

การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป



นายกิตติวุฒิ รัตนพัฒน์กิจ

นายพร เทียมธารา

นายราชวัลลภ แจ่มมงคล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62074
วัน,เดือน,ปี..... 27 ก.ค. 2549

บ.....
ร.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Biodegradable Plastics for Injection Molding

Mr. Kittitwut Tanaratanapattanakit
Mr. Pavhara Tiamthara
Mr. Rachavanlop Chanmonkon

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

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป

นักศึกษา นายกิตติวุฒิ ธนรัตน์พัฒนกิจ
นายเพชร เทียมธารา
นายราชวัลลภ แจ่มมงคล

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร	
กรรมการ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
กรรมการ อาจารย์ยัมมนตรี ทองคำ	



(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป

นักศึกษา	1. นาย กิตติวุฒิ	ธนรัตน์พัฒนกิจ
	2. นาย พชร	เทียมธรา
	3. นาย ราชวัลลภ	แจ้งมงคล
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สมศักดิ์	วรมงคลชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการศึกษาได้แก่ แบ่งมันสำปะหลัง แบ่งข้าวเหนียว โดยมีกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ น้ำมันพาราฟินและกรดสเตียริกทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นในกระบวนการผลิต การผสมอัตราส่วนวัสดุต่างๆใช้เครื่องผสมความเร็วสูงและเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ จากนั้นทำการบดและนำไปขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 ทำอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแบ่งมันสำปะหลังและแบ่งข้าวเหนียวโดยใช้ปริมาณกลีเซอรอล 33% เป็นพลาสติกไซเซอร์ ส่วนที่ 2 เป็นการหาสมบัติของขึ้นงานเมื่อใช้กลีเซอรอล 25% และ 20% โดยดูจากสมบัติเชิงกลที่ได้จากส่วนที่ 1 จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติการย่อยสลาย

ผลการทดสอบระหว่างแบ่งมันสำปะหลังและแบ่งข้าวเหนียวพบว่า ค่ามอดุลัสมีลักษณะเป็นรูปตัว U โดยมีจุดสูงสุดที่สูตรแบ่งมันสำปะหลัง 70% และแบ่งข้าวเหนียว 30% และจุดต่ำสุดเมื่อใช้แบ่งมันสำปะหลัง 50% และแบ่งข้าวเหนียว 50% การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างแบ่งมันสำปะหลังและแบ่งข้าวเหนียวที่ 50:50 จะให้ค่าที่สูงที่สุด เมื่อทดสอบความแข็งแรงกดพบว่าค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนผสมระหว่างแบ่งมันสำปะหลังและแบ่งข้าวเหนียว

เมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอล 20% พบว่าไม่สามารถผ่านกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากแบ่งมีความหนืดสูงเกินไป ดังนั้นปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 25-33% ปริมาณกลีเซอรอล 25% จะส่งผลให้ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงกระแทกและความแข็งแรงกดเพิ่มมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณกลีเซอรอล 33% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบดูความชื้นพบว่าชิ้นงานดูความชื้นที่ 7-8% เมื่อใช้กลีเซอรอล 33% และดูความชื้น 4-5% เมื่อลดปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25% การทดสอบทางความร้อนพบว่าชิ้นงานจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซลเซียส และเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเกิน 220 องศาเซลเซียส เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อรา ซึ่งทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยแป้งเป็นน้ำตาล พบว่าชิ้นงานสามารถย่อยสลายได้โดยพิสูจน์จากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในจานเพาะเชื้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of Biodegradable plastics for injection molding	
Name	Mr. Kittitwut	Tanaratanapattanakit
	Mr. Pavhara	Tiamthara
	Mr. Rachavanlop	Chanmonkon
Program	Chemistry	
Academic Year	2547	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Woramongkolchai	

Abstract

This research aims to study the forming of biodegradable plastics by injection process. The raw materials are Cassava starch and Glutenous flour wish glycerol as a plasticizer ,parafin oil and stearic acid as processing lubricants .The ratio of materials was mixed by intensive mixer and twin-screw extruder. Then, it was ground and formed the part by injection molding. This experiment was divided into 2 sections, first is determined the optimum ratio between Cassava starch and Glutenous flour by using 33% of glycerol as plasticizer, second was determined properties of product by using 25% and 20% of glycerol with considering mechanical properties form first section. Then, the part was tested in mechanical, physical, thermal and biodegradable properties.

The modulus between Cassava starch and Glutenous flour was U-shape, the maximum point was at 70% of Cassava starch and the minimum point was at 50% of Cassava starch

The amount of glycerol at 20 percent could not forming because it was too much viscosity. Therefore, the optimum amount of glycerol should be in range of 25-33%. As the 25% of glycerol was increased modulus, impact strength and hardness. But percent of elongation was decreased as amount of 33% glycerol was used.

The moisture testing was indicated that the part was absorbed moisture of 7-8% by using 33%glycerol as 25% of glycerol was absorbed moisture 4-5%. The thermal property was shown that the decomposition temperature was 190°C and then rapidly decomposed to 220 °C. The biodegradable result by using fungi as enzyme producer to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

degrade starch into glucose was proved that the part could be degraded and increment changed to glucose in Petri dish.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ตลอดทั้งคำแนะนำ ต่างๆที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรรณคลชัย ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาในงานวิจัยและให้คำปรึกษา รวมถึงความช่วยเหลือต่างๆในระหว่างที่ดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรณและอาจารย์ มนต์รี ของคำ คณะกรรมการ สอบโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาและคำอธิบายตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ. วีณา ชูโชติ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพที่ให้คำปรึกษาและ ให้คำอธิบายในการทดลองเรื่องการย่อยสลายของเชื้อรา

ขอขอบคุณ คุณ สุดใจ สอนสะอาด และ คุณ กฤษณะ เกษประดิษฐ์ เจ้าหน้าที่อาคาร ฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่อำนวยความสะดวกและให้คำปรึกษาการใช้ เครื่องมือและแก้ไขปัญหาตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมีทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในการติดต่อขอใช้เครื่องมือและ อาคารปฏิบัติการตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ที่เอื้อเพื่อ เครื่องฉีดขึ้นรูปและให้คำปรึกษาการใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา และความช่วยเหลือ ต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง และเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้ตลอดการวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นอีกมากมาย ที่ได้เอื้อถึงในขั้นนี้ ที่ได้ให้ความกรุณา

ช่วยเหลือต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงขอกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กิตติคุณิ ธนรัตรพัฒน์กิจ

พชร เทียมธรา

ราชวัลลภ แจ่มมงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 แบ่ง	7
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบ่ง	7
2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของแบ่ง	7
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของแบ่ง	8
2.1.4 แบ่งมันล่าปะหลัง	8
2.1.5 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแบ่งมันล่าปะหลัง	9
2.1.6 สมบัติทางเคมีของแบ่งข้าวเหนียว	10
2.1.7 การเกิดเจลาตินในเซชันของแบ่ง	10
2.2 การย่อยสลายของแบ่ง	11
2.2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา	11
2.2.2 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์	12
- เอนไซม์ย่อยภายนอก	12
- เอนไซม์ย่อยภายใน	14
- เอนไซม์ย่อยพันธะกิง	14
2.2.3 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง	15
2.2.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ	15
2.2.5 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ	16
2.3 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย	16
2.4 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย	16
2.4.1 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน	17
2.4.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจุลทรรศน์	18
2.4.4 การวิเคราะห์ infrared Spectroscopy	18
2.4.5 Thermal Analysis	19
2.4.6 Burial test	19
2.5 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง	19
2.5.1 การใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก	19
2.5.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้	20
2.6 พลาสติกไซเซออร์	22
2.7 กระบวนการฉีดขึ้นรูป	23
2.7.1 หน่วยของการฉีดขึ้นรูป	24
2.7.2 รอบการทำงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูป	24
2.7.3 ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการฉีดขึ้นรูป	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
3.3 วิธีการทดลอง	28
3.3.1 การเตรียมสูตรผสม	29
3.3.2 การหาสภาวะในการฉีดขึ้นรูป	30
3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้	30
- การทดสอบสมบัติเชิงกล	30
- การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	32
- การทดสอบสมบัติทางความร้อน	32
- การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา	32
- การทดสอบการย่อยสลาย	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4.1 การทดสอบสัณฐานวิทยา	35
4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	37
- ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง	37
- ผลการทดสอบค่ามอดุลัส	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาด	43
- ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงกระแทก	45
- ผลการทดสอบความแข็งแรงกด	48
4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	50
4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	52
4.5 การทดสอบการย่อยสลาย	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป	9
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว	10
ตารางที่ 3.1 สูตรผสมกาลีเซอรอล 33%	28
ตารางที่ 3.2 สูตรผสมกาลีเซอรอล 25%	29
ตารางที่ 3.3 สูตรผสมกาลีเซอรอล 20%	29
ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	30
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ	50
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังและ แป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ	51
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางความร้อนของแป้งมันสำปะหลังและ แป้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิต่างๆ	51
ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แนวทางการแก้ปัญหามลภาวะจากพลาสติก	2
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมเลส	8
รูปที่ 2.2 อะไมเลสเพกติน	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	9
รูปที่ 2.4 การทำงานของเอนไซม์เบต้าอะไมเลส	13
รูปที่ 2.5 การทำงานของเอนไซม์กลูโคอะไมเลส	13
รูปที่ 2.6 การทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส	14
รูปที่ 2.7 การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส	15
รูปที่ 2.8 แผนภาพการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบแป้งเจลาโนซ์	21
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ starch graft copolymer	22
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของกลีเซอรอล	23
รูปที่ 2.11 หน่วยของการฉีดขึ้นรูป	24
รูปที่ 2.12 รอบการทำงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูป	25
รูปที่ 4.1 รูป SEM กำลังขยาย 500 เท่าแสดงผลของโครงสร้างระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่กลีเซอรอล 33 %	35
รูปที่ 4.2 รูป SEM กำลังขยาย 500 เท่าแสดงผลของโครงสร้างระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่กลีเซอรอล 25 %	36
รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%	37
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25%ของสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% และ 80% ตามลำดับ	38
รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25%ของสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100% 90% และ 80% ตามลำดับ	38
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับ สูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 80% 90% และ100% ตามลำดับ	39
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับ สูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 80% 90% และ100% ตามลำดับ	39
รูปที่ 4.8 ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9	ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณ แป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	41
รูปที่ 4.10	ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณ แป้งข้าวเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ	41
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	42
รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ	42
รูปที่ 4.13	ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%	43
รูปที่ 4.14	เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	43
รูปที่ 4.15	เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของแป้งข้าวเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ	44
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	44
รูปที่ 4.17	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณข้าวเหนียว 100% 90% 80% ตามลำดับ	45
รูปที่ 4.18	ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%	45
รูปที่ 4.19	ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล 25%	46
รูปที่ 4.20	ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียว และกลีเซอรอล 25%	46
รูปที่ 4.21	เปรียบเทียบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	47
รูปที่ 4.22	เปรียบเทียบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100% 90% 80% ตามลำดับ	47
รูปที่ 4.23	ผลการทดสอบความแข็งแรงกดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบความแข็งแกร่งของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25%	48
รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบความแข็งแกร่งของสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียว และกลีเซอรอล 25%	48
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบความแข็งแกร่งของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ	49
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบความแข็งแกร่งของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% เทียบกับสูตรที่ใช้ กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100% 90% 80% ตามลำดับ	49
รูปที่ 4.28 ภาพแสดงชิ้นงานที่ปกคลุมด้วยเชื้อรา ก. แป้งมันสำปะหลัง 100 % ข. แป้งมันสำปะหลัง 50 % และ ค. แป้งข้าวเหนียว 100 %	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายในปัจจุบันและนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น สามารถทำให้มีความแข็งแรงเทียบเท่าโลหะ หรืออาจทำให้อ่อนนุ่ม เหนียวหรือใสเหมือนแก้วได้ นอกจากนี้พลาสติกส่วนใหญ่ยังทนการกัดกร่อน สารเคมี และน้ำมันได้ ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่มีประโยชน์มาก

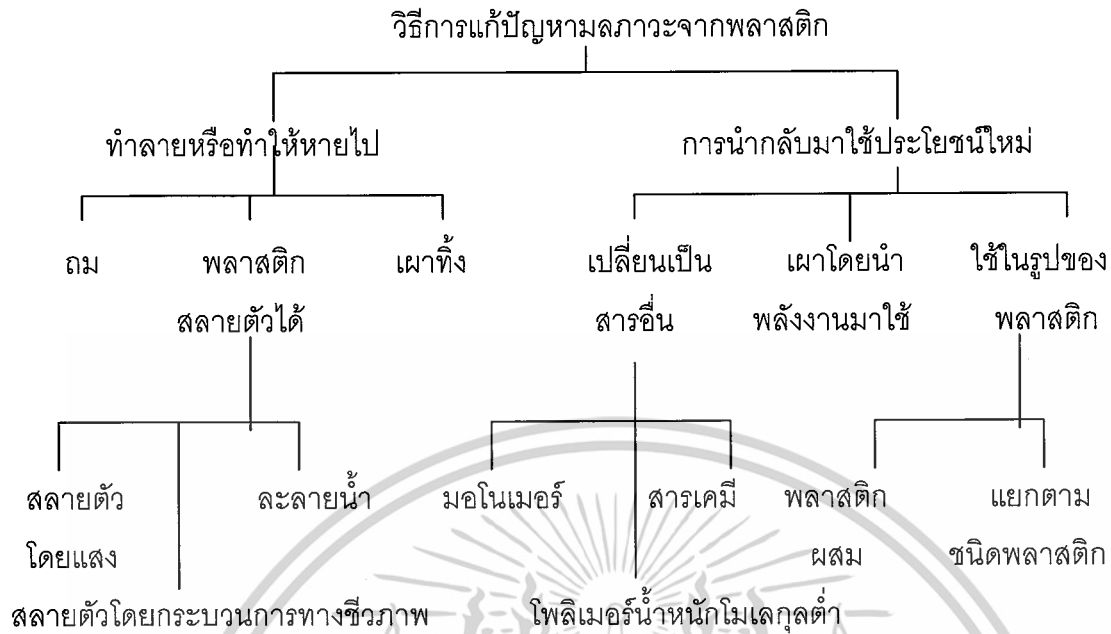
เนื่องจากมีการใช้พลาสติกเป็นจำนวนมากจึงส่งผลเกิดปัญหาต่างๆ ตามมา เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่เสื่อมสภาพหรือทำลายได้ยากในสภาวะแวดล้อม และพลาสติกมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ทำให้การกำจัดขยะที่เกิดจากพลาสติกทำได้ยาก

พลาสติกที่ใช้แล้วมักถูกกล่าวถึงทางด้านลบว่าเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมพลาสติก เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีของพลาสติก โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และคุณสมบัติที่หลากหลายหลากของพลาสติกที่สามารถดัดแปลงให้ เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภท ประกอบกับความต้องการใช้พลาสติกที่เพิ่มในอัตราสูง ดังนั้นจึงเกิดพลาสติกที่ใช้แล้วเป็นจำนวนมากเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ท่อน้ำอุดตัน แม่น้ำลำคลองตื้นเขิน และปริมาณขยะที่ล้นเมือง เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ปัญหาที่เกิดจากพลาสติกนั้นเพิ่มความรุนแรงขึ้นทุกวันดังนั้นการแก้ไขปัญหามลภาวะจากขยะพลาสติก จึงกำหนดได้เป็น 3 แนวทาง คือ

1. การทำลายหรือทำให้หายไป
2. การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
3. ลดปริมาณการใช้พลาสติกโดยชาวพุทธธรรมชาติทดแทน

การแก้ไขในแต่ละแบบมีหลายวิธีการ สามารถสรุปมาเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แนวทางการแก้ปัญหาหมลภาวะจากพลาสติก [1]

การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลายสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การนำไปถม

เป็นวิธีการกำจัดขยะที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 80%) เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และถ้ามีการทำอย่างถูกต้องลักษณะคือ ใช้แผ่นพลาสติกคลุมและใช้ดินทับอีกชั้นหนึ่ง ข้อเสียของการกำจัดขยะวิธีนี้ คือ พื้นที่ที่ถมมักเกิดปัญหาเรื่องการยุบตัว โดยเฉพาะถ้าเป็นพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง การบดย่อยขยะให้เป็นชิ้นเล็กก่อนอาจช่วยลดปัญหาได้บ้าง แต่จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

2. การนำไปเผาทิ้ง

เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการกำจัดขยะพลาสติก และมีการใช้อยู่แล้วอย่างกว้างขวาง เป็นวิธีที่สามารถใช้ได้ดี

ข้อเสียของวิธีการกำจัดพลาสติกโดยการเผาทิ้ง คือต้องมีการสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นการทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และข้อเสียใหญ่คือ อาจมีแก๊สพิษที่เกิดขึ้นหากในขยะมีพลาสติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคลอรีน เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือพลาสติกที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น โพลียูรีเทน โพลีเอไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำให้พลาสติกสลายตัวได้

วิธีนี้หมายถึง การทำให้พลาสติกสลายตัวได้เองในธรรมชาติเหมือนขยะประเภทอื่น ๆ ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ สิ่งที่จะช่วยให้พลาสติกย่อยสลายได้คือ แสง น้ำ และจุลินทรีย์ ดังนั้นพลาสติกที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อาจทำได้โดยการทำให้เป็น

1. พลาสติกที่สลายตัวโดยแสง (photodegradable plastic)
2. พลาสติกที่สลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable plastic)
3. พลาสติกที่สลายตัวโดยวิธีการอื่น ๆ เช่น พลาสติกละลายน้ำ เป็นต้น

ปัจจุบันวิธีการแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกที่ดีที่สุดคือ การส่งเสริมให้ทำการศึกษาพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ โดยการนำแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก หรือนำมาใช้เป็นพลาสติกเอง

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีมากในประเทศไทยและราคาถูกดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเพื่อเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ [1]

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งมาจัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์
2. หาปริมาณส่วนผสมที่จะนำแป้งมาใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก
3. ทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง

ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการหาส่วนผสมที่พอเหมาะระหว่างแป้งและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่จะนำมาทำการขึ้นรูป
2. นำส่วนผสมที่หาได้ไปทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของชิ้นงานที่ได้ เช่น
 - สมบัติต้านทานแรงกระแทก
 - สมบัติต้านทานแรงดึงขาด
 - สมบัติการดูดซึมความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิจัย

1. ผสมแป้งและพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ คือ กลีเซอรอล
2. นำแป้งที่ทำการผสมแล้วไปผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป
3. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติ ทางกล เช่น การต้านทานแรงดึงขาด การต้านทานแรงกระแทก และสมบัติทางกายภาพ เช่นการดูดความชื้น

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างแป้งกับพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้
2. ทราบถึงสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ดีที่สุด
3. ได้ชิ้นงานที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีเหมาะสมจะนำไปใช้งานต่าง ๆ ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kester และ Fennema [2] ขึ้นรูปฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจกโดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตร

Park และคณะ [3] ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ต่อฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสโดยใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล พรอพิลีนไกลคอล และกลีเซอริน ที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17 0.33 0.50 และ 0.66 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซออร์ ต่อกรัมเซลลูโลส และควบคุมความหนาของฟิล์มพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มทั้งสองชนิดจะลดลง แต่การยืดตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซออร์อีก 2 ชนิด สมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพรอพิลีนเอทิลีนไกลคอล สำหรับกลีเซอรอล เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึง 0.33 มิลลิลิตรต่อกรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้จะมีค่าลดลง

เกศศิณี และคณะ [4] ศึกษาคุณลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรอลโมโนสเทียเรตในปริมาณร้อยละ 0.2 5 และ 10 ซึ่งผ่านการดัดแปลงโดยกระบวนการอัดรีดพบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีความเรียบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น แคคคงทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมก๊ลิเซอร์มือนอนดเทียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีคุณลักษณะดีขึ้น ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังผสมก๊ลิเซอร์มือนมีลักษณะใสและยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าผสมก๊ลิเซอร์มือนมีลักษณะขุ่น

ปนัดดา [5] ศึกษาฟิล์มบรีโภาคได้จากแป้งมันสำปะหลัง และทดสอบคุณสมบัติ โดยพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ได้จากการเตรียมน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมเซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกไซเซอร์ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส ผิวเรียบ ความหนาเฉลี่ย 0.063 มิลลิเมตร มีค่าการต้านทานแรงดึงขาด 1.77 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร การยืดตัวร้อยละ 10.13 ค่าการซึมผ่านออกซิเจน 6 มิลลิเมตรต่อตารางเมตรสามารถต้านทานน้ำมันได้ 120 วัน ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

Funke และคณะ [6] ได้ศึกษากระบวนการผสมของแป้งชนิดต่าง ๆ กับ พลาสติกไซเซอร์ธรรมชาติและเส้นใยอุตสาหกรรมโดยทำการอัดรีดและฉีดขึ้นรูป ได้สภาวะของกระบวนการและคุณภาพผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้งและสารตัวเติมที่ได้ทำการใส่ลงไปจากการทดลองพบว่าปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดที่ควรใส่ลงไปคือจำนวน 2-7% เพื่อเพิ่มความแข็งแรงดึงและการทนทานน้ำของผลิตภัณฑ์

Willett และคณะ [7] ทำการทดลองผสมแป้งชนิดต่าง ๆ และเทอร์โมพลาสติกชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาทำการอัดรีดในรูปของโฟมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ เรซินที่ใช้ประกอบด้วยกรดพอลิแลคติก (PLA) พอลิไฮดรอกซีเอสเทอร์อีเทอร์(PHEE) เซลลูโลสแอซิดเตด (CA) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากการทดลองพบว่า โฟมจากแป้งข้าวโพด กับ PLA และ PHEE มีความหนาแน่นน้อยกว่าและมีการขยายตัวมากกว่าแป้งชนิดอื่น โฟมที่ทำการอัดรีดระหว่างแป้ง อะไมโลสสูง (70%) แป้งข้าวเจ้า แป้งมันฝรั่ง เมื่อใส่ อีเทอร์ ลงไปจะเพิ่มความหนาแน่นและการขยายตัว แต่เมื่อใส่เรซิน จะลดความว่องไวกับน้ำเพิ่มเวลาการละลายน้ำให้มากขึ้น

Miladinov [8] และคณะ ทำการศึกษาศสมบัติของแป้งแอซิดเตทที่มีปริมาณการแทนที่เท่ากับ 2 และ 3 ที่อัดรีดด้วยน้ำและเอทานอล ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ พบว่าแป้งที่ผสมกับน้ำจะมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่าแป้งที่ผสมกับเอทานอล และแป้งที่มีปริมาณการแทนที่เท่ากับ 2 ต้องการพลังงานและให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าแป้งที่มีปริมาณการแทนที่เท่ากับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dzenis [9] และคณะ ได้ศึกษาการขึ้นรูปของแป้งโพมที่สามารถย่อยสลายได้จากธรรมชาติแทนการใช้โฟมจากพอลิสไตรีน (EPS) เพื่อเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์เพราะว่าแป้ง สามารถย่อยสลายได้ และราคาต่ำ แต่แป้งมีสมบัติการดูดซึมน้ำที่ดีและ สมบัติทางกลที่ไม่ดีดังนั้นจึงได้ทำการใช้แป้งแอสเทท ซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณการแทนที่ (DS) แทน แป้งที่มีปริมาณการแทนที่เท่ากับ 1.11 1.68 และ 2.23 นำมาอัดรีดกับ กบ่น้ำหรือเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายเพื่อศึกษาผลของปริมาณการแทนที่กับค่าการดูดซึมน้ำพบว่าในแป้งที่ใช้ น้ำจะมีอัตราการย่อยสลายลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น สำหรับแป้งที่ใช้เอทานอลจะมีอัตราการเสื่อมสลายที่ดีเมื่อมีปริมาณการแทนที่เท่ากับ 1.11 และ 2.23

Mumma [10] และคณะ ศึกษาผลของอุณหภูมิและสารทำให้เกิดฟองที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของวัสดุโฟมจากระบวนการอัดรีด แป้งที่นำมาใช้คือแป้งแอสเททที่มีปริมาณ อะไมโลสสูงและทำการอัดรีดกับเอทานอลที่อุณหภูมิ 120 หรือ 160 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียสจะมีความหนาแน่นต่ำและการทนการกดอัดน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แป้ง

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบไปด้วย กลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิดโดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และรากพืช เป็นต้น

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปคือ แยกเม็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆเช่น เส้นใย โปรตีน และเกลือแร่ จากนั้นทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วอบให้แห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น สารยัดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร และยารักษาโรค เป็นต้น ประโยชน์ของแป้งเกิดจากสมบัติความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยัดติด และการเกิดฟิล์ม คุณภาพสามารถควบคุมได้ง่ายอีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และราคาถูก

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

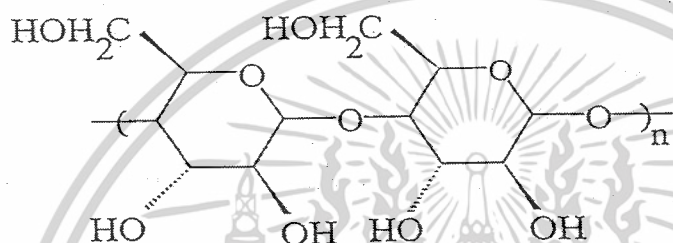
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 ต่อ 10 ต่อ 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคสิติก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่ากลุ่มปลายด้านที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end group) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

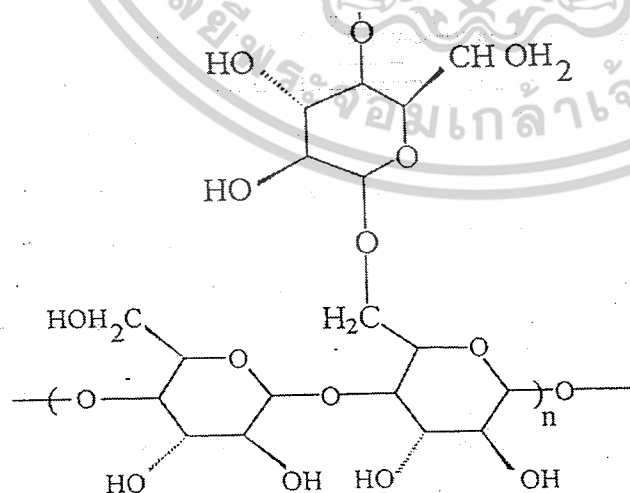
แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คืออะไมโลส และอะไมโลเพกติน

1) **อะไมโลส** เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายตรง ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200 – 2000 หน่วย เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,4 Glycosidic Linkage โดยแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 15 – 25 เปอร์เซ็นต์ มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส [11]

2) **อะไมโลเพกติน** เป็นพอลิเมอร์ที่สาขาประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,4 Glycosidic Linkage และพันธะ α -1,6 Glycosidic Linkage แต่ละโซ่สาขาในโมเลกุลอะไมโลเพกตินมีหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20 – 30 หน่วย โดยโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพกตินจะมีประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของแป้ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.2 อะไมโลเพกติน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

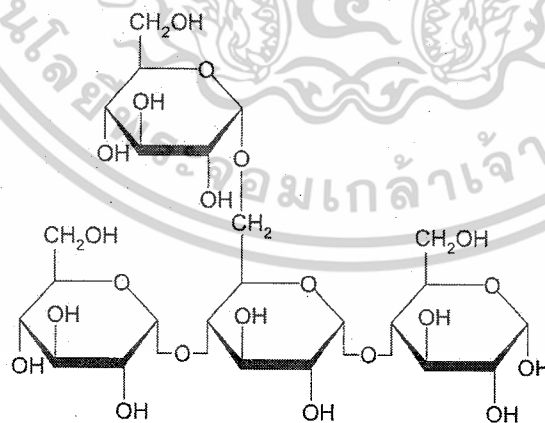
2.1.4 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังผลิตได้จากรากที่มีลักษณะคล้ายหัวของต้นมันสำปะหลัง มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot utilisima* ในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Topioca starch, Cassava starch หรือ Monioc starch โดยมีองค์ประกอบดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป [11]

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.59
แป้ง	87.0
ไขมัน	0.1
โปรตีน	0.1
เถ้า	0.2
ฟอสฟอรัส	0.01

2.1.5 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

โครงสร้างของเม็ดแป้งในสำปะหลังแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง [11]

เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายรูปถ้วยมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ถึง 35 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยจำนวน (Number average diameter) เท่ากับ 20 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมครอน เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์จะเห็นลักษณะกากบาทสีดำ เรียกว่า Birefringence

ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรก สายพอลิเมอร์ของอะไมโลสเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ มีอะไมโลสบางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอกของอะไมโลเพกติน และยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับกันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวสูง บริเวณนี้เรียกว่า Crystalline regions หรือ Micelles เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง Crystalline regions นี้มีความสามารถในการดูดน้ำ และพองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สอง โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายพอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้เรียกว่า Amorphous regions เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี และพองตัวได้ง่าย

2.1.6 สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว จากผลการทดลอง พบว่า มีความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและส่วนผสมอื่น ๆ ร้อยละ 10.31 , 6.47, 81.51 และ 1.71 ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ความชื้น	10.31
โปรตีน	6.47
คาร์โบไฮเดรต	81.51
ส่วนผสมอื่น ๆ	1.71

2.1.7 การเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้ง

โดยธรรมชาติแป้งจะไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิติน เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้กันในโมเลกุลของเม็ดแป้ง พันธะไฮโดรเจนนี้อาจเชื่อมกับน้ำทำให้สามารถพองตัวได้เล็กน้อย และมีลักษณะผันกลับได้ เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนกับน้ำแข็ง เม็ดแข็งจะเริ่มพองตัว เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับที่เม็ดแข็งสูญเสียรอยกักบาทภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่สภาวะนี้เรียกว่า เม็ดแข็งเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ การพองตัวของเม็ดแข็งจะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณออสซิลลูชันโดยมีโมเลกุลของน้ำมาเกาะมากขึ้น ขณะเดียวกันพันธะไฮโดรเจนบริเวณรอบผลึกเม็ดแข็งจะเริ่มถูกทำลายส่วนที่เป็นโมเลกุลอะไมโลสถูกชะออกมาในน้ำ ความหนืดของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นได้ลักษณะชั้นเป็นแป้งเปียกซึ่งจัดเป็นพวกโซล (sol) แป้งมันสำปะหลังมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนซ์ 65 – 70 องศาเซลเซียส สมบัติของแป้งเปียกแป้งมันสำปะหลังจะใส มีความหนืดสูง เนื้อสัมผัสยาว ความต้านทานต่อแรงเสียดสีต่ำ และอัตราการกลับคืนตัวของแป้งต่ำ

2.2 การย่อยสลายของแป้ง

2.2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมี และการก่อให้เกิดรอยด่าง

1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage)

การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่นการกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางๆโดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์ได้

2. การทำลายทางเคมี (Chemical damage)

การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการที่เชื้อราเองเข้าทำลายวัสดุ โดยการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น alfatoin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือรอยด่างดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3. การเกิดรอยด่าง (Soiling)

ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่นแบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหนังของแก้ว โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ จากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาลมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอลฟา-อะไมเลส เป็น endo-enzyme ซึ่งไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน

- กลูโคส-อะไมเลส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ในโมเลกุลของแป้งซึ่งสามารถดึงหน่วยกลูโคสจากปลายโซ่อนรีติวซิง และสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,6 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนแป้งและเดกทรินไปเป็นกลูโคส

- เบต้า-อะไมเลส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซ่อนรีติวซิง

2.2.2 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ (enzymatical hydrolysis)

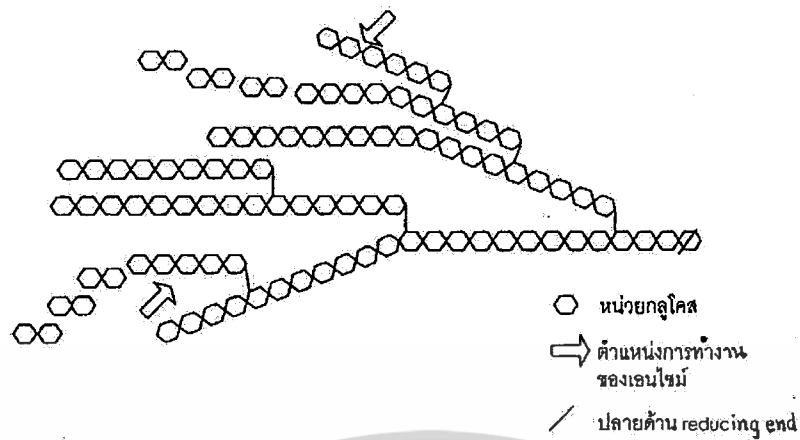
แป้งย่อยโดยใช้เอนไซม์เป็นแป้งตัดแปรที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลิตโดยผสมสารละลายแป้งกับเอนไซม์ นำไปเจลาตีไนซ์โดยใช้ direct steam injection (jet-cooker) เมื่อเอนไซม์ย่อยถึงระดับที่ต้องการ หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยเพิ่มอุณหภูมิภายใน cooker ให้สูงขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของแป้งตัดแปรที่ต้องการ ได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้ง ได้แก่ น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ไฮโคลเดกซ์ทรีน

เมื่อพิจารณาตามลักษณะของการทำงานของเอนไซม์ จะแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

2.2.2.1 เอนไซม์ย่อยภายนอก (exo-enzyme)

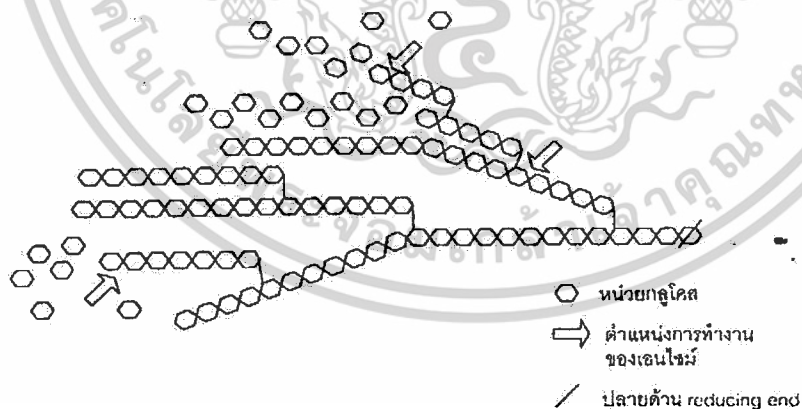
1) เบต้าอะไมเลส (β -amylase; 1,4- α -D-glucan maltohydrolase: EC 3.2.1.2) พบเอนไซม์นี้ในพืชชั้นสูง เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และพบได้ในถั่วหรือมันฝรั่งหวาน จัดเป็น extracellular enzyme ในเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Bacillus cereus* เป็นต้น เบต้าอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะจากด้านนอกเข้ามาด้านใน โดยเริ่มจากปลายของอะไมโลสหรืออะไมโลเพกตินจากปลายด้านที่ไม่คุณสมบัติรีติวซิง เอนไซม์จะตัดพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิกของโมเลกุลกลูโคสเป็นคู่ๆ ไป ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลมอลโตสดังรูปที่ 2.4 เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) ร่วมทำกิจกรรม เอนไซม์ชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 125 – 150 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่พีเอช 4-9 และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การทำงานของเอนไซม์เบต้าอะไมเลส [11]

2) เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase; 1,4- α -D-glucan glucohydrolase: EC 3.2.1.3) สามารถผลิตได้จากเชื้อราในสกุล *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Rhizopus* ยีสต์ และแบคทีเรีย กลูโคอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่ตัดน้ำตาลกลูโคสที่จับกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิก และพันธะกิ่งแอลฟา-1,6 ไกลโคซิดิก โดยการตัดพันธะกิ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าการตัดพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิก ถ้าการย่อยเกิดอย่างสมบูรณ์จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กลูโคส ดังรูปที่ 2.5 เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50-110 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่ pH 3.5 - 5 และที่อุณหภูมิ +/- 55°C

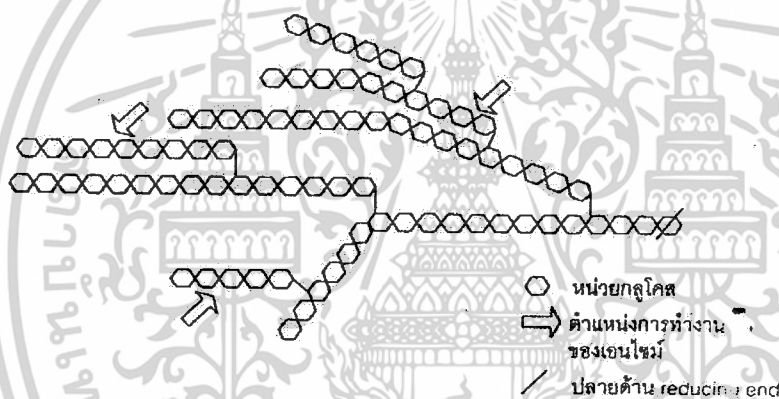


รูปที่ 2.5 การทำงานของเอนไซม์กลูโคอะไมเลส [11]

2.2.2.2 เอนไซม์ย่อยภายใน (endo-enzyme)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase ; endo-1,4- α -D-glucan glucohydrolase: EC 3.2.1.1) จัดเป็น extracellular enzyme คือเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแล้วถูกขับออกมานอกเซลล์ พบได้ในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์หลายชนิด เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายในโมเลกุลแป้ง โดยจะย่อยแป้งแบบสุ่มที่ตำแหน่งพันธะแอลฟา-1,4 ไกลโคซิดิก ดังแสดงใน รูปที่ 6 แต่ไม่สามารถย่อยพันธะแอลฟา-1,6 ไกลโคซิดิก ที่ตำแหน่งกิ่งก้านของแป้งได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้ง คือ มอลโตส (maltose) กลูโคส (glucose) และลิมิตเดกซ์ทริน (limitextrin) เอนไซม์ชนิดนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียมไอออนร่วมทำกิจกรรม เอนไซม์มีความเสถียรที่ pH 5.5-9 และที่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในทางอุตสาหกรรมจะใช้เอนไซม์ที่ได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย เมื่อใช้แอลฟาอะไมเลสในการย่อยแป้งจะทำให้ความหนืดและความสามารถในการย้อมติดสีไอโอดีนลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ reducing power เพิ่มขึ้นด้วย

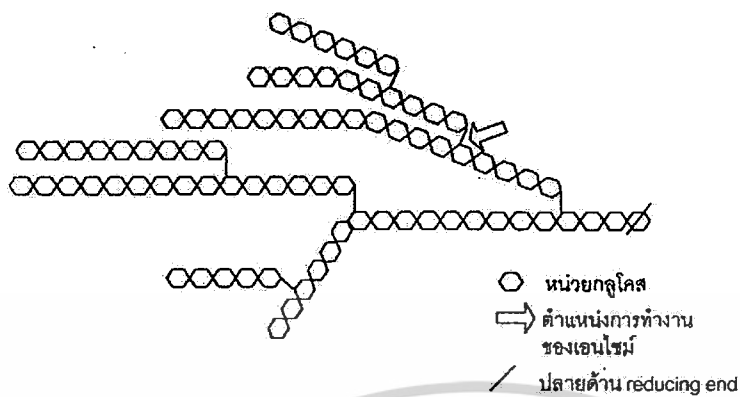


รูปที่ 2.6 การทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส [11]

2.2.2.3 เอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง (debranching enzyme)

1) ไอโซอะไมเลส (isoamylase; glucogen-6-glucohydrolase:EC 3.2.1.68) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยจุดที่เป็นกิ่งก้านของไกลโคเจนและอะไมโลเพคตินได้ดี แสดงการทำงานดังรูปที่ 2.7 ไอโซอะไมเลสไม่ต้องการโคแฟกเตอร์ในการทำงาน สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีในช่วงพีเอช 3-4 และมีความเสถียรที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถแยกได้จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทำงานของเอนไซม์ไอโซอะไมเลส [11]

2) พูลูลานเนส (pullulanase ; Pullulan 6-glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ตัดพันธะแอลฟา-1,6ไกลโคซิดิกของพูลูลาน และอะไมโลเพคติน แต่การทำกิจกรรมไม่สมบูรณ์เท่ากับการย่อยโดยไอโซอะไมเลส และทำกิจกรรมกับไกลโคเจนได้ยากสามารถย่อยได้สายกลูโคสที่มีความยาว 2-3 หน่วย ไม่สามารถย่อยจนได้กลูโคส 1 หน่วย เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ในพืช สัตว์ และแบคทีเรีย เอนไซม์มีความเสถียรที่พีเอช 4.5-5.5 และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2.2.3 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastics)

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสงจัดเป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้โดนแสงอาทิตย์ พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสภาพและค่อยๆ สลายตัวไป

2.2.4 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสงเป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้แต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (azoaromatic) และหมู่คีโต (keto groups) ที่ไวต่อแสง ในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (azo) จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากการเลิกใช้งานแล้วพลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลอินทรีย์เข้าทำลาย และเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป

2.2.5 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ

การสลายตัวได้ในทางชีวภาพของพลาสติกมี 3 ลักษณะ คือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่นๆทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด
2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (autooxidatio) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป
3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรเลคโตน และพอลิไฮดรอกซีบีโวลีเทอราเรท เป็นต้น

2.3 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย

ในปัจจุบันหลายองค์กร เช่น ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ISO (International Standards Organization) ได้พัฒนาการคำนวณความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆกัน เช่น ดิน น้ำทะเล ระบบบำบัดน้ำเสีย การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือการหมักทำปุ๋ย

ASTM มีวิธีการวิเคราะห์การย่อยสลาย 5 วิธีคือ

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจน ในขณะที่มี municipal sewage sludge (D5209-91)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในขณะที่มี municipal sewage sludge (D5210-91)
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ activated sludge (D5271-92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในระบบที่มีการควบคุมสภาวะการหมัก (D5338-93)

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ที่ได้คัดเลือกมา (D5247-92)

สองวิธีแรกจะจำลองสภาพแวดล้อมของระบบบำบัดของเสีย นั่นคือสภาวะการหมักและระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้สามารถทราบว่าการย่อยสลายควรใช้ระบบใด ในส่วนของวิธีสุดท้ายไม่ได้ทดลองกับระบบจริงแต่เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบค่าความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ทราบชนิดแน่นอนที่พบทั่วไปตามสิ่งแวดล้อม

วิธีวัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่เหลือภายหลังการย่อยของ ASTM คือการสกัดของแข็งที่เหลือจากการย่อยด้วยน้ำ (D5152-91) แล้วนำไปทดสอบความเป็นพิษตามวิธีของ ASTM รหัส D4229 E1192 E1295 หรือวิธีอื่นๆที่เป็นที่ยอมรับ

2.4 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย

2.4.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (microbial) และในสภาวะแก๊ส ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสภาวะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ spectrophotometer หรือการใช้การคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมมูลมวลคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m \quad (2.1)$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสภาวะแก๊ส

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = (C_d / C_i) * 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

2.4.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวล หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ

2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจุลทรรศน์

1) การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังดินไว้เป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้างและส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่าเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ เมื่อนำมาล้างและส่องกล้องจุลทรรศน์จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์ แสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

2) การใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก จะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินจะมีสีเปลี่ยนไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนของแป้ง และยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาวแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลาย เหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน

2.4.4 การวิเคราะห์ infrared Spectroscopy

Infrared Spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วน Infrared ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่ขึ้นกับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

Infrared Spectroscopy ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ในขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้ง จะเกิดรูที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ ซึ่งที่รูเหล่านี้จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถตรวจวัดได้จาก Infrared Spectroscopy

2.4.5 Thermal Analysis

วิธีการวิเคราะห์ความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึกโดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียไปโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (amorphocity) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก
- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแบ่งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแบ่งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.4.6 Burial test

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30x120 มิลลิเมตรหลายๆตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างขึ้นมา การทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน

2.5 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง

การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนามาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มตั้งแต่ G.J.L. Griffin ที่เริ่มใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติราคาถูกเป็นแป้งผสมในการฉีดพลาสติก และได้รับการพัฒนาตามมาเรื่อย ๆ ขณะนี้สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.5.1 การใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

กลุ่มนี้จะใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90 % ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักอยู่ในรูปที่เรียกว่า gelatinized starch puff หรือ plate expanded by extrusion หรือ baking with water หมายถึงการใช้แป้งในการเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงกลายเป็นไอลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นการทดแทนโฟมที่ทำจาก polystyrene เรียกกันว่า โฟมแป้ง ใช้ในการรองรับภาชนะกันกระแทกในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบอัดด้วยความดันสูงในเครื่องอัดรีด (extruder) แป้งจะพองออกจากหัวฉีด เนื่องจากสูญเสียความชื้นและลดแรงดัน เมื่อเย็นตัวจะมีโครงสร้างแข็งมีรูพรุนคล้ายโฟม สำหรับอุ้มอากาศ คุณสมบัติของโฟมแป้งนี้ (ความหนาแน่น ความเหนียว) เกิดจากสมบัติของแป้งเอง ปริมาณน้ำและชนิดของสารเติมแต่ง (additive) เงื่อนไขของการผลิต ผลิตภัณฑ์นี้รู้จัก ชื่อของ direct expanded starch form, peanut, loose fill

โฟมจากแป้ง

เป็นการใช้ลักษณะ ขยายตัว ของส่วนผสมจากแป้งและเส้นใย เช่น pulp เพื่อสร้างความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อขึ้นรูปในแม่พิมพ์ เช่น ภาชนะใส่ของ ถ้วย ถาด

2.5.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้

พลาสติกที่ผลิตได้จากกลุ่มนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนที่ต่างกัน คือ ส่วนที่เป็นแป้งย่อยสลายได้ และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี แป้งที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถใช้ได้ 2 รูปแบบ คือ ในรูปเม็ดแป้งหรือแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ อย่างไรก็ตาม พลาสติกที่ได้จากวิธีนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ 100% โดยจุลินทรีย์จะย่อยแป้งที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติก เกิด รูพรุน ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกลหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นต้น แผนภาพการย่อยสลายแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยมีกลไกดังต่อไปนี้

(1) เม็ดแป้ง

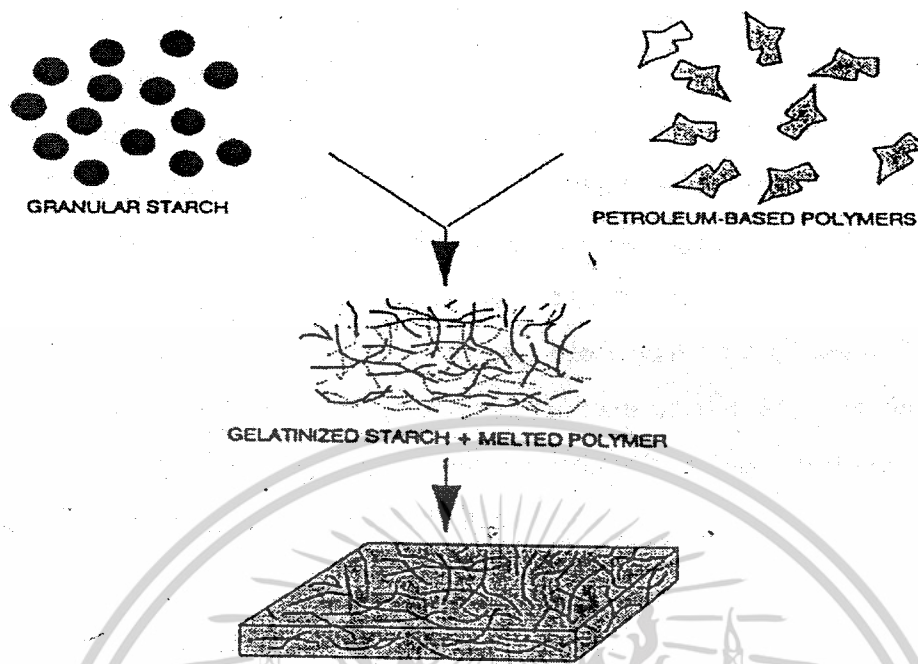
แป้งจะผสมกับพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี นำไปขึ้นรูปเลยโดยไม่ต้องทำให้เม็ดแป้งแตกออก แผนภาพการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.7 ปริมาณแป้งที่ใช้ในวิธีการนี้ถูกจำกัดไม่เกิน 10 % และต้องมีความชื้นน้อยกว่า 1% เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดด้วยความดันสูง (extrusion) อาจมีการใส่สารเติมแต่งอื่น ๆ ได้ เช่น ใส่น้ำมันข้าวโพดซึ่งเป็น auto-oxidant เข้าไปในกระบวนการผลิต เพื่อไปทำปฏิกิริยากับเกลือโลหะในดินหรือสิ่งแวดล้อม เกิด peroxide radical ซึ่งจะย่อยพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีให้ได้ oligomer ที่เล็กลง ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไป

(2) ในรูปเจลาติไนซ์

วิธีนี้เม็ดแป้งจะแตกตัวทั้งหมดผสมรวมกับพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีที่หลอมละลาย

กระบวนการแสดงดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

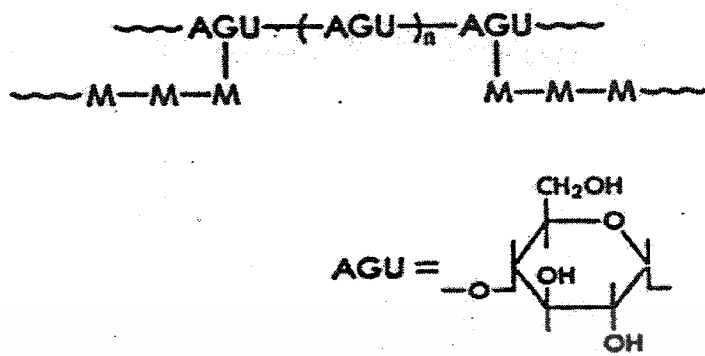


รูปที่ 2.8 แผนภาพการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแป้งเจลาไนด์ [11]

(3) starch graft copolymer

โครงสร้าง starch graft copolymer แสดงดังรูปที่ 2.8 โดยที่ AGU เป็นหน่วยกลูโคส และ M เป็นมอนอเมอร์ที่จะมาทำปฏิกิริยากับแป้ง ดังนั้นแป้งที่นำมาใช้อาจจะให้อยู่ในรูปเม็ดแป้งหรือแป้งเจลาติไนซ์ การทำปฏิกิริยา graft copolymerization ขึ้นแรกจะต้องทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) บนสายโมเลกุลของแป้งก่อน ซึ่งมี 2 วิธี โดยวิธีทางเคมีและวิธีฉายรังสี ซึ่งจะใช้วิธีไหนขึ้นอยู่กับชนิดมอนอเมอร์ วิธีทางเคมีที่เป็นที่นิยมที่สุดคือปฏิกิริยาของแป้งกับเกลือซีริก (ceric salts) ปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.9 ซีริกไอออนจะถูกรีดิวซ์ได้ซีริก อะตอมไฮโดรเจนจะถูกออกซิไดซ์เกิดอนุมูลอิสระบนแป้ง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เป็นการเริ่มต้นปฏิกิริยา graft copolymerization ส่วนกระบวนการทำให้เกิดอนุมูลอิสระโดยวิธีการฉายรังสี จะทำให้สายโซ่ พอลิเมอร์ขาดออกจากกัน ให้เกิดอนุมูลอิสระ นอกจาก 2 วิธีนี้แล้วยังมีวิธีอื่น ๆ อีก เช่น การทำให้มอนอเมอร์ทำปฏิกิริยากับอนุพันธ์ alkali metal alkoxide ของแป้ง วิธีการนี้จะได้สาย graft ที่ได้จากวิธีนี้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์จำกัด การนำแป้งไปทำปฏิกิริยากับไอโซน-ออกซิเจน จากนั้นนำไปให้ความร้อนหรือเติมสารรีดิวซ์ในสภาวะที่มีมอนอเมอร์เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ starch graft copolymer [11]

เมื่อเกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลแป้ง ไอออนของมอนอเมอร์ปิตโรเคมีตัวแรกจะเข้ามาสร้างพันธะกัน จากนั้นตัวต่อไป จะเข้ามาต่อกับตัวแรก เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ จนได้กิ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งในแป้งแต่ละโมเลกุลจะมีกิ่งก้านจำนวนน้อย ความถี่ในการเกิด graft จะเป็นจำนวนหน่วยกลูโคสต่อ 1 graft ที่เกิดขึ้น

graft copolymer ที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้ง คือ starch-g-polyethyl acrylate และ starch-g-styrene วิธีการเตรียมขึ้นกับชนิดของ graft copolymer

2.6 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรือ elastomer แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนการใช้งาน และการยืดตัว แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ พลาสติไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในการสร้าง พอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติไซเซอร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ทุติยภูมิ (secondary covalent) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสาย พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอ่อนลงเกิดโครงสร้างที่อ่อนตัวและพลาสติไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ (copolymerization)

สมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้ โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรมีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้ง พลาสติกที่ดีต้องมีลักษณะทาง

กายภาพดี สามารถคงทนความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน

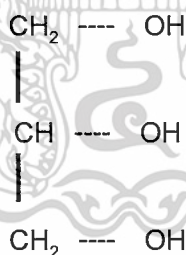
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกไซเซอรที่นำมาใช้กับพลาสติกจากแป้งมีหลายประเภท ได้แก่ มอนอ ได และ โอลิโกแซ็กคาไรด์ พอลิออลและลิวิดหรืออนุพันธ์ของลิวิด

พอลิออล (polyols) พอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลบางชนิดพบในน้ำผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (hydrogenation) พอลิออลมีสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับน้ำและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล เนื่องจากถูกดูดซึมน้ำได้เข้ามาก จึงสามารถใช้กับผู้ที่เป็โรคเบาหวานได้

กลีเซอรอล (glycerol) หรือ กลีเซอริน (glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ โครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.9 มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาลผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารที่ละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของกลีเซอรอล [4]

2.7 กระบวนการฉีดขึ้นรูป

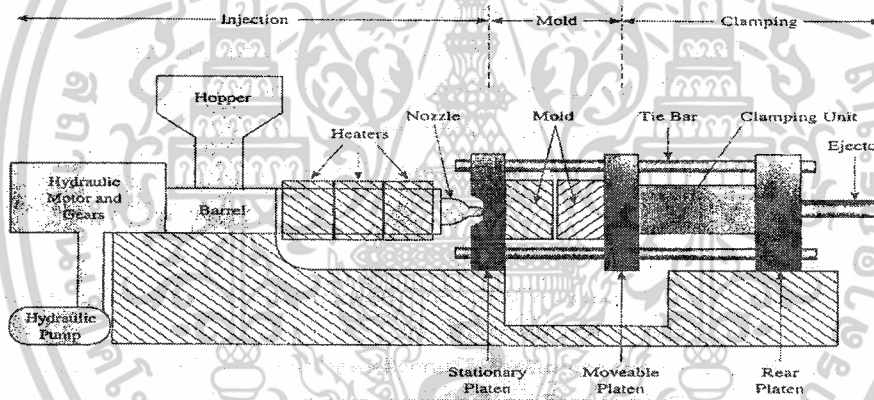
กระบวนการในการฉีดพลาสติกนั้นมีหลายกระบวนการด้วยกัน เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding process) กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) กระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding process) กระบวนการรีดกึ่ง (Calendering process) เป็นต้น โดยการเลือกกระบวนการแปรรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างผลิตภัณฑ์ กำลังการผลิต และชนิดของพลาสติก ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่นิยมมาก เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี กระบวนการไม่ยุ่งยาก สามารถใช้ได้กับพลาสติกชนิดเป็นเม็ด และผง อีกทั้ง
ใช้ได้กับพลาสติกหลายประเภท เช่น เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต และอีลาสโตเมอร์

2.7.1 หน่วยของการฉีดขึ้นรูป

โดยทั่วไปประกอบด้วยหน่วยที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. หน่วยการฉีด (Inject unit) ทำหน้าที่ในการหลอมพลาสติก และฉีดพลาสติกที่หลอมเข้าสู่แม่พิมพ์
2. หน่วยแม่พิมพ์ (Mold unit) เป็นบริเวณที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว และกำหนดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้
3. หน่วยยึดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ทำหน้าที่ยึดแม่พิมพ์ให้ปิดสนิทขณะที่มีการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ และขณะที่พลาสติกเย็นตัว

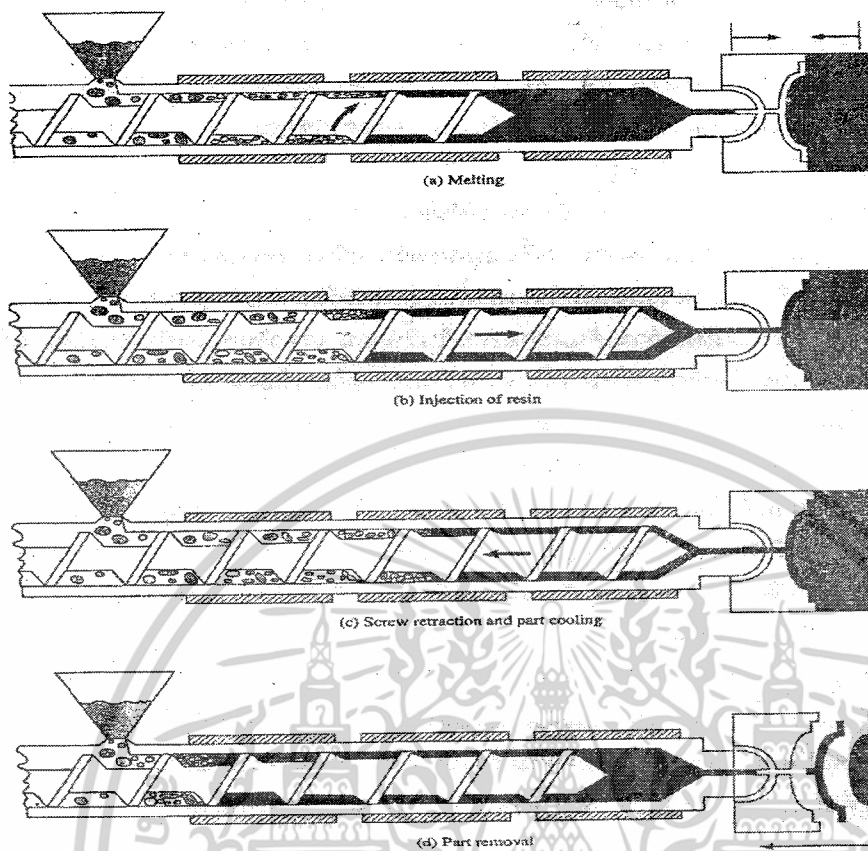


รูปที่ 2.11 หน่วยของการฉีดขึ้นรูป 1.หน่วยฉีด 2.หน่วยแม่พิมพ์ 3.หน่วยยึดแม่พิมพ์ [12]

2.7.2 รอบการทำงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูป

รอบการทำงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูปประกอบด้วย 9 ขั้นตอน เริ่มจากแม่พิมพ์ปิด หน่วยการฉีดเคลื่อนที่เข้ามาฉีดหน่วยพิมพ์ ฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ย้ำรักษาความดัน หล่อเย็น หลอมและป้อนพลาสติกใหม่ หน่วยการฉีดถอยหลังกลับ แม่พิมพ์เปิด และปลดขึ้นงานเป็นขั้นตอนสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รอบการทำงานของกระบวนการฉีดขึ้นรูป [12]

2.7.3 ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

กระบวนการฉีดขึ้นรูปมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อรอบการทำงาน รวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของชิ้นงาน ดังนี้

1. อุณหภูมิ (พลาสติกหลอมเหลว แม่พิมพ์)

อุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลวส่วนใหญ่จะใช้เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกแต่ละชนิด เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิในการแปรรูปต่ำเกินไปอาจทำให้พลาสติกไม่ไหลออกมาจากหัวฉีด ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้ ส่วนอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เลือกใช้ขึ้นกับชนิดของพลาสติกเช่นกัน

2. เวลา (ฉีด ย้ำรักษาความดัน หล่อเย็น)

เวลาในการฉีดพลาสติกขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวเกลียวหนอน ส่วนเวลาในการย้ำเพื่อรักษาความดันถ้าใช้เวลาสั้นอาจทำให้เกิดรอยบุบที่ผิวชิ้นงานได้ เวลาในการหล่อเย็นมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะพลาสติกที่มีความเป็นผลึก เนื่องจากถ้าใช้เวลาในการหล่อเย็นสั้นทำให้เกิดผลึกไม่สมบูรณ์อาจทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงไม่ดี ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความดัน (ฉีด ย้ำรักษาความดัน แม่พิมพ์)

ความดันในการฉีดพลาสติกมีผลต่อการเติมเต็มในแม่พิมพ์ ความดันต่ำคือความดันของพลาสติกหลอมเหลวที่อยู่ด้านหน้าของปลายเกลียวหนอนซึ่งควรมีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับความหนืดของพลาสติก ความดันแม่พิมพ์คือความดันที่เกิดขึ้นภายในแม่พิมพ์เมื่อมีการฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

4. ความเร็ว (ฉีด เปิด-ปิดแม่พิมพ์)

ความเร็วในการฉีดเป็นตัวควบคุมความดันฉีด กล่าวคือถ้าใช้ความเร็วในการฉีดสูง ความดันฉีดจะมีค่ามากเช่นกัน ส่วนความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์ไม่ค่อยมีผลต่อแม่พิมพ์ แต่จะมีผลต่อชิ้นงาน คือถ้าเปิดแม่พิมพ์เร็วเกินไปอาจทำให้ชิ้นงานถูกครูดเป็นรอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แป้งมันสำปะหลัง บริษัท อี.ที.ซี.เคียบตงจัน จำกัด
2. แป้งข้าวเหนียว บริษัท ไทยเบตเตอร์ฟู้ดส์
3. กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า
4. น้ำมันพาราฟิน (Parafin oil) เกรดการค้า
5. กลีเซอรอล (Glycerol) บริษัท แล๊ป ซิสเต็ม จำกัด เกรดอุตสาหกรรม
6. สารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS)
7. สูตรอาหาร PDA, Potato Dextrose Agar
8. *Aspergillus oryzae* (เชื้อรา)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง
2. ตู้อบ (oven) รุ่น Shel lab 1350FX
3. เครื่องแก้ว
 - แท่งแก้วคน
 - ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
 - กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
 - จานเพาะเชื้อ
4. เครื่องทดสอบแรงดึง(universal testing machine) รุ่น LR30K : Llyod Instrument Ltd.
6. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (twin-screw extruder) รุ่น Brabender®ougdhisbung
7. เครื่องฉีดขึ้นรูป (injection molding) รุ่น BA 250CDC Battenfeld Co. Ltd.
8. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact tester) รุ่น Yasuda,7697
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy :SEM) รุ่น J EOL JSM 6200
10. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) รุ่น BDB-G : axon abplastmasknier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เดซิกเคเตอร์ (desiccator)
12. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) Shore D รุ่น Yasuda 7689
บริษัท Matsuzawa
13. เครื่องผสมความเร็วสูง (Highspeed mixer) รุ่น Lab tech
14. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) รุ่น SS-325
15. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น UV-1601 บริษัท Shimadzu
16. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Flow) รุ่น HS 123 บริษัท International scientific Supply

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ

นำแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวมาผสมรวมกันให้น้ำหนักแป้งรวมเท่ากับ 100 ส่วน ปริมาณกลีเซอรอลมีค่าคงที่ 33% โดยน้ำหนัก ได้สูตรทั้งหมดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมกลีเซอรอล 33%

	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวเหนียว	กลีเซอรอล	น้ำมันพาราฟิน	กรดสเตียริก
1.	100	0	33	0.8	1.2
2.	90	10	33	0.8	1.2
3.	80	20	33	0.8	1.2
4.	70	30	33	0.8	1.2
5.	60	40	33	0.8	1.2
6.	50	50	33	0.8	1.2
7.	40	60	33	0.8	1.2
8.	30	70	33	0.8	1.2
9.	20	80	33	0.8	1.2
10.	10	90	33	0.8	1.2
11.	0	100	33	0.8	1.2

*น้ำมันพาราฟิน และกรดสเตียริก อัตราส่วนเป็น phr

*แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเหนียวรวมกันเท่ากับ 60% โดยน้ำหนัก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของกลีเซอรอลที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ

นำสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 0% ,10 % ,20% ,80% ,90% และ 100% มาทดสอบ โดยเปลี่ยนปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้เป็น 25% และ 20% จะได้สูตรดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมกลีเซอรอล 25%

	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวเหนียว	กลีเซอรอล	น้ำมันพาราฟิน	กรดสเตียริก
1.	100	0	25	0.8	1.2
2.	90	10	25	0.8	1.2
3.	80	20	25	0.8	1.2
4.	20	80	25	0.8	1.2
5.	10	90	25	0.8	1.2
6.	0	100	25	0.8	1.2

ตารางที่ 3.3 สูตรผสมกลีเซอรอล 20%

	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวเหนียว	กลีเซอรอล	น้ำมันพาราฟิน	กรดสเตียริก
1.	100	0	20	0.8	1.2
2.	90	10	20	0.8	1.2
3.	80	20	20	0.8	1.2
4.	20	80	20	0.8	1.2
5.	10	90	20	0.8	1.2
6.	0	100	20	0.8	1.2

3.3.1 การเตรียมสูตรผสม

- อบแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน
- ทำการผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง เป็นเวลา 30 นาที
- นำของผสมที่ได้เข้าเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ จากนั้นตั้งอุณหภูมิดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

โซนสกรู	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ช่วงที่ 1	110
ช่วงที่ 2	115
ช่วงที่ 3	120
หัวฉีด (Nozzle)	120

- ตั้งความเร็วของเกลียวหนอนไว้ที่ 20 รอบต่อนาที
- นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดไปตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก
- นำเม็ดแป้งที่ผ่านการบดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วันเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในเม็ดแป้งให้ต่ำกว่า 5% เพื่อให้ควบคุมปริมาณความชื้นในแป้งให้มีค่าใกล้เคียงกัน

3.3.2 การหาสภาวะในการฉีดขึ้นรูป

นำสูตรผสมใส่ลงส่วนป้อนสาร(Hopper) ของเครื่องฉีดขึ้นรูปแล้วทำการปรับค่าอุณหภูมิ เวลาในการฉีด ความเร็วของสกรู ความดันและเวลาในการหล่อเย็น ตามความเหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้

3.3.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1) การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) และมอดุลัส (Modulus) (ตามมาตรฐาน ASTM D638)

นำชิ้นงานรูปดัมเบล(dumbell) มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและต้านการฉีกขาด (universal testing machine) โดยมีภาวะการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแพนตัดขวาง (crosshead speed)	12.50	มิลลิเมตรต่อนาที
ระยะห่างของชิ้นงาน (gauge length)	70.00	มิลลิเมตร
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (load cell)	5	kN
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	8	ชิ้นต่อสูตร

นำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = F/A \quad (3.1)$$

$$\text{มอดุลัส (Modulus)} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}} \quad (3.2)$$

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด} = ((L - L_0) / L_0) \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน:N)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm ²)
	L	คือ	ระยะระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)
	L ₀	คือ	ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดก่อนทำการดึงชิ้นงานเป็นระยะที่แคบที่สุด และมีพื้นที่ขนานกัน (Gage Length หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

2) การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (ตามมาตรฐาน ASTM 0256(23))

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก(Izod impact tester) และใช้ชิ้นงานที่มีรอยบาก (Notch) วัดความหนาและความกว้างของชิ้นงานทุกชิ้นสำหรับการคำนวณ วัดค่าความทนทานต่อแรงกระแทกในหน่วย kJ/m³ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ทดสอบชิ้นงาน 8 ชิ้นต่อสูตร

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A$$

IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทกมีหน่วยเป็น (กิโลจูลต่อตารางเมตร ; kJ / m²)

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (กิโลจูล; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร ; m²)

3) การทดสอบความแข็งกด

การทดสอบหาค่าความแข็งกด เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [34] การทดสอบใช้มาตรฐานแบบ Shore D ลักษณะของชิ้นงานที่นำมาทำการทดสอบต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า ¼ นิ้ว กดเป็นเวลา 5 วินาทีจึงสามารถอ่านค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1) ปริมาณความชื้น (ตามมาตรฐาน ASTM D570)

นำชิ้นงานที่ฉีดได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักที่ได้ จากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานไว้ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 1 วัน นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้น ดังแสดงในสมการ (3.4)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน} - \text{น้ำหนักชิ้นงานหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน}} \quad (3.4)$$

3.3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ซึ่งสารจำนวน 15-25 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอนแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง

TGA โดย

- ให้อุณหภูมิชิ้นงานคงที่ที่ 50 ° C เป็นเวลา 1 นาที
- อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10°C/min ตั้งแต่ 50 ° C ถึง 450 ° C
- อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ที่ 10°C/min
- บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นสลายตัวเพื่อดูช่วงอุณหภูมิที่ชิ้นงานสลายตัว

3.3.3.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดที่กำลังขยายสูง การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) เป็นเวลา 10 นาที และทำการหักทันที นำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

3.3.3.5 การทดสอบการย่อยสลาย

การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของชิ้นงานที่ได้ทำการขึ้นรูปโดยใช้เชื้อรา *Aspergillus oryzae* ในการย่อยสลายโดยเชื้อราจะทำการสร้างเอนไซม์ อัลฟา-อะไมเลส มาย่อยสลายโดยเปลี่ยนโครงสร้างของแป้ง ซึ่งเป็นเซลลูโลส ให้กลายเป็น กลูโคส มอลโตส และลิมิตเดกซ์ทริน ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบ

1. สารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS)

ละลาย 3,5 ไดไนโตรซาลิไซลิก แอซิด 1 กรัม ในสารละลาย NaOH 2.0 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นเก็บสารละลายในขวดสีชาหรือขวดทึบแสง เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับแสงแล้วเกิดการเสื่อมสภาพ

*DNS ใช้สำหรับช่วยในการตรวจวัดน้ำตาล โดยทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ทำให้โมเลกุลของ DNS เปลี่ยนสี สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

2. สูตรอาหาร PDA, Potato Dextrose Agar ประกอบด้วย

มันฝรั่ง (Potato)	200 กรัม
เด็กโตรส (Dextrose)	20 กรัม
วุ้น (Agar)	15 กรัม

หั่นมันฝรั่งเป็นก้อนขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร หนัก 200 กรัม ต้มให้เดือดจนก่อนมันฝรั่งเริ่มนิ่มกรองเอาแต่น้ำตาล dextrose วุ้น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนาน 12 นาที

*PDA ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อราในช่วงแรกเพื่อให้เชื้อราเติบโตและผลิตเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส สำหรับทดสอบความสามารถในการย่อยสลาย

การวัดปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น

1. เตรียม PDA 500 ml ใส่ในขวดดูแรน
2. นำจานเพาะเชื้อเปล่ากับขวดดูแรนที่มี PDA ไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ
3. นำ PDA ที่ฆ่าเชื้อแล้วมาเทใส่จานเพาะเชื้อ
4. นำแบ่งตัวอย่างสูตรที่ 1 , 6 และ 11 ในตารางที่ 3.1 มาวางบนจานเพาะเชื้อที่มี PDA ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
5. ใส่หัวเชื้อ *Aspergillus oryzae* ลงไปในจานเพาะเชื้อ จานละ 2 ml (10^8 สปอร์/มล.)
6. ทำตัวควบคุมโดยใส่แป้งแต่ไม่ใส่เชื้อ
7. เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน
8. นำแป้งที่อยู่ในจานเพาะเชื้อมาละลายน้ำ
9. ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธีวัด DNA ของ Benfeld การวัด DNS(3,4-

dinitro salicylic acid) โดยนำตัวอย่างที่ละลายน้ำแล้วมา 0.5 ml ใส่ DNS 1.5 ml แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำไปต้มเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นใส่น้ำกลั่น 3 ml แล้วนำไปวัดค่า การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 540 nm
10. จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสเพื่อหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

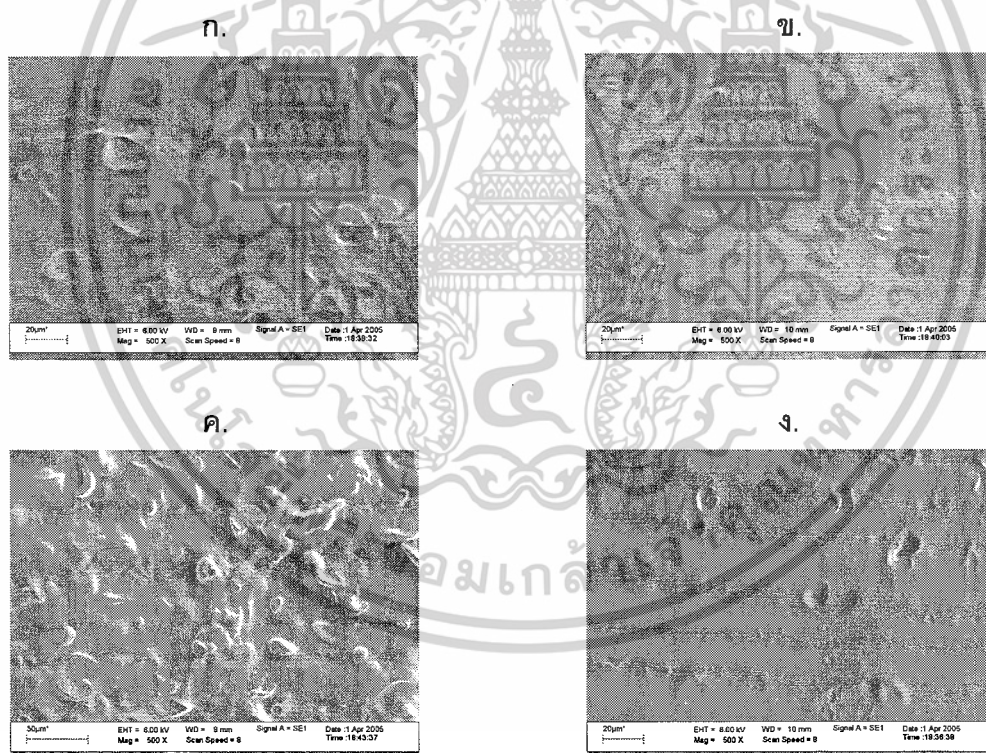
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว และ กลิเซอรอลโดยวิธีการฉีดขึ้นรูปและนำไปทำการทดสอบทางด้านเชิงกล ทางกายภาพ ทางความร้อน และการย่อยสลาย เพื่อหาสภาวะ และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดโดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน กลิเซอรอลที่ใช้เป็น 20,25 และ 33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับแป้ง

*การทดลองนี้ไม่สามารถแสดงผลของสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ได้ เนื่องจากไม่สามารถทำการฉีดขึ้นงานในขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปได้ โดยสภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่เหมาะสมอยู่ในภาคผนวก ก

4.1 การทดสอบพื้นฐานวิทยา



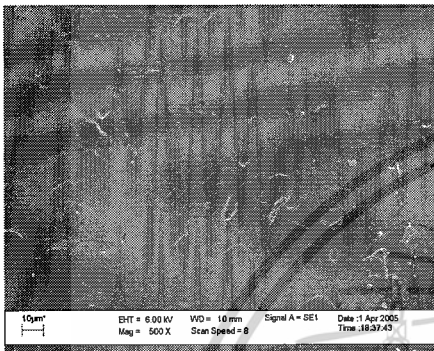
รูปที่ 4.1 รูป SEM กำลังขยาย 500 เท่าแสดงผลของโครงสร้างระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่กลีเซอรอล 33% (ก) แป้งมันสำปะหลัง 100% (ข) แป้งมันสำปะหลัง 30% (ค) แป้งมันสำปะหลัง 50% และ (ง) แป้งมันสำปะหลัง 0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

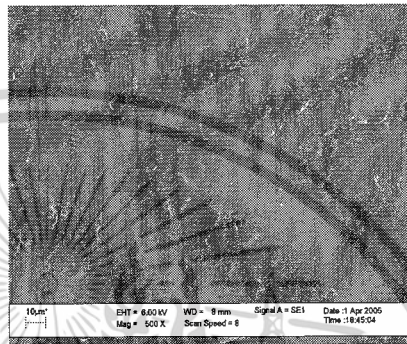
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าสูตรแป้งมันสำปะหลัง50% (ค.) พื้นผิวมีลักษณะไม่เรียบแสดงให้เห็นว่าการผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวทำได้ไม่ดี ในขณะที่สูตรอื่นๆมีการผสมที่ดีกว่า

ก.



ข.



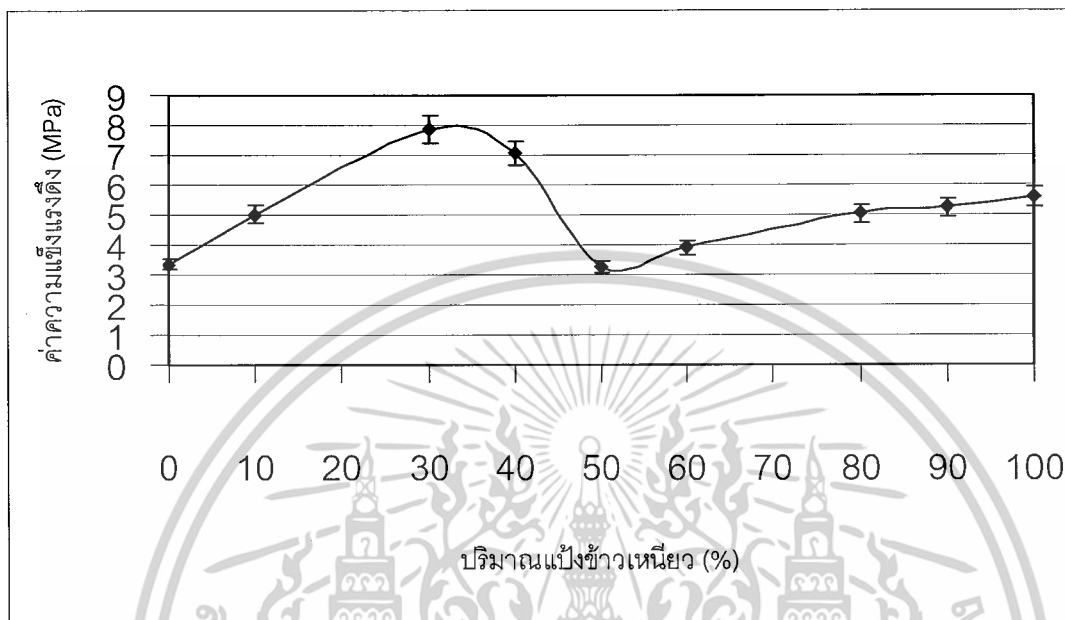
รูปที่ 4.2 รูป SEM กำลังขยาย 500 เท่าแสดงผลของโครงสร้างระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่กลีเซอรอล 25 % ก. แป้งมันสำปะหลัง 100 % ข. แป้งข้าวเหนียว 100 %

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบพื้นผิวของแป้งมันสำปะหลัง100% และแป้งข้าวเหนียว100% โดยมีปริมาณกลีเซอรอล 25% พบว่าสูตรแป้งมันสำปะหลัง100% (ก.) พื้นผิวมีความเรียบกว่าสูตรแป้งข้าวเหนียว100% (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

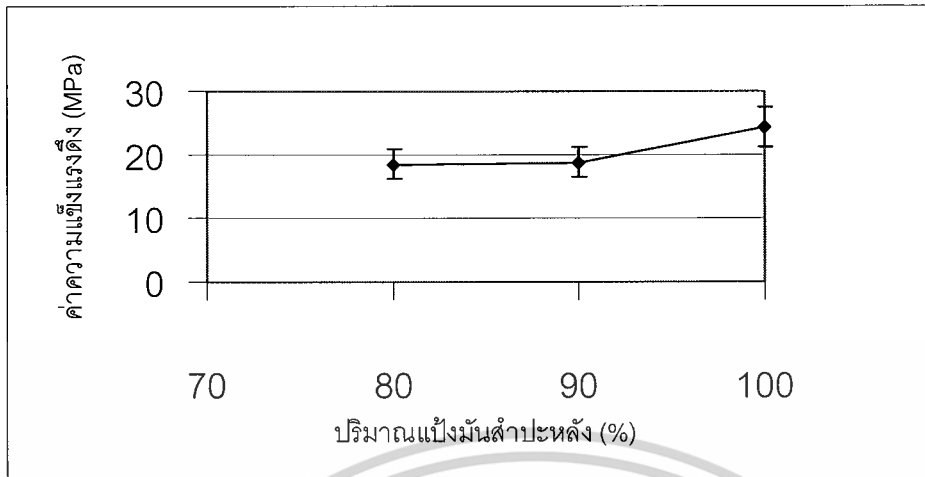
4.2.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง



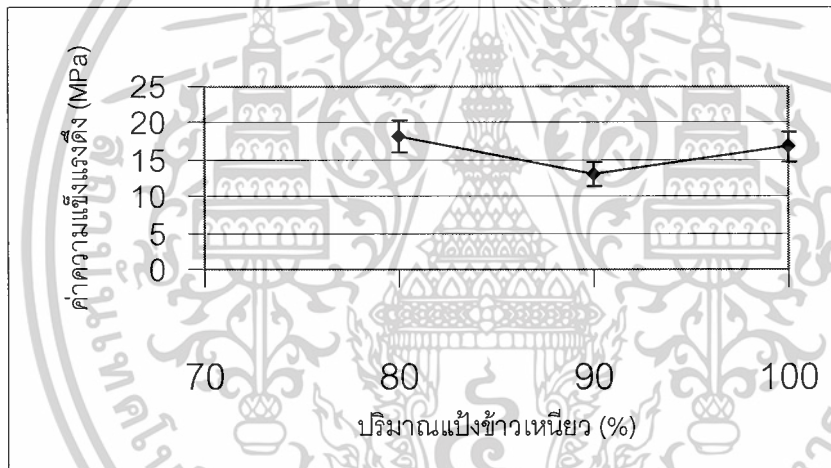
รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง พบว่าที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 30% มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุดเนื่องจากปริมาณอะไมโลสซึ่งมีอยู่สูงในแป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถเกิดผลึก และโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนเสริมแรง จากการทดสอบพื้นฐานวิทยาในรูป 4.1 (ข.) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบแสดงถึงการผสมเข้ากันได้ดีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว สูตรแป้งข้าวเหนียว 50% มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุดเนื่องมาจากการทดสอบพื้นฐานวิทยาในรูป 4.1 (ค.) พื้นผิวมีลักษณะไม่เรียบแสดงถึงการผสมกันระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ดี ค่าความแข็งแรงดึงจึงมีค่าน้อย สูตรแป้งข้าวเหนียว 80 – 100% ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนเสริมแรง [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



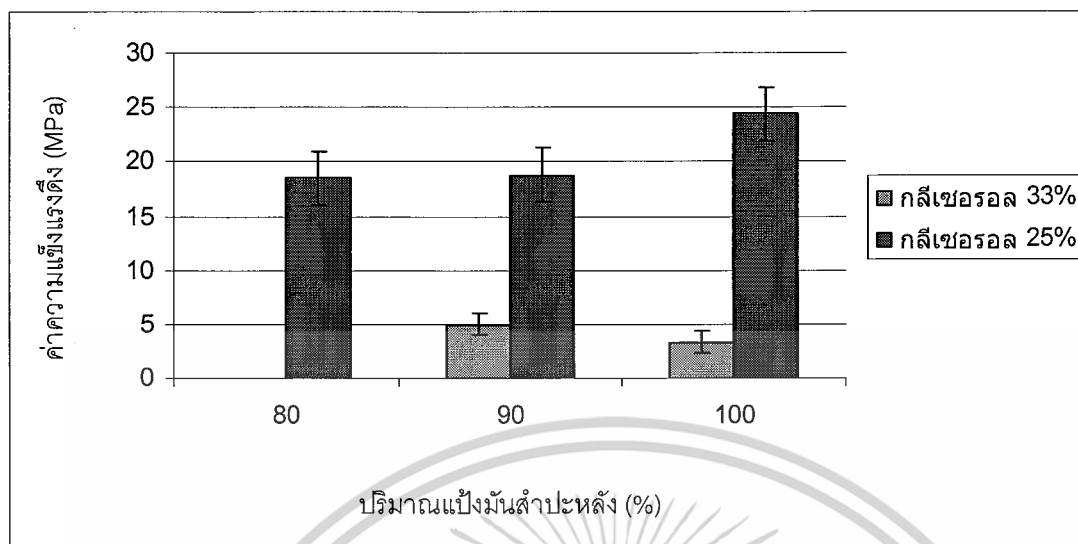
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณน้ำมันสำหรับหลัง 100% 90% และ 80%ตามลำดับ



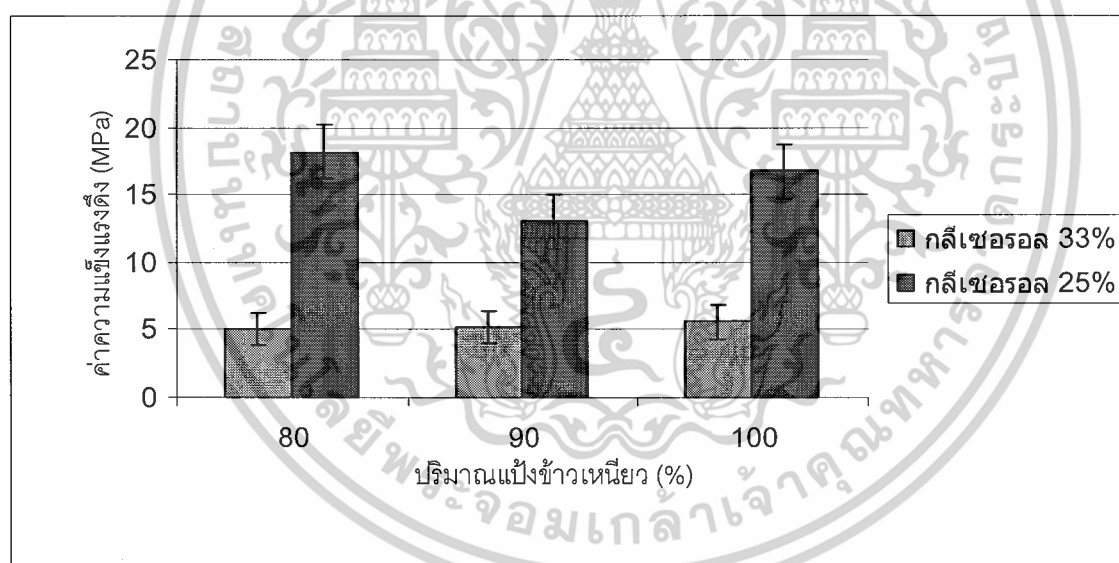
รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100% 90% และ 80%ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ค่าความแข็งแรงดึงในสูตรแป้งข้าวเหนียว 80 – 100% และแป้งมันสำปะหลัง 80 – 100% มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องมาจากปริมาณกลีเซอรอลที่ลดลงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลแป้งใกล้กันมากขึ้นส่วนโครงสร้างอะไมโลสสามารถเกิดผลึกและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณน้ำมันสำหรับ 80% 90% และ 100% ตามลำดับ



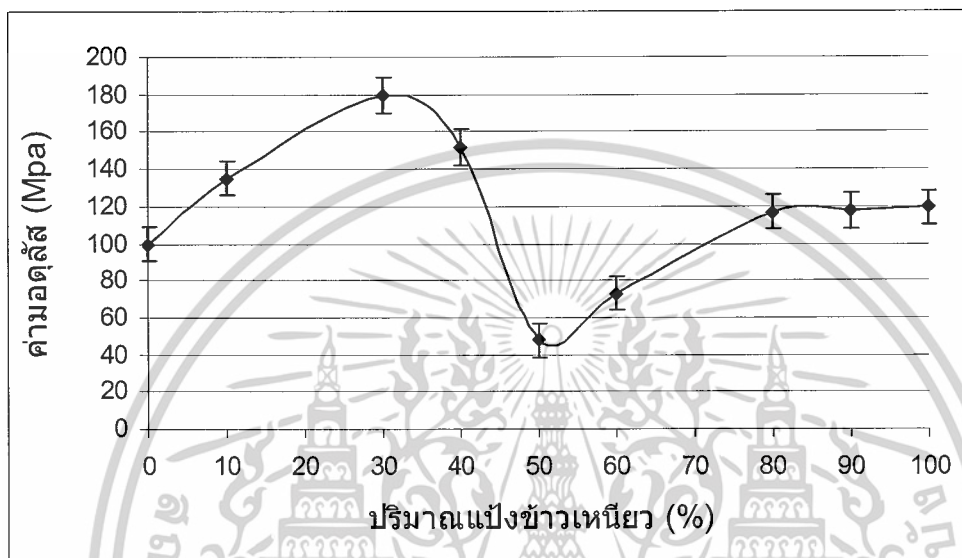
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 25% กับสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณน้ำข้วเหนียว 80% 90% และ 100% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงระหว่างสูตรกิลีเซอรอล 25% และ 33% พบว่าสูตร กิลีเซอรอล 25% มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าเนื่องมาจากกิลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แทรกตัวระหว่างโมเลกุลของแป้งลดลงส่งผลให้สายไซโมเลกุลของแป้งอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส

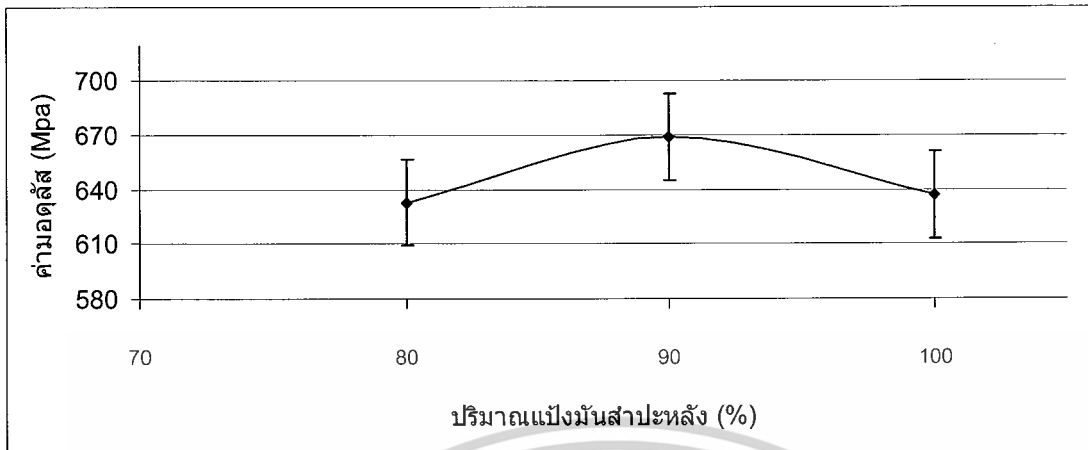
จากการทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine เพื่อทำการหาค่า modulus ของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดขึ้นงานเป็นรูปดัมเบล ในแต่ละสูตร ได้ค่า modulus ดังรูปที่ 4.8



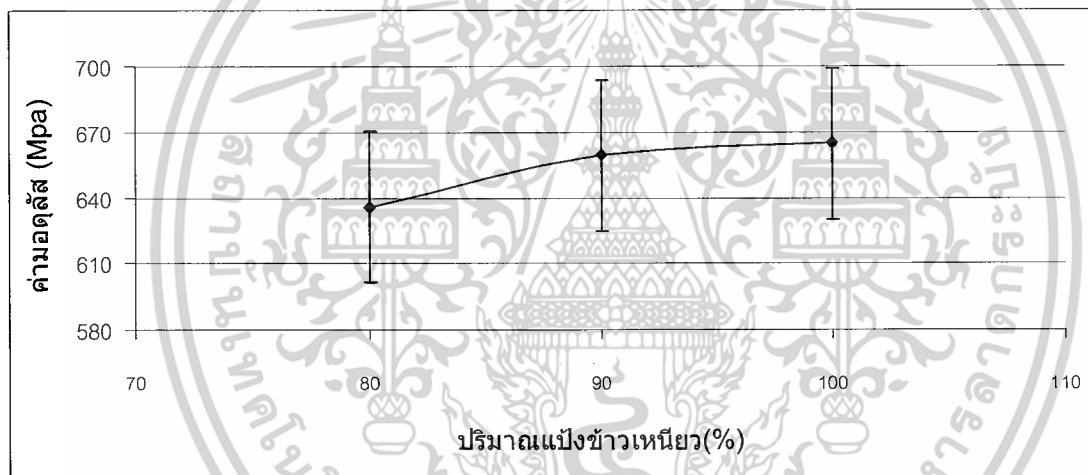
รูปที่ 4.8 ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%

จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่ามอดุลัสของสูตรแป้งข้าวเหนียว 30% มีค่าสูงที่สุดเนื่องมาจากปริมาณอะไมโลสซึ่งมีอยู่สูงในแป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถเกิดผลึก และจากการทดสอบด้วยฐานวิทยาในรูป 4.1 (ข.) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบแสดงถึงการผสมเข้ากันได้ดีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว สูตรแป้งข้าวเหนียว 50% มีค่ามอดุลัสต่ำที่สุดเนื่องมาจากการทดสอบด้วยฐานวิทยาในรูป 4.1 (ค.) พื้นผิวมีลักษณะไม่เรียบแสดงถึงการผสมกันระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ดี ค่ามอดุลัสจึงมีค่าน้อย สูตรแป้งข้าวเหนียว 80 – 100% ค่ามอดุลัสมีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจากโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนเสริมแรง[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



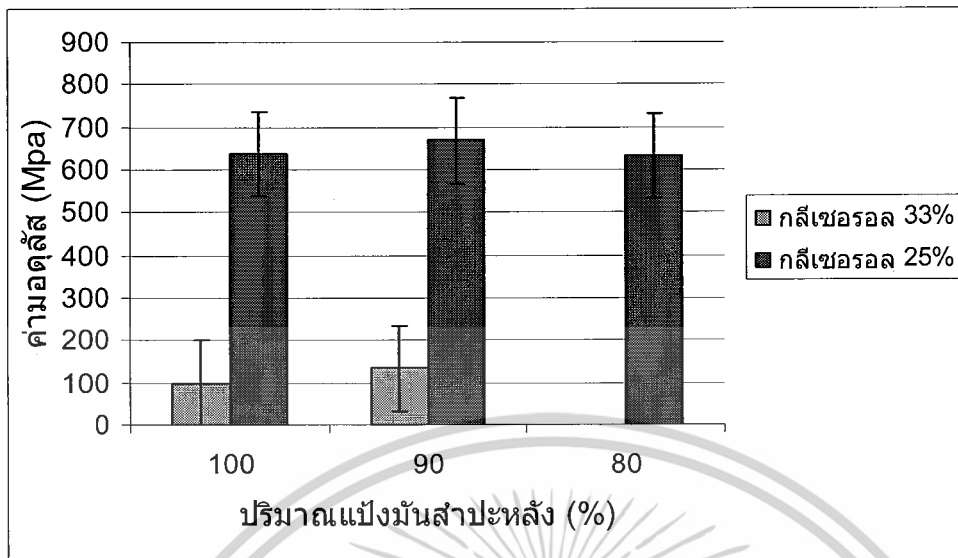
รูปที่ 4.9 ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณแ่งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ



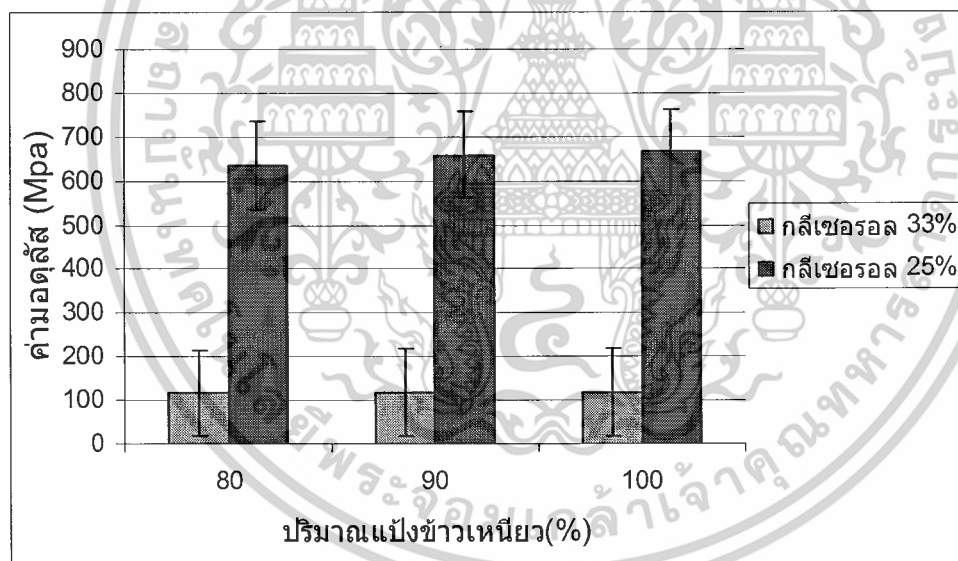
รูปที่ 4.10 ค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของสูตรที่ใช้ปริมาณแ่งข้าวเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 ค่ามอดุลัสในสูตรแ่งข้าวเหนียว 80 – 100% และแ่งมันสำปะหลัง 80 – 100% มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องมาจากปริมาณกลีเซอรอลที่ลดลงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลแ่งใกล้เคียงกันมากขึ้นส่วนโครงสร้างอะไมโลสสามารถเกิดผลึกและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและโปรตีนที่มีในแ่งข้าวเหนียวช่วยเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแ้งน้สำหรับหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ

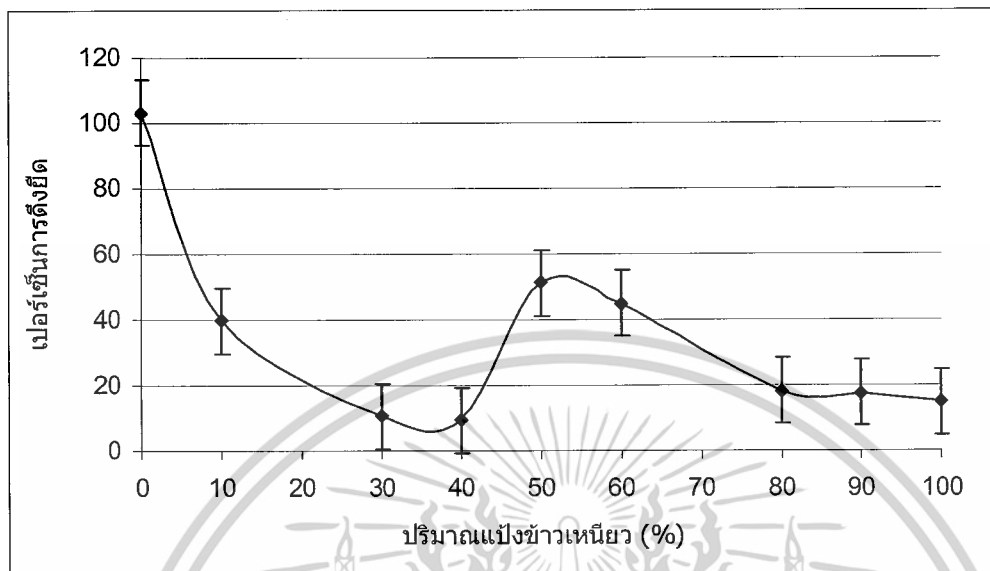


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กิลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแ้งน้ข่วเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสระหว่างสูตรกิลีเซอรอล 25% และ 33% พบว่าสูตรกิลีเซอรอล 25% มีค่ามอดุลัสที่สูงกว่าเนื่องมาจากกิลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แทรกตัวระหว่างโมเลกุลของแ้งน้ลดลงส่งผลให้สายไซโมเลกุลของแ้งน้อยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุล

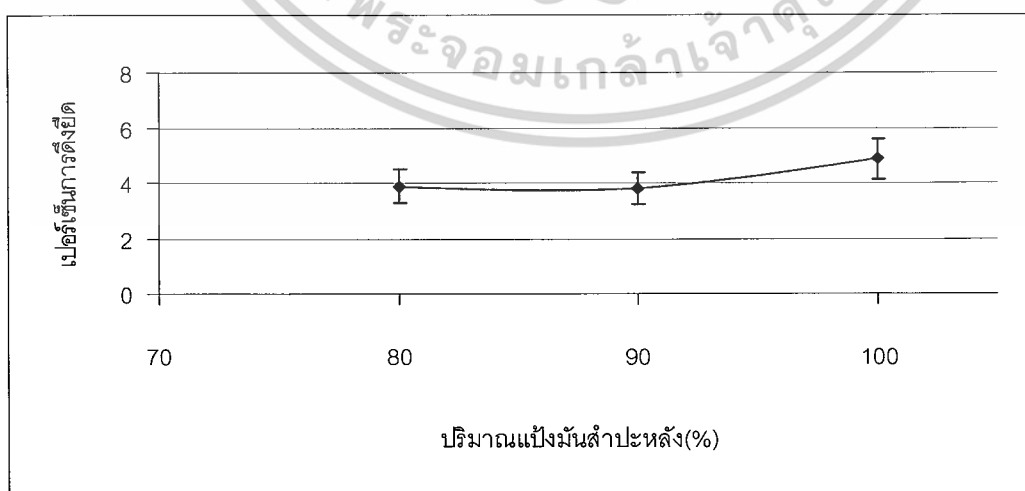
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด



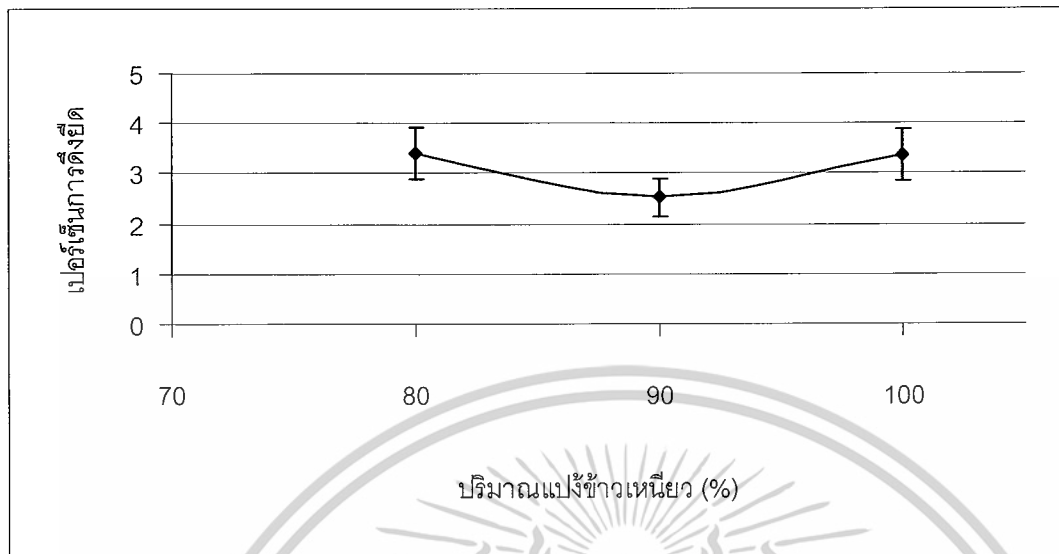
รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด พบว่า สูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวใกล้เคียงกัน มีเปอร์เซ็นต์การดัดยัดสูงที่สุดเนื่องมาจากว่ามีปริมาณของอะไมโลสซึ่งก่อให้เกิดผลึกและมีปริมาณของโปรตีนซึ่งสามารถเกิดการเชื่อมโยงในปริมาณที่น้อย จึงทำให้ชิ้นงานมีผลึกและมีการเชื่อมโยงน้อย โมเลกุลของแป้งจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายและสามารถดัดยัดได้มากกว่าเพราะเนื้อของชิ้นงานมีผลึกและการเชื่อมโยงน้อย โมเลกุลส่วนใหญ่จึงสามารถเคลื่อนที่ตามแรงที่กระทำ [15]



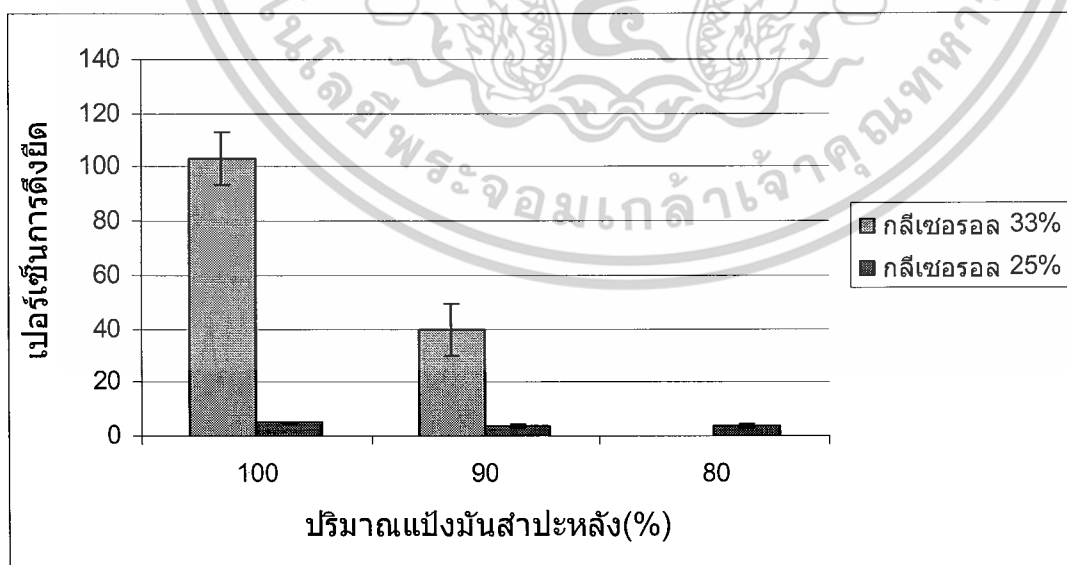
รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของแป้งมันสำปะหลัง

100% 90% 80% ตามลำดับ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



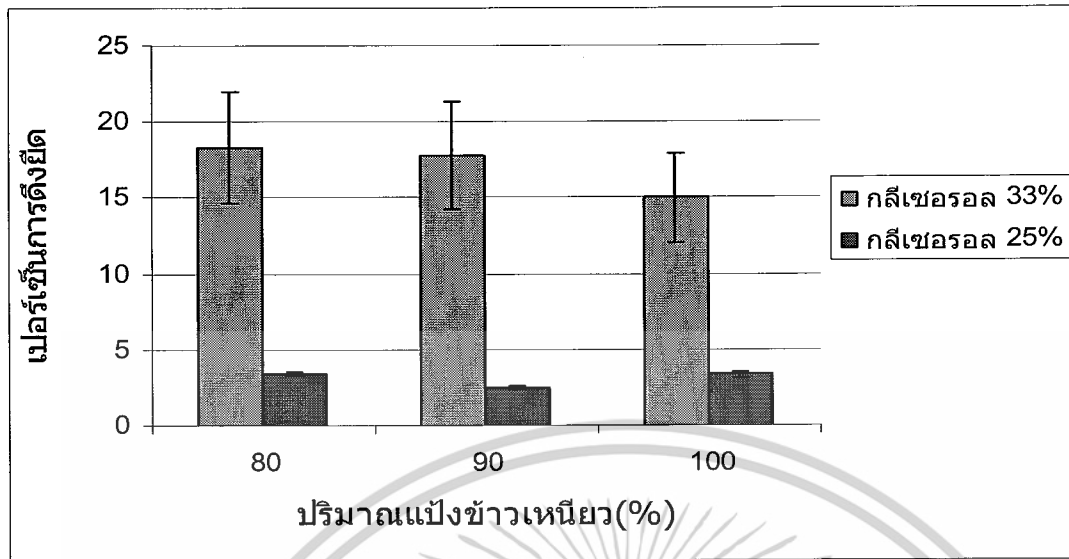
รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การตั้งยัด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ของแป้งข้าวเหนียว 80% 90% 100% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การตั้งยัด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การตั้งยัดที่ต่ำเนื่องมาจากการที่มีปริมาณของกลีเซอรอลที่น้อยทำให้โมเลกุลของแป้งอยู่ใกล้กัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้ง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงกระทำได้น้อย [15]



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตั้งยัด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100% 90% 80% ตามลำดับ

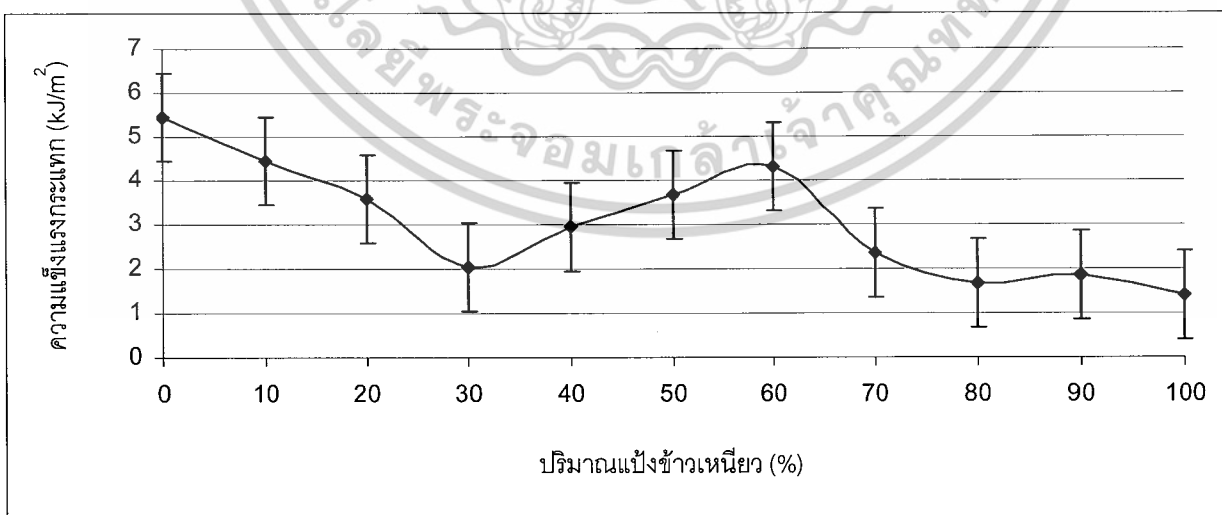
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25% ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100% 90% 80% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าสูตรที่ใช้ปริมาณกลีเซอรอล 33% มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึดสูงกว่าสูตรที่ใช้ปริมาณกลีเซอรอล 25% มากเนื่องมาจากโมเลกุลของกลีเซอรอลแทรกระหว่างโมเลกุลของแป้งทำให้ลดพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของแป้ง เมื่อทำการให้แรงกระทำที่ขึ้นงาน โมเลกุลแป้งจะสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแรงที่ได้รับ โดยเกิดจุดเริ่มต้นของการเสียสภาพได้ยากกว่าเนื่องจากมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่น้อยกว่า [15]

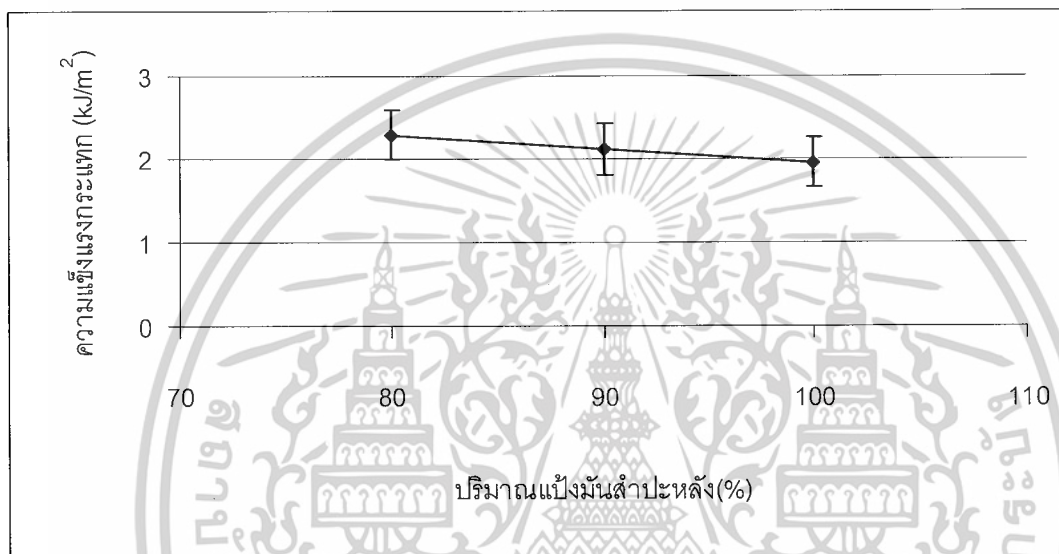
4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงกระแทก



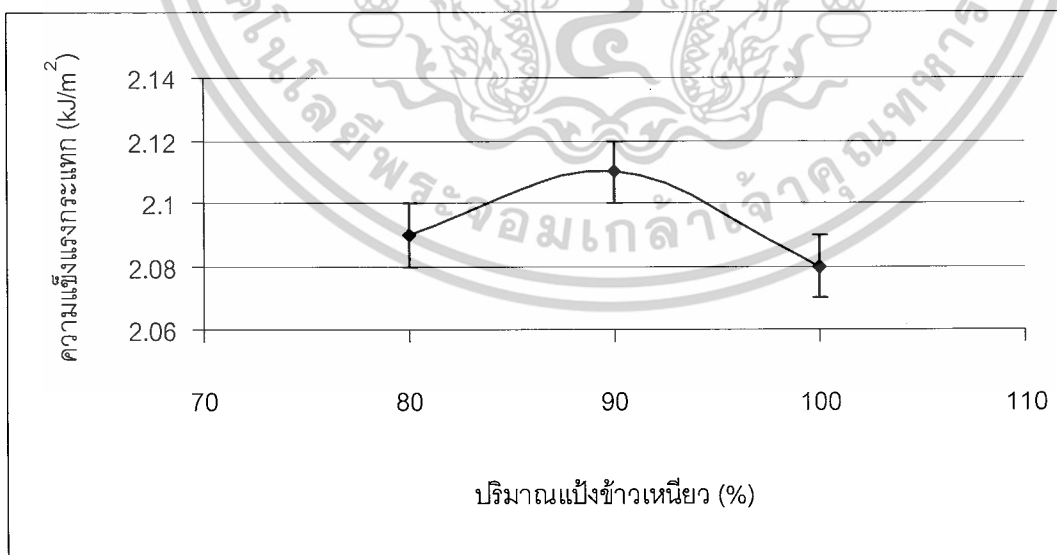
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 จะพบว่าสูตรที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีความแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากว่าในแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุดดังนั้นจึงมีความแข็งแรง และเมื่อลดปริมาณแป้งมันสำปะหลังพบว่าความแข็งแรงได้ลดลงตามไปด้วยจนอยู่ในระดับที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ปริมาณอะไมโลสน้อยลงความแข็งแรงกระแทกลดลงตาม เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าในแป้งมันสำปะหลัง [16]



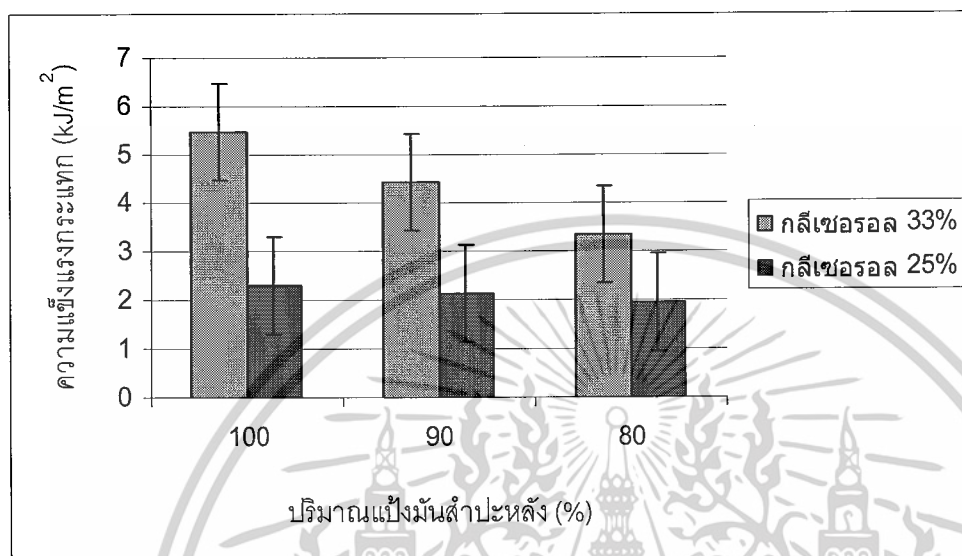
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล 25%



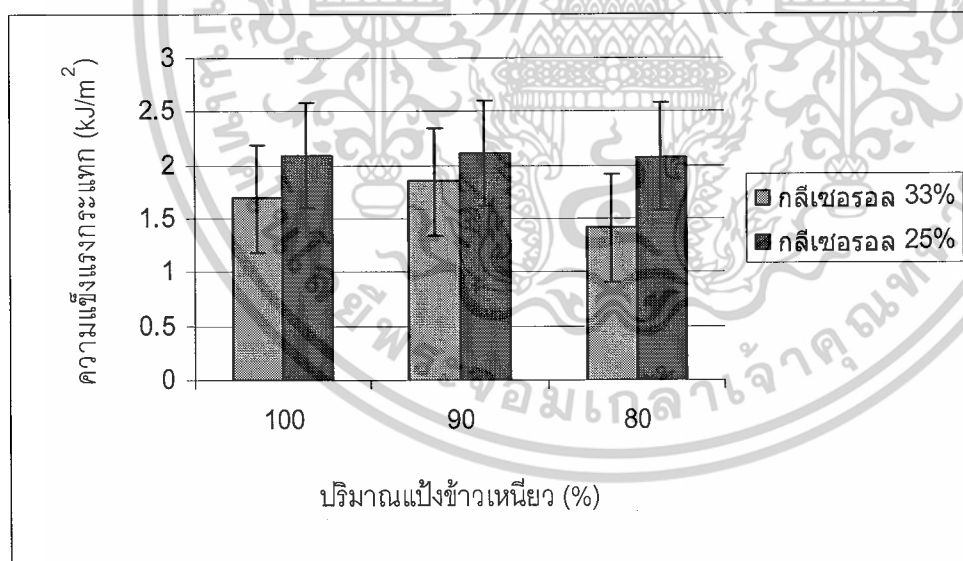
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้ แป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอล 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะพบว่าเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอล 25% ชนิดของแป้งมันสำปะหลังจะไม่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงกระแทก เพราะเมื่อกลีเซอรอลลดลงทำให้สายโซ่โมเลกุลอยู่กันชิดมากขึ้น ดังนั้นชิ้นงานที่ได้จึงมีลักษณะที่แข็ง [16]



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33 % กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25 % ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100 % 90 % และ 80 % ตามลำดับ

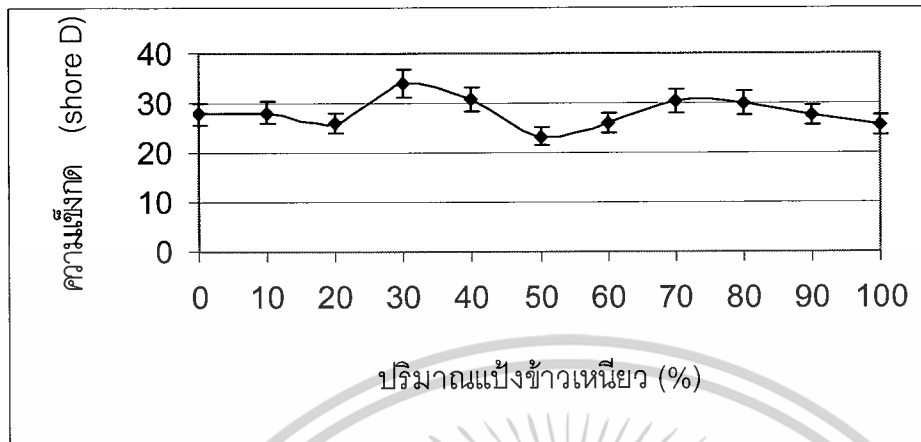


รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกระแทกของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33 % กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25 % ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100 % 90 % และ 80 % ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลลดลง ทำให้อะไมโลสสามารถจัดเรียงตัวกับอะไมโลเพกตินทำให้เกิดเป็นผลึกทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลด [16]

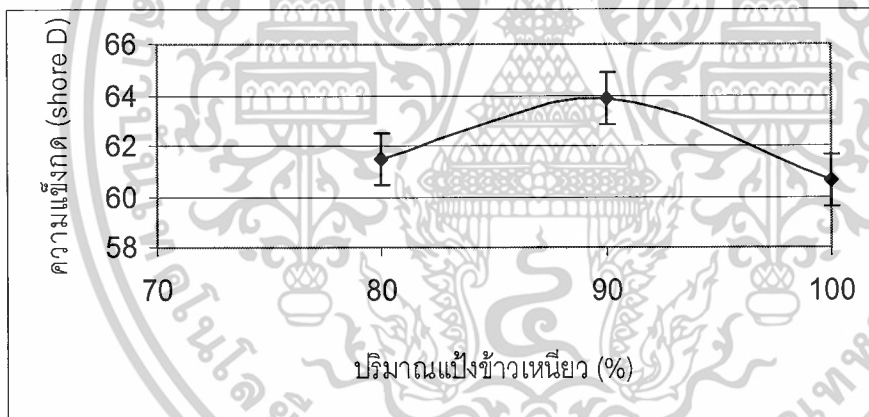
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ผลการทดสอบความแข็งกด

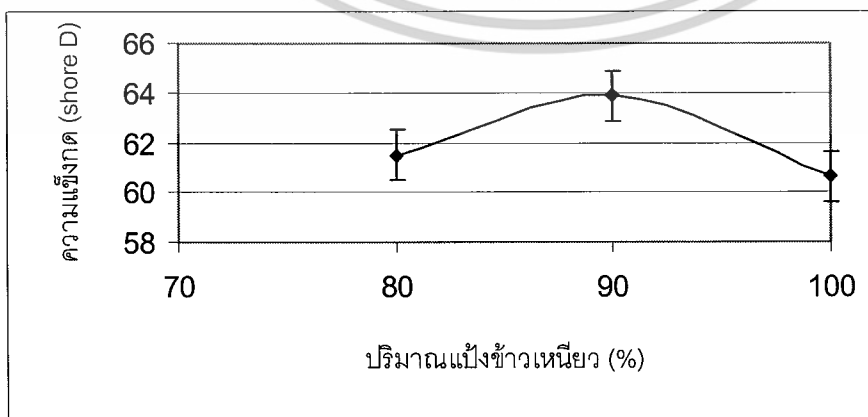


รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบความแข็งกดของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33%

จากรูปที่ 4.23 จะพบว่า ค่าความแข็งแรงกดของแต่ละสูตรมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณอะไมโลสและโปรตีน ไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่ ทำให้ในแต่ละสูตรค่าที่ได้ ออกมามีค่าใกล้เคียงกัน [16]

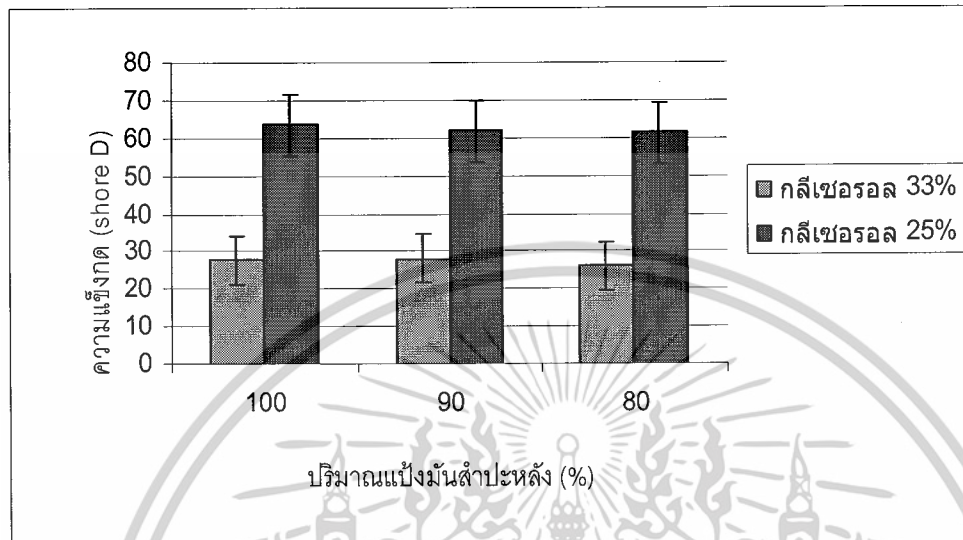


รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบความแข็งกดของสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล 25%

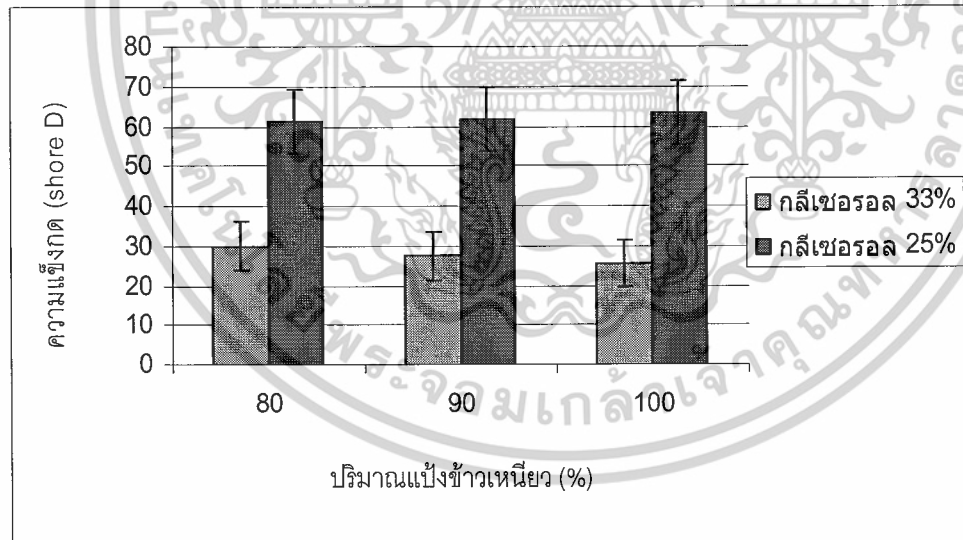


รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบความแข็งกดของสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอล 25% ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 ค่าจะแสดงผลคล้ายของกลีเซอรอล 33 % เพราะอะไมโลสและโปรตีนจะไม่มีผลต่อการจัดเรียงสายโซ่ของโมเลกุลดังนั้น ค่าที่ได้จึงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าความแข็งกตของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25 % ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100 % 90 % และ 80 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าความแข็งกตของสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 33% กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล 25 % ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 100 % 90 % และ 80 % ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่ลดลงจะมีผลทำให้ชิ้นงานมีความแข็งขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลได้ไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่ทำให้ชิ้นงานนิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้กลีเซอรอลจำนวนน้อยทำให้ ส่วนที่แทรกตัวระหว่างสายโซ่ลดลงดังนั้นชิ้นงานจึงแข็งมากขึ้น [16] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบสมบัติการดูดความชื้น

ตอนที่ 1 ศึกษาความสามารถในการดูดความชื้นของสูตรลีสเซอร์อล 33%

จากการทดลองจะได้เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของปริมาณข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ

ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ

ปริมาณแป้งข้าวเหนียว	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น	ปริมาณแป้งข้าวเหนียว	เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น
0%	7.15	60%	6.66
10%	7.03	70%	6.48
20%	7.03	80%	6.31
30%	7.06	90%	6.13
40%	7.30	100%	6.39
50%	7.09		

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มที่จะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพกตินซึ่งมีอยู่ถึง 95% ในข้าวเหนียวมีการดูดน้ำที่ต่ำกว่าโครงสร้างอะไมโลสซึ่งมีอยู่ 25% ในแป้งมันสำปะหลัง [19]

ตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการดูดความชื้นของสูตรลีสเซอร์อล 25%

ทำการผสมแป้งที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 100%,90%,80% และผสมแป้งที่มีปริมาณข้าวเหนียวเป็น 100%,90%,80% นำมาหาอัตราการดูดความชื้นของชิ้นงานจะได้ผลดังตารางที่

4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ

ปริมาณแป้งมัน สำปะหลัง	เปอร์เซ็นต์การดูด ความชื้น	ปริมาณแป้งข้าว เหนียว	เปอร์เซ็นต์การดูด ความชื้น
100%	4.09	100%	5.06
90%	4.20	90%	4.99
80%	4.81	80%	4.91

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นในสูตรกลีเซอรอล 25% เมื่อมีปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูงมีการดูดความชื้นที่มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลน้อยทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น โครงสร้างที่เป็นอะไมโลสสามารถเกิดผลึกซึ่งลดการดึงดูดโมเลกุลของน้ำส่งผลให้สูตรที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังสูงมีเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นที่ต่ำกว่าสูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวสูง

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางความร้อนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณกลีเซอรอล 33 %			ปริมาณกลีเซอรอล 25 %		
ปริมาณแป้งมัน สำปะหลัง	ปริมาณแป้งข้าว เหนียว	อุณหภูมิเริ่ม สลายตัว (°C)	ปริมาณแป้งมัน สำปะหลัง	ปริมาณแป้งข้าว เหนียว	อุณหภูมิเริ่ม สลายตัว (°C)
100	0	190	100	0	187
70	30	200	20	80	190
50	50	190	10	90	190
0	100	200	0	100	200

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบด้วย TGA พบว่า ช่วงต้นที่อุณหภูมิ 50-190 °C ขึ้นงานน้ำหนักลดลงเนื่องจากขึ้นงานมีการสูญเสียน้ำ ประมาณ 10% โดยน้ำหนัก จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 190-200 °C ขึ้นงานเกิดการเสถียรภาพอย่างรวดเร็ว จากกราฟ TGA จะพบว่าทุกๆสูตรจะมีช่วงการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากทุกสูตรมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่เหมือนกัน (กราฟ TGA ของแต่ละสูตรแสดงในภาคผนวก ข) [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบการย่อยสลาย

การทดลองนี้ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบทุกสูตรเนื่องมาจากว่าทุกสูตรมีชนิด และ ปริมาณขององค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน คือ อะไมโลส อะไมโลเพกติน และโปรตีน เพราะฉะนั้นจึงคัดเลือกเฉพาะสูตรที่มีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด คือสูตรแป้งมันสำปะหลัง 100% สูตรที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือสูตรแป้งข้าวเหนียว 100% และสูตรที่มีปริมาณอะไมโลสกับโปรตีนเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณที่มากที่สุด คือ สูตรอัตราแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว 50 ต่อ 50 โดยค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง
1. แป้งมันสำปะหลัง 100%	0.2895
2. แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเหนียว 50 : 50	0.5985
3. แป้งข้าวเหนียว 100%	0.439

* ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในตารางที่ 4.4 ได้ทำการหักลบค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุมแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุมของตัวอย่างที่ 1,2 และ 3 มีค่า 0.112 ,0.132 และ 0.093 ตามลำดับ

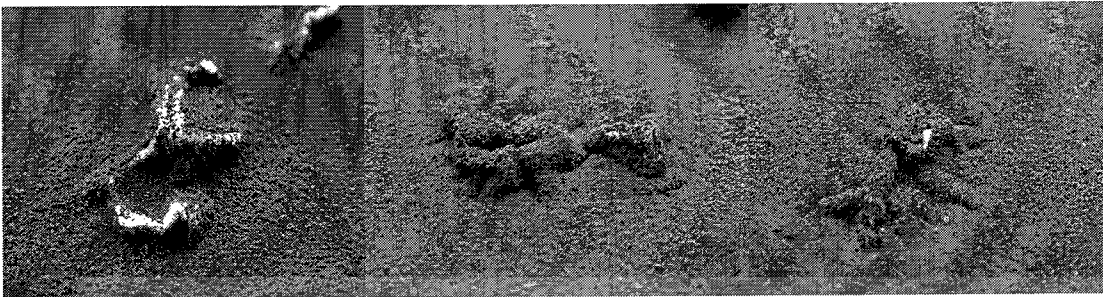
จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมในแต่ละสูตร โดยค่าการดูดกลืนแสงที่มากขึ้นเนื่องมาจากปริมาณของน้ำตาลที่มากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการที่เชื้อราผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลจึงทำให้สรุปได้ว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยแป้งสามารถย่อยสลายได้จริง โดยจากค่าการดูดกลืนแสงพบว่าสูตรแป้งมันสำปะหลัง 100% มีค่าน้อยที่สุดรองลงมาคือสูตรแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว 50:50 และสูตรแป้งข้าวเหนียว 100% มีค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุด ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.

ข.

ค.



รูปที่ 4.28 ภาพแสดงชิ้นงานที่ปกคลุมด้วยเชื้อรา (ก.) แป้งมันสำปะหลัง 100 % (ข.) แป้งมันสำปะหลัง 50 % และ (ค.) แป้งข้าวเหนียว 100 % ที่กลีเซอรอล 33 %

เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ จากรูป 4.28 จะพบว่า *Aspergillus oryzae* ได้แพร่ไปในเนื้อแป้ง และเมื่อทำการตรวจสอบปริมาณน้ำตาล พบว่ามีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าแป้งได้ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส ดังนั้นสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่เตรียมได้สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการขึ้นรูปพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูป วัสดุดิบที่นำมาใช้ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ มีน้ำมันพาราฟินและกรดสเตียริกเป็นสารหล่อลื่น ในการทดลองได้ทำการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเหนียว และกลีเซอรอล โดยใช้กลีเซอรอลที่ 20% 25% และ 33% โดยน้ำหนักและทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว เพื่อหาสมบัติที่ดีที่สุด ในขั้นตอนการทดลองได้ใช้เครื่องปั่นความเร็วสูงเป็นเครื่องผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว จากนั้นจึงใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่เพื่อนำมาตัดให้เป็นเม็ด แล้วจึงทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป เมื่อได้ชิ้นงานแล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และสมบัติการย่อยสลาย

ในการฉีดเพราะแป้งจะมีความเหนียวมากทำให้ไม่สามารถฉีดได้หรือต้องใช้ความดันที่สูงขึ้น ปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการผลิตดีขึ้นเพราะความเหนียวของแป้งจะลดลงทำให้งานวิจัยนี้พบว่า แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ควรใช้กลีเซอรอลในปริมาณ 25-33 % เนื่องจากถ้าใช้กลีเซอรอลตั้งแต่ 40%ขึ้นไปทำให้ของผสมเหลวและเหนียวส่งผลให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการอัดรีดเป็นเม็ดเนื่องจากแป้งจะรวมเป็นเนื้อเดียวเกาะกับสกรูทำให้สกรูไม่มีแรงขับเคลื่อนแป้ง แต่ถ้าใช้กลีเซอรอลน้อยกว่า 20% จะส่งผลต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนสามารถลดความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้

ตอนที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ในการทดลองมีตัวแปรที่สำคัญอยู่ 3 ตัว คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว และกลีเซอรอลปริมาณแป้งมันสำปะหลังจะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงเมื่อใช้ปริมาณที่มากขึ้น สำหรับปริมาณแป้งข้าวเหนียวเมื่อใช้ปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำ แต่ทั้งแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวจะไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรง เพราะแม้ว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเหนียวจะเปลี่ยนไปแต่ความแข็งแรงจะใกล้เคียงกัน ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ชิ้นงานมีค่ามอดูลัส ความแข็งแรงกดลดลง แต่ค่าความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ปริมาณสูตรแป้งที่เปลี่ยนแปลงไปจะไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของชิ้นงาน เนื่องจากในแต่ละสูตรมีโครงสร้างและปริมาณส่วนประกอบที่คล้ายกันดังนั้นชิ้นงานแต่ละสูตรจึงมีการสลายตัวที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันคือ onset 190-200°C

ตอนที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 25 % จะดูดความชื้นน้อยกว่า (ชิ้นงานจะดูดความชื้นที่ประมาณ 4-5%) ชิ้นงานที่ใช้กลีเซอรอล 33 % (ชิ้นงานจะดูดความชื้นที่ 7-8%)

ตอนที่ 4 ผลการทดสอบสัณฐานวิทยา

จากภาพ SEM ชิ้นงานที่ได้มีพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่ดี ในขณะที่ชิ้นงานที่ไม่ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว ทำให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี

ตอนที่ 5 ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลาย

พบว่าชิ้นงานที่ได้สามารถนำมาย่อยสลายได้ โดยการทดลองนี้ได้ทำการเลือกสูตร 100% มันสำปะหลัง 100 % ข้าวเหนียว และ 50 % มันสำปะหลังนำมาทดสอบการย่อยสลายโดยเอมไซม์อะไมเลสและทำการวัดปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น เมื่อนำไปทดสอบโดยนำสารละลายในจานเพาะเชื้อไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบน้ำตาลเกิดขึ้นในจานเพาะเชื้อดังนั้นสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ได้มีความสามารถในการย่อยสลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันของอะไมเลสคือหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งทำให้เกิดการดูดซึมน้ำ โดยอาจทำให้เป็นแป้งอะซิเตดหรือทำการฉายรังสีเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน
2. เคลือบด้วยวัสดุกันน้ำ เช่น พิล์มพลาสติก หรือครั่ง (shellac) เป็นต้น
3. อาจเติมสารจำพวกเสริมแรงที่เป็นชนิดเดียวกับธรรมชาติเพื่อให้ชิ้นงานที่ได้สามารถย่อยสลายได้เช่นกัน เช่น ชีลล้อย เส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จำปูน ปรีดีเวช, วัฒนีย์ สุพรวารีย์, วิสมล ปาจารย์รัตน์, การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. โครงการพิเศษ, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538,2-3.
2. J.J. Kester, O.K. Fennema, Edible films and coating : review, J. Food Technol. (1986),47-59.
3. H.J. Park, C.L. weller, P.J. Vergano, Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films, J. Food Sci. 58(1993),1361-1364.
4. เกศศิณี ตระกูลทิวากรม วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญสิริกุล, การทำฟิล์มบิโโคคได้จากแป้งข้างเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2539. กรุงเทพฯ
5. ปณิตดา พวงเกษม, การเตรียมฟิล์มบิโโคคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2540. กรุงเทพฯ
6. U. Funke, W. Bergthaller, Processing and characterization of biodegradable product based on starch. J. Poly. Degrad. 59(1997),293-296.
7. J.L. Willett, R.L. Shogren, processing and propertied of extruded starch/polymer foams, J.Polymer 43(2002),5935-5947.
8. V.D. Miladinov. M.A. Hanna, Physical and Molecular Properties of Starch Acetates Extruded with Water and Ethanol, ind. Eng. Chem. REs. 38(1999),3892-3897.
9. Y. X. Xu, Y. Dzenis, M. A. Hanna, Water solubility, thermal characteristics and biodegradability of extruded starch acetate foams, J. Ind. Cro. Pro. (2004).
10. C.E. Mumma, Development of extruded amylase packaging film. Cereal. Sci. Today 12(1),4
11. กัลฉัตร ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, เทคโนโลยีของแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546, กรุงเทพฯ.
12. ทศรฐ อินแปลง, การผลิตข้าวเหนียวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเสริมโภชนาการ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. สมศักดิ์ วรมงคลชัย, อธิพิพล แจ่มชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์และสุภารัตน์ รักชลธิ์, ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546,8-11.
14. ครินทร์ อินญาญาณยศ, อรรถวุฒิ คุ้มครอง, อมรพันธุ์ จันทรมังคละกุล, การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมโดยรังสีพลังงานสูง, โครงการพิเศษ, วิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538,21.
15. Kaoru, K. and Junko, M. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths, J. Carbohydrate Polymers,58(2004),71-77.
16. Anida M.M.and Claudio E. Mendes da Silva, Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*), J. Carbohydrate Polymers,60(2005),1-6.
17. Laura I., Beatriz L. and Maria A., Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches, J. Food Research International,37(2004),439-447.
18. Richard F. T.and John K., Starch—composition, fine structure and architecture, J. of Cereal Science,39(2004),151-165.
19. Rodriguez-Gonzalez J.and Ramsay B. A., High performance LDPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene, J. Polymer,44(2003), 1517-1526.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก 1 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง injection molding

Description	Unit	Tolerance	Value
INJECTION	0/1		
Max injection pressure	%	+10	62
Decompression stroke	%	+3	66
Metering stroke	mm.	+5	64
Injection speed 1	%	+20	35
Injection stroke 1	mm.	+10	35
Injection speed 2	%	+20	45
Injection stroke 2	mm.	+10	40
Injection speed 3	%	+20	12
Injection stroke 3	mm.	+10	12
Injection speed 4	%	+20	6
Injection stroke 4	mm.	+10	0
Injection speed 5	%	+20	0
FOLLOW-UP PRESSURE			
Follow-up pressure1	Bar	+20	20
Follow-up press 1 time	Sec.	+2	351
Follow-up pressure 2	Bar	+20	1
Follow-up press 2 time	Sec.	+2	20
Follow-up pressure 3	Bar	+20	0
Follow-up press 3 time	Sec.	+2	0.2
Follow-up pressure 4	Bar	+20	0
Follow-up press 4 time	Sec.	+2	0
Follow-up pressure 5	Bar	+20	0
Follow-up press 5 time	Sec.	+2	0
Cooling time	Sec.	+5	40

Description	Unit	Tolerance	Value
TEMPERATURE			
Zone 1	°C	+10	200
Zone2	°C	+10	190
Zone 3	°C	+10	180
Zone 4	°C	+10	170
METERING DECOMPRESSION			
Screw speed	RPM	+30	161
Decompression stroke 1	Bar	+5	0
Back pressure 1	mm.	+10	0
Back stroke 1	Bar	+5	20
Backpressure 2	mm.	+10	0
Back stroke 2	Bar	+5	30
Metering speed 1	%	+5	50
Metering stroke 1	mm.	+10	66
Metering speed 2	%	+10	50
Metering stroke 2	mm.	+5	64

Maximum injection pressure 2280 Bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ ข 1 สูตร แป้งมันสำปะหลัง ต่อ แป้งข้าวเหนียว ใช้กลีเซอรอล 33%

ปริมาณแป้ง มันสำปะหลัง	ปริมาณแป้ง ข้าวเหนียว	ผลการทดสอบ				
		ค่าความ แข็งแรงดึง (MPa)	modulus (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด (%)	Impact (kJ/m ²)	Hardness (shore D)
100	0	3.365	2.9251	3.582	5.544	4.689
90	10	5.01	8.389	5.628	9.255	5.987
80	20	7.886	-	-	8.585	5.748
70	30	7.079	9.732	8.648	6.558	6.987
60	40	3.266	17.661	4.258	4.312	6.696
50	50	3.907	6.635	3.582	7.778	8.687
40	60	5.061	6.646	4.585	6.845	7.809
30	70	5.238	-	-	6.548	6.778
20	80	5.588	5.636	5.585	7.584	4.178
10	90	3.365	9.968	4.548	4.698	7.189
0	100	5.01	10.704	6.571	5.068	6.219

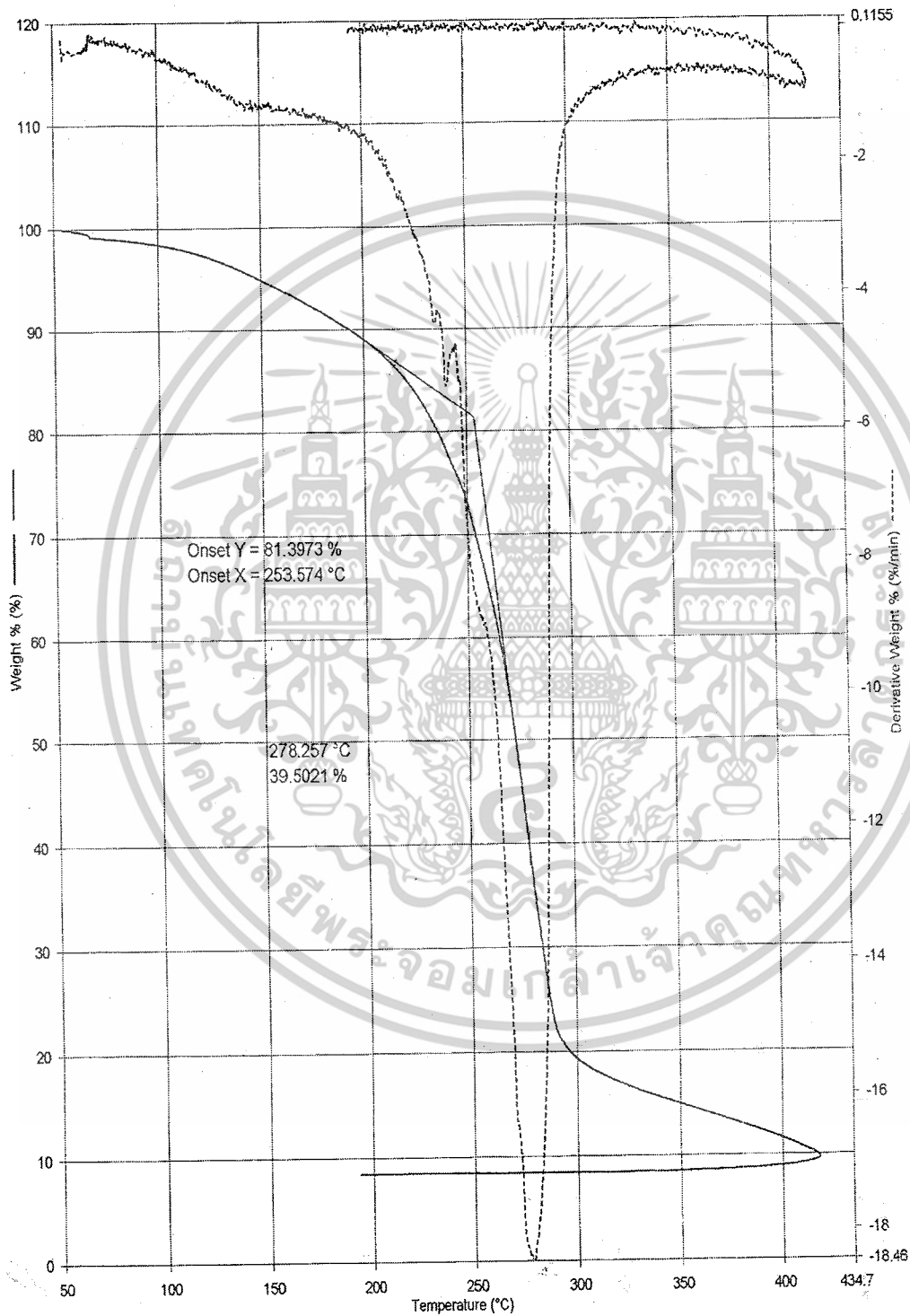
ตารางที่ ข 2 สูตร แป้งมันสำปะหลัง ต่อ แป้งข้าวเหนียว ใช้กลีเซอรอล 25%

ปริมาณแป้ง มันสำปะหลัง	ปริมาณแป้ง ข้าวเหนียว	ผลการทดสอบ				
		ค่าความ แข็งแรงดึง (MPa)	Modulus (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด (%)	Impact (kJ/m ²)	Hardness (shore D)
100	0	24.43	4.581	6.897	4.697	5.678
90	10	18.85	6.891	4.587	5.364	4.613
80	20	18.56	8.198	6.987	8.166	5.687
20	80	18.22	7.699	6.138	8.470	4.668
10	90	13.03	7.136	5.618	6.874	5.568
0	0	16.8	8.364	7.685	6.338	4.158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

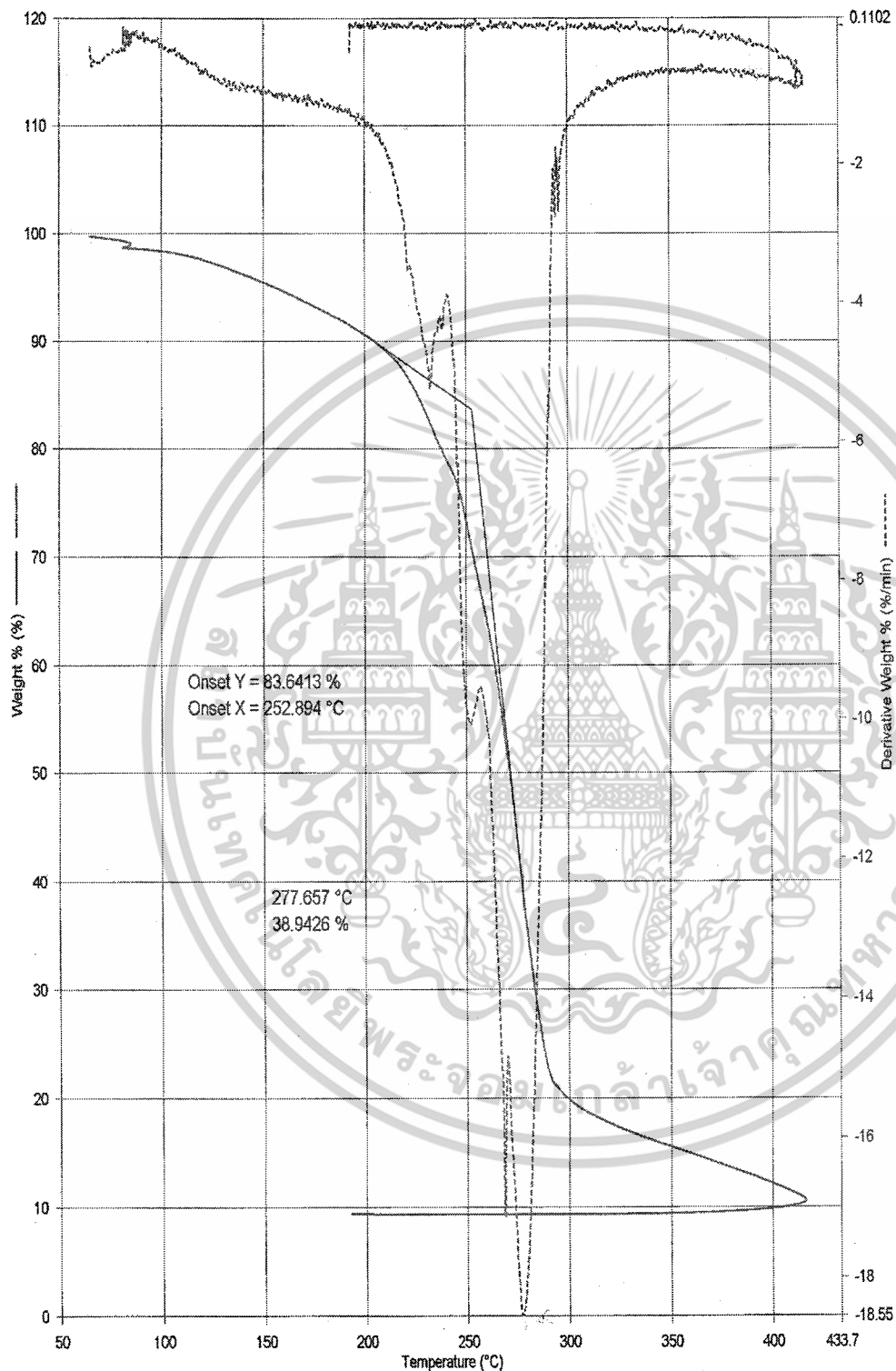
ภาคผนวก ค

กราฟแสดงคุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA



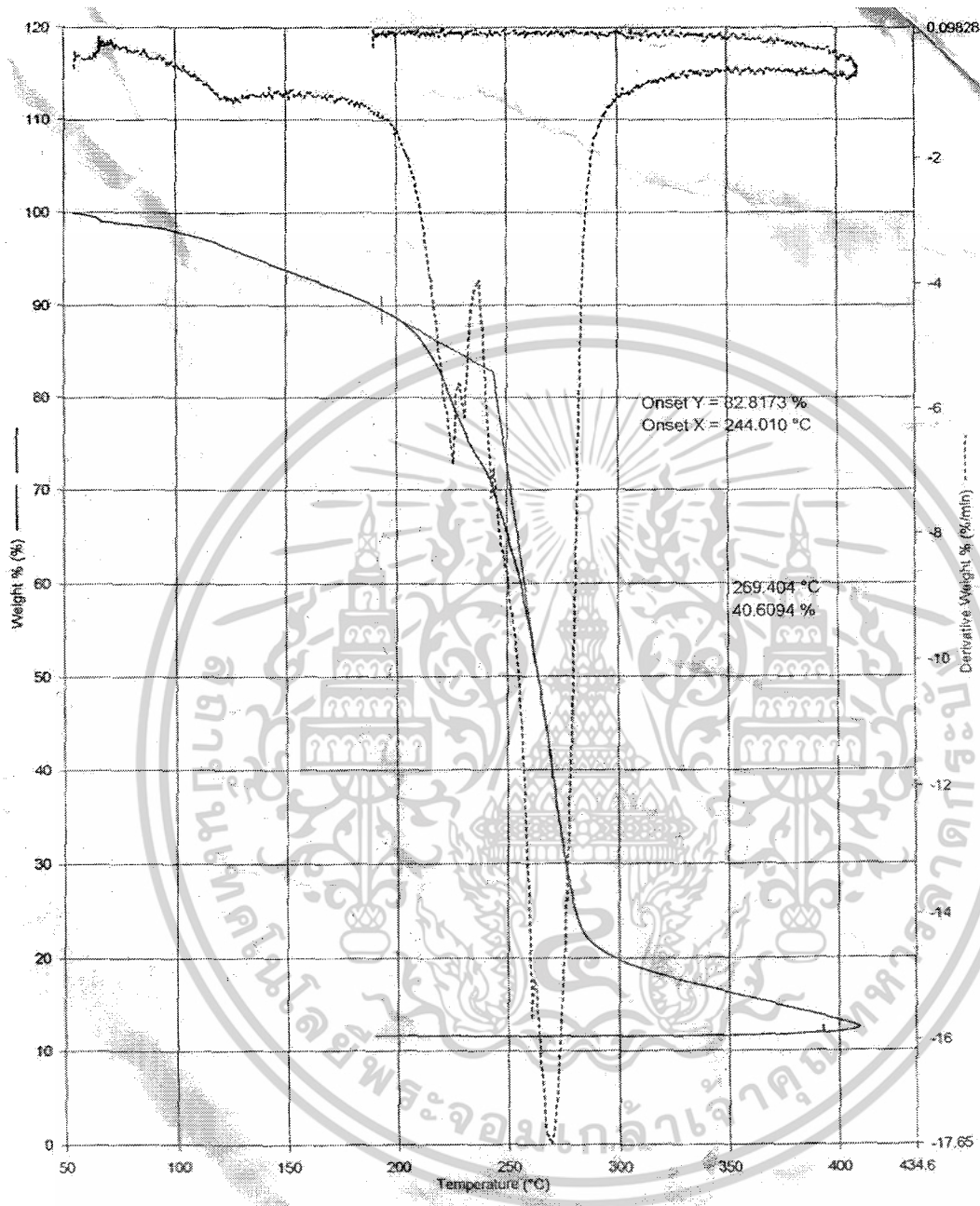
รูปที่ ค.1 แป้งมันสำปะหลัง 100%กลีเซอรอล 33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



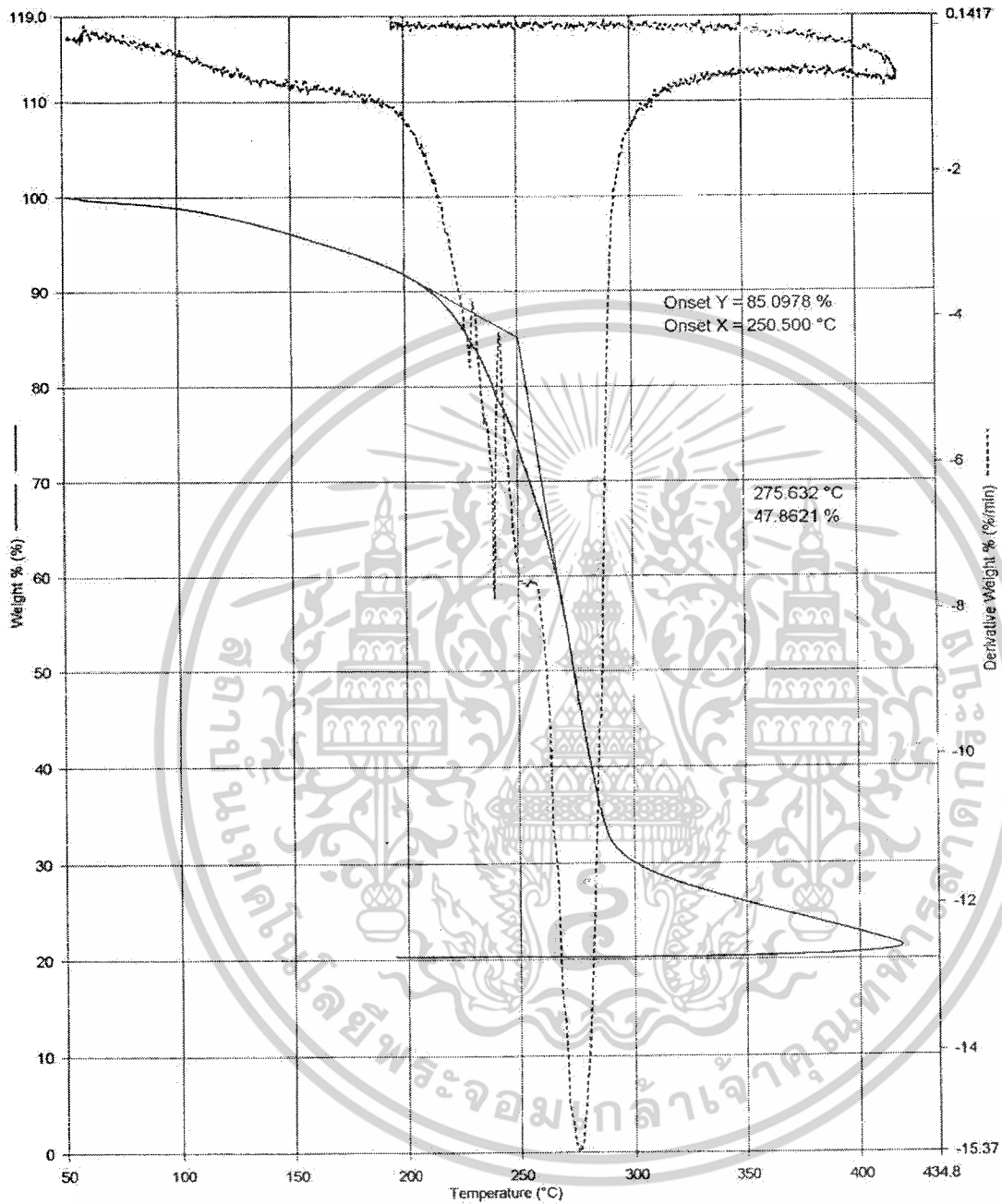
รูปที่ ค.2 แบ่งมันสำปะหลัง 70%กลีเซอรอล 33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



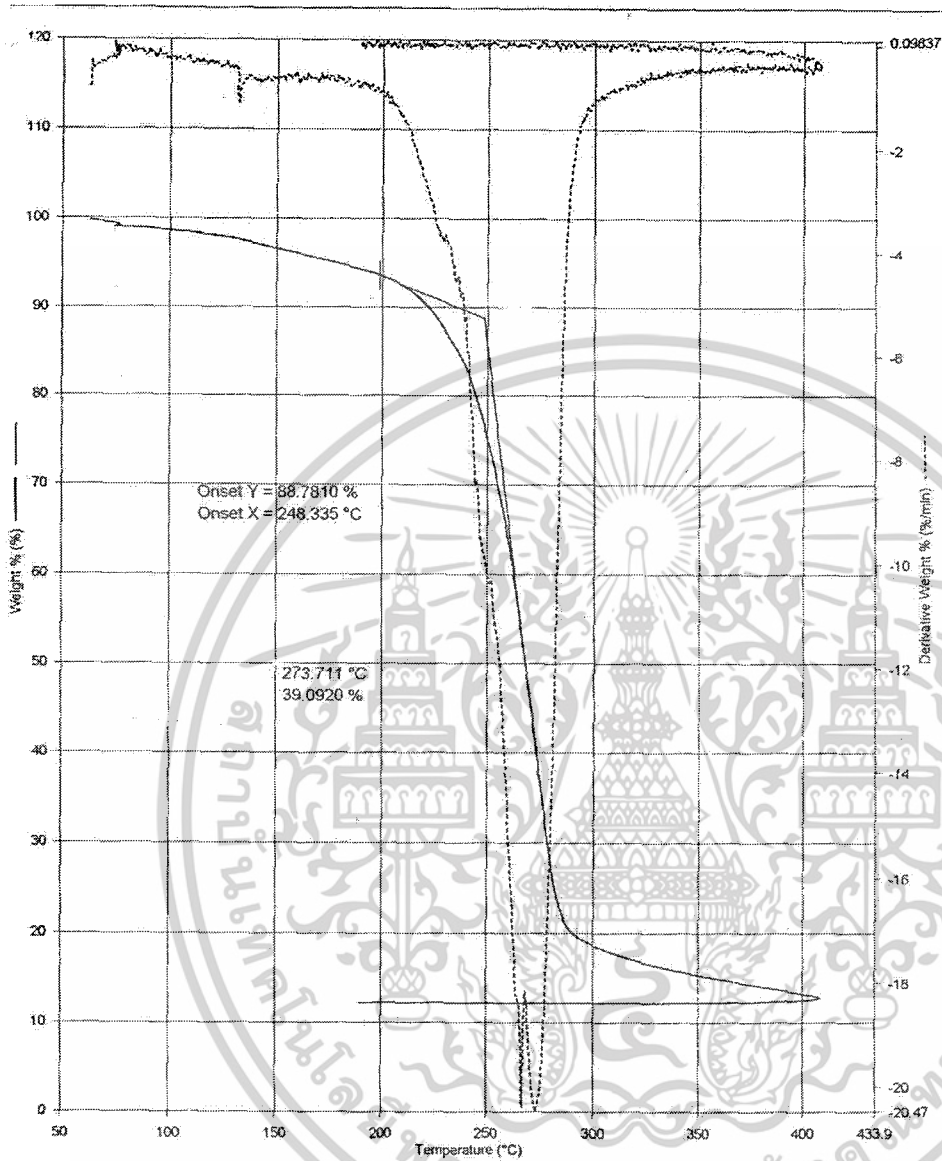
รูปที่ ค.3 แป้งมันสำปะหลัง 50%กลีเซอรอล 33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



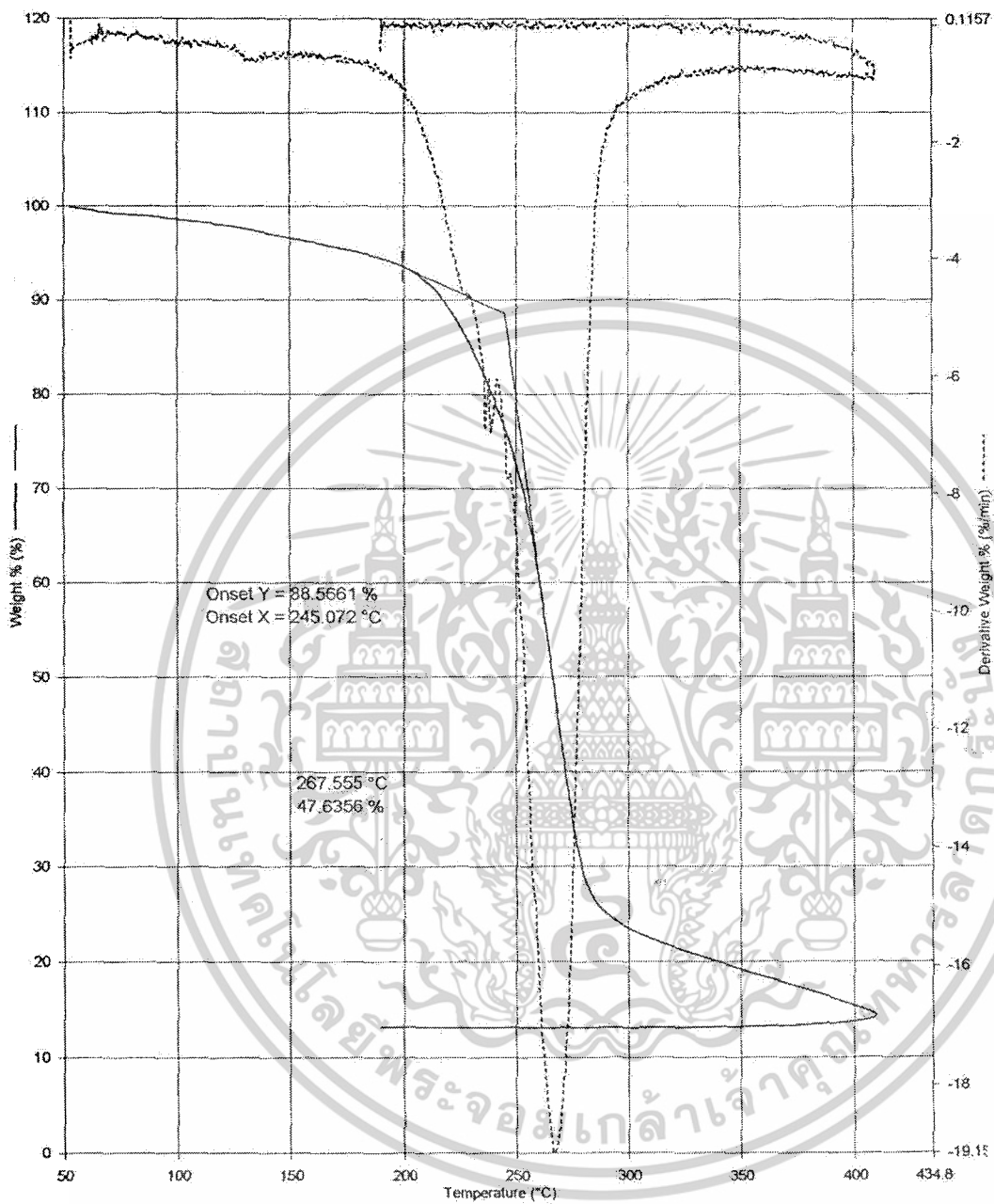
รูปที่ ค.4 แป้งข้าวเหนียว 100 % กลีเซอรอล 33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



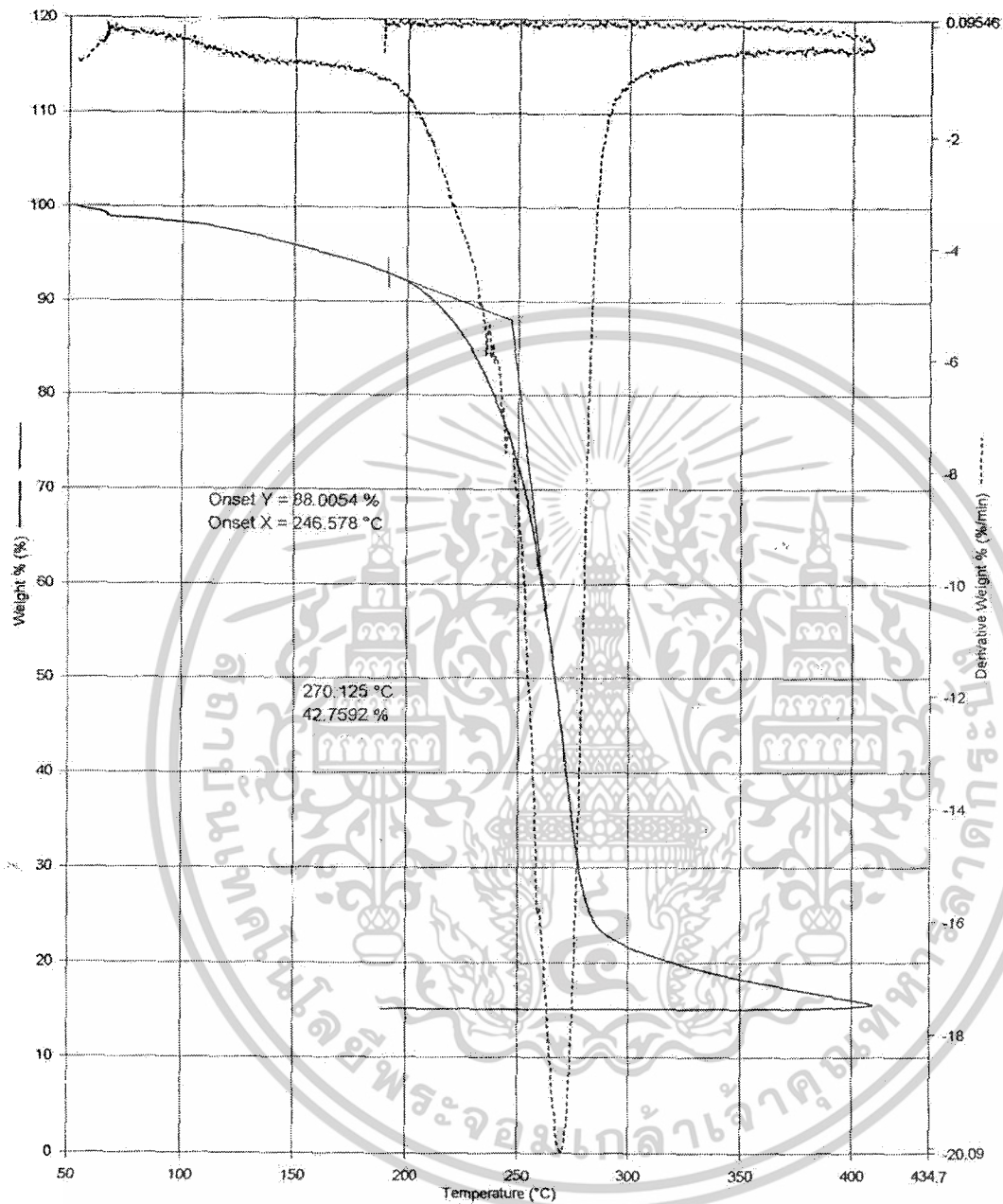
รูปที่ ค.5 แป้งมันสำปะหลัง 100 % กัดเซาะลด 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



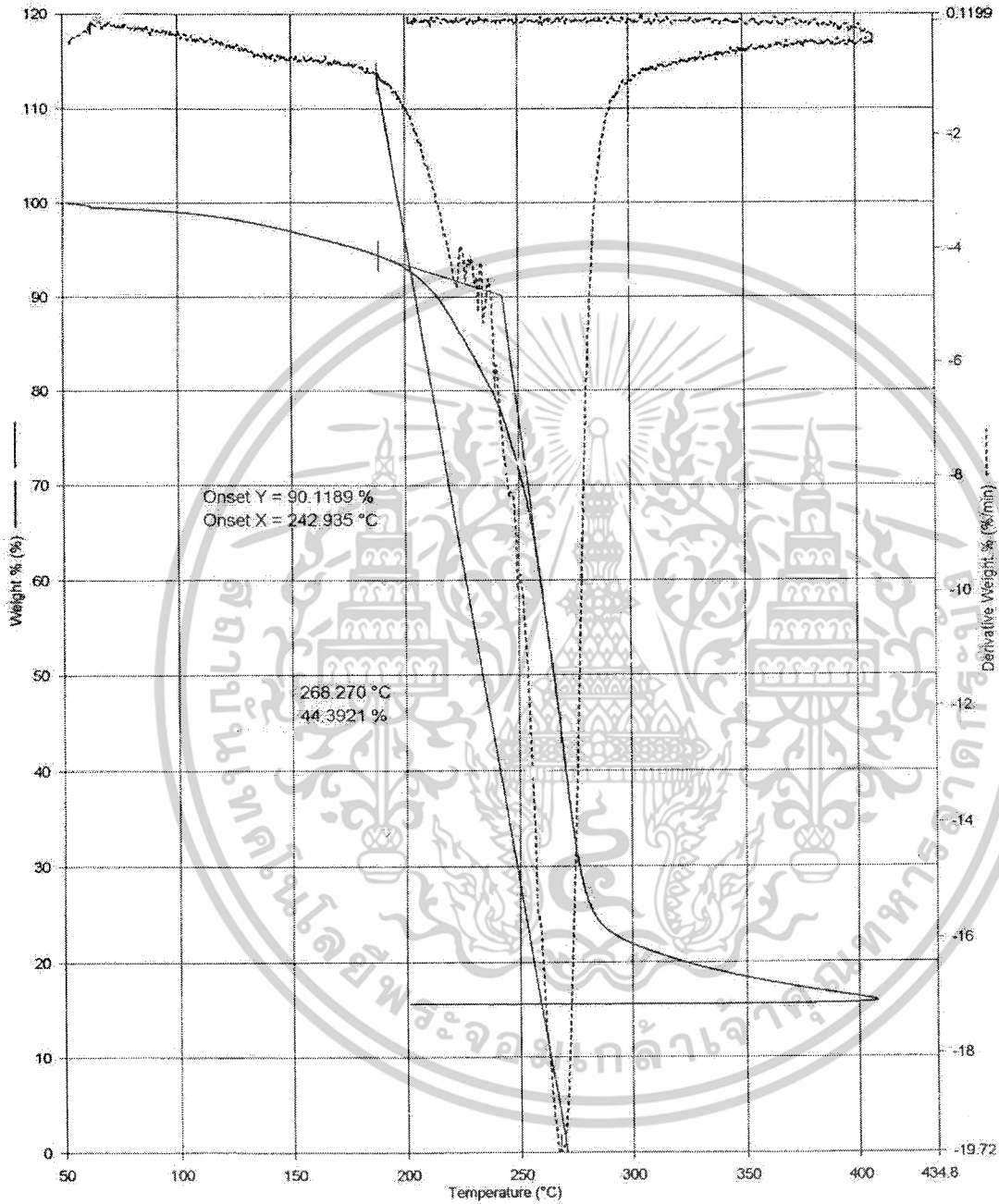
รูปที่ ค.6 แป้งมันสำปะหลัง 90% กลีเซอรอล 25 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 แบ่งมันสำปะหลัง 80 % กลีเซอรอล 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.8 แป้งข้าวเหนียว 100% กลีเซอรอล 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้