin)

- อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-Glucosidic linkage ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงและมีความยาวค่อนข้างมาก อะไมโลสไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไปอะไมโลสจะจับคู่กับอะไมโลสโมเลกุลอื่น ๆ เป็นสายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นโครงสร้างตาข่ายที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงและตกตะกอนได้ อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธะของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะม้วนเป็นเกลียว

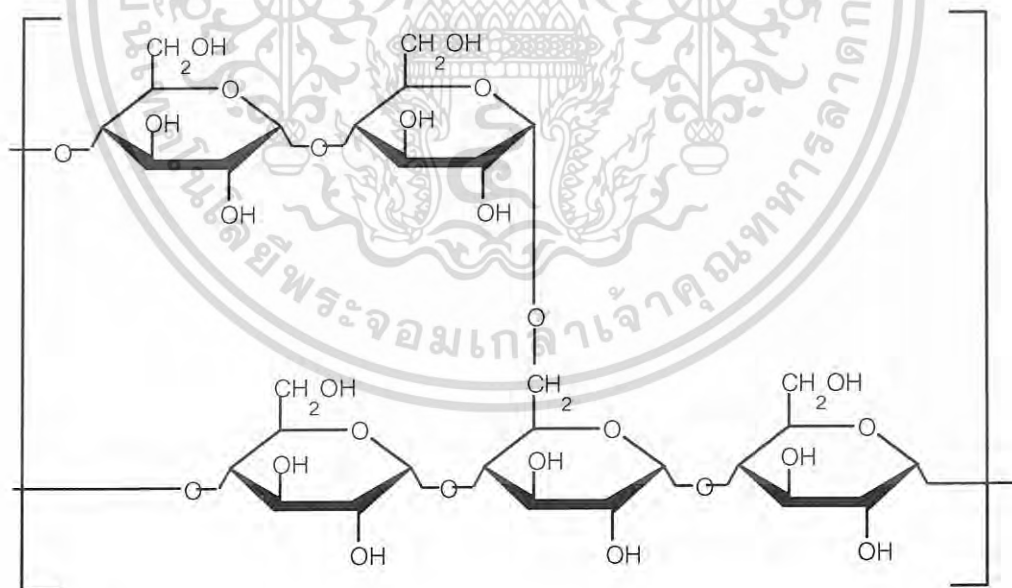
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Helix) เกิดยวที่คล้ายตัว (Interrupted helix) หรือเรียงตัวอย่างอิสระ (Random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้องอะไมโลสจะอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คล้ายตัว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส [1]

- อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์โซ่กิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-Glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์สายสั้นมีองค์การเกิดพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-Glycosidic linkage และมีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด ซึ่งอะไมโลเพกตินมีน้ำหนักประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [1]

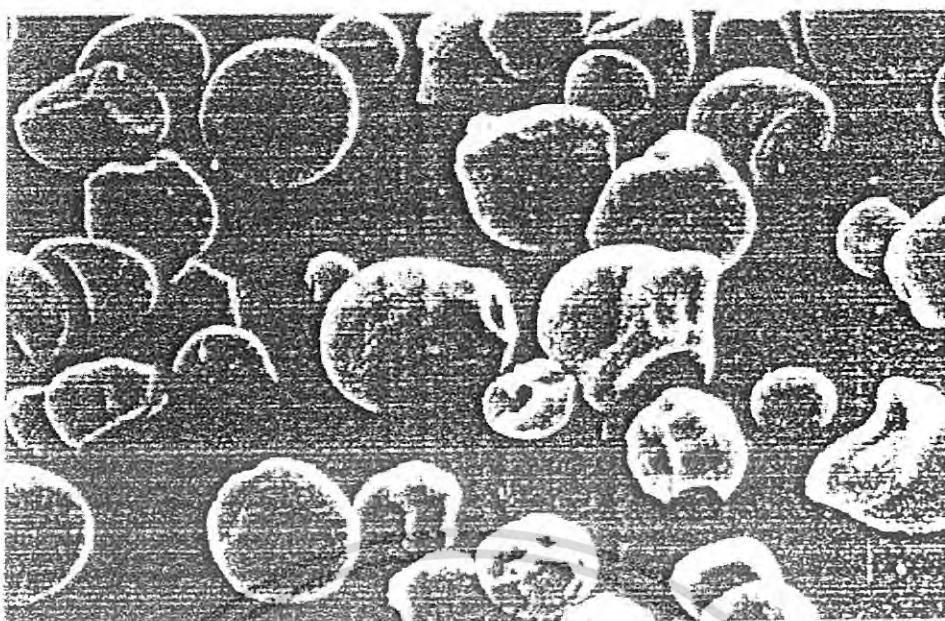
สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะ กันเป็นโซ่กิ่ง
พันธะที่จับ	α -1,4 Glucosidic linkage	α -1,4 Glucosidic linkage และ α -1,6 Glucosidic linkage
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้มากกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัว เป็นก้อนและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

2.1.3 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังผลิตได้จากรากที่มีลักษณะคล้ายหัวของต้นมันสำปะหลัง มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot utilisima* ในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Tapioca starch, Cassava starch หรือ Monioc starch โดยแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลัง คือ มีความบริสุทธิ์สูงโดยจะมีสตาร์ชอยู่มากกว่า 95% และมีปริมาณโปรตีนและไขมันอยู่น้อยกว่า 1% ลักษณะของแป้งเมื่อเปิดแป้งเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม หรือรูปไข่และอาจมีรอยบุ๋มที่ปลายด้านหนึ่งของเม็ด โดยเม็ดแป้งส่วนใหญ่จะมีขนาดปานกลางอยู่ในช่วง 3-40 ไมครอน มีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 12-15 ไมครอนและมีปริมาณผลึกประมาณ 15-18%

แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำคือ 18-23% และมีขนาดต่าง ๆ กันโดยมีค่าองศาการพอลิเมอไรเซชันประมาณ 1,100 - 3,220 โครงสร้างของอะไมโลสจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นโซ่กิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง กำลังขยาย 1500 เท่า [1]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่าง ๆ [1]

ชนิดแป้ง	ความชื้น 65% RH 20°C	% ไขมัน	% โปรตีน	% เถ้า	% ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.60	0.35	0.10	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.40	0.080
แป้งสาลี	14	0.80	0.40	0.15	0.060
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.10	0.10	0.20	0.010
แป้งข้าวเจ้า	-	0.80	0.45	0.50	0.100

สมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญในการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อน พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวขึ้น เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสต่ำจึงมีการพองตัวที่ดี และมีค่าความสามารถในการละลายประมาณ 35% ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ลักษณะการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเป็นแบบขั้นตอนเดียว (Single stage swelling) ในระหว่างที่ให้ความร้อนกับเม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและเม็ดแป้งเริ่มดูดซึมน้ำจากภายนอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเริ่มพองตัวพร้อม ๆ กับที่เม็ดแป้งสูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ลักษณะเช่นนี้ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งเป็นแบบผันกลับไม่ได้ โดยทั่วไปเม็ดแป้งที่พองตัวเมื่อได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะเปลี่ยนไปอยู่ในลักษณะของแป้งเปียก (Paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อแป้งเปียกเย็นลงจะเกิดเป็นเจลขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลจะอยู่ในช่วง 58-70 องศาเซลเซียส แป้งเปียกที่เกิดขึ้นจะไม่คงตัวมากนักซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้แป้งมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงแป้งเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งเปียก ทำให้เมื่อเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากเกิดการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสตัว แป้งมันสำปะหลังจึงเป็นแป้งที่เกิดการคืนตัวต่ำ และให้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใสไม่ทึบแสง

2.1.4 การเกิดเจลของแป้ง

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแหไมเซลล์ (Micelles) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อได้รับความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งพันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผลสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจล (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจล

การเกิดเจลของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างที่เกิดการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ได้ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลจะเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจะเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล ซึ่งการเกิดเจลของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น

2.1.5 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมากทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเป็นเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว หรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกบีบออกมาออกเจล ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซินเนียร์ซิส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองจะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขาวขุ่นและทึบแสง เกิดส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อนเกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำที่ถูกบีบออกมาออกเจล ในการคืนตัวของแป้งเปียกเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น ในสถานะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี โดยในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด



รูปที่ 2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [1]

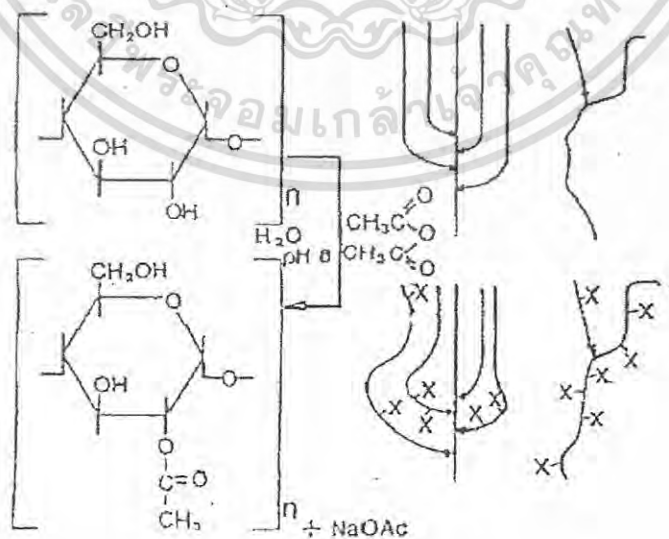
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 แป้งดัดแปร (Modified starch)

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิต หรือ ความคงทนต่อสภาวะต่างๆต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี การเกิดเจล การคืนตัวและการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็ง (Freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่น ๆ เพิ่มขึ้น

เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการนำแป้งมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติบางอย่าง แป้งดัดแปรความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางกายภาพจากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งลักษณะเกณฑ์ชี้บ่งต่างๆของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่นๆต่ำ เหมาะต่อการนำมาทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอณูพื้นฐานของอะไมโลเพกทินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่เกิดขึ้นในส่วนอณูพื้นฐาน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การแบ่งประเภทของแป้งดัดแปร

1) การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification) แบ่งออกเป็น

- 1.1 การเกิดอนุพันธ์ (Derivatization)
 - การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (Monostarch substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เช่น แป้งอะซิเตต (Starch acetate) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (Hydroxyethyl starch)
 - การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งหมู่ เช่น แป้งชนิดเชื่อมโยง (Crosslinked starch)
- 1.2 การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (Acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (Acid-modified starch) หรือ Thin-boiling starch
- 1.3 เดกซ์ทรีไนเซชัน (Dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (Depolymerization/transglycosylation) โดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทรีน (Maltodextrin)
- 1.4 ออกซิเดชัน (Oxidation) โดยใช้ไน้ย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น Enzymatically modified starch

2) การดัดแปรทางกายภาพ (Physical modification)

- 2.1 เจลาติไนเซชัน เป็นการให้ความร้อนจนแป้งผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที เช่น แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized starch)
- 2.2 แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch; GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชัน
- 2.3 การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกลจะได้เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กกว่าปกติ
- 2.4 แอนนิลเป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเกิดเจล
- 2.5 การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (Heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่แป้งในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ

3) การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnological modification) เป็นการเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

- 3.1 Waxy starch คือ แป้งที่มีอะไมโลสต่ำหรือไม่มีเลย
- 3.2 High-amylose starch คือ แป้งที่มีอะไมโลสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 การนำไปใช้

โครงสร้างของเม็ดแป้งดัดแปรเหมือนแป้งดิบ แป้งดัดแปรสามารถละลายได้มากขึ้นถ้าระดับการแทนที่ของหมู่อะซิติกเพิ่มมากขึ้น มีคุณสมบัติการเกิดเจลต่ำลง มีอัตราการคืนตัวลดลง ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่เกิดการบีบตัวของน้ำออกมานอกเจลและทำให้สีของเม็ดแป้งไม่ขุ่น ฟิล์มจากแป้งอะซิเตตมีความใส มั่นคง ยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มากและมีแนวโน้มที่จะแตกน้อยลง

ในอุตสาหกรรมอาหารใช้แป้งอะซิเตตเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็ง เนื่องจากสมบัติสามารถละลายน้ำได้มาก แป้งอะซิเตตที่ดัดแปรร่วมกับการเชื่อมโยงใช้เป็นสารเพิ่มความข้นในอาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อาหารแห้ง เบเกอรี่ อาหารเด็กอ่อน เป็นต้น แป้งอะซิเตตที่ดัดแปรร่วมกับแป้งฟรีเจลาติโนที่ใช้สำหรับผลิตน้ำเกรวี่ พุดดิ้ง โดยแป้งอะซิเตตที่ใช้กับอาหารต้องมีปริมาณอะซิติกไม่เกิน 2.5% ตามข้อกำหนดของ FDA (The Food and Drug Administration)

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ผลิตกระดาษแก้วที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และเนื่องจากแป้งอะซิเตตมีสมบัติในการยึดติดกับเซลลูโลสได้ดีจึงนำมาใช้ในการเคลือบกระดาษ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการพิมพ์ดีขึ้น

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้แป้งอะซิเตตเคลือบเส้นด้ายทำให้เส้นด้ายแข็งแรง ยืดหยุ่น ยึดเกาะกันได้ดีและแยกออกได้ง่าย เนื่องจากละลายน้ำได้ดี

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซับน้ำและย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ นอกจากนั้นแป้งมันสำปะหลังยังมีปริมาณมาก หาง่าย และราคาถูก จึงช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2.2 ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde : Bakelite) [2,3,4]

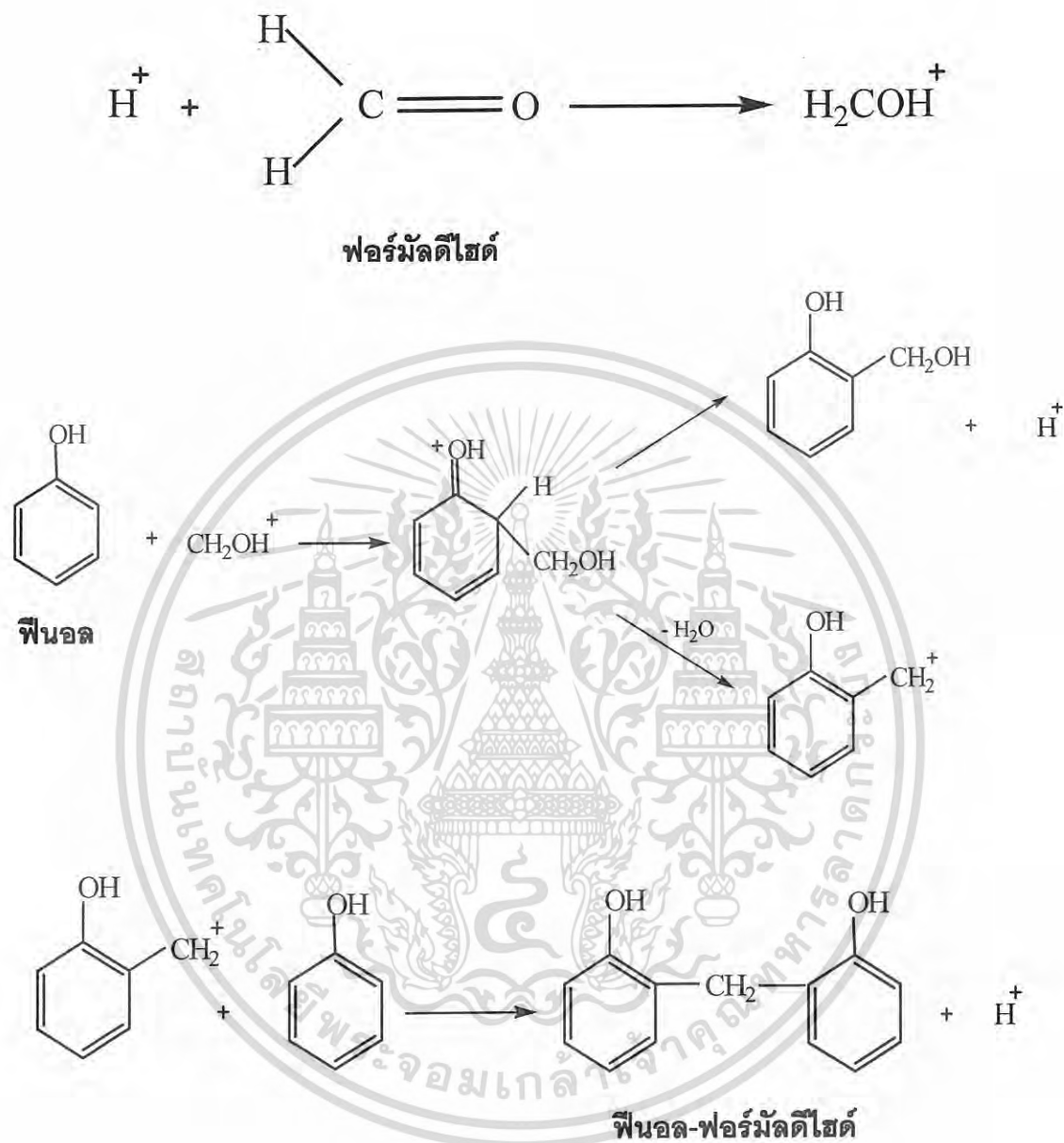
ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ หรือ เบกาไลต์ เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตชนิดแรกที่ถูกค้นพบ มีสีน้ำตาลคล้ายขมบ่ง มีความแข็งและอยู่ตัว เรซินชนิดนี้มีทั้งที่เป็นของเหลวใสเหมาะสำหรับหล่อในพิมพ์และแบบที่เป็นผงสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งชนิดหลังนี้มีสีน้ำตาลดำเพียงอย่างเดียว

ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. Novolacs คือ ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้ในสภาวะกรด (pH 1-4) โดยใช้ metal ion carboxylates เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. resoles คือ ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้ในสภาวะเบส (pH 7-10) โดยใช้ไฮดรอกไซด์ของ โซเดียม โพแทสเซียม ลิเทียม หรือแมกนีเซียม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาการเกิดฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะกรด [5]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทั่วไป

- เนื้อแข็งคงตัว แต่เปราะ ทนทานต่อการผุกร่อน
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ทนความร้อนได้สูง (260^oc)
- ไม่ดูดความชื้น ราคาถูก

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ ใช้ทำปลอกหุ้มคอยล์รถยนต์ แกนคอยล์ในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ เปลือกเครื่องโทรศัพท์สมัยโบราณ ด้ามเครื่องมือช่าง หูหม้อ หูกระทะ ด้ามมีด ลูกบิดเสียด แผงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กาว สารเคลือบผิว ตลอดจนใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยาง

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ชนิด novolacs เนื่องจาก novolacs เป็นเทอร์โมเซตที่สามารถเชื่อมโยงได้โดยการเติมสารเชื่อมโยงปฏิกิริยา ส่วน resoles จะต้องใช้อุณหภูมิในการเชื่อมโยงสูงถึง 130-200 °C และ novolacs จะมีมวลโมเลกุลสูง ได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่สูง นอกจากนี้ยังมีสมบัติการไหลและอัตราการเชื่อมโยงที่ดีเยี่ยม

2.3 สารช่วยให้พองตัวหรือสารฟู (Blowing agents or foaming agents) [6]

สารช่วยให้พองตัวหรือสารฟูบางครั้งเรียกว่าสารที่ทำให้เกิดโฟม เพราะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโฟมพลาสติก เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นรูหรือโพรงเล็ก ๆ (cellular polymer) โดยมีการสลายตัวเกิดก๊าซแทรกตัวอยู่พลาสติกทำให้เกิดรูหรือช่องว่างในพลาสติก เนื่องจากภายในช่องว่างมีก๊าซอยู่ จึงทำให้โฟมพลาสติกมีความหนาแน่น การนำความร้อนและไฟฟ้าลดลงกว่าพลาสติกที่ไม่เกิดโฟม

สารช่วยให้พองตัวหรือสารฟูแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.3.1 สารฟูแบบกายภาพ

สารฟูแบบกายภาพ จะเกิดการเปลี่ยนวิญภาคเพื่อทำให้เกิดเซลล์ สารประเภทนี้ได้แก่ของเหลวจุดเดือดต่ำ ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซหรือไอโดยความร้อนจากภายนอกหรือปฏิกิริยาคายความร้อนจากกระบวนการผลิตหรือทั้ง 2 อย่างหรือเป็นก๊าซที่ละลายในพอลิเมอร์เมตริกซ์ภายใต้ความดันสูง ไนโตรเจนเป็นสารฟูที่นิยมใช้มากที่สุด ตามด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ของเหลวจุดเดือดต่ำ เช่น เพนเทน ไอโซเพนเทน และอัลเคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงส่วนมากใช้กับพอลิสไตรีน และเมทิลีนคลอไรด์ใช้กับพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิยูรีเทน สำหรับสารฟูคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon:CFC) ถูกห้ามใช้เพราะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สารฟูที่เป็นเคมี

สารฟูที่เป็นเคมีอาจสลายตัวด้วยความร้อนให้ก๊าซหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับหมู่วงเวในพอลิเมอร์เพื่อเกิดก๊าซ ผลิตภัณฑ์โฟมที่ได้เกิดจากการที่พอลิเมอร์เมตริกซ์มีความหนืดจับฟองก๊าซที่เกิดขึ้นไว้ขณะที่ถูกทำให้เย็น สารฟูประเภทนี้ควรก่อให้เกิดก๊าซที่อุณหภูมิในช่วงแคบและชัดเจน สามารถให้ผลเหมือนเดิมเมื่อทำซ้ำและควบคุมได้ ก๊าซที่เกิดขึ้นต้องไม่กัดกร่อนเครื่องมือในกระบวนการและอุณหภูมิการสลายตัวควรเหมาะสมกับพอลิเมอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์พอลิเมอร์หรือการเกิดพันธะเชื่อมโยงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโฟมพอลิยูรีเทนหรือพอลิเอไมด์ ตัวอย่างของสารฟู ได้แก่ 1,1-azobisformamide ที่รู้จักกันในชื่อ Azodicarbonamide หรือ ADC สลายตัวที่อุณหภูมิ 195-216 °C การเติมเกลือแคดเมียมจะลดอุณหภูมิการสลายตัวของสารฟู



โซเดียมไบคาร์บอเนตสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อได้รับความร้อน นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำโฟมยาง และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ถูกนำเข้ามาใช้เป็นสารฟูเพราะจะสลายตัวให้ก๊าซไฮโดรเจนเมื่อเติมน้ำ

การผลิตพอลิเมอร์ให้มีโครงสร้างแบบเป็นรูหรือโพรงเล็ก ๆ นี้มีหลายวิธี ที่สำคัญได้แก่

1. ผสมสารเคมีที่สลายตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้ในขั้นตอนการขึ้นรูป
2. ผสมของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งระเหยได้ในกระบวนการผลิต สารฟูแบบนี้สำคัญมากซึ่งวิธีนี้ นิยมที่สุดรู้จักในชื่อ expansion process นิยมใช้กับพอลิสไตรีนและพอลิยูรีเทน
3. ฟองก๊าซเข้าไปในพอลิเมอร์ภายใต้ความดันแล้วปล่อยให้ขยายตัวโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ กระบวนการนี้ใช้กับพอลิเมอร์ได้หลายชนิด ในกระบวนการนี้ประกอบด้วยขั้นตอนเกิดเซลล์ ขึ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ขึ้นเสถียร สามารถผลิตผลิตภัณฑ์โฟมประเภทต่างๆ โดยขึ้นกับขนาดเฉลี่ยของเซลล์และการกระจายของเซลล์
4. ผสมผงคาร์บอนไดออกไซด์แห้งลงในพอลิเมอร์ เมื่ออุณหภูมิค่อยๆสูงขึ้นคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นก๊าซระเหยออกมาทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อพอลิเมอร์
5. ปฏิกิริยาเคมีของพอลิเมอร์ระหว่างการเกิดพอลิเมอร์และการเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงตาข่ายร่างแห ซึ่งสำคัญมากสำหรับพอลิยูรีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผสมเม็ดแก้วทรงกลมเล็กๆหรือผสมเรซินที่มีลักษณะกลวงทรงกลม (microballoon) ที่ขยายตัวได้ลงในพอลิเมอร์
7. เทคนิคการ whipping ซึ่งใช้ในการผลิต latex rubber foam คือ การตี latex ซึ่งเป็นของเหลวและปล่อยให้แข็งตัว
8. การชะล้างด้วยตัวทำละลายเพื่อเอาสารเติมแต่งออก

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารช่วยให้พองตัวของตัวที่เป็นเคมี คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากเป็นสารช่วยให้พองตัวที่ใช้มากในอุตสาหกรรม สามารถละลายตัวเมื่อได้รับความร้อนให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดเป็นโฟม

2.4 การอัดแบบชนิดเนื้อโฟม [7]

การอัดแบบชนิดเนื้อโฟม (structural foam) จัดเป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตขึ้นแบบที่มีผิวด้านนอกทั้งสองเป็นของแข็ง (solid skin) โดยมีแกนกลางเป็นเซลล์ (cellular core) และมีอัตราส่วนระหว่างความแข็งต่อน้ำหนัก (strength-to-weight ratio) สูงมากพอที่จะเป็นโครงสร้างได้ พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต โดยมีความหนาแน่นแตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น เทอร์โมพลาสติกที่ใช้ ได้แก่ อีบีเอส อะซิติก อะคริลิก สไตรีน พอลิเอทิลีน ไนลอน พีวีซี พอลิคาร์บอเนต พอลิฟีนิลีนออกไซด์ชนิดปรับปรุง พอลิพรอพิลีนพอลิซิลิโคน พอลิเอสเทอร์ และไนลอนเสริมเส้นใย ส่วนเทอร์โมเซตที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ พอลิยูรีเทน เป็นต้น

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของเนื้อโฟม

โครงสร้างแบบนี้ประกอบด้วยผิวด้านนอกที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดเป็นแบบและมีความเหนียว ในขณะที่แกนกลางเป็นเซลล์ทำหน้าที่กระจายความแข็งต่อน้ำหนักไปทั่วชิ้นงาน พลาสติกที่นำมาใช้มี 2 ชนิดดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น คือ พอลิยูรีเทนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเติมขององค์ประกอบที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสองชนิด คือ พอลิโออล (polyol) และไอโซไซยาเนต (isocyanate) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้สารที่ทำให้เกิดพองกลายเป็นไอเกิดการขยายตัวในของผสม พลาสติกที่นิยมใช้ทำให้เกิดโฟม คือ เทอร์โมพลาสติก โดยอาจเติมสารที่ทำให้เกิดพองด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมีก็ได้

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องมือสำหรับการอัดแบบพอลิยูรีเทนต่ำกว่าเครื่องมือสำหรับอัดแบบเทอร์โมพลาสติก แต่ค่าใช้จ่ายของวัสดุในกระบวนการที่เกี่ยวกับกระบวนการของพอลิยูรีเทนจะสูงกว่า ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการของพอลิยูรีเทนจะใช้เวลาในการติดตั้งแม่แบบนานกว่าจึงทำให้ค่าใช้จ่ายของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ความหนาของผนังขึ้นแบบทั่วไปต้องไม่เกิน 4 มิลลิเมตร (0.16 นิ้ว) แต่ความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชิ้นงานที่มีโครงสร้างเป็นโฟมต้องน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้โครงสร้างโฟมที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด และเนื่องจากโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเซลล์ ชิ้นงานที่เป็นเนื้อโฟมจึงไม่มีความเค้นเหลืออยู่ (stress-free) ส่งผลให้การโค้งงอลดลง

นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดเรซินที่จะใช้และนำมาใช้กับงานประเภทรับน้ำหนักได้ดี แต่ก็มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ดังนี้คือ

1. เนื่องจากจากรูปแบบของผิวและผลของการหมุนวน (swirl effect) ทำให้ชิ้นงานไม่เรียบเหมือนกับในกรณีของการอัดแบบชนิดฉีด
2. ไม่อาจจะผลิตแม่แบบให้มีรายละเอียดดีพอ
3. รอยการไหล เกิดจากการควบคุมการเกิดโฟมไม่ได้ มีผลทำให้การผลิตชิ้นงานที่มีสีมีลักษณะรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ยาก
4. ระยะเวลาของรอบการทำงานนาน เป็นผลมาจากความสามารถในการนำความร้อนของเนื้อโฟมต่ำ (เกือบจะเป็นเศษหนึ่งส่วนสี่ของพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง) ความดันของก๊าซที่มีอยู่ภายในลดลงในระหว่างการหล่อเย็น และชิ้นงานพลาสติกที่นำมาทำโฟมหนาเกินไป
5. กระบวนการทำโฟมสำหรับชิ้นงานขนาดเล็กไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้ทางเข้าและทางฉีดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
6. การปลดทางเข้า (degating) เผยให้เห็นโครงสร้างที่เป็นเซลล์ ดังนั้นตำแหน่งของทางเข้าจึงมีผลต่อลักษณะปรากฏของชิ้นงานสำเร็จรูป

อย่างไรก็ตามถ้ามีการพัฒนาและปรับปรุงเนื้อโฟมนี้ให้ดีขึ้น ข้อจำกัดเหล่านี้ก็จะหมดไป และมีการขยายไปยังแขนงอื่นๆ พร้อมกับมีคุณภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบกระบวนการพื้นฐานสำหรับการผลิตเนื้อโฟม [7]

ลักษณะที่ต้องการ	วัสดุที่ใช้	
	เทอร์โมพลาสติก	พอลิยูรีเทน
น้ำหนักของแม่พิมพ์สูงสุด กิโลกรัม (ปอนด์)	25 (55)	150 (130)
ความหนาของผนังสูงสุด มิลลิเมตร (นิ้ว)	50 (2)	100 (4)
อัตราส่วนระหว่างความยาวของ เส้นทางการไหลต่อความหนา สูงสุด	(50-100):1	(100-250):1
ความหนาแน่นทั้งหมด กรัม/ลบ.ซม.	0.5-1.0	0.1-0.9
รอบเวลา นาที	1-8 ขึ้นอยู่กับความหนาของผนัง (ความสามารถในการนำ ความ ร้อนของพลาสติก)	4-15 (ไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของผนัง จัดเป็นกระบวนการทางเคมี)
การจัดเรียงตัวของชิ้นงาน	ชิ้นงานซับซ้อนมีรูและเป็นร่อง	ชิ้นงานซับซ้อนน้อยกว่า
คุณภาพของผิว	ขึ้นอยู่กับกระบวนการ (หยาบหรือเรียบ)	เรียบ
สี	สามารถให้สีด้วยตัวเอง	สามารถให้สีด้วยตัวเอง (สีดำเท่านั้น)
ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรเมื่อ น้ำหนักในการอัดแบบเท่ากัน (สัมประสิทธิ์)	1.5-3	1
ค่าใช้จ่ายของเครื่องมือ (สัมประสิทธิ์)	2	1
ค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ (สัมประสิทธิ์)	1	1
การเก็บสะสมวัตถุดิบ	ไม่มีปัญหา	ที่อุณหภูมิ 15-25°C
อุณหภูมิในกระบวนการ	ไม่มีปัญหา	19-24°C
การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่	ทำได้	ทำไม่ได้
การอัดแบบชิ้นงานหลายส่วน	ทำได้	ทำไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107790

2.4.2 สมบัติเฉพาะของเนื้อโฟมพลาสติก

พลาสติกโฟมมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง และมีประโยชน์ในการนำไปใช้โดยพื้นฐานสมบัติเหล่านี้เป็นผลมาจากโครงสร้างคอมพอสิตที่ประกอบด้วยวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ของพอลิเมอร์ที่เกี่ยวข้องกับมอดูลัสที่มีค่ามาก และวัฏภาคก๊าซ (gas phase) ที่ไม่ค้ำเนื่องถึงมอดูลัส โดยอาจจะกระจายตัวอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวในโฟมที่เป็นเซลล์ปิด (close-cell foam) หรืออาจเป็นแบบต่อเนื่องและแทรกตัวอยู่ระหว่าง (interpenetrating) โฟมที่เป็นเซลล์เปิด (open-cell foam)

การลอยตัว (buoyancy) ของโฟมที่เป็นเซลล์ปิดเป็นผลมาจากเซลล์ก๊าซมีความหนาแน่นต่ำอัตราส่วนความแข็งเกร็ง (rigidity) ต่อน้ำหนักและความแข็งแรง (strength) ต่อน้ำหนักจะสูงในโฟมที่เป็นแบบเซลล์ปิดซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบแซนวิชและเนื้อโฟม (sandwich and structural foam) ในทางตรงกันข้ามโฟมที่เป็นเซลล์เปิดจะมีความนุ่ม (softness) และความยืดหยุ่น (flexibility) ซึ่งเป็นผลมาจากวัฏภาคก๊าซแบบต่อเนื่องมีความหนืดต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถรองรับแรงกระแทก (impact cushioning) ได้ไม่ว่าจะเป็นโฟมแบบยืดหยุ่นหรือแบบแข็งเกร็ง โดยกลไกของการรองรับแรงกระแทกในส่วนของโฟมยืดหยุ่นอธิบายได้โดยลักษณะกายภาพที่เป็นอยู่ แต่ในส่วนของโฟมแข็งเกร็งสามารถอธิบายได้โดยการดูดกลืนพลังงานที่ชนกระแทกผนังเซลล์ที่บางหรือโดยฮิสเตอรีซิสของการยืดหยุ่น (flexural hysteresis) ในโครงสร้างเซลล์

การดูดกลืนเสียง (acoustic absorption) ในโฟมแบบเซลล์เปิดมีประโยชน์มากในการป้องกันเสียงสะท้อน เป็นฉนวนกันไฟฟ้าและความร้อนได้สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ต่ำของวัฏภาคก๊าซและการที่มีความหนาแน่นต่ำสุด ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้ก๊าซที่ช่วยในการเป่าจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยพบว่าฟลูออโรคาร์บอนจะเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุด

การดูดซับน้ำ (water absorption) ของฟองน้ำ (sponges) เป็นผลมาจากน้ำสามารถเข้าแทนที่ก๊าซในโฟมแบบเซลล์เปิดที่ยืดหยุ่น (flexible open-cell foams) ได้ ทั้งนี้เนื่องจากของไหลทั้งสองสามารถไหลได้อย่างอิสระ

เศรษฐกิจ (economics) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ต้องกล่าวถึงในเรื่องประโยชน์ของการนำโฟมไปใช้ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงอัตราส่วนสมบัติต่อน้ำหนักหรือการขยายตัวของพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งโดยเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างของพลาสติกโฟมต้องประกอบด้วย พอลิเมอร์ ก๊าซ ความหนาแน่น อัตราส่วนระหว่างเซลล์ปิดและเซลล์เปิด ขนาดของเซลล์ และแอนไอโซทรอปี (anisotropy) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึงผลที่เกิดจากลักษณะของโครงสร้างเหล่านี้ต่อสมบัติของพลาสติกโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 พอลิเมอร์

ได้มีผู้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของพอลิเมอร์และสมบัติของพลาสติกโฟม เช่น ผลของสารปรับสภาพพลาสติก (plasticizers) ในไวนิลล์ และผลของการเกี่ยวโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ (cross-linking) ในยูรีเทน ซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับพลาสติกโฟม โดยทั่วไปสมบัติของพอลิเมอร์ในวิภภาคของแข็งจะมีผลต่อโฟมดังนี้

1. สมบัติทางกล (mechanical properties) ของพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง ในกรณีที่โฟมเป็นเซลล์เปิดจะอ่อนลงแต่ในกรณีที่โฟมเป็นเซลล์ปิดสมบัติต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรค่อนข้างอ่อนแอกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง แต่สมบัติต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักที่เกิดการขยายตัวอาจพบว่าแข็งแรงกว่าในพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นแบบแซนวิช
2. สมบัติทางความร้อนที่เกิดจากทางกล (thermal mechanical behavior) ของพลาสติกโฟม สอดคล้องกับสมบัติของพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง แต่อาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอ่อนตัวในทางกล ความเสถียรทางความร้อนสอดคล้องกับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง แต่บางครั้งต่ำกว่าเนื่องจากโฟมมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงขึ้น เมื่อเข้าใกล้สิ่งแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ออกซิเจนร้อน (hot oxygen) และความสามารถในการติดไฟ (flammability) คล้ายกับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง แต่บางครั้งสูงกว่าเมื่อเข้าใกล้ออกซิเจน ทำให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของโฟมสูงขึ้น แต่สามารถทำให้ลดลงได้โดยการเติมสารปรับแต่งชนิดหน่วงการติดของเปลวไฟ (flame retardant) เช่น การเติมฟลูออโรคาร์บอนซึ่งเป็นสารทำให้เกิดฟองชนิดทำให้เปลวไฟติดช้าลงในโฟมแบบเซลล์ปิด จะช่วยเพิ่มความสามารถในการหน่วงการติดของเปลวไฟ
3. ความต้านทานต่อสารเคมี (chemical resistance) ของโฟม โดยทั่วไปคล้ายกับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง แต่บางครั้งต่ำกว่าเนื่องจากการมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงทำให้ถูกโจมตีจากสารเคมีได้ง่าย และเนื่องจากการจัดเรียงตัวของความเครียด (strain) ทำให้เกิดการแข็งตัวในระหว่างอายุการใช้งาน (aging) ในเรื่องเสถียรภาพต่อความร้อน และความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) มีลักษณะคล้ายกันแต่สูงกว่า เนื่องจากมีพอลิเมอร์จำนวนเล็กน้อยที่จะต้องซึมผ่านต่อหนึ่งหน่วยความหนา โฟมแบบเซลล์เปิดจำเป็นต้องใช้อัตราการทะลุผ่านการไหล (flow-through) สูง เพื่อใช้ในงานประเภทการกรองความเป็นพิษ (toxicity) เหมือนกับพอลิเมอร์ของแข็งยกเว้นการสกัด (leaching) สารปรับแต่งมอนอเมอร์จะออกจากโฟมเร็วกว่า เพราะว่ามีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 ก๊าซ

ในโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง ภูมิภาคก๊าซจะครอบคลุมปริมาตรส่วนมากของโพลีเมอร์ ดังนั้นจึงมีบทบาทที่เด่นชัดในการควบคุมสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และความสามารถในการนำไฟฟ้า โดยก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ต่ำลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในโพลีเมอร์แบบเซลล์ปิดมีน้ำหนักเบา นอกจากนี้ก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำทำให้เกิดการลอยตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความสำคัญมากในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับทะเล

ผลของก๊าซที่มีต่อสมบัติทางกลขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซลล์ปิดและเซลล์เปิด โดยในโพลีเมอร์แบบเซลล์ปิดการเสียดรูปในทางกลทำให้ก๊าซเกิดการกระจายความแข็งแรงและความแข็งแรงไปยังผลิตภัณฑ์พลาสติก ในขณะที่โพลีเมอร์แบบเซลล์เปิดเมื่อเกิดการอัดอากาศ ก๊าซจะหนีออกไปและกลับมาใหม่เมื่อมีการคลายตัว ทั้งนี้เนื่องจากอากาศมีความสามารถในการไหลทำให้โพลีเมอร์เกิดการกระจายความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่นและการคืนตัว (resilience) ไปยังผลิตภัณฑ์

การนำความร้อนเกิดขึ้นโดยผ่านพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งและมีก๊าซเป็นฉนวนทางความร้อน โดยในโพลีเมอร์แบบเซลล์ปิดจะจำกัดการพาความร้อนและการเลือกก๊าซ (ฟลูออโรคาร์บอนจะให้ความจุทางความร้อนสูงสุด) แต่อาจมีผลตรงกันข้ามทำให้เกิดการขยายตัวทางความร้อนและการหดตัวซึ่งจะมีผลอย่างมากเมื่อนำไปใช้ในที่เย็น โดยมีการควบคุมกลับมาเป็นของเหลวปริมาณน้อยลง

การนำไฟฟ้ามักจะเกิดขึ้นโดยผ่านพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง อาจกล่าวได้ว่าก๊าซเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่สำคัญ ดังนั้นการทำให้เกิดโพลีเมอร์จึงสามารถเพิ่มความเป็นฉนวนได้มากขึ้นโดยใช้เป็นตัวต้านทานการนำไฟฟ้า ค่าคงที่และค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric constant and loss) ทั้งนี้ก๊าซที่อยู่ในเซลล์อาจทำให้เกิดการแตกสลายทางไฟฟ้า (electrical break down) มีผลทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

การแพร่ของก๊าซทำให้เกิดฟองในโพลีเมอร์แบบเซลล์ปิดระหว่างการใช้งานปกติและจะค่อยๆ แทนที่ก๊าซเดิมด้วยอากาศ ทำให้มีสมบัติที่สูงขึ้น เช่น ฉนวนทางความร้อนและการหน่วงการติดของเปลวไฟอาจหายไป เว้นเสียแต่ว่าโพลีเมอร์ทั้งหมดถูกปิดผนึกไว้เป็นอย่างดี แต่ในโพลีเมอร์แบบเซลล์เปิดสามารถแทนที่ก๊าซด้วยน้ำได้ง่ายขึ้น

2.4.2.3 ความหนาแน่น

เนื่องจากพอลิเมอร์และก๊าซมักจะให้ผลตรงกันข้ามต่อสมบัติของโพลีเมอร์ ในขณะที่ความหนาแน่นใช้แทนปริมาณสัมพัทธ์ของสารสองชนิดในโพลีเมอร์และการกระจายสัมพัทธ์ของสมบัติได้ ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นลักษณะโครงสร้างที่สำคัญที่สุดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของโพลีเมอร์ ในทางปฏิบัติจะผลิตโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่น (D) อยู่ในช่วงแคบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงจัดสมมติ (P) และเขียนกราฟให้ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แต่เมื่อพิจารณาถึงช่วงของความหนาแน่นทั้งหมดจากช่วงต่ำถึงช่วงที่เป็นของแข็งสมบูรณ์อาจเกิดข้อผิดพลาดได้จึงต้องมีการศึกษาให้ละเอียด โดยทั่วไปความสัมพันธ์ที่จะพบจะเป็นดังสมการ

$$P = KD^n$$

เมื่อ K และ n เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์และสมบัติเฉพาะนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับความหนาแน่นในโฟมยูรีเทนชนิดแข็ง (rigid urethane foam) [7]

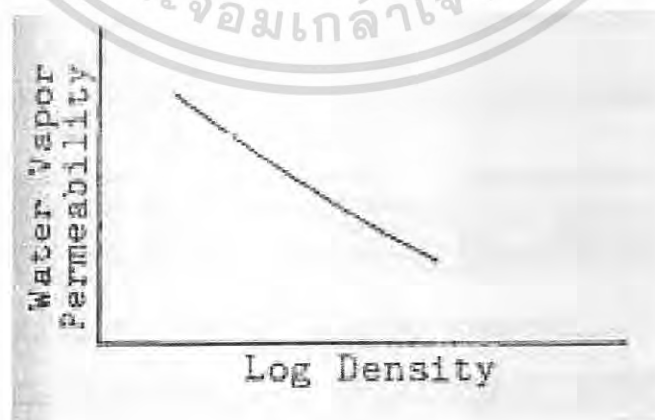
ตารางที่ 2.4 ค่า K และ n ของโฟมยูรีเทนชนิดแข็งที่ได้จากการทดลอง [7]

สมบัติ (psi,pcf)	K	n
ความแข็งแรงของการอัด	12.80	1.54
ความแข็งแรงของการโค้งงอ	19.00	1.36
ความแข็งแรงของการดึง	23.00	1.20
ความแข็งแรงของการเฉือน	14.90	1.16
มอดุลัสของการอัด	293.80	1.62
มอดุลัสของการโค้งงอ	186.30	1.75
มอดุลัสของการดึง	573.50	1.15
มอดุลัสของการเฉือน	169.90	1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสมบัติมากมายที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่

1. มอดุลัสเป็นผลโดยตรงจากพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง
2. ความแข็งแรงเป็นผลโดยตรงจากพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งเช่นเดียวกับมอดุลัส
3. การยืดออก ณ จุดสูงสุดขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุที่มีอยู่ และการดึงยืดเป็นเส้นได้ (ductile flow) หรือบางทีอาจจะเป็นส่วนกลับกับจำนวนความบกพร่องที่เกิดฟองก๊าซ (gas-bubble flaws) ซึ่งเป็นจุดทำให้เกิดความล้มเหลวได้
4. การดูดกลืนการกระแทก (shock absorbance) ทำได้ทั้งโฟมยืดหยุ่นแบบเซลล์เปิด (ช่วยไล่ อากาศออกไป) และโฟมแข็ง(การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์ในระหว่างที่เกิดการแตกของผนังเซลล์เพื่อสร้างพื้นผิวขึ้นมาใหม่)
5. ขนาดที่ไม่เสถียร เนื่องจากความร้อนของโฟมแบบเซลล์ปิดขึ้นอยู่กับ การขยายตัวและการหดตัวของก๊าซโดยเฉพาะในที่เย็น มีการควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำมาก นอกจากนี้ยังรวมถึงการหดตัวในระยะเวลาที่มีการอบ (oven aging) โดยขึ้นกับการซึมผ่านและการสูญเสียของก๊าซผ่านผนังเซลล์ที่บาง
6. ฉนวนความร้อนขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำของวัสดุอากาศ โดยเฉพาอย่างยิ่งในโฟมแบบเซลล์ปิดซึ่งจำกัดในเรื่องของการพา และเมื่อโฟมถูกเติมเต็มด้วยก๊าซที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ เช่น ฟลูออโรคาร์บอน
7. ฉนวนไฟฟ้าขึ้นกับวัสดุอากาศที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความสามารถในการ โฟลวไรซ์
8. การซึมผ่าน (รูปที่ 2.7) ขึ้นกับความบางของผนังพอลิเมอร์ที่เหลืออยู่ ทำหน้าที่เป็นเมมเบรน โดยเฉพาะโฟมแบบเซลล์เปิดต้องการสมบัตินี้เป็นพิเศษ
9. การดูดซับน้ำเหมาะสำหรับโฟมแบบเซลล์เปิดยืดหยุ่นใช้งานประเภทฟองน้ำ (sponge type)



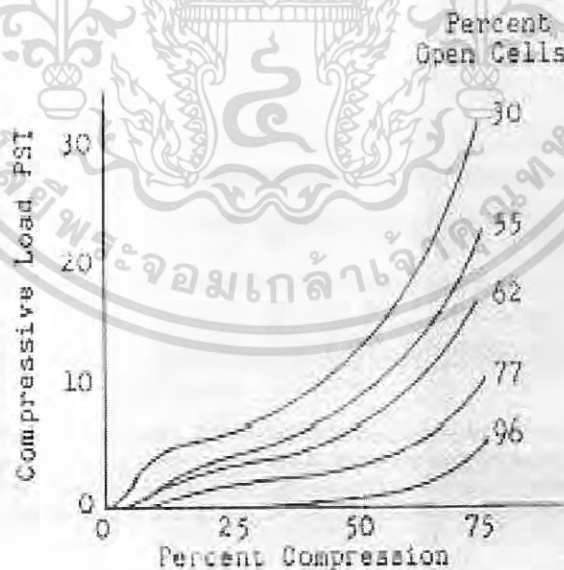
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการซึมผ่านกับความหนาแน่น [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 อัตราส่วนระหว่างเซลล์เปิดและเซลล์ปิด

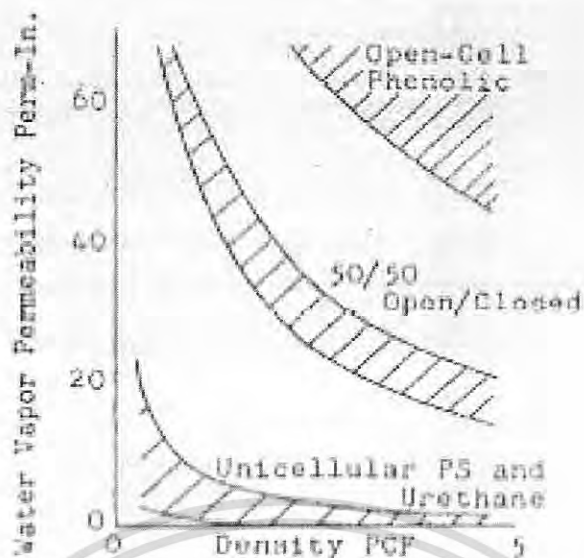
ตัวแปรนี้จัดเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของโฟม โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์ของเซลล์เปิดเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับสมบัติที่สำคัญต่อไปนี้คือ

1. ความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่นและการรองรับน้ำหนักซึ่งเป็นผลมาจากอากาศมีการไหลอย่างอิสระออกจากโฟมเมื่อเกิดการเสียรูปร่างด้วยแรงกล (รูปที่ 2.8) สมบัติเหล่านี้จัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเสื้อผ้าและเฟอร์นิเจอร์
2. การสะท้อนกลับ (rebond) และการกลับมาใหม่ (recovery) ขึ้นอยู่กับอากาศว่าจะสามารถกลับเข้ามายังโฟมได้ง่ายแค่ไหนเมื่อเอาแรงกลออกไป
3. สมบัติทางกลเกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งในโฟมแบบเซลล์เปิด นอกจากนี้ยังขึ้นกับความดันของก๊าซในโฟมแบบเซลล์เปิดด้วย
4. การดูดกลืนเสียงและความเป็นฉนวน เกิดจากการกระจายตัวของคลื่นเสียงในเซลล์เปิด
5. ความสามารถในการนำความร้อนเพิ่มขึ้นโดยตรงเมื่อเพิ่มการพาผ่านโฟมแบบเซลล์เปิด
6. การซึมผ่านทำได้ง่ายและเร็ว เมื่อผ่านโฟมแบบเซลล์เปิดมากกว่าผ่านผนังเซลล์ที่บางของโฟมแบบเซลล์ปิด (รูปที่ 2.9)
7. การดูดซับน้ำในงานประเภทฟองน้ำและใช้เป็นตัวกลางสำหรับกรอง ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของเซลล์เปิดที่สูงและการปล่อยให้ของเหลว (น้ำ) ผ่านไปยังโฟมได้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการอัดและเซลล์เปิดในโฟมพอลิเอทิลีน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลของอัตราส่วนระหว่างเซลล์เปิดและปิดที่มีต่อการซึมผ่าน [7]

ในทางตรงกันข้ามเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ปิดในโฟมเกี่ยวข้องกับสมบัติดังต่อไปนี้

1. การลดยืดตัวของก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อผนังของเซลล์ปิดป้องกันการแทนที่ด้วยน้ำ
2. ความแข็งแกร่งและความแข็งแรงของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มความดันของก๊าซที่เกิดการเสียรูปได้ด้วยแรงเชิงกลเป็นผลให้เพิ่มความสามารถในการรองรับน้ำหนักของโครงสร้างได้มากขึ้น
3. จะเกิดการอัดอยู่ตัว (compressive set) การคืบ (creep) การต้านทางกล (mechanical damping) และฮิสเตอรีซิส (hysteresis) เนื่องจากภายใต้ความเค้นทางกลก๊าซจะซึมผ่านออกจากผนังของเซลล์ปิดเพื่อลดความเค้นลง เมื่อนำความเค้นทางกลออกก๊าซจะซึมผ่านกลับเข้าไปในโฟมอย่างช้าๆ แต่จะไม่สมบูรณ์
4. ปรับปรุงในเรื่องของฉนวนความร้อน เนื่องจากเซลล์ปิดลดการนำที่อาศัยการพา ด้วยเหตุนี้จึงเหลือการแผ่รังสีและการนำของของแข็งเท่านั้น
5. การหดตัวในระหว่างการอบโฟมแบบเซลล์ปิดไม่ดี เพราะก๊าซที่ซึมผ่านออกจากเซลล์ไม่สามารถกลับเข้าไปในเซลล์ได้ง่ายเมื่อเลิกการอบ

ด้วยเหตุนี้ความสำคัญของทั้งเซลล์เปิดและเซลล์ปิดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากจึงควรได้รับการพัฒนาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 ขนาดของเซลล์

ขนาดของเซลล์และการกระจายตัวของขนาดเซลล์ มีความแตกต่างกันอย่างมากในพลาสติกประเภทโฟมที่ต่างชนิดกัน เซลล์ที่มีขนาดใหญ่จะเกี่ยวข้องกับสมบัติต่อไปนี้

1. มอดุลัสและความแข็งตึง (stiffness) ขึ้นอยู่กับผนังเซลล์ที่หนาขึ้น
2. การดูดกลืนการกระแทกขึ้นอยู่กับผนังของเซลล์ที่หนาขึ้น
3. เกิดการโค้งงอ (buckling failure) ในระหว่างการอัด
4. ความสามารถในการนำความร้อนทั้งที่เกิดจากการพาและการแผ่รังสี
5. ความสามารถในการซึมผ่านขึ้นอยู่กับการซึมผ่านทะลุเข้าไปยังผนังเซลล์บางส่วนและผ่านเข้าไปยังช่องว่างเปิดที่อยู่ภายในเซลล์ได้อย่างอิสระ

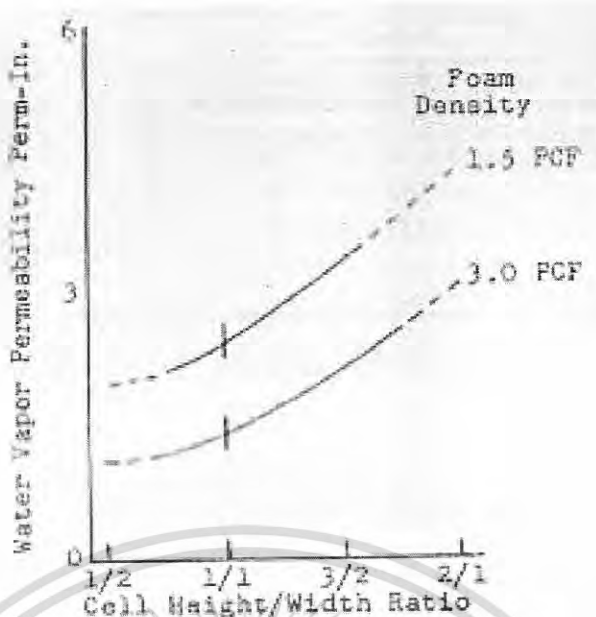
ในทางกลับกันเซลล์ที่มีขนาดเล็กจะเกี่ยวข้องกับสมบัติต่อไปนี้

1. ความแข็งแรง (strength) มากขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์มีจำนวนเพิ่มขึ้น
2. การยืดออก ณ จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 1
3. เกิดผลเสียขึ้นที่ละน้อยในระหว่างการอัด
4. เป็นฉนวนความร้อนที่ดี เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กจึงลดการนำแต่อาศัยการพาแทน

2.4.2.6 แอนไอโซทรอปี

เมื่อเกิดโฟมและมีการขยายตัวอย่างอิสระในทุกทิศทาง โครงสร้างเซลล์ควรจะสมมาตร ดังนั้นสมบัติที่ได้ควรจะเป็นไอโซทรอปิก (isotropic) ทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามในกระบวนการเกิดฟองก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างอิสระทำให้เกิดเซลล์ของโฟมยืดออกในทิศทางที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลของแอนไอโซทรอปิกอย่างมากต่อสมบัติต่างๆ ด้วยเหตุนี้การทดสอบสมบัติจึงควรบ่งบอกให้ชัดเจนถึงทิศทางของโฟมตามแนวหรือตามขวางที่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปน้ำหนักที่เกิดจากการอัด (compressive load) ในทิศทางของโฟมที่เพิ่มขึ้นจะเป็นแนวเดียวกับผนังของเซลล์ซึ่งจะทำการคอดัมน้ำหนักมอดุลัสของการอัดและความแข็งแรงในทิศทางนั้น น้ำหนักที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของโฟมที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มทำให้โฟมพับได้ง่ายมีลักษณะคล้ายหีบเพลงชัก (accordion)

ในทำนองเดียวกัน การซึมผ่านโมเลกุลของก๊าซผ่านผนังของเซลล์จำนวนเล็กน้อยที่อยู่ระหว่างระยะทางตามความยาวของเซลล์ที่ยืดออกในแต่ละเซลล์ได้อย่างอิสระ เพราะฉะนั้นความสามารถในการซึมผ่านในทิศทางนี้จึงสูง การซึมผ่านในทิศทางขวางทางกับโฟมที่เพิ่มขึ้นจะบังคับโมเลกุลของก๊าซให้ผ่านผนังเซลล์มากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่จากผนังหนึ่งไปยังผนังหนึ่งด้วยระยะทางที่สั้น ดังนั้นความสามารถในการซึมผ่านในทิศทางนี้จึงต่ำ (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 ผลของแอนไอโซทรอปีที่มีต่อการซึมผ่าน [7]

2.4.3 กระบวนการอัดแบบชนิดเนื้อโฟม

กระบวนการนี้แบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการที่อาศัยความดันต่ำ (low pressure process) และกระบวนการที่อาศัยความดันสูง (high pressure process) โดยกระบวนการทั้งสองมีข้อดีคือ ทำให้ชิ้นงานมีผนังหนา ไม่เกิดรอยยุบ ชิ้นงานมีน้ำหนักเบา ประหยัดวัสดุที่ใช้ ค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์ต่ำกว่าชิ้นแบบที่เป็นของแข็งทั่วไป (เฉพาะกระบวนการที่อาศัยความดันต่ำ) และการหดตัวต่ำ แต่กระบวนการทั้งสองมีข้อจำกัด คือ ระยะเวลาการทำงานนานมากเนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะหนา ต้องการสารทำให้เกิดฟองซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เครื่องมือมีราคาแพง ค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์อาจสูงกว่าการอัดแบบชนิดฉีดโดยทั่วไป และในกระบวนการที่อาศัยความดันต่ำจำเป็นต้องตกแต่งพื้นผิวที่ไม่ดีด้วยโดยลักษณะชิ้นงานที่เป็นของแข็งกับชิ้นงานที่เป็นโฟมสามารถเปรียบเทียบได้ในตารางที่ 2.5 ส่วนกระบวนการที่อาศัยความดันต่ำและความดันสูงแสดงในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบชิ้นงานชนิดต่างๆที่เป็นของแข็งกับชิ้นงานที่เป็นโฟม [7]

สมบัติ	ชิ้นงาน			
	โฟมเมื่อเทียบกับ ของแข็งที่มีน้ำ หนักเท่ากัน	โฟมเมื่อเทียบกับ ของแข็งที่มีการ เบี่ยงเบนเท่ากัน	โฟมเมื่อเทียบกับ ของแข็งที่มีความ หนาเท่ากัน	ของแข็ง
ความหนาแน่น	0.5	0.5	0.5	1
มอดุลัส	0.5 E	0.5 E	0.5 E	E
น้ำหนัก	W	0.63 W	0.5 W	W
ความหนา	2.0 T	1.26 T	T	T
การเบี่ยงเบน	0.25 Y	Y	2.0 Y	Y
ความเค้น	0.125 S	0.5 S	S	S

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบกระบวนการที่อาศัยความดันต่ำและความดันสูง [7]

ลักษณะที่ปรากฏ	กระบวนการ	
	ความดันต่ำ	ความดันสูง
ค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์	ต่ำกว่าหรือเท่ากับการอัดแบบ ชนิดฉีดแบบทั่วไป	สองเท่าของการอัดแบบชนิดฉีด แบบทั่วไป
พื้นที่ฉายเงาของชิ้นงาน	25 ตารางฟุต (สามารถอัดแบบ ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มาก)	4 ตารางฟุต
ความดันในโพรงแบบ	0.5 ตันต่อตารางนิ้วของพื้นที่ ฉายเงา	2-5 ตันต่อตารางนิ้วของพื้นที่ ฉายเงาซึ่งเท่ากับการอัดแบบ ชนิดฉีดแบบทั่วไป
การออกแบบชิ้นงาน	ไม่มีขีดจำกัด (เหมือนกับการอัด แบบชนิดฉีดแบบทั่วไป)	ชิ้นงานแบนราบ (รายละเอียดของพื้นผิวต่ำ)
การตกแต่งพื้นผิว	ต่ำถึงปานกลาง	ดีมาก
สารทำให้เกิดฟอง	สารทำให้เกิดฟองทางเคมีหรือ ทางกายภาพ	สารทำให้เกิดฟองทางเคมี
การลดลงของความหนาแน่น	20-30%	50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P.Lanthong และคณะ [8] ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซับน้ำดีเยี่ยมซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยสังเคราะห์เป็นโคพอลิเมอร์ซึ่งมีโซ่กิ่งจากอะคริลาไมด์ (AM) / กรดไอลตาโคนิก (LA) มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อกำจัดหมู่แอลฟาอะไมโลส โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) และ N,N,N',N'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TEMED) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา N,N'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N-MBA) เป็นสารเชื่อมโยงปฏิกิริยา โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เป็นสารช่วยให้พองตัวหรือสารฟู และโคพอลิเมอร์ของพอลิอิพอกซีเมทิลีน/พอลิอิพอกซีโพรพิลีน/พอลิอิพอกซีเอทิลีน เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพ จากนั้นศึกษาการบวมตัวของพอลิเมอร์ ซึ่งพบว่าการบวมตัวของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง-กราฟ-โคพอลิเมอร์อะคริลาไมด์อยู่ที่ 39 กรัม/กรัม ในขณะที่พอลิเมอร์ร่วมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง-กราฟ-โคพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดไอลตาโคนิกอยู่ในช่วง 70-390 กรัม/กรัม นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการย่อยสลายของแป้งมันสำปะหลัง ผลปรากฏว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ดีทางชีวภาพ

C.Yu และ T.Hui-min [9] ทำการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างคาร์บอกซีเมทิลโคโตซาน-กราฟท์-พอลิอะคริลิกเอซิดซึ่งเป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำดีเยี่ยม โดยการเติมกรดอะคริลิกลงไปในการละลายโซ่ของคาร์บอกซีเมทิลโคโตซาน แล้วทำการศึกษาอัตราการบวมตัวของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีอัตราการดูดซับน้ำที่สูงและสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับอัตราการบวมตัว คือ สภาวะที่ $\text{pH} = 4$

H.T. Lokhande และ V.D. Gotmare [10] ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำได้โดยการใช้เศษฝ้ายที่เหลือจากกระบวนการทักทอซึ่งประกอบด้วย แป้งประมาณ 30% และเซลลูโลสประมาณ 70% มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ซึ่งมีโซ่กิ่งระหว่างเศษฝ้ายที่เหลือจากกระบวนการทักทอกับอะคริลาไมด์ (AN) ซึ่งพบผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถดูดซับน้ำได้ดีเยี่ยมและจากผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากสามารถนำเศษฝ้ายเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและลดปัญหาในการกำจัดเศษฝ้ายเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

S.Hongbin และคณะ [11] ทำการสังเคราะห์โฟมฟีนอลิกเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น โดยใช้เส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยอะรามิดและเส้นใยแก้ว จากนั้นทำการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการหลุดลอกของพื้นผิว พบว่าเส้นใยอะรามิดให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อการหลุดลอกของพื้นผิวที่สูงกว่า นอกจากนี้ผลของการทดสอบความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังยังชี้ให้เห็นว่าความเหนียวและความแข็งแรงของวัสดุประกอบขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยเสริมแรงที่ใส่ลงไป

T.Chung-jen และ K.Kuang-te [12] ทำการศึกษาสมบัติการแผ่รังสีความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความร้อนของโฟมพีนอลิกที่มีการเติมและไม่เติมคาร์บอนกัมมันต์ที่ความหนาแน่นของโฟมพีนอลิกแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) พบว่า

1. ขนาดของเซลล์โดยเฉลี่ยจะลดลง เมื่อความหนาแน่นของโฟมสูงขึ้น
2. การเติมคาร์บอนกัมมันต์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความร้อนลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับโฟมพีนอลิกที่ไม่เติมคาร์บอนกัมมันต์
3. ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความร้อนจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่ถ้าเพิ่มความหนาแน่นของโฟมจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมาก

D. Castel และคณะ [13] ได้ทำการเตรียมผลิตภัณฑ์ดูดซับน้ำโดยมีแบ่งเป็นไซกิงโดยใช้ทั้งพอลิอะคริลาไมด์ (PAN) หรือ ไตรเมทิลอะมิโนเอทิลอะคริเลตคอลลอยด์ และเมทิลบิสอะคริลาไมด์ โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติการบวมตัวของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนาแน่นเชื่อมโยงและปริมาณของแบ่งที่เติมลงไป ผลที่ได้พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำจะลดลง เมื่อความหนาแน่นในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นและความยาวไซกิงของพอลิอะคริลาไมด์ไตรลขึ้นอยู่กับแบ่งที่ใส่ไปในตอนเริ่มต้น

F.Liu และคณะ [14] ศึกษาถึงผลของอากาศในเรือนเพาะชำและการลำเลียงน้ำในก้านของดอกไม้ที่เติบโตในวัสดุที่ไม่ใช่ดิน ศึกษาพืชที่มีอายุ 2 ปี โดยระบบการระบายน้ำและการรดน้ำเป็นไปอย่างอิสระทำให้มั่นใจว่าการกรองมีประสิทธิภาพ ในการทดลองสังเกตจากเรือนเพาะชำที่มีอุณหภูมิสูงและต่ำ พบว่าพืชในเรือนเพาะชำที่มีอุณหภูมิสูงมีการปรับตัวไปยังสภาวะขาดแคลนความดันใบ โดยการลดส่วนของใบให้น้อยลงเพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำหล่อเลี้ยงสูงอยู่ได้

P.A. Van De Pol และ L.F.M. Marcellis [15] ทำการศึกษาเกี่ยวกับท่อภายในก้านดอกไม้ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำให้การลำเลียงน้ำของดอกไม้ที่ถูกตัดแล้วดีขึ้น ในการศึกษาที่ก้านของดอกไม้จะวางคว่ำลงเพื่อให้ลำเลียงสารละลายต่างๆได้ดีขึ้น การลำเลียงน้ำในช่วงแรกจะเกิดขึ้นได้ดีแต่ช่วงต่อไปจะลดลง ซึ่งการลำเลียงจะเกิดขึ้นเรื่อยๆหลายอาทิตย์ น้ำจะถูกย้อมสีเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต โดยการลำเลียงสารละลายจะขึ้นกับจำนวนของขนอ่อน ข้อดีของวิธีการส่งน้ำโดยใช้ท่อภายในก้านของดอกไม้ คือ ง่ายและสามารถใช้ได้กับวัสดุประยุกต์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N. Bredmose และ J. Nielsen [16] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของดอกไม้ที่อยู่ในที่มีอุณหภูมิสูงและต่ำ เช่น เติบโตในที่ที่มีอุณหภูมิหมุนเวียนกันในสิ่งแวดล้อมที่เหมือนกัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับดอกไม้ที่เติบโตในที่ที่มีอุณหภูมิคงที่ ซึ่งการทดลองจะแบ่งดอกไม้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ถูกเลี้ยงที่อุณหภูมิคงที่และกลุ่มที่ถูกเลี้ยงที่อุณหภูมิไม่คงที่โดยจำนวนต้นต่อพื้นที่มีค่าเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิที่ไม่คงที่จะส่งผลต่อสภาวะการปรับตัวของต้นอ่อนโดยจำนวนของพืชและความสูงจะเพิ่มขึ้นแต่คุณภาพของดอกไม้จะเหมือนเดิมและระยะเวลาการบานก็ลดลงด้วย

Y.X. Xu และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้แป้งเพื่อนำมาทดแทนการใช้โพมพอลิสไตรีน โดยการใช้แป้งอะซีทิลเลตซึ่งมีองค์การแทนที่เท่ากับ 1.11 1.68 และ 2.23 ตามลำดับ มากอดักกับน้ำและเอทานอล จากนั้นทำการศึกษาค่าขององค์การแทนที่และชนิดของสารละลายในแป้งอะซีเตตที่เตรียมได้ในแง่ของดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ พฤติกรรมทางความร้อน (T_g , T_m และ อุณหภูมิการเน่าเปื่อย) และการสลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ พบว่าเมื่อองค์การแทนที่เพิ่มสูงขึ้น ดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายและจะลดลงเมื่อน้ำเป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่า T_g ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้สูงขึ้นอีกด้วย แต่จะทำให้การสลายตัวทางชีวภาพลดลงโดยที่อัตราเร็วในการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายจะมีค่าสูงกว่าการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟอรั่มัลดีไฮด์ (HCHO, ฟอรั่มาลิน 37%) เกรดการค้า
2. ฟีนอล (C₆H₅OH) เกรดการค้า
3. กรดแอซีติก (17M glacial acetic acid) เกรดวิเคราะห์
4. กรดเกลือ (12M HCl) เกรดวิเคราะห์
5. สารช่วยให้ฟองตัวหรือสารฟู (Sodium bicarbonate : NaHCO₃)
6. แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified starch) : Siam Modified Starch Co.,Ltd.
7. สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Sodium laurylsulfate : CH₃(CH₂)₁₁OSO₃Na)
8. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (polyoxyethylene derivative of fatty acid :Tween 60)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

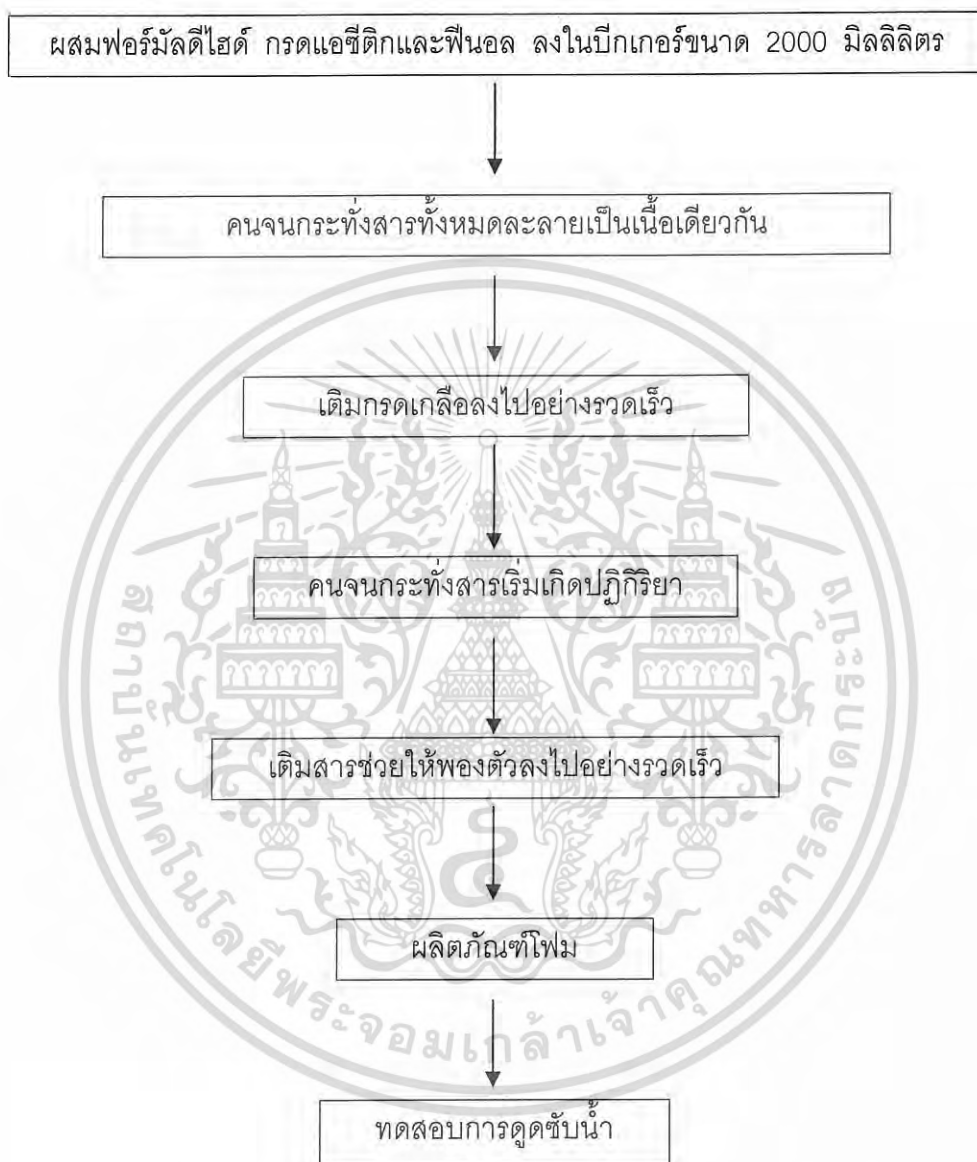
1. เครื่องชั่ง หมายเลข TC-254
2. เครื่องแก้ว
 - แท่งแก้วคน
 - บีกเกอร์ ขนาด 2000 มิลลิลิตร
 - กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร 2 อัน
 - กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 อัน
 - กระจกนาฬิกา
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) รุ่น LEO 1455 VP.
4. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC-50) : PerkinElmer
5. เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA): PerkinElmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 หาค่าอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส

3.3.1.1 หาค่าอัตราส่วนของสารช่วยให้พองตัวที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

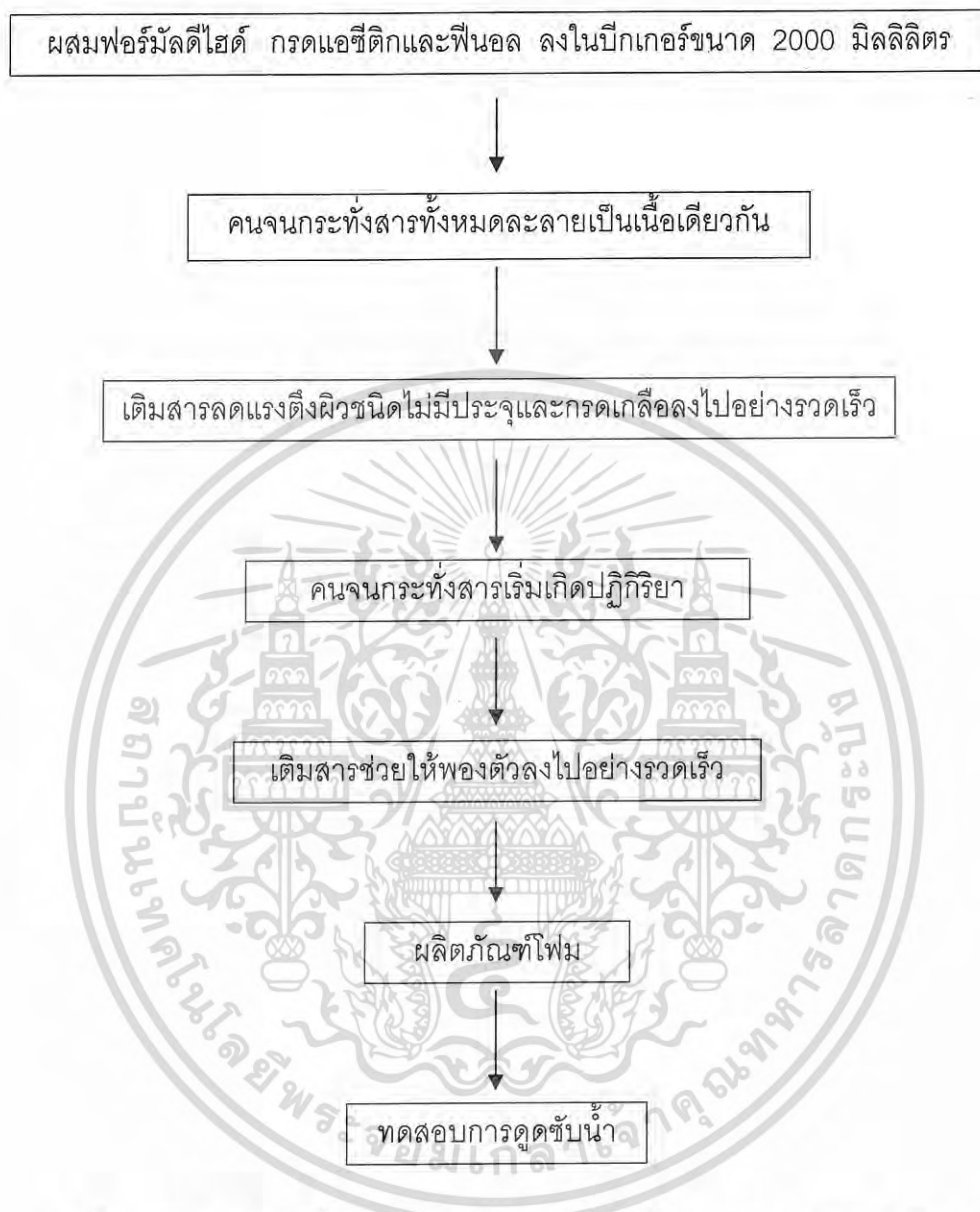
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิสโดยมีปริมาณสารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน

สูตรที่	1	2	3	4	5	6
ส่วนประกอบ						
ฟีนอล (กรัม)	40	40	40	40	40	40
ฟอร์มัลดีไฮด์ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
กรดอะซิติก (มิลลิลิตร)	50	50	50	50	50	50
กรดเกลือ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
Sodium bicarbonate (กรัม)	0	1	2	3	4	5

จากนั้นเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสทั้ง 6 สูตรเพื่อหาปริมาณสารช่วยให้พองที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิส โดยโฟมโอเอซิสที่มีปริมาณสารช่วยให้พองตัวที่เหมาะสมจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 หาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิต
โฟมไอเอซิส



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว
ชนิดไม่มีประจุแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

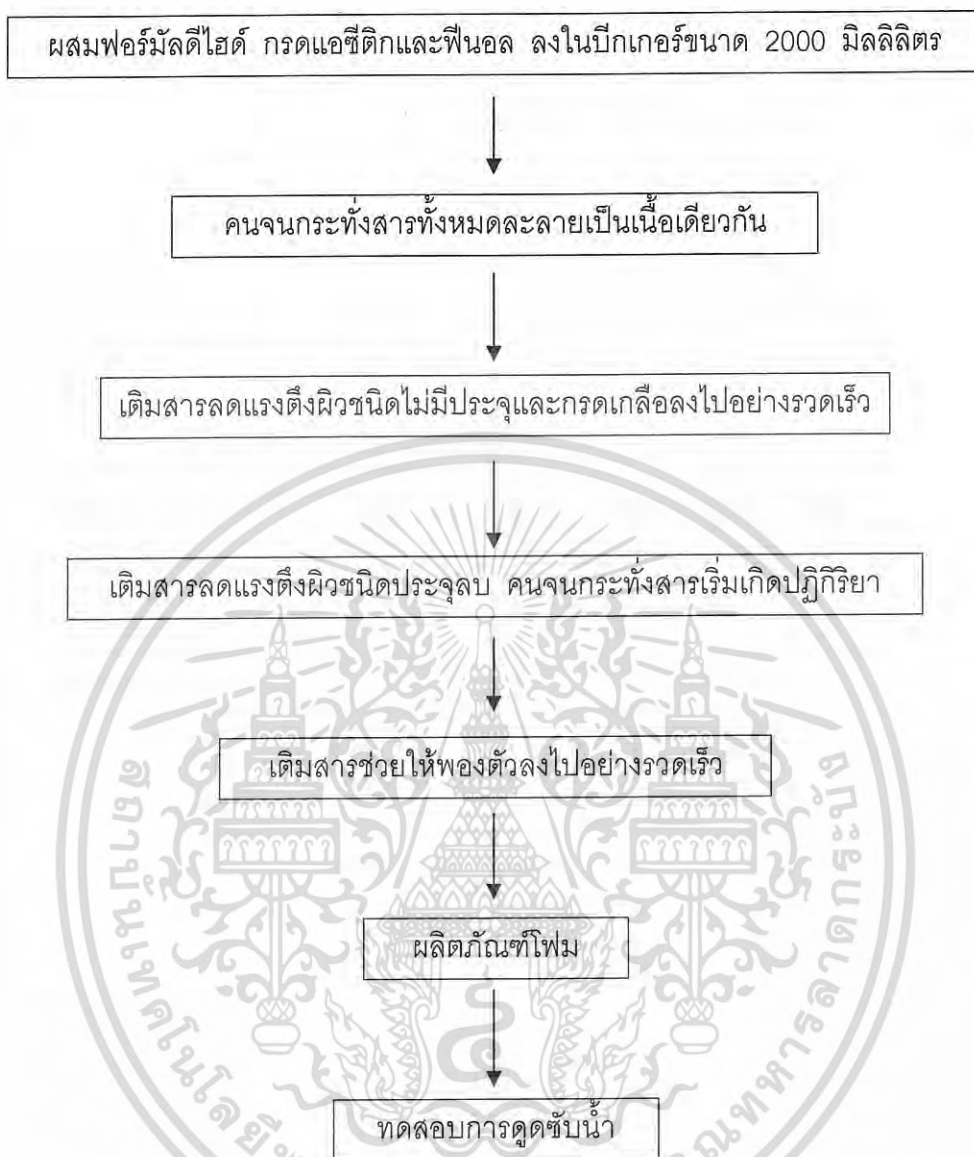
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิสโดยมีปริมาณ
สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุแตกต่างกัน

สูตรที่	1	2	3	4	5	6
ฟินอล (กรัม)	40	40	40	40	40	40
ฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
กรดแอสติก (มิลลิลิตร)	50	50	50	50	50	50
กรดเกลือ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
Tween 60 (กรัม)	0	1	2	3	4	5
Sodium bicarbonate (กรัม)	3	3	3	3	3	3

หมายเหตุ ปริมาณสารช่วยให้พองตัว (Sodium bicarbonate) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.1

จากนั้นเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสทั้ง 6 สูตรเพื่อหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิส โดยโฟมโอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด

3.3.1.3 หาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิสโดยมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแตกต่างกัน

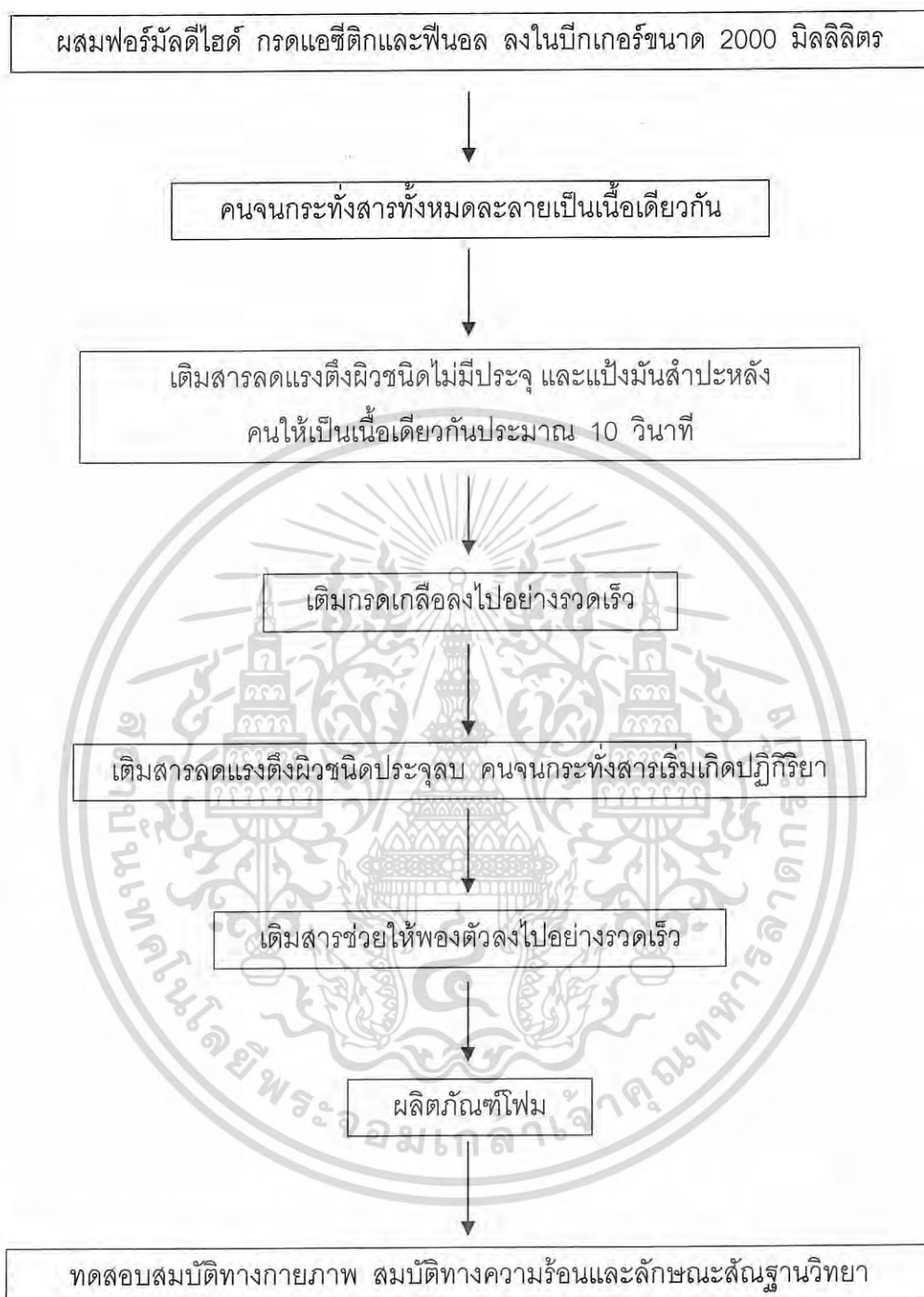
สูตรที่	1	2	3	4	5	6
ส่วนผสม						
ฟีนอล (กรัม)	40	40	40	40	40	40
ฟอร์มัลดีไฮด์ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
กรดแอสติก (มิลลิลิตร)	50	50	50	50	50	50
กรดเกลือ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
Tween 60 (กรัม)	3	3	3	3	3	3
Sodium laurylsulfate (กรัม)	0	1	2	3	4	5
Sodium bicarbonate (กรัม)	3	3	3	3	3	3

- หมายเหตุ**
1. ปริมาณสารช่วยให้ฟองตัว (Sodium bicarbonate) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.1
 2. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 60) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.2

จากนั้นเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของโฟมไอเอซิสทั้ง 6 สูตรเพื่อหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส โดยโฟมไอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่เหมาะสมจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 หาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิส



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตโฟมโอเอซิสที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิสโดยมีปริมาณ
แป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน

สูตรที่	1	2	3	4	5	6
ส่วนผสม						
ฟีนอล (กรัม)	40	40	40	40	40	40
ฟอร์มัลดีไฮด์ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
กรดแอสติค (มิลลิลิตร)	50	50	50	50	50	50
กรดเกลือ (มิลลิลิตร)	40	40	40	40	40	40
Tween 60 (กรัม)	3	3	3	3	3	3
Sodium laurylsulfate (กรัม)	3	3	3	3	3	3
Sodium bicarbonate (กรัม)	3	3	3	3	3	3
Cassava Starch (กรัม)	0	1	3	5	7	10

- หมายเหตุ**
1. ปริมาณสารช่วยให้พองตัว (Sodium bicarbonate) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.1
 2. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Tween 60) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.2
 3. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Sodium laurylsulfate) เท่ากับ 3 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิสซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3.3.1.3

จากนั้นเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสทั้ง 6 สูตรเพื่อหาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบการดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D570) [18,19]

ทำการทดสอบโดยนำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 3.3 มาตัดให้มีขนาด 1x3x1 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้น ชั่งน้ำหนักชิ้นงานแต่ละชิ้นไว้ นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ ตั้งชิ้นงานทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

คำนวณหาน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับจากสมการ

$$\% \text{ น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับ} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักของชิ้นงานเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักของชิ้นงานเริ่มต้น}} \times 100$$

ทำการทดสอบการดูดซับน้ำของโพลีเอเธนที่ผลิตจากต่างประเทศด้วยวิธีการเดียวกัน แล้วเปรียบเทียบการดูดซับน้ำระหว่างโพลีเอเธนที่ผลิตได้กับโพลีเอเธนที่ผลิตจากต่างประเทศ

3.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

3.5.1 Thermogravimetric Analysis (TGA)

ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสารตัวอย่างเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ โดยชั่งชิ้นงานที่ได้จากข้อ 3.3 ให้ได้น้ำหนัก 10 มิลลิกรัม ใส่ใน pan เปิดที่ทำจาก Platinum จากนั้นนำเข้าเครื่อง TGA แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเทียบกับอุณหภูมิ

สภาวะของเครื่องที่ใช้ คือ

Initial temperature	50	°C
Final temperature	900	°C
Isothermal	5	min
Heating rate	20	°C / min

ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของโพลีเอเธนที่ผลิตจากต่างประเทศด้วยวิธีการเดียวกัน แล้วเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิระหว่างโพลีเอเธนที่ผลิตได้กับโพลีเอเธนที่ผลิตจากต่างประเทศ

3.5.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ทำการตรวจวัดความแตกต่างของเอนทัลปีของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 3.3 มาตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ใส่ใน pan ปิดที่ทำด้วย Aluminium จากนั้นนำเข้าเครื่อง DSC โดยใส่สารตัวอย่างด้านซ้ายและใส่ pan เปล่าด้านขวาเพื่อเป็นสารอ้างอิง บันทึก DSC curve แล้วหาค่าเอนทัลปี

สภาวะของเครื่องที่ใช้ คือ

ความร้อน 50 °C ถึง 300 °C ที่อัตราเร็ว 20 °C/min

ความเย็น 300 °C ถึง 50 °C ที่อัตราเร็ว 20 °C/min

ตรวจวัดความแตกต่างของเอนทัลปีของโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศและสารอ้างอิงด้วยวิธีการเดียวกัน แล้วเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีระหว่างโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้กับโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ

3.6 การทดสอบสัณฐานวิทยา

การทดสอบสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ทำการทดสอบโดยตัดชิ้นงานที่ได้จากข้อ 3.3 ให้มีขนาดประมาณ 1x1x1 เซนติเมตร นำชิ้นงานไปติดบนที่วางชิ้นงานตัวอย่าง (stub) แล้วทำการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยทองคำโดยใช้เครื่อง Sputtering coater จากนั้นนำชิ้นงานเข้าเครื่อง Scanning electron microscope หรือเครื่อง SEM เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิว

ทำการทดสอบสัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศด้วยวิธีการเดียวกัน จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาระหว่างโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้กับโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

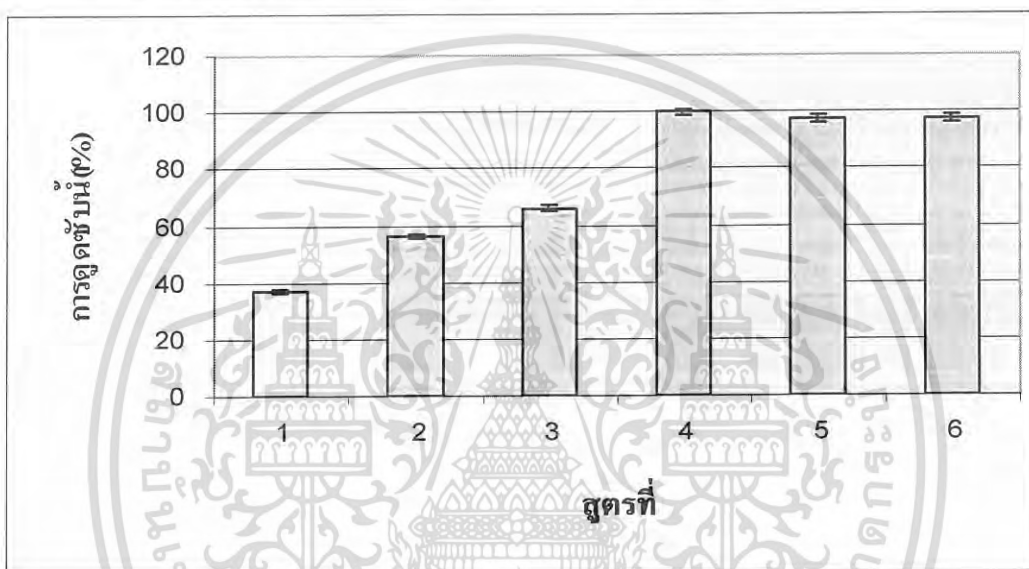
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

การดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D570)

4.1.1 หาอัตราส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตโฟมไอเอซิส

4.1.1.1 หาอัตราส่วนของสารช่วยให้ฟองตัวที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณสารช่วยให้ฟองตัวแตกต่างกันดังนี้ 1(0 กรัม) 2(1 กรัม) 3(2 กรัม) 4(3 กรัม) 5(4 กรัม) และ 6(5 กรัม)

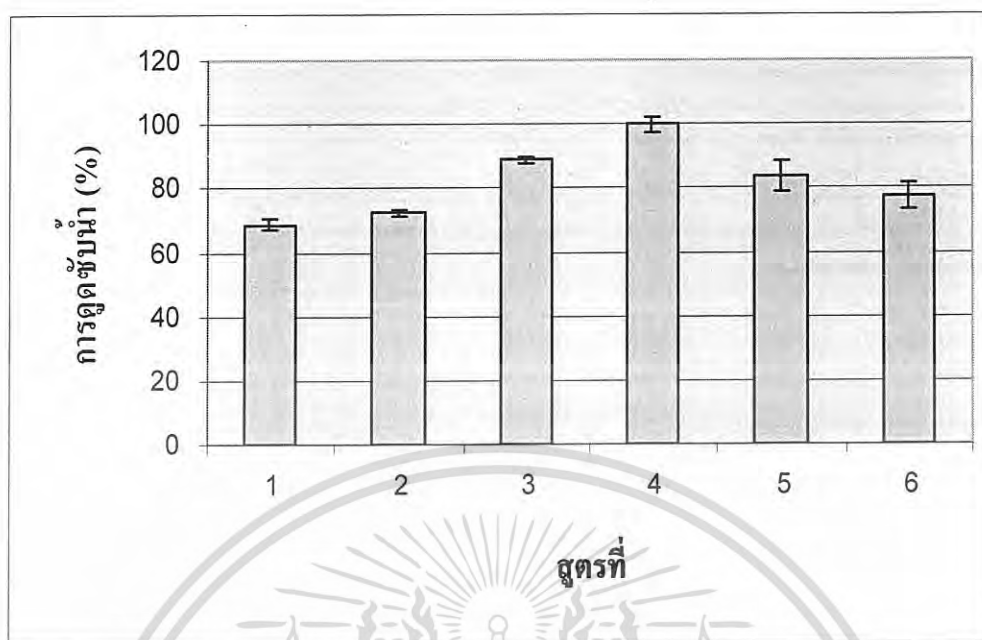
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณสารช่วยให้ฟองตัวเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโฟมไอเอซิสที่ผลิตได้จะมีรูพรุนมากขึ้นจึงสามารถดูดซับน้ำได้ดี [18,19]

โดยโฟมไอเอซิสที่มีการเติมสารช่วยให้ฟองตัวปริมาณ 3 กรัม จะมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด จากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณสารช่วยให้ฟองตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารช่วยให้ฟองตัวจะเกิดการสลายตัวและให้ฟองก๊าซออกมาเป็นจำนวนมาก ทำให้โฟมไอเอซิสที่ผลิตได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณสารช่วยให้ฟองตัวที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมไอเอซิส คือ 3 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 หาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิส



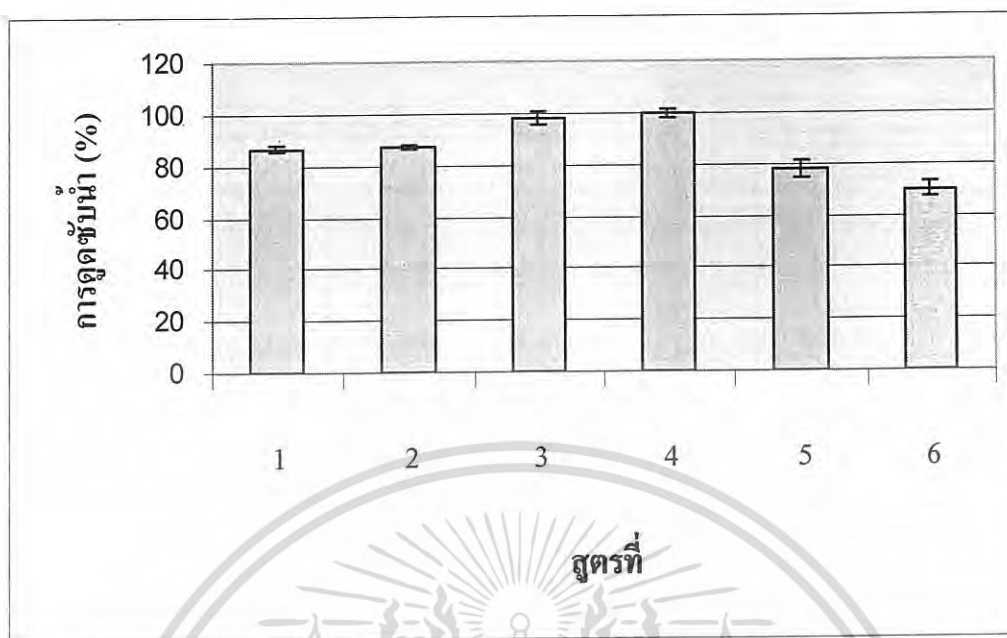
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุแตกต่างกันดังนี้ 1(0 กรัม) 2(1 กรัม) 3(2 กรัม) 4(3 กรัม) 5(4 กรัม)และ 6(5 กรัม)

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เติมลงไปจะช่วยทำให้รูพรุนของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้มีขนาดสม่ำเสมอมากขึ้นจึงสามารถดูดซับน้ำได้ดี [18,19]

โดยโฟมโอเอซิสที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุปริมาณ 3 กรัม จะมีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด จากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงตึงผิวที่ลดลงอย่างมากจะส่งผลให้ฟองก๊าซเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ จึงสามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิส คือ 3 กรัม

4.1.1.3 หาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอสซิส



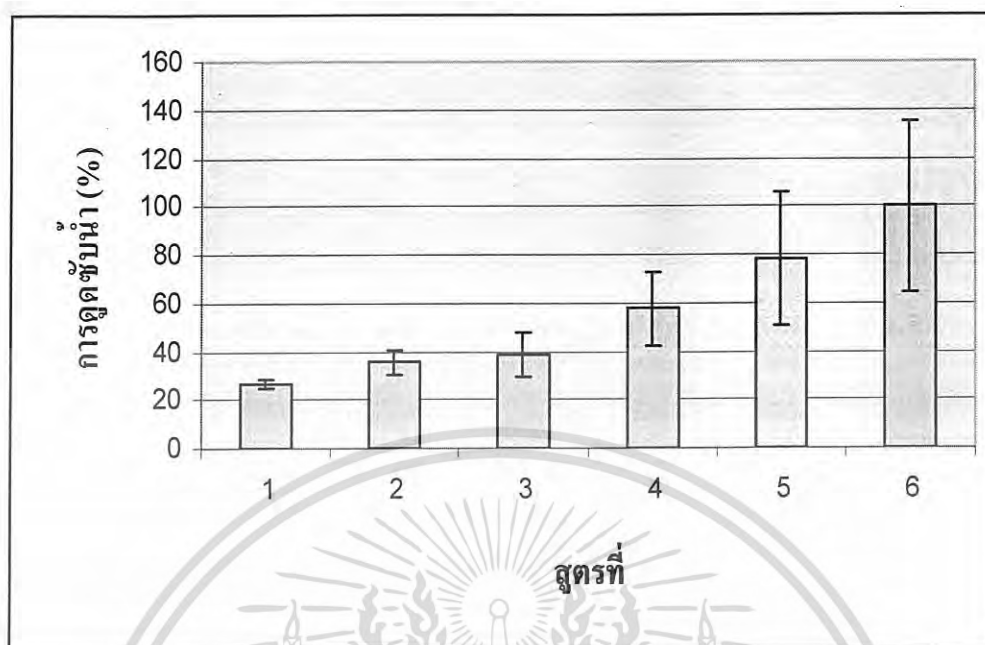
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับสูตรการผสมซึ่งมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแตกต่างกันดังนี้ 1(0 กรัม) 2(1 กรัม) 3(2 กรัม) 4(3 กรัม) 5(4 กรัม) และ 6(5 กรัม)

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชนิดลบประจุที่เติมลงไปจะช่วยทำให้รูพรุนของโฟมโอเอสซิสที่ผลิตได้มีขนาดสม่ำเสมอมากขึ้นจึงสามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำได้ดี [18,19]

โดยโฟมโอเอสซิสที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบปริมาณ 3 กรัม จะมีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด จากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดฟองมากขึ้นและการกระจายตัวของส่วนประกอบต่างๆจะลดลง ส่งผลให้โฟมโอเอสซิสที่ผลิตได้มีขนาดรูพรุนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอสซิส คือ 3 กรัม

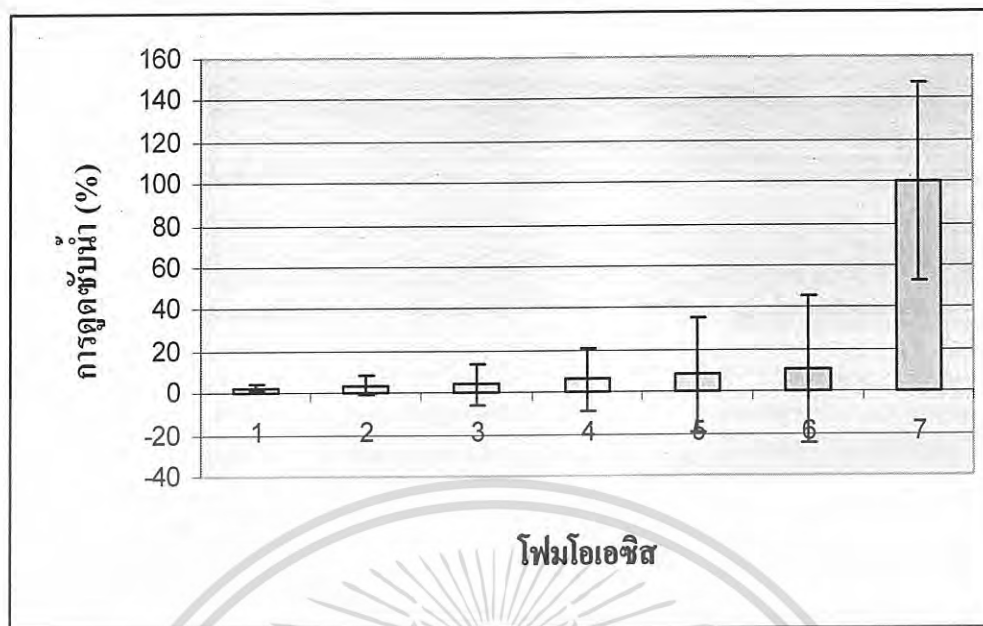
4.1.2 หาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิส



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำ (%) กับสูตรโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้ซึ่งมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกันดังนี้ 1(0 กรัม) 2(1 กรัม) 3(3 กรัม) 4(5 กรัม) 5(7 กรัม) และ 6(10 กรัม)

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้ซึ่งมีการผสมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่ต่างกันจะพบว่า โฟมโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด และโฟมโอเอซิสที่ไม่มีการผสมแป้งมันสำปะหลัง มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย [18,19]

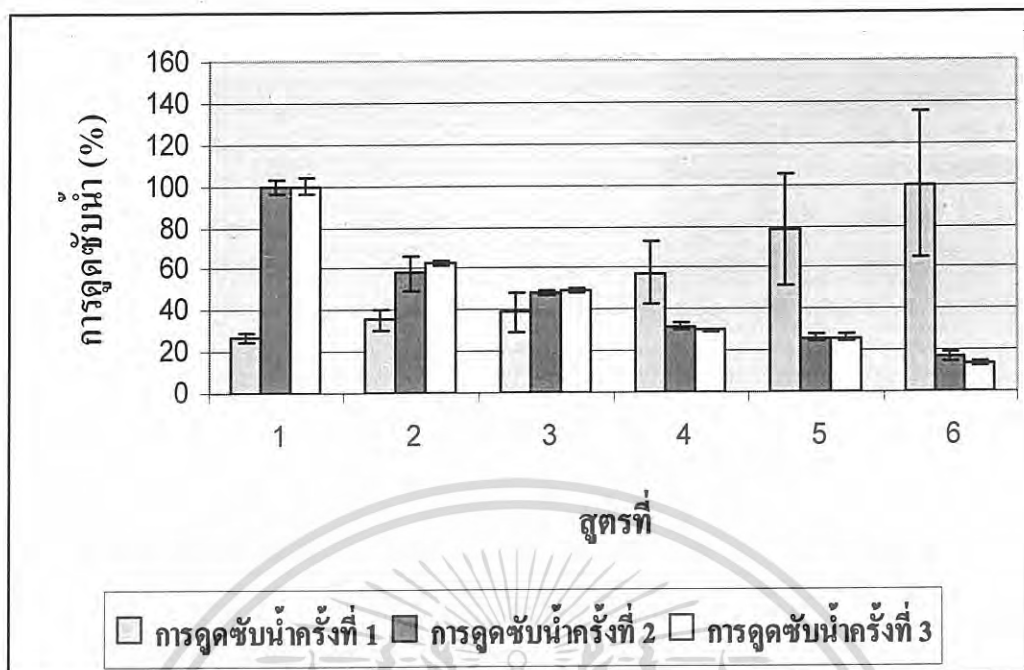
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของโพลีโอะเอซิสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ โดย 1(Oasis/starch 0 กรัม) 2(Oasis/starch 1 กรัม) 3(Oasis/starch 3 กรัม) 4(Oasis/starch 5 กรัม) 5(Oasis/starch 7 กรัม) 6(Oasis/starch 10 กรัม) และ 7(Imported oasis)

จากรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำระหว่างโพลีโอะเอซิสที่ผลิตได้กับโพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศพบว่า ค่าการดูดซับน้ำของโพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศแตกต่างจากโพลีโอะเอซิสที่ผลิตขึ้น เนื่องจากการดูดซับน้ำของโพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศอาศัยแรงดึงน้ำเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีอยู่จำนวนมาก(Capillary force) ส่งผลให้การดูดซับน้ำเกิดขึ้นได้ดี ทำให้โพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าโพลีโอะเอซิสที่ผลิตได้ [18,19]

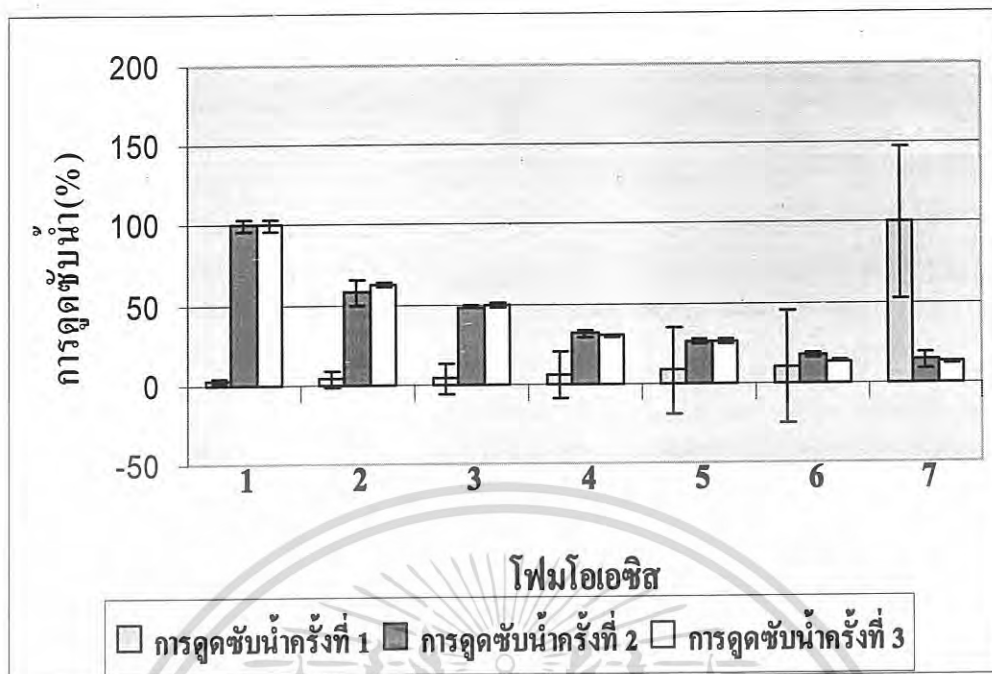
เมื่อนำโพลีโอะเอซิสที่ผลิตได้กับโพลีโอะเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศมาตรวจสอบการดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 1 2 และ 3 ของโฟมโอเอสที่ผลิตได้ โดย 1(Oasis/starch 0 กรัม) 2(Oasis/starch 1 กรัม) 3(Oasis/starch 3 กรัม) 4(Oasis/starch 5 กรัม) 5(Oasis/starch 7 กรัม) และ 6(Oasis/starch 10 กรัม)

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ของโฟมโอเอสที่ผลิตได้มีค่าลดลง เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

โดยโฟมโอเอสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 น้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น โฟมโอเอสจะสามารถดูดซับน้ำในครั้งแรกไว้ได้มากและกักเก็บน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำจึงระเหยออกไปได้น้อยและเหลืออยู่ในโครงสร้างมาก ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ลดลง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 1 2 และ 3 ของโพมโอเอซิสที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโพมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ โดย 1(Oasis/starch 0 กรัม) 2(Oasis/starch 1 กรัม) 3(Oasis/starch 3 กรัม) 4(Oasis/starch 5 กรัม) 5(Oasis/starch 7 กรัม) 6(Oasis/starch 10 กรัม) และ 7 (Imported oasis)

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ของโพมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศมีค่าลดลง เนื่องจากโพมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศสามารถดูดซับน้ำในครั้งแรกไว้ได้มากและกักเก็บน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำจึงระเหยออกไปได้น้อยและเหลืออยู่ในโครงสร้างมาก ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ของโพมโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม โดยแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับน้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ของโฟมโอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เปรียบเทียบกับโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

การดูดซับน้ำ (%)	โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้	โฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ
ครั้งที่ 2	24.12	19.40
ครั้งที่ 3	18.89	17.23

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตโฟมโอเอซิสได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการผลิตโฟมโอเอซิส

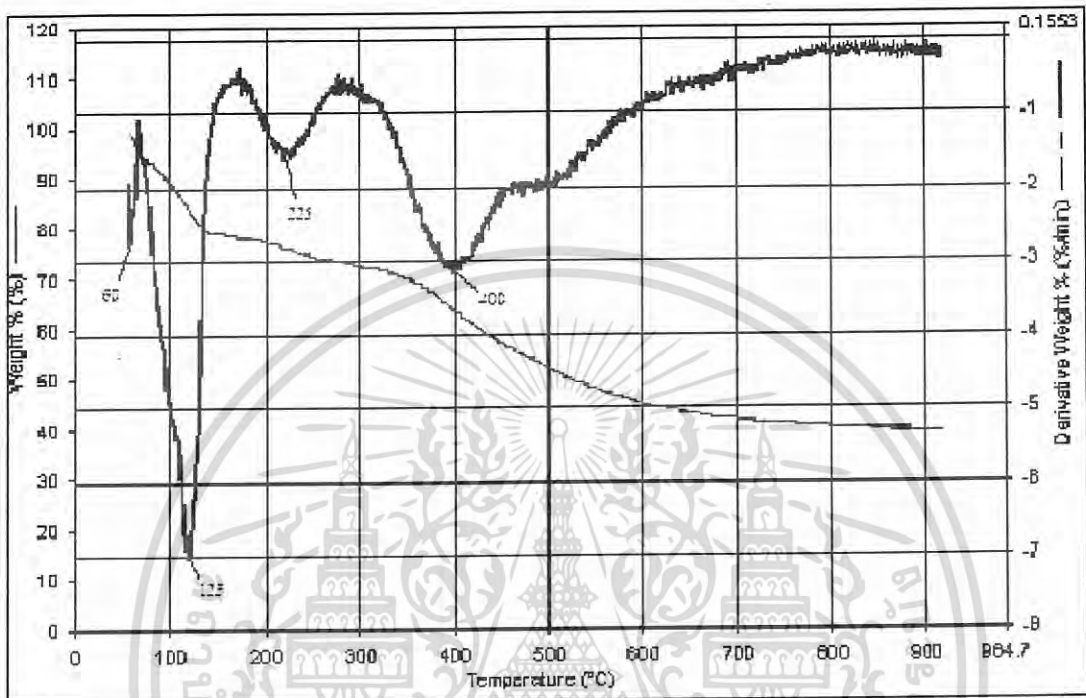
ส่วนประกอบ	ปริมาณ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
ฟีนอล	40 กรัม	20.91
ฟอร์มัลดีไฮด์	40 มิลลิลิตร	17.04
กรดแอสติค	50 มิลลิลิตร	27.44
กรดเกลือ	40 มิลลิลิตร	24.67
Tween 60	3 กรัม	1.57
Sodium laurylsulfate	3 กรัม	1.57
Sodium bicarbonate	3 กรัม	1.57
Cassava starch	10 กรัม	5.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโพลีเอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เปรียบเทียบกับโพลีเอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

4.1.2 Thermogravimetric Analysis (TGA)

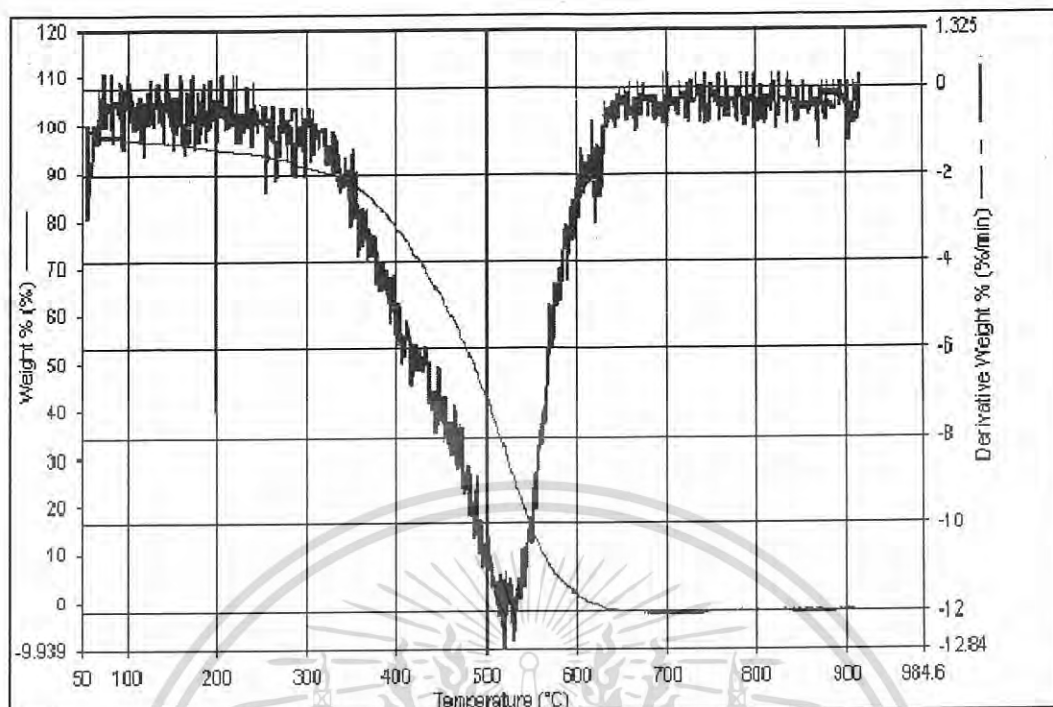


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลีเอเอซิสที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ โพลีเอเอซิสที่ผลิตได้จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาการสลายตัว ซึ่งโพลีเอเอซิสที่ผลิตได้จะเกิดการสลายตัวเพียงบางส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส โดยเกิดการสลายตัว 4 ขั้นดังนี้

- | | | | | | |
|-----------|--------------------------------|-----|--------------|-----|--------------------|
| ขั้นที่ 1 | สลายตัวได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ | 60 | องศาเซลเซียส | คือ | โซเดียมไบคาร์บอเนต |
| ขั้นที่ 2 | สลายตัวได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ | 123 | องศาเซลเซียส | คือ | น้ำ |
| ขั้นที่ 3 | สลายตัวได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ | 225 | องศาเซลเซียส | คือ | ฟีนอล |
| ขั้นที่ 4 | สลายตัวได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ | 400 | องศาเซลเซียส | คือ | สารประกอบฟีนอลิก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



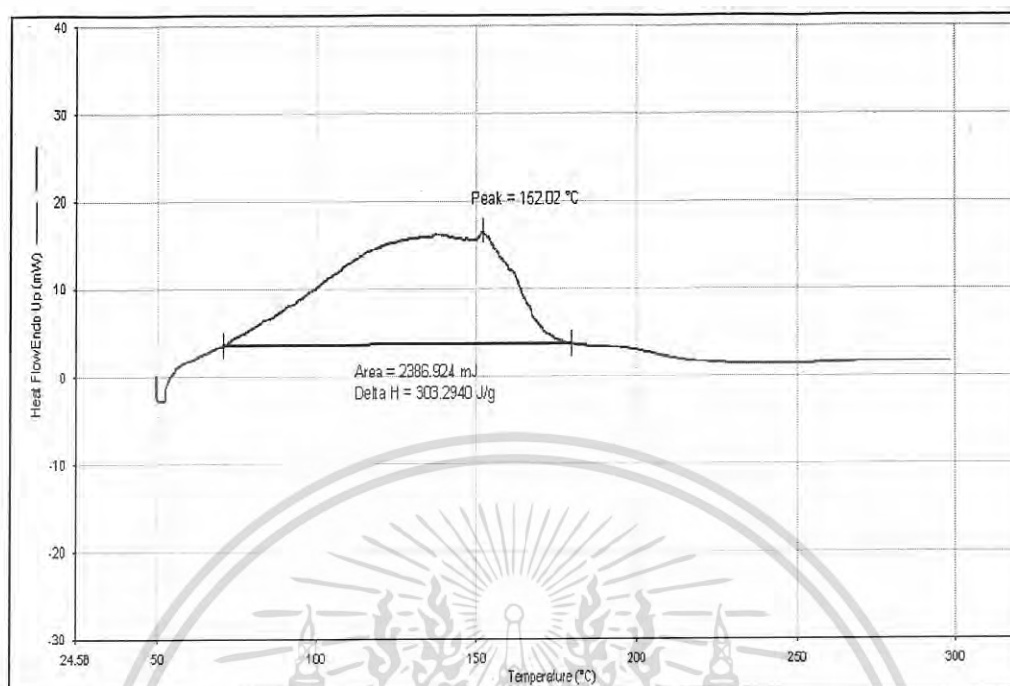
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ โพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศ จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาการสลายตัว โดยเกิดการสลายตัวได้ทั้งหมดภายในขั้นตอนเดียว ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศเป็นสารที่มีองค์ประกอบเดียวและเกิดการสลายตัวได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 525 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมแกรมจากเทคนิค TGA ของโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตได้กับเทอร์โมแกรมของโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศพบว่า โพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตได้เริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศ ดังนั้นในการกำจัดโพลิอะเซทาลดีไฮด์ที่ผลิตจากต่างประเทศ ซึ่งผ่านการใช้งานแล้วโดยการนำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการสลายตัวจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าถ้าต้องการกำจัดเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

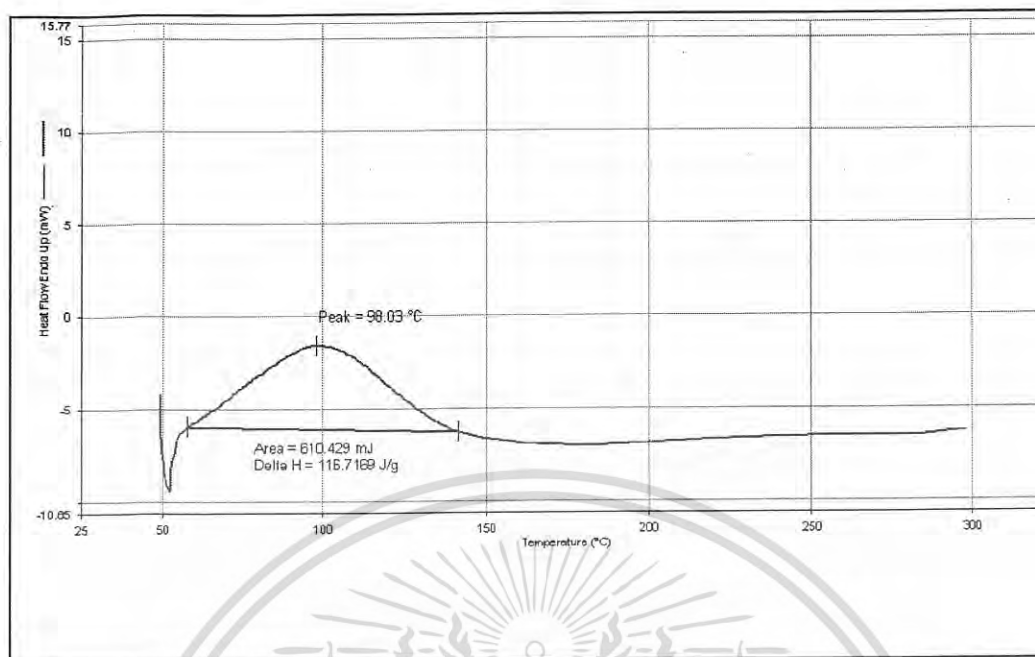
4.1.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC)



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC ของโพลีเอทิลีนที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 10 กรัม

จากรูปที่ 4.10 พิจารณาจากเทอร์โมแกรมพบว่า เมื่อทำการให้ความร้อนกับสารตัวอย่างและสารอ้างอิง ถ้าสารตัวอย่างยังไม่เข้าสู่สภาวะทรานซิชันจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จึงไม่มีความแตกต่างของเอนทัลปีของสารทั้งสอง แต่เมื่อสารตัวอย่างเข้าสู่สภาวะทรานซิชันทำให้มีการดูดความร้อนเกิดขึ้น ทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง จึงเกิดเป็นพีคของการสลายตัว โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการหลอมเหลวคือ 152.02 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 2,386.92 มิลลิจูล ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟนี้ทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่สารตัวอย่างดูดเข้าไปเพื่อใช้ในการหลอมเหลว ซึ่งมีค่าเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว (ΔH_f) เท่ากับ 303.29 จูล/กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC ของโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตจากต่างประเทศ

จากรูปที่ 4.11 พิจารณาจากเทอร์โมแกรมพบว่า เมื่อทำการให้ความร้อนกับสารตัวอย่างและสารอ้างอิง ถ้าสารตัวอย่างยังไม่เข้าสู่สภาวะทรานซิชันจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จึงไม่มีความแตกต่างของเอนทัลปีของสารทั้งสอง แต่เมื่อสารตัวอย่างเข้าสู่สภาวะทรานซิชันทำให้มีการดูดความร้อนเกิดขึ้น ทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง จึงเกิดเป็นพีคของการสลายตัว โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกคือ 90.03 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 610.43 มิลลิจูล ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟนี้ทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่สารตัวอย่างดูดเข้าไปเพื่อใช้ในการหลอมเหลว ซึ่งมีค่าเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว (ΔH_f) เท่ากับ 116.72 จูล/กรัม

เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC ของโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตได้กับเทอร์โมแกรมของโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตจากต่างประเทศจะพบว่า โพลีไอโซไซเนตที่ผลิตได้มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก (T_m) และค่าเอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว (ΔH_f) สูงกว่าโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตจากต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่าโพลีไอโซไซเนตที่ผลิตจากต่างประเทศ ส่งผลให้สามารถนำไปใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง โดยแสดงในตารางที่ 4.3

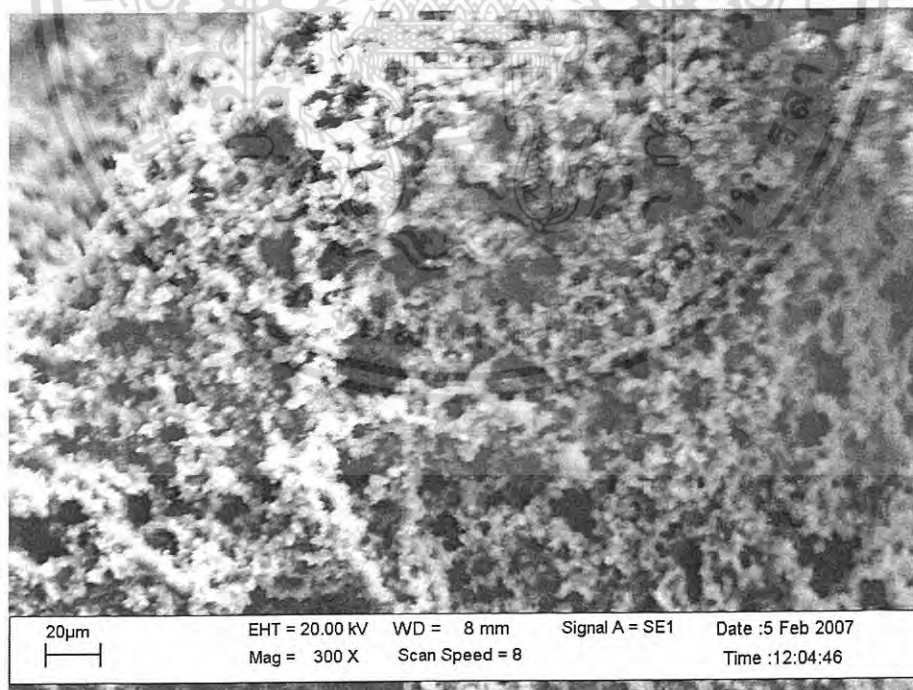
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการหลอมเหลวผลึก (T_m) พื้นที่ใต้กราฟ เอนทัลปี (ΔH_f) และองค์ความเป็นผลึก (X_c) ของโพลีเอทิลีนที่ผลิตขึ้นได้และโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ

	โพลีเอทิลีนที่ผลิตขึ้นได้	โพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ
อุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก ($^{\circ}\text{C}$)	152.02	90.03
พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)	2,386.92	610.43
เอนทัลปี (J/g)	303.29	116.72
องค์ความเป็นผลึก (%)	69.44	26.72

4.2 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 กรัม เปรียบเทียบกับโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิวของโพลีเอทิลีนที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณ 10 กรัม โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้เป็นเซลล์ขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ เนื่องจากโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้เกิดจากปฏิกิริยาการเติมขององค์ประกอบที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสองชนิด คือ ฟีนอล (Phenol) และ ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้สารช่วยให้พองตัว (NaHCO_3) เกิดการสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน แต่เนื่องจากการผลิตโฟมโพลีเอทิลีนนั้นสารช่วยให้พองตัว (NaHCO_3) เกิดการสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้โฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้มีโครงสร้างเป็นเซลล์ขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกันและเกิดเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ ดังนั้นโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้จึงสามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย [18,19]



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศเป็นเซลล์ที่ต่อเนื่องกันและภายในเซลล์มีรูพรุนอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งการดูดซับน้ำจะอาศัยแรงดึงน้ำเข้าไปในรูพรุน (Capillary force) ดังนั้นโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจะสามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ได้ดี [18,19]

เมื่อเปรียบเทียบจากลักษณะลักษณะพื้นฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้กับโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศสามารถสรุปได้ว่า โพลีเอทิลีนที่ผลิตได้มีโครงสร้างเป็นเซลล์ขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ จึงสามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำได้น้อยกว่าโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศซึ่งมีโครงสร้างเป็นเซลล์ที่ต่อเนื่องกันและภายในมีรูพรุนอยู่เป็นจำนวนมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตโฟมโอเอซิสจากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อใช้ในการคงความสดของดอกไม้ โดยทำการผลิตโฟมโอเอซิสจากฟีนอลและพอร์มัลดีไฮด์ รวมทั้งมีการเติมสารตัวเติม คือ แป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ กัน ได้แก่ 0 1 3 5 7 และ 10 กรัม เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ จากนั้นนำโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้มาตรวจสอบสมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติทางความร้อนและลักษณะสัณฐานวิทยา แล้วเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้กับโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ

จากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสจะเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้กับโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้น้อยกว่าการดูดซับน้ำของโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ เนื่องจากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่า โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้มีโครงสร้างเป็นเซลล์ขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ ส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย ส่วนโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศมีโครงสร้างเป็นเซลล์ที่ต่อเนื่องกันและภายในเซลล์มีรูพรุนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำได้ดี

ทางด้านการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้เกิดการสลายตัวบางส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส แต่โฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศสามารถสลายตัวได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสามารถกำจัดโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศซึ่งผ่านการใช้งานแล้วได้โดยการนำไปให้ความร้อน เพื่อให้เกิดการสลายตัวแต่จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานถ้าต้องการกำจัดโฟมโอเอซิสเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอนแนะ

1. โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้มีลักษณะแข็งและเปราะ ทำให้แตกหักได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเติมสารเพิ่มเสถียรภาพและสารช่วยเพิ่มความนิ่ม เพื่อลดความแข็งและเปราะลง
2. โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้ยังคงมีกลิ่นของกรดแอซีติกเหลืออยู่ ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงควรกำจัดกรดแอซีติกที่เกินพอโดยการใส่สารประเภทแอลกอฮอล์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารประเภทเอสเทอร์ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมขึ้น

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์

โฟมโอเอซิสที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาความสดของดอกไม้แทนโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศได้แต่ยังไม่ดีพอจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของสมบัติการดูดซับน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ : **เทคโนโลยีของแป้ง** : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ : 2546 .
- [2] kanchanapisek.1997. **phenolformaldehyde**. [Online]. Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK28/chapter8/t28-8-13.htm>
- [3] D.Eaves : **Polymer Foam** : Trends in Use and Technology : pp. 121-122 .
- [4] A.Gardziella, A.Knop, L.Pilato. : **Phenolic resin** : Technology & Industrial Arts : pp. 3-6 ,162-167 , 187-188 , 207 .
- [5] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ : **ปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์** : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ : 2546 : หน้า 14 - 17 .
- [6] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ : **เคมีพอลิเมอร์** : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ : 2546 : หน้า 346 - 348 .
- [7] สมศักดิ์ วรมงคลชัย : **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2** : ชีวเนท กรุงเทพฯ : 2548 : หน้า 228 - 246.
- [8] P. Lanthong, R. Nuisin, S. Kiatkamjornwong : **Graft copolymerization , characterization, and degradation of cassava starch-g-acrylamide/itaconic acid superabsorbents** : Carbohydrate Polymers 66 (2006) : pp. 229–245 .
- [9] C. Yu, T. Hui-min : **Crosslinked carboxymethylchitosan-g-poly(acrylic acid) copolymer as a novel superabsorbent polymer** : Carbohydrate research 341 (2006) : pp. 887–896 .
- [10] H. T. Lokhande, V. D. Gotmare : **Utilization of textile loomwaste as a highly absorbent polymer through graft co-polymerization** : Bioresource Technology 68 (1999) : pp. 283-286 .
- [11] S. Hongbin, A.J. Lavoie, S.R. Nutt : **Enhanced peel resistance of fiber reinforced phenolic foams** : Composite: Part A 34 (2003) : pp.941-948 .
- [12] T. Chung-jen, K. Kuang-te : **Thermal radiative properties of phenolic foam insulation** : Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 72 (2002) : pp. 349-359 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [13] D. Castel, A. Ricard, R. Audebert : **Swelling of anionic and cationic starch-based superabsorbents in water and saline solution** : Applied Polymer Science 39 (1990) : pp. 11-29 .
- [14] F. Liu, Y. Cohen, M. Fuchs, Z. Plaut , A. Grava : **The effect of vapor pressure deficit on leaf area and water transport in flower stems of soil-less culture rose** : Agricultural Water Management 81 (2006) : pp. 216-224 .
- [15] P. A. Van De Pol, L. F. M. Marcelis : **Apical application of aqueous solutions to roses via flower tubes — a technique with possibilities** : Scientia Horticulturae 34 (1988) : pp. 123-129 .
- [16] N. Bredmose, J. Nielsen : **Effects of thermoperiodicity and plant population density on stem and flower elongation, leaf development, and specific fresh weight in single stemmed rose (*Rosa hybrida* L.) plants** : Scientia Horticulturae 100 (2004) :pp.169-182 .
- [17] Y.X. Xu, Y. Dzenis, M.A. Hanna : **Water solubility, thermal characteristics and biodegradability of extruded starch acetate foams** : Industrial Crops and Products 21 (2005) : pp. 361-368 .
- [18] ASTM. 2007. **Water Absorption**. Online]. Available:
http://astm.org/cgi-bin/softcart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/D570.html+mystore+bezx4678+1173252683
- [19] ASTM. 2007. **Water Absorption**. Online]. Available:
http://ptli.com/testlopedia/test/water_absorption-D570.asp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ค่าการดูดซับน้ำของโพลีเอเธนที่ผลิตได้กับโพลีเอเธนที่ผลิตจาก
ต่างประเทศ

ตารางที่ 1 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโพลีเอเธนที่มีปริมาณสารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน
ครั้งที่ 1

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 1		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.54	3.47	36.61	36.17	36.85
	2	2.48	3.36	35.48		
	3	2.50	3.41	36.40		
2	1	2.36	3.68	55.93	55.23	56.26
	2	2.29	3.54	54.59		
	3	2.32	3.60	55.17		
3	1	2.01	3.32	65.17	64.88	66.10
	2	2.08	3.41	63.94		
	3	2.03	3.36	65.52		
4	1	2.02	3.98	97.03	98.16	100.00
	2	1.98	3.93	98.48		
	3	1.96	3.90	98.98		
5	1	1.87	3.64	94.65	95.69	97.48
	2	1.83	3.61	97.27		
	3	1.86	3.63	95.16		
6	1	1.82	3.54	94.51	95.75	97.54
	2	1.78	3.51	97.19		
	3	1.80	3.52	95.56		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารช่วยให้ฟองตัวแตกต่างกัน
ครั้งที่ 2

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 2		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.55	3.42	34.12	34.66	36.46
	2	2.49	3.37	35.34		
	3	2.52	3.39	34.52		
2	1	2.34	3.63	55.13	54.79	57.63
	2	2.32	3.59	54.74		
	3	2.33	3.60	54.51		
3	1	2.03	3.30	62.56	61.49	64.68
	2	2.11	3.39	60.66		
	3	2.09	3.37	61.24		
4	1	2.05	3.97	93.66	95.07	100.00
	2	2.02	3.95	95.54		
	3	2.01	3.94	96.02		
5	1	1.88	3.57	89.89	91.00	95.72
	2	1.85	3.53	90.81		
	3	1.82	3.50	92.31		
6	1	1.79	3.37	88.27	89.47	94.11
	2	1.75	3.36	92.00		
	3	1.77	3.33	88.14		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารช่วยให้พองตัวแตกต่างกัน
ครั้งที่ 3

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 3		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.47	3.36	36.03		
	2	2.51	3.38	34.66	34.63	37.16
	3	2.56	3.41	33.20		
2	1	2.35	3.64	54.89		
	2	2.33	3.61	54.94	55.00	59.03
	3	2.32	3.60	55.17		
3	1	2.03	3.27	61.08		
	2	2.12	3.35	58.02	58.59	62.88
	3	2.10	3.29	56.67		
4	1	2.07	3.99	92.75		
	2	2.05	3.96	93.17	93.18	100.00
	3	2.04	3.95	93.63		
5	1	1.83	3.49	90.71		
	2	1.85	3.54	91.35	90.47	97.09
	3	1.88	3.56	89.36		
6	1	1.77	3.35	89.27		
	2	1.71	3.32	94.15	91.79	98.51
	3	1.74	3.34	91.95		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโอเอซิสที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มี ประจุแตกต่างกัน ครั้งที่ 1

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 1		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.10	4.14	97.14	95.18	68.91
	2	2.06	3.99	93.69		
	3	2.08	4.05	94.71		
2	1	2.02	3.98	97.03	98.16	72.65
	2	1.98	3.93	98.48		
	3	1.96	3.90	98.98		
3	1	2.11	4.62	118.96	120.07	88.86
	2	2.05	4.51	120.00		
	3	2.07	4.58	121.26		
4	1	2.09	4.71	132.46	135.12	100.00
	2	2.11	4.98	136.02		
	3	2.06	4.88	136.89		
5	1	2.07	4.37	111.11	112.94	83.58
	2	2.10	4.40	109.52		
	3	2.09	4.56	118.18		
6	1	2.06	4.20	103.88	104.73	77.5
	2	2.10	4.22	100.95		
	3	2.03	4.25	109.36		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุแตกต่างกัน ครั้งที่ 2

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 2		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.18	4.11	88.53	88.91	73.78
	2	2.10	3.97	89.05		
	3	2.12	4.01	89.15		
2	1	2.05	3.95	92.68	94.09	78.08
	2	2.02	3.93	94.55		
	3	2.01	3.92	95.02		
3	1	2.13	4.60	115.96	114.98	95.42
	2	2.09	4.48	114.35		
	3	2.12	4.55	114.62		
4	1	2.15	4.72	119.53	120.50	100.00
	2	2.16	4.77	120.83		
	3	2.13	4.71	121.13		
5	1	2.11	4.31	104.27	109.28	90.69
	2	2.14	4.54	112.15		
	3	2.10	4.44	111.43		
6	1	2.11	4.12	95.26	96.22	79.85
	2	2.14	4.19	95.79		
	3	2.10	4.15	97.62		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มี
ประจุแตกต่างกัน ครั้งที่ 3

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 3		%การดูดน้ำ	%การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.20	4.08	85.45	87.57	74.68
	2	2.10	3.96	88.57		
	3	2.12	4.00	88.68		
2	1	2.07	3.95	90.82	90.75	77.39
	2	2.05	3.91	90.73		
	3	2.04	3.89	90.69		
3	1	2.12	4.59	116.51	113.54	96.83
	2	2.10	4.45	111.90		
	3	2.13	4.52	112.21		
4	1	2.16	4.65	115.28	117.26	100.00
	2	2.18	4.76	118.35		
	3	2.15	4.69	118.14		
5	1	2.12	4.21	98.58	99.54	84.89
	2	2.11	4.26	101.90		
	3	2.14	4.24	98.13		
6	1	2.12	4.09	92.92	91.37	77.92
	2	2.11	4.04	91.47		
	3	2.14	4.06	89.72		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ แตกต่างกัน ครั้งที่ 1

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 1		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.09	4.71	125.36	126.84	86.64
	2	2.11	4.80	127.49		
	3	2.06	4.69	127.67		
2	1	2.08	4.72	126.92	128.04	87.46
	2	2.10	4.81	129.05		
	3	2.06	4.70	128.16		
3	1	2.07	4.99	141.06	143.69	98.15
	2	2.01	4.91	144.28		
	3	1.99	4.89	145.73		
4	1	2.13	5.23	145.54	146.40	100.00
	2	1.95	4.78	145.13		
	3	2.04	5.07	148.53		
5	1	1.87	4.07	117.65	114.42	78.16
	2	1.78	3.76	111.24		
	3	1.81	3.88	114.36		
6	1	1.76	3.54	101.14	102.43	69.97
	2	1.79	3.68	105.59		
	3	1.73	3.47	100.58		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ แตกต่างกัน ครั้งที่ 2

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 2		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.15	4.68	117.67	118.94	84.22
	2	2.16	4.77	120.83		
	3	2.13	4.65	118.31		
2	1	2.10	4.69	123.33	125.16	88.62
	2	2.11	4.77	126.07		
	3	2.07	4.68	126.09		
3	1	2.09	4.95	136.84	139.67	98.90
	2	2.03	4.89	140.89		
	3	2.01	4.85	141.29		
4	1	2.18	5.19	138.07	141.23	100.00
	2	1.98	4.77	140.91		
	3	2.08	5.09	144.71		
5	1	1.88	4.01	113.30	110.69	78.38
	2	1.80	3.74	107.78		
	3	1.82	3.84	110.99		
6	1	1.77	3.52	98.87	98.86	70.00
	2	1.81	3.61	99.45		
	3	1.74	3.45	98.28		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแตกต่างกัน ครั้งที่ 3

สูตรที่	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่3		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
1	1	2.16	4.65	115.28	116.17	82.82
	2	2.18	4.76	118.35		
	3	2.15	4.62	114.88		
2	1	2.11	4.66	120.85	122.67	87.46
	2	2.12	4.74	123.58		
	3	2.08	4.65	123.56		
3	1	2.10	4.91	133.81	136.43	97.27
	2	2.05	4.87	137.56		
	3	2.03	4.83	137.93		
4	1	2.13	5.16	142.25	140.26	100.00
	2	2.00	4.85	142.5		
	3	2.11	4.98	136.02		
5	1	1.89	3.96	109.52	107.01	76.29
	2	1.80	3.68	104.44		
	3	1.84	3.81	107.07		
6	1	1.79	3.48	94.41	94.79	67.58
	2	1.83	3.57	95.08		
	3	1.76	3.43	94.89		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้ ครั้งที่ 1

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 1		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.13	5.23	145.54	146.40	26.75
	2	1.95	4.78	145.13		
	3	2.04	5.07	148.53		
oasis/ 1 % starch	1	3.07	9.01	193.49	195.38	35.69
	2	2.98	8.97	201.01		
	3	3.11	9.07	191.64		
oasis/ 3 % starch	1	3.72	11.81	217.47	211.66	38.67
	2	3.25	10.30	216.92		
	3	3.45	10.37	200.58		
oasis/ 5 % starch	1	6.76	27.02	299.70	315.01	57.55
	2	5.92	25.41	329.22		
	3	6.27	26.09	316.11		
oasis/ 7 % starch	1	9.97	49.92	400.70	427.80	78.15
	2	10.71	59.45	455.09		
	3	10.18	53.71	427.60		
oasis/ 10 % starch	1	12.54	86.12	586.76	547.38	100.00
	2	14.31	88.50	518.45		
	3	13.78	87.77	536.94		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโพลีเอซิสทีลิตที่ได้ ครั้งที่ 2

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 2		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.18	5.19	138.07	141.23	100.00
	2	1.98	4.77	140.91		
	3	2.08	5.09	144.71		
oasis/ 1 % starch	1	3.56	6.15	72.75	81.77	57.90
	2	3.45	6.34	83.77		
	3	3.21	6.06	88.79		
oasis/ 3 % starch	1	5.78	9.75	68.69	68.65	48.61
	2	5.11	8.56	67.51		
	3	5.29	8.98	69.75		
oasis/ 5 % starch	1	10.77	15.34	42.43	44.29	31.36
	2	10.45	15.23	45.74		
	3	10.38	15.02	44.70		
oasis/ 7 % starch	1	42.21	57.58	36.41	37.09	26.26
	2	42.78	59.4	38.85		
	3	43.42	59.05	36.00		
oasis/ 10 % starch	1	70.34	86.05	22.33	24.12	17.08
	2	69.98	88.37	26.28		
	3	70.21	86.89	23.76		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของไฟมโอเอสที่ผลิตได้ ครั้งที่ 3

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 3		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.13	5.16	142.25	140.26	100.00
	2	2.00	4.85	142.50		
	3	2.11	4.98	136.02		
oasis/ 1 % starch	1	2.50	4.70	88.00	87.24	62.20
	2	2.54	4.77	87.80		
	3	2.63	4.89	85.93		
oasis/ 3 % starch	1	6.93	11.68	68.54	69.31	49.42
	2	5.66	10.15	70.34		
	3	6.04	10.21	69.04		
oasis/ 5 % starch	1	12.34	17.45	41.41	41.88	29.86
	2	12.76	18.03	41.30		
	3	12.56	17.95	42.91		
oasis/ 7 % starch	1	41.65	57.45	37.94	36.35	25.92
	2	43.73	58.93	34.76		
	3	42.21	57.56	36.37		
oasis/ 10 % starch	1	71.85	85.87	19.51	18.89	13.47
	2	75.23	88.35	17.44		
	3	72.16	86.38	19.71		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโอเอซิสที่ผลิตได้กับโฟมโอเอซิสที่ผลิตจากต่างประเทศ ครั้งที่ 1

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 1		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.13	5.23	145.54	146.40	2.75
	2	1.95	4.78	145.13		
	3	2.04	5.07	148.53		
oasis/ 1 % starch	1	3.07	9.01	193.49	195.38	3.68
	2	2.98	8.97	201.01		
	3	3.11	9.07	191.64		
oasis/ 3 % starch	1	3.72	11.81	217.47	211.66	3.98
	2	3.25	10.30	216.92		
	3	3.45	10.37	200.58		
oasis/ 5 % starch	1	6.76	27.02	299.70	315.01	5.93
	2	5.92	25.41	329.22		
	3	6.27	26.09	316.11		
oasis/ 7 % starch	1	9.97	49.92	400.70	427.80	8.05
	2	10.71	59.45	455.09		
	3	10.18	53.71	427.60		
oasis/ 10 % starch	1	12.54	86.12	586.76	547.38	10.30
	2	14.31	88.50	518.45		
	3	13.78	87.77	536.94		
oasis	1	0.93	50.47	5326.88	5316.06	100.00
	2	0.89	48.57	5357.30		
	3	1.00	53.64	5264.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้จากโฟมโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ ครั้งที่ 2

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 2		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.18	5.19	138.07	141.23	100.00
	2	1.98	4.77	140.91		
	3	2.08	5.09	144.71		
oasis/ 1 % starch	1	3.56	6.15	72.75	81.77	57.90
	2	3.45	6.34	83.77		
	3	3.21	6.06	88.79		
oasis/ 3 % starch	1	5.78	9.75	68.69	68.65	48.61
	2	5.11	8.56	67.51		
	3	5.29	8.98	69.75		
oasis/ 5 % starch	1	10.77	15.34	42.43	44.29	31.36
	2	10.45	15.23	45.74		
	3	10.38	15.02	44.70		
oasis/ 7 % starch	1	42.21	57.58	36.41	37.09	26.26
	2	42.78	59.40	38.85		
	3	43.42	59.05	36.00		
oasis/ 10 % starch	1	70.34	86.05	22.33	24.12	17.08
	2	69.98	88.37	26.28		
	3	70.21	86.89	23.76		
oasis	1	41.35	50.12	21.21	19.40	13.74
	2	39.89	49.42	23.89		
	3	46.71	52.83	13.10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ของโพลีเอเธนที่ผลิตได้จากโพลีเอเธนที่ผลิตจาก
ต่างประเทศ ครั้งที่ 3

สูตร	ชั้นที่	น้ำหนักครั้งที่ 3		% การดูดน้ำ	% การดูดน้ำ โดยเฉลี่ย	%
		ก่อนแช่	หลังแช่			
oasis/ 0 % starch	1	2.13	5.16	142.25	140.26	100.00
	2	2.00	4.85	142.50		
	3	2.11	4.98	136.02		
oasis/ 1 % starch	1	2.50	4.70	88.00	87.24	62.20
	2	2.54	4.77	87.80		
	3	2.63	4.89	85.93		
oasis/ 3 % starch	1	6.93	11.68	68.54	69.31	49.42
	2	5.66	10.15	70.34		
	3	6.04	10.21	69.04		
oasis/ 5 % starch	1	12.34	17.45	41.41	41.88	29.86
	2	12.76	18.03	41.30		
	3	12.56	17.95	42.91		
oasis/ 7 % starch	1	41.65	57.45	37.94	36.35	25.92
	2	43.73	58.93	34.76		
	3	42.21	57.56	36.37		
oasis/ 10 % starch	1	71.85	85.87	19.51	18.89	13.47
	2	75.23	88.35	17.44		
	3	72.16	86.38	19.71		
oasis	1	41.09	48.75	18.64	17.23	12.28
	2	40.16	46.70	16.28		
	3	41.13	48.03	16.78		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (%) ครั้งที่ 1 2 และ 3 ของโพลีเอเธนีสที่ผลิตได้กับ โพลีเอเธนีสที่ผลิตจากต่างประเทศ

สูตร	% การดูดน้ำ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
oasis/ 0 % starch	146.40	141.23	140.26
oasis/ 1 % starch	195.38	81.77	87.24
oasis/ 3 % starch	211.66	68.65	69.31
oasis/ 5 % starch	315.01	44.29	41.88
oasis/ 7 % starch	427.80	37.09	36.35
oasis/ 10 % starch	547.38	24.12	18.89
oasis	5316.06	19.40	17.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

Differential Scanning Calorimetry (DSC)

เทคนิค DSC เป็นเทคนิคการตรวจวัดความแตกต่างของเอนทัลปีของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์หรือหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) นอกจากนี้ยังสามารถใช้หาองศาความเป็นผลึก (X_c) ของพอลิเมอร์ได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (ค่าเอนทัลปี) ที่อุณหภูมิหลอมเหลว

$$\text{เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลวพอลิเมอร์ } (\Delta H_f) = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (มิลลิจูล)}}{\text{ปริมาณสารที่ใช้ (มิลลิกรัม)}}$$

$$\text{องศาความเป็นผลึก } (X_c) = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100$$

เมื่อ ΔH_f คือ ค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวพอลิเมอร์

ΔH_f^0 คือ ค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึก 100 %

หมายเหตุ ΔH_f^0 มีค่าเท่ากับ 104 cal/g

$$\begin{aligned} \text{หรือ } \Delta H_f^0 &= \frac{104 \text{ cal}}{\text{g}} \left| \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \right. \\ &= 436.8 \text{ J/g} \end{aligned}$$

- วิเคราะห์ผลจากเทอร์โมแกรมของโพลีเอทิลีนที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 10 กรัม

น้ำหนักสาร	7.87	มิลลิกรัม
T_m at peak	152.02	องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว } (\Delta H_f) &= \frac{2,386.92 \text{ มิลลิจูล}}{7.87 \text{ มิลลิกรัม}} \\ &= 303.29 \text{ จูล/กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นเป็นการดูดความร้อน (endothermic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{องค์ความเป็นผลึก (Xc)} &= \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100 \\ &= \frac{303.29}{436.80} \times 100 \\ &= 69.44 \% \end{aligned}$$

- วิเคราะห์ผลจากเทอร์โมแกรมของโพลีเอทิลีนที่ผลิตจากต่างประเทศ

น้ำหนักสาร	5.23	มิลลิกรัม
Tm at peak	90.03	องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว (\Delta H_f)} &= \frac{610.43 \text{ มิลลิจูล}}{5.23 \text{ มิลลิกรัม}} \\ &= 116.72 \text{ จูล/กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นเป็นการดูดความร้อน (endothermic)

$$\begin{aligned} \text{องค์ความเป็นผลึก (Xc)} &= \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100 \\ &= \frac{116.72}{436.80} \times 100 \\ &= 26.72 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสารเคมีที่ใช้

1. ความหนาแน่น

- พอร์มัลดีไฮด์ 0.8153 กรัม/ลูกบาศก์กิโลเมตร
- กรดแอสซิติค 1.0490 กรัม/ลูกบาศก์กิโลเมตร
- กรดเกลือ 1.1800 กรัม/ลูกบาศก์กิโลเมตร

2. จุดเดือด

- ฟีนอล 181.8 องศาเซลเซียส
- พอร์มัลดีไฮด์ 98.0 องศาเซลเซียส
- กรดแอสซิติค 118.1 องศาเซลเซียส
- กรดเกลือ 48.0 องศาเซลเซียส
- โซเดียมไบคาร์บอเนต 60.0 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้