

การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วม  
แบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ( II )

A Study of Processing Technique of Cassava Starch  
Graft Copolymer ( II )



นางสาวธนอมลาภ เต็มพงศ์พอลิจิต  
นายพรศักดิ์ เลอศักดิ์ธนากร

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 33488  
วัน, เดือน, ปี..... 13 ส.ค. 2542

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2541

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วม  
แบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ( II )



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2541  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A Study of Processing Technique of Cassava Starch  
Graft Copolymer ( II )**



Miss Tanomlarp Tempongporjit

Mr. Pornsak Lersaktanakon

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

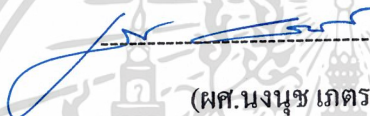
Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 1998 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง  
มันสำปะหลัง(II)  
นักศึกษา นางสาวณอมลภก เต็มพงศ์พวจิตร รหัส 38054222  
นายพรศักดิ์ เลอศักดิ์ธนากร รหัส 38054237  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
หัวหน้าภาควิชา  
(ผศ.นงนุช เกตรานุกุลวรณ์)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
ประธานกรรมการ  
(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

  
กรรมการ  
(ดร.ต๋องจิตต์ คิฉชอบ)

  
กรรมการ  
(ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (II)
นักศึกษา	นางสาวณอมลภ เต็มพงษ์พิจิต นายพรศักดิ์ เลอศักดิ์ชนากร
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ	ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสูตร และสภาวะที่เหมาะสม ลำดับการผสมสูตรและกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง กับสไตรีน และบิวทิลอะคริเลต เพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติก โดยเตรียมแม่พิมพ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา นำแม่พิมพ์ที่ได้ไปผสมสูตรกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเอทิลีน ไวนิลเอซีเตตที่มีปริมาณ ไวนิลเอซีเตต 18 เปอร์เซ็นต์

พบว่าสูตรที่เหมาะสมคือ ใช้แม่พิมพ์ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความชื้นของแม่พิมพ์ไม่เกิน 1.66 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมกรดสเตียริก 3.1 ส่วน ซิงค์ออกไซด์ 2.2 ส่วน สารให้ฟอง 2.8 ส่วน ไดคิวทิลเปอร์ออกไซด์ 0.8 ส่วน ขี้ผึ้งพอลิเอทิลีน 2 ส่วนต่อร้อยละของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ลำดับที่เหมาะสมในการผสมสูตรด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งมีดังนี้ ที่ 0 นาทีใส่แม่พิมพ์ ที่ 4 นาทีเติมพอลิเอทิลีน เอทิลีน ไวนิลเอซีเตต กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์ และขี้ผึ้งพอลิเอทิลีน ที่ 8 นาทีเติมสารให้ฟองและไดคิวทิลเปอร์ออกไซด์และที่ 12 นาทีนำแม่พิมพ์ผสมสูตรที่ได้รีดออกเป็นแผ่นแล้วนำมาอัดขึ้นรูปรีออน สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปรีออนคือ ใช้ความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และเวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนเป็น 7 นาทีสำหรับแม่พิมพ์ขนาด 12×18×0.5 เซนติเมตร และเป็น 18 นาทีสำหรับแม่พิมพ์ขนาด 18×28×1.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** A Study of Processing Technique Of Cassava Starch Graft Copolymer (II)

**Name** Miss Tanomlarp Tempongporjit  
Mr. Pornsak Lersaktanakon

**Special Project Advisors** Assist.Prof.Dr.Niphon Wongwisetsirikun

**Department** Chemistry

**Academic Year** 1998

### Abstract

This special project aims to study the optimum formulation and condition and sequences of mixing and compression process of cassava starch grafted copolymer with styrene and butyl acrylate to produce plastic foam. The grafted starch was prepared by emulsion polymerization with potassium persulfate as an initiator. The grafted starch was mixed with low density polyethylene and ethylene vinyl acetate which has the amount of vinyl acetate 18 percent

The results showed that the optimum formulation was as follows : the amount of grafted starch was not more than 35 phr and starch's moisture was not exceed 1.66 percent with addition of stearic acid 3.1 phr, zinc oxide 2.2 phr, blowing agents 2.8 phr, dicumyl peroxide 0.8 phr and polyethylene wax 2 phr , respectively. The mixing sequences in two-rolls-mill were as follows : added grafted starch for the beginning , added polyethylene , ethylene vinyl acetate , stearic acid , zinc oxide and polyethylene waxes at 4 minutes , then added blowing agent and dicumyl peroxide at 8 minutes and finally removed the compounding from two rolls mill at 12 minutes. The optimum conditions of hot compression molding were used pressure at  $150 \text{ kg/cm}^2$  , temperature at 160 degree celcius and time for hot compression was 7 minutes for mold size of 12X18X0.5 centimeters and 18 minutes for mold size of 18X28X1.5 centimeters , respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำ จากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ดร.ต้องจิตต์ คิทธอบ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย ที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณวิกิจ เสรีชัยพร คุณนิวัช พรชั้น และพนักงานบริษัทแกรนด์สยามฟู้ดแวย์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวณอมลภ เต็มพงศ์พิจิต

นายพรศักดิ์ เลอศักดิ์ธนากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อที่ใช้	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ที่มาของโครงการพิเศษ	2
1.3 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 แป้ง	3
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง	3
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง	3
2.1.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	4
2.1.4 การเกิดเป็นเจลของแป้ง	6
2.2 พลาสติก	8
2.2.1 เสถียรภาพของพลาสติก	8
2.2.2 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้	8
2.2.3 การสลายตัวของพลาสติกทางชีวภาพ	10
2.3 ปฏิริยาการกราฟท์โคพอลิเมอร์บนแป้ง	10
2.4 โฟม	12
2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโฟม	12
2.4.2 โฟมพอลิไอเลฟิน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	แผนการดำเนินการ	14
3.1	แผนการดำเนินการ	14
3.2	สารเคมีและการเตรียมสารเคมี	14
3.2.1	สารเคมี	14
3.2.2	การเตรียมสารเคมี	15
3.3	เครื่องมือ	15
3.4	วิธีทดลอง	16
บทที่ 4	ผลการทดลอง	27
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	48
5.1	สรุปผลการทดลอง	48
5.2	ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง		50
ภาคผนวก		51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์	18
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของขนาดแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน	19
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	20
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคคิวมิลเปอร์ออกไซด์	22
ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของสารช่วยผสม	23
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงสูตรผสมต่างๆ ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออนเป็นโฟม	24
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และค่า % Conversion ที่ได้	27
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงอัตราส่วนพอลิเมอร์และสารเคมีที่ใช้ในสูตรผสมต่าง ๆ	30
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการอัดขึ้นรูปของสูตรผสมต่าง ๆ	30
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงลักษณะของโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนต่างๆกัน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร	32
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงลักษณะของโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนต่างๆกัน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร	32
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลของความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีต่อลักษณะของโฟมที่ได้	33
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลของลำดับในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่มีต่อลักษณะของโฟม	34
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคคิวมิลเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อลักษณะของโฟม	35
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลของสารช่วยผสมที่มีต่อลักษณะของโฟม	35
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงสูตรผสมต่างๆ ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออนโฟม	36
ตารางที่ 4.11 ตารางสรุปสมบัติต่างๆของโฟมที่ได้	47
ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงในการยึดติดของโฟมที่ได้	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสูตร โครงสร้างของอะไมโลส	4
รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน ( Retrogradation ) ของอะไมโลส	5
รูปที่ 2.3 แสดงสูตร โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	5
รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่ได้จากเครื่องคัพเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	28
รูปที่ 4.2 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่ได้จากเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	37
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแบบชอร์ซีของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	38
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	39
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	40
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศาของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	41
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	42
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	43
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	44
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความทนทานเนื่องจากการขัดถูของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ	45
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการยึดติดด้วยกาวเทอร์โมพลาสติก และกาวเทอร์โมเซต	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อที่ใช้

คำย่อ	ความหมาย
AZ	สารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมด์ ( Azodicarbonamide )
DCP	สารเชื่อมโยงไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ ( Dicumyl Peroxide )
DOP	พลาสติกไซเซออร์ไดออกทิลพทาเลต ( Dioctyl Pthalate )
EPO	น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดส์ ( Epoxidised Soy Bean Oil )
EVA 18%	เอทิลีนไวนิลเอซีเตต ที่มีปริมาณไวนิลเอซีเตต 18 เปอร์เซ็นต์
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ( Low Density Polyethylene )
PE Wax	ขี้ผึ้งพอลิเอทิลีน
ZnO	ซิงค์ออกไซด์ ( Zinc Oxide )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

พลาสติกนับว่าเป็นวัสดุที่มีความสำคัญทั้งในชีวิตประจำวัน และในอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง ในชีวิตประจำวันเราจะพบในรูปของภาชนะ เครื่องใช้ไม้สอย หีบห่อ บรรจุภัณฑ์ต่างๆ ในด้านอุตสาหกรรมนั้นพลาสติกได้แทรกตัวเข้าแทนที่โลหะและไม้มากขึ้นทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลทั่วไป การที่พลาสติกมีปริมาณการใช้ที่มากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกขึ้นตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัญหาขยะจากโฟมนับเป็นอีกปัญหาหนึ่ง ที่ได้สร้างความยากลำบากในการกำจัดเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากโฟมมีน้ำหนักเบา แต่มีปริมาณมาก ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ และกำจัดได้ยุ่งยากกว่าขยะพลาสติกประเภทอื่นๆ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้ตระหนักถึงปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น จึงได้มีการรณรงค์กันอย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านการลดปริมาณการใช้พลาสติกโดยไม่จำเป็น การนำกลับมาใช้ใหม่ และการใช้พลาสติกที่มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพและทางแสง

การนำกลับมาใช้ใหม่เป็นแนวทางที่ดีแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณขยะพลาสติก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นปฐมภูมิ (Primary Recycling)
2. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นทุติยภูมิ (Secondary Recycling)
3. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นตติยภูมิ (Tertiary Recycling)
4. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นจตุรภูมิ (Quarternary Recycling)

การใช้พลาสติกที่มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพก็เป็นอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกได้ โดยพลาสติกที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาตินั้นอาจทำได้โดยการทำให้เป็น

1. พลาสติกที่สลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics)
2. พลาสติกที่สลายตัวได้แสง (Photodegradable Plastics)
3. พลาสติกที่สลายตัวได้วิธีการอื่นๆ เช่น พลาสติกละลายน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ที่มาของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีมันสำปะหลังเป็นผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณที่สูงมาก ทำให้ราคาของมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำ ดังนั้นถ้ามีอุตสาหกรรมในประเทศที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะสามารถเพิ่มค่าให้กับมันสำปะหลัง และเนื่องจากมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ จึงเป็นการช่วยลดปริมาณขยะได้อีกด้วย

การทำกราฟท์โคพอลิเมอร์บนแป้งมันสำปะหลัง เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูปในทางอุตสาหกรรม เป็นแนวทางที่ดีทางหนึ่งซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งมันสำปะหลังและช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น ดังนั้นทางภาควิชาเคมีจึงได้ริเริ่มโครงการพิเศษ “ การศึกษาถึงกระบวนการขึ้นรูปของกราฟท์โคพอลิเมอร์บนแป้งมันสำปะหลัง ” ขึ้น โดยคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านนี้ต่อไป

## 1.3 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์บนแป้งมันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษาสมบัติของกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ เช่น สมบัติทางความร้อน
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปทางอุตสาหกรรมของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยนี้คือ สังเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์แล้วนำไปผสมสูตรขึ้นรูปเป็นโฟม โดยจะศึกษาถึงอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้ในการขึ้นรูปเป็นโฟม แล้วเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของโฟมที่ผลิตได้กับโฟมที่มีการใช้ทั่วไป

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากขยะพลาสติก
2. นำแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตได้เป็นจำนวนมากในประเทศและมีราคาถูก มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 แป้ง

##### 2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบไปด้วย กลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด โดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และรากพืช เป็นต้น

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปคือ แยกเมล็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆเช่น เส้นใย โปรตีน และเกลือแร่ จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วอบให้แห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายเช่น สารยัดคืด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร และยารักษาโรค เป็นต้น ประโยชน์ของแป้งเกิดจากคุณสมบัติความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยัดคืด และการเกิดฟิล์ม คุณสมบัติสามารถควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายและราคาถูก

##### 2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

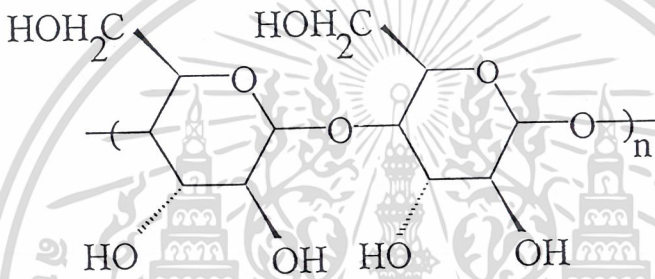
แป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 ( $C_6H_{10}O_5$ ) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วย แอนไฮโดรกลูโคส (AGU) หรือหน่วยกลูโคไพราโนซิล (Glucopyranosyl Unit) ซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์เชื่อมโยระหว่างกลูโคสแต่ละหน่วย และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น เนื่องจากแป้งที่พบอยู่ในต้นพืช ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลแป้งจึงเกี่ยวกับเอนไซม์ หน่วยกลูโคสจะต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสถัดไป เกิดเป็นพอลิเมอร์สายยาวขึ้น พันธะเชื่อมโยระหว่างหน่วยกลูโคสนี้เรียกว่า “พันธะกลูโคไซด์” (Glucoside Bond)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

1. อะไมโลส ( Amylose ) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายตรง ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 Glycosidic Linkage ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสจะขึ้นกับแหล่งที่ให้แป้งและสถานะของกระบวนการที่แยก แป้งอะไมโลสประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200 – 2000 หน่วย โดยแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของอะไมโลส

นอกจากนี้อะไมโลสอาจจะจัดตัวอยู่ในรูปที่เป็นเกลียวได้ โดยจะประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 6 หน่วยย่อยต่อหนึ่งเกลียว และแต่ละเกลียวจะเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

เนื่องจากอะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมาก ทำให้พอลิเมอร์มีคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเพราะโมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกัน และใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างดาข่ายขึ้น ส่งผลให้สมบัติไฮโดรฟิลิกลดน้อยลงและสารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

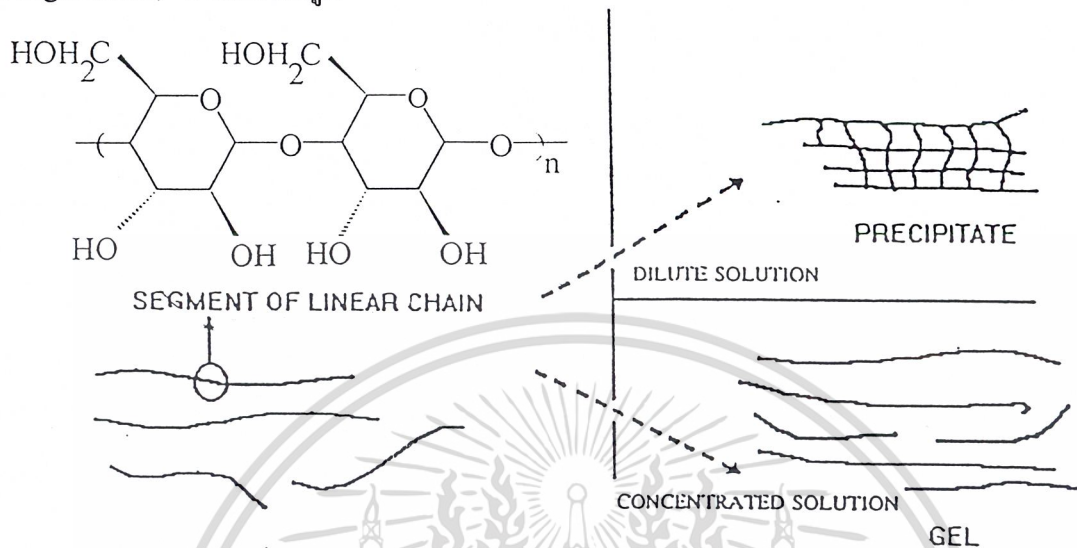
ในสารละลายเจือจาง จะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูงๆ ผลของความเกาะจะขัดขวางการรวมตัว แต่จะมีการจัดเรียงตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

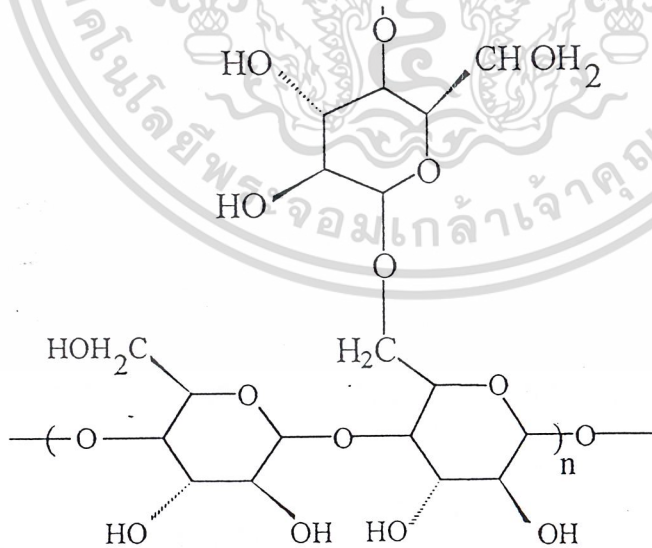
ปรากฏการณ์การยึดติดกันในระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสเรียกว่า “ รีโทรเกรเดชัน ”

( Retrogradation ) ซึ่งแสดงคังรูป



รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน ( Retrogradation ) ของอะไมโลส

2. อะไมโลเพกติน ( Amylopectin ) เป็นพอลิเมอร์โซ่สาขาประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 Glycosidic Linkage และพันธะ  $\alpha$ -1,6 Glycosidic Linkage แต่ละโซ่สาขาในโมเลกุลอะไมโลเพกตินมีหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20 - 30 หน่วย โดยโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพกตินจะมีประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของแป้ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้ คือ



รูปที่ 2.3 แสดงสูตรโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส และการที่มีโซ่สาขาของโมเลกุลอะไมโลเพกติน ทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการที่สายโซ่จะเกิดไมวากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียงตัวให้ใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน ด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส फिल्मที่ได้จากอะไมโลเพกตินไม่มีความแข็งแรง และไม่สามารถโค้งงอได้เหมือนฟิล์มที่ได้จากอะไมโลส

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกตินและอะไมโลสอยู่ขนานติดกัน จะมีโอกาสที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงผลึก ซึ่งจะเป็นตัวยึดให้แป้งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติบายฟริงเจนซ์ ( Birefringence ) ซึ่งสามารถแสดงให้ทราบได้โดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส ( Polarization Cross )

ส่วนของแป้งที่เอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก็คือ โครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรง จุลินทรีย์จะย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เบตาอะไมเลส (  $\beta$ -Amylase ) ทำลายเฉพาะพันธะ  $\alpha$ -1,4 Glycosidic Linkage เท่านั้น ส่วนพันธะ  $\alpha$ -1,6 Glycosidic Linkage ไม่สามารถทำลายได้ ดังนั้นการย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลเพกติน จะให้เป็นสายสั้นของแป้งที่เรียกว่า เดกซ์ทริน ( Dextrin ) เท่านั้น

## 2.1.4 การเกิดเป็นเจลของแป้ง

### 2.1.4.1 การบวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและความเข้มข้น โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่ยึดติดเม็ดแป้งไว้ด้วยกันจะอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งก็จะเริ่มบวมตัวอย่างรวดเร็ว

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งจะอมน้ำไว้และบวมตัวหลายเท่าจากปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนและปั่นกวนส่วนผสมไปด้วยพร้อมกัน จะทำให้ส่วนผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดมีค่ามากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและอมน้ำไว้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นจะเกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ความหนืดก็จะลดลงขณะที่เม็ดแป้งที่เป็นเจลแตกออกจากกัน

เม็ดแป้งประกอบด้วยส่วนผลึก ( Crystalline ) และส่วนอสัณฐาน ( Amorphous ) ซึ่งในระหว่างการบวมตัวที่สามารถผันกลับได้นั้น น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและทำให้เกิดการบวมตัวที่บริเวณอสัณฐานนั้น โดยส่วนที่เป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อทำให้เม็ดแป้งแห้ง น้ำที่แทรกเข้าไปในส่วนที่เป็น อสัณฐานจะถูกกำจัดออกโดยไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติของเม็ดแป้ง แต่เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิของการเกิดเจล น้ำก็จะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียรูปแบบของบายฟริงเจนซ์หมายถึง องค์ประกอบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง การสังเกตจากภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์สามารถใช้กำหนดคุณสมบัติในการเกิดเป็นเจลได้

#### 2.1.4.2 การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของแป้งก็คือ การเกิดเป็นลักษณะแป็งเปียกที่หนืดเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของความหนืดต่อความร้อนในขณะที่ให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เป็นค่าที่ใช้ในการทำนายสมบัติของแป้ง

การทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า Pasting เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น เม็ดแป้งเกิดการพองตัวกระทบซึ่งกันและกัน ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤติ จากนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเริ่มอ่อนตัวลงและความหนืดจะลดลง ในกรณีที่เกิดการรวมตัวกันของอะไมโลส จะทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

การบวมตัวในช่วงเริ่มต้นในระหว่างการเกิดเป็นเจล ในส่วนที่เป็นออสติฐานของเม็ดแป้ง จะเกิดการแตกออกของพันธะไฮโดรเจนที่อ่อนตัวและเกิดการแทรกตัวของน้ำเข้าไปในโมเลกุล ขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นการแทรกตัวของน้ำก็จะเกิดมากขึ้น และพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกก็จะเริ่มแตกออก เม็ดแป้งบวมตัวขึ้นโดยโมเลกุลอะไมโลเพกตินถูกแทรกด้วยน้ำ แต่โครงสร้างนี้ยังคงรูปอยู่ได้เนื่องจากมีบางส่วนไม่ถูกแทรกด้วยน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ยึดโครงสร้างไว้จะแสดงโครงสร้างที่ทำให้เม็ดแป้งบวมตัวและมีคุณสมบัติยึดหยุ่นได้ ซึ่งสามารถกำหนดค่าความหนืดของแป้งที่เกิดเป็นเจลเมื่อให้ความร้อน เมื่ออะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างมีมากทำให้ปริมาตรที่บวมตัวของเม็ดแป้งก่อนแตกออกจากกันมีค่ามากขึ้น และความหนืดมีค่าสูงขึ้น

#### 2.1.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อน และสารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้แป้งที่มี คุณสมบัติตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วของการปั่น pH และชนิดของสารตัวเติมหรือสิ่งเจือปนอื่นๆ

จุดประสงค์ของการให้ความร้อนคือ ทำให้เม็ดแป้งแตกออกทำให้น้ำเข้าไปแทรกตัวได้ เมื่อความเข้มข้นของแป้งมีค่าสูงพอที่จะยับยั้งการคืบหน้าอย่างสมบูรณ์ของเม็ดแป้งแล้วสมบัติการไหลของแป้งที่เป็นเจลจะแตกต่างไปจากสมบัติของแป้งที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ที่ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤต เม็ดแป้งจะเกิดการแตกออกได้ง่ายด้วยแรงเฉือน ยิ่งความเข้มข้นสูงความหนืดก็ยิ่งมาก และจะเกิดเป็นเจลได้มาก

การปั่นที่มีประสิทธิภาพจะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพและทั่วถึงกระบวนการให้ความร้อนก็เกิดเร็วขึ้นทำให้เม็ดแป้งแตกออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความหนืดลดต่ำลงเร็วขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งส่วนใหญ่เกิดเป็นเจลได้เร็วที่ค่า pH สูงๆ และที่ค่า pH ต่ำๆ ในช่วง pH 4 – 7 การเกิดขึ้นเป็นเจลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และอัตราการแตกสลายของโมเลกุลก็จะลดลง

## 2.2 พลาสติก

### 2.2.1 เสถียรภาพของพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เพราะพลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน แต่ก็มีปัญหาคือ เราจะมีอายุยืนยาวในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลายๆสาเหตุ แต่ที่น่าสนใจและมีการศึกษาอยู่มากคือ การสลายตัวอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา

พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติทุกชนิดสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถในการถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลifatikพอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์ และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างของพอลิเมอร์ดังกล่าวเช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด ( Polyglycolic Acid ) พอลิคาร์โพรแลคโตน ( Polycaprolactone ) เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามทำการศึกษาว่า เหตุใดพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อดังนี้

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดยาวมากๆทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จากการค้นคว้าวิจัยพบว่าพอลิเอทิลีนจะสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ( Hydrophobic ) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง โดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึม ( Metabolism ) ของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จึงทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกได้น้อยลง และการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลงจึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้สามารถจำแนกได้ดังนี้

### 2.2.2.1 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติก อันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นต้น

การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกนี้ สามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวทางคือ

1. การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ( Modified Natural Polymers ) เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ( Chemical Modification ) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ และนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายตัวเช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก ( Block Copolymer ) และพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ ( Graft Copolymer ) ของอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งก็เป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น

นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ที่ใช้ทั่วไปเช่น เอทิลีนหรือสไตรีน กับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วเช่น อะคริลิกแอซิด อะคริลาไมด์ หรือ ไวนิลอะซิเตต จะทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติในการย่อยสลายดีขึ้น

3. การศึกษานำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ วิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทำการศึกษากันมากได้แก่ แป้ง

*การเติมแป้งเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติก โดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่น*

พลาสติกประเภทนี้จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายในส่วนที่เป็นแป้ง ทำให้เหลือโครงสร้างพลาสติกในรูปโครงสร้างแบบรูพรุน ( Porous Structure ) ต่อมาก็คือกลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเติมแป้งผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท

เช่น กรดไขมัน ( Fatty Acid ) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน ( Fatty Acid Ester ) เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้จะต้องเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งตัวเช่น อัลคีนิลเอสเทอร์ ( Alkenyl Ester ) หรือไขมันธรรมชาติ ( Natural Fats ) พลาสติกชนิดนี้มีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแป้งจนหมด เหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ง่ายต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นตอนที่สองเกลือของโลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วยตัวเอง ( Autooxidation ) โดยจะเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ และเปอร์ออกไซด์ก็จะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ต่อไป และเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายต่อไปได้

#### 2.2.2.2 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล ( Carbonyl Group ) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการสลายตัว

#### 2.2.3 การสลายตัวของพลาสติกทางชีวภาพ

เกิดการสลายตัวได้ใน 3 ลักษณะ คือ

1. พลาสติกไม่ได้ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งประเภทอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง ( Autooxidation ) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อไป

3. การเสื่อมสลายตัวเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรงเช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรทวารเรอเทท เป็นต้น

#### 2.3 ปฏิกิริยาการกราฟท์โคพอลิเมอร์บนแป้ง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง สามารถสังเคราะห์ได้โดยให้แป้งทำปฏิกิริยาพอลิเมโรซิเดชันแบบต่อกับไวนิลมอนอเมอร์ โดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นบนโมเลกุลของแป้งนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดอนุมูลอิสระจะมีระบบที่ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา 2 ประเภท คือ การกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการฉายรังสีเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเกิดเป็นไอออนจากการสลายพันธะเคมีก่อน ซึ่งไอออนเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว

การกระตุ้นทางเคมี เป็นการใส่สารเคมีเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ตัวริเริ่มที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

กลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การแตกตัวของตัวริเริ่ม (Initiator Dissociation)



2. ปฏิกิริยาริเริ่ม (Initiation Reaction)



เนื่องจากมีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ ดังนั้นซัลเฟตไอออนอนุมูลอิสระ ( $\text{SO}_4^{\cdot -}$ ) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้ไฮดรอกซีอนุมูลอิสระซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์คังสมการ



3. ปฏิกิริยาการเจริญเติบโต (Propagation Reaction)



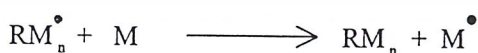
4. ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด (Termination)

4.1 ปฏิกิริยาการรวมตัว (Combination)



4.2 ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระ (Transfer Reaction)

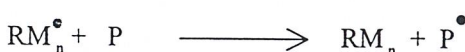
ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่มอนอเมอร์ (Transfer to Monomer)



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวทำละลาย (Transfer to Solvent)



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่พอลิเมอร์ (Transfer to Polymer)



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวริเริ่ม (Transfer to Initiator)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 โฟม

### 2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโฟม

ปัจจุบันโฟมมีปริมาณการใช้ที่สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากโฟมมีสมบัติที่สำคัญคือ มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา เป็นฉนวนความร้อนที่ดี แปรรูปง่าย ราคาถูก และทำรูปทรงต่างๆ ได้มากด้วยเครื่องมือง่ายๆ

วัตถุดิบเริ่มต้นที่สำคัญสำหรับการผลิตโฟมนั้นมี 3 ชนิด คือ พอลิเมอร์ สารให้ฟอง (Blowing Agent) และสารเติมแต่งอื่นๆ

พอลิเมอร์ที่ใช้นั้นยังสามารถจำแนกออกได้เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) โฟมเทอร์โมเซตนั้นจะต่างจากโฟมเทอร์โมพลาสติกตรงที่เกิดการเชื่อมโยงในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเป็นโฟม

สารให้ฟองแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. สารให้ฟองทางฟิสิกส์ (Physical Blowing Agent) สารกลุ่มนี้จะมีจุดเดือดต่ำ สลายตัวให้ก๊าซในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้เช่น บิวเทน เพนเทน ไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน เป็นต้น

2. สารให้ฟองทางเคมี (Chemical Blowing Agent) สารกลุ่มนี้จะมีลักษณะเป็นของแข็งที่จะสลายตัวให้ก๊าซที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของสารให้ฟองทางเคมีนั้นจะต้องเหมาะสมกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูป สารให้ฟองทางเคมีที่ใช้มากที่สุดคือ สารให้ฟอง AZ (Azodicarbonamide) ซึ่งจะให้ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง เราสามารถลดอุณหภูมิได้โดยเติมสารเติมแต่งเช่น ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)

สารเติมแต่ง คือ สารที่ช่วยในเรื่องกระบวนการแปรรูป หรือช่วยเพิ่มคุณสมบัติของโฟมที่ได้ เช่น

- ซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริก ช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของ AZ
- ซีฟี่งพอลิเอทิลีนช่วยลดเวลาในการผสมสูตร
- สารเชื่อมโยงไดควิมิตเปอร์ออกไซด์ (DCP) เป็นสารเชื่อมโยง (Curing Agent) ช่วยให้โฟมที่ได้จากการแปรรูป ยึดติดกันเป็นแผ่นโฟมได้ดีขึ้น โฟมไม่ยุบตัว

กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปเป็นโฟมนั้นมีหลายวิธี เช่น กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) กระบวนการอัดรีด (Extrusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 โฟมพอลิโอเลฟิน ( Polyolefin Foam )

โฟมพอลิโอเลฟินแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดความหนาแน่นต่ำ ( Low Density ) ประมาณ  $25 - 250 \text{ kg/m}^3$  และชนิดความหนาแน่นสูง ( High Density ) ประมาณ  $250 - 700 \text{ kg/m}^3$

โฟมพอลิโอเลฟินส่วนใหญ่จะทำจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ( Low Density Polyethylene, LDPE ) อาจมีการใช้โคพอลิเมอร์เช่น เอทิลีนไวนิลอะซิเตต ( Ethylene Vinyl Acetate , EVA ) เพื่อเพิ่มสมบัติของโฟม ส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ( High Density Polyethylene, HDPE ) นั้นไม่นิยมใช้ นอกจากนี้โฟมอาจจะผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ( Linear Low Density Polyethylene , LLDPE ) ก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### แผนการดำเนินการ

#### 3.1 แผนการดำเนินการ

1. สังเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์
2. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ เช่น สมบัติทางความร้อน
3. ศึกษาผลของอัตราส่วนสูตรผสมและสถานะต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออน
4. ผสมสูตรแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์โดยใช้สถานะที่เหมาะสม แล้วทำการอัดขึ้นรูปรีออนเป็นโฟม
5. ศึกษาสมบัติของโฟมพลาสติกที่ผลิตได้เทียบกับโฟมที่ใช้ทั่วไป

#### 3.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

##### 3.2.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลัง
2. สไตรีน
3. บิวทิลอะครีเลต
4. พรอพิลีนไกลคอล
5. โซเดียมอีดีทีเอ ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )
6. กรดไนตริก
7. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
8. NP40
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์
10. EVA 18 % เกรด POLENE N 8038
11. LDPE เกรด LD 1905 F
12. ซิงค์ออกไซด์ เกรด W.S.
13. กรดสเตียริก
14. สารให้ฟอง AZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ไคควิมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP)

16. ซึ่ฟ้งพอลิเอทิลีน

### 3.2.2 การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมอิดิทีเอ เข้มข้น 0.54 โมลาร์

ชั่งเกลือโซเดียมของกรดเอทิลีนไดเอมีนเตรอะอะซิดิก 2 โมเลกุลของน้ำ จำนวน 49.9 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นละลายของแข็งให้เป็นสารละลาย จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

2. การเตรียมกรดไนตริกเข้มข้น 1.0 นอร์มอล

ปีเปตกรดไนตริกเข้มข้น 70 % โดยน้ำหนักจำนวน 31.6 มิลลิลิตร เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำอยู่ประมาณ 300 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 27 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วละลายโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 1.0 นอร์มอล คนให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร แล้วเทเก็บไว้ในขวดสีชา

4. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น กวนให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร

### 3.3 เครื่องมือ

1. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบได้พร้อมใบพัดกวน

2. หม้อปฏิกริยาแบบสั้คอ

3. อ่างน้ำพร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

4. เทอร์โมมิเตอร์

5. ชุดให้ก๊าซไนโตรเจน

6. ชุดเครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่

7. หม้อปฏิกริยาขนาด 200 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารอู่ลุมิเนียมสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตู้อบร้อนแบบลมร้อน
10. เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)
11. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)
12. เครื่องวัดความชื้น
13. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill)
14. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression Molding)
15. เครื่องผ่าเนื้อโฟม
16. กล้องจุลทรรศน์
17. เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์ซี (Shore C)
18. เครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ
19. เครื่องวัด ค่าความทนทานต่อการขีดถู
20. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง

### 3.4 วิธีทดลอง

#### 1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (Batch เล็ก)

เติมแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ลงในหม้อปฏิริยาขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 1800 มิลลิลิตร ต่อท่อก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการใช้ 1 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจนกระทั่งได้แป้งที่เป็นเจลใส ลดอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส เติมนไตรีน 168.5 กรัม บิวทิลอะคริเลต 29.63 กรัม NP40 จำนวน 18.75 กรัม เติมนสารละลายโคโซเดียมอีทีทีเอ 37.5 มิลลิลิตร โพรพิลีนไกลคอล 1.5 มิลลิลิตร ลงในหม้อปฏิริยา ขณะเติมน้ำกลั่นด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนต่ออีก 1 - 2 ชั่วโมง เพื่อไล่มอนอเมอร์ที่ตกค้างออก ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำไปอบให้แห้ง

#### 2. การวิเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

##### 2.1 การหาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% Solid Content)

ชั่งพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่ทำการสังเคราะห์เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ปริมาณ 1 กรัม นำไปอบที่ 65 องศาเซลเซียส ออบจนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักซ้ำจนด้านการคำนวณน้ำหนักแห้ง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จดบันทึกน้ำหนักก่อนอบและหลังอบเพื่อนำไปคำนวณหา % Solid Content

$$\% \text{ Solid Content} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100$$

## 2.2 การหาค่า % Conversion

น้ำหนักทั้งหมดของสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ = 2369.53 กรัม

น้ำหนักของแข็งที่ 0 % Conversion = 182.24 กรัม

น้ำหนักของแข็งที่ 100 % Conversion = 380.37 กรัม

$$\% \text{ Solid Content ที่ } 0 \% \text{ Conversion} = \frac{182.24}{2369.53} \times 100 = 7.691 \%$$

$$\% \text{ Solid Content ที่ } 100 \% \text{ Conversion} = \frac{380.37}{2369.53} \times 100 = 16.053 \%$$

$$\% \text{ Conversion} = \frac{\% \text{ Solid Content ที่หาได้} - 7.691}{8.362} \times 100$$

## 2.3 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( Glass transition temperature, $T_g$ )

นำพอลิเมอร์รวมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องดีพีเพอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ( Differential Scanning Calorimeter ) ช่วงอุณหภูมิ 30 – 200 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

## 2.4 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

นำพอลิเมอร์รวมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ( FT-IR )

## 3. การสังเคราะห์พอลิเมอร์รวมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ( Batch ใหญ่ )

ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 แต่เพิ่มขนาดส่วนผสมทั้งหมดเป็น 30 เท่า โดยทำในหม้อปฏิกริยาขนาด 200 ลิตร แล้วหาค่า % Solid Content และ % Conversion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ศึกษาสูตรและสภาวะต่างๆ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออน

##### 4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ที่ใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์

สูตรที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
สารเคมี									
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	450 g	225 g	225 g	180 g	135 g	157.5 g	90 g	150 g	-
LDPE	-	225g	-	225 g	315 g	202.5 g	315 g	150 g	225 g
EVA 18%	-	-	225 g	45 g	-	90 g	45 g	150 g	225 g
กรดสเตียริก	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g
ZnO	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
AZ	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g
DCP	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

ขนาดของแม่พิมพ์ 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ศึกษาผลของขนาดของแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของขนาดแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน

สารเคมี	น้ำหนัก
แป้งกราฟท์ โคลพอลิเมอร์	1350 g
LDPE	1350 g
EVA 18%	1350 g
กรดสเตียริก	126 g
ZnO	90 g
AZ	117 g
DCP	40.5 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความเร็วของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์ โคลพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน สำหรับแม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร:

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 5 , 6 , 7 และ 8 นาที

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน สำหรับแม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร:

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 900 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ศึกษาผลของความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

สารเคมี	น้ำหนัก
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	150 g
LDPE	150 g
EVA 18%	150 g
กรดสเตียริก	14 g
ZnO	10 g
AZ	13 g
DCP	4.5 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 0.39 , 1.66 , 3.27 และ 6.44 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของลำดับในการผสมสูตรด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง  
ผสมสูตรตามตารางที่ 3.3 โดยใช้สภาวะดังนี้

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

แบบที่ 1:

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ , LDPE , EVA 18% ,

ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

แบบที่ 2:

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA-18% , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

แบบที่ 3:

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่ LDPE , EVA 18%

ที่ 4 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์, ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคคิวมิลเปอร์ออกไซด์

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคคิวมิลเปอร์ออกไซด์

สารเคมี	สูตรที่	1	2	3
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์		150 g	150 g	150 g
LDPE		150 g	150 g	150 g
EVA 18%		150 g	150 g	150 g
กรดสเตียริก		14 g	14 g	14 g
ZnO		10 g	10 g	10 g
AZ		13 g	13 g	13 g
DCP		2.25 g	4.5 g	6.75 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ศึกษาผลของสารช่วยผสม

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงอัตราส่วนสูตรผสมที่ใช้ในการศึกษาผลของสารช่วยผสม

สารเคมี \n สูตรที่	1	2	3	4
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	150 g	150 g	150 g	150 g
LDPE	150 g	150 g	150 g	150 g
EVA 18%	150 g	150 g	150 g	150 g
กรดสเตียริก	14 g	14 g	14 g	14 g
ZnO	10 g	10 g	10 g	10 g
AZ	13 g	13 g	13 g	13 g
DCP	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g
EPO	-	9 g	-	-
DOP	-	-	9 g	-
PE Wax	-	-	-	9 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO , กรดสเตียริก และสารช่วยผสม

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 100 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การอัดขึ้นรูปรีออนเป็นโฟม

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงสูตรผสมต่างๆ ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออนเป็นโฟม

สารเคมี \ สูตรที่	1	2	3	4
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	315 g	180g	300 g	-
LDPE	405 g	630 g	300 g	450 g
EVA 18%	180 g	90 g	300 g	450 g
กรดสเตียริก	28 g	28 g	28 g	28 g
ZnO	20 g	20 g	20 g	20 g
AZ	26 g	26 g	26 g	26 g
DCP	7.2 g	7.2 g	7.2 g	7.2 g
PE Wax	18 g	18 g	18 g	18 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO , กรดสเตียริก และ PE Wax

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร

น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 900 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 18 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. การทดสอบสมบัติต่างๆของโฟม

แผ่นโฟมที่ได้จากการอัดขึ้นรูปในข้อ 5 ให้ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ววัดหาค่าดังนี้

### 6.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion Rate)

วัดความกว้างของแผ่นโฟมที่ได้แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ดังนี้

$$\text{Expansion Rate (ด้านกว้าง)} = \frac{\text{ความกว้างของแผ่นโฟมที่วัดได้}}{\text{ความกว้างของขนาดแม่พิมพ์}}$$

### 6.2 การหาค่าความแข็งแบบชอร์ซี (Shore C)

นำแผ่นโฟมที่ได้มาตัดให้มีขนาดหน้าประมาณ 1.0 – 1.2 เซนติเมตร แล้วใช้เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์ซี วัดค่าโดยกดเครื่องให้ขนานกับผิวหน้าของวัตถุ ใช้แรงกดประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วอ่านค่าภายใน 2 – 3 วินาที ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกค่าสูงสุด-ต่ำสุดไว้

### 6.3 การหาค่าความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) และความยาวที่ได้หลังการยืด (% Elongation)

ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล บันทึกความหนาและความกว้างไว้ ปรับความเร็วอยู่ที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ดึงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงดึง แล้วบันทึกค่า

### 6.4 การหาค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดที่มุม 90 องศา (Tear Strength)

ตัดชิ้นงานเป็นรูปตัววี บันทึกความหนาของชิ้นงานไว้ ปรับความเร็วอยู่ที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ดึงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงดึง (แบบ Tear die C) แล้วบันทึกค่า

### 6.5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ตัดชิ้นงานขนาดประมาณ 2 x 2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ( $W_1$ ) ชั่งน้ำหนักของลูกตุ้มในน้ำ ( $W_2$ ) ชั่งน้ำหนักของลูกตุ้มและชิ้นงานในน้ำ ( $W_3$ )

$$\text{Specific Gravity} = W_1 / (W_1 + W_2 - W_3)$$

### 6.6 การหาค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อวัตถุ (Split Tear Strength)

ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2.54 x 2 x 10 เซนติเมตร นำมาผ่าทางด้านยาวลึกประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วดึงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงดึง บันทึกค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.7 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Shrinkage)

ตัดชิ้นงานให้มีขนาดประมาณ 15 x 10 เซนติเมตร วัดค่าความกว้าง ความยาวและเส้นทแยงมุม บันทึกค่าไว้ นำไปอบที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดความกว้าง ความยาวและเส้นทแยงมุมอีกครั้ง

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{\text{ขนาดก่อนอบ} - \text{ขนาดหลังอบ}}{\text{ขนาดก่อนอบ}} \times 100$$

### 6.8 การหาค่าความทนทานเนื่องจากการขัดถู (Abrasion Loss, DIN)

ตัดชิ้นงานเป็นรูปวงกลมรัศมี 1.5 เซนติเมตร หนา 3 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้ นำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าความทนทานเนื่องจากการขัดถู แล้วบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{Abrasion Loss} = \text{น้ำหนักก่อนทดสอบ} - \text{น้ำหนักหลังทดสอบ}$$

### 6.9 การหาค่าความแข็งแรงในการยึดติด

ตัดชิ้นงานขนาด 2.54 x 1 x 10 เซนติเมตรสองชิ้น นำมาทาผิวทั้งสองชิ้น แล้วนำมาประกบกันด้วยเครื่องรีด ปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดค่าความแข็งแรงในการยึดติดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วบันทึกค่า

กาวเทอร์โมพลาสติกที่ใช้คือ TN 2200

กาวเทอร์โมเซตที่ใช้คือ GS 8731 + RF 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

##### 4.1.1 ค่าปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ ( % Solid Content ) และค่า % Conversion

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และค่า % Conversion ที่ได้

ชั่วโมงที่	Batch เล็ก		Batch ใหญ่	
	% Solid Content	% Conversion	% Solid Content	% Conversion
1	11.38	41.14	11.20	41.98
2	13.16	65.43	12.93	62.68
3	14.41	80.38	14.29	78.95
4	15.44	92.70	15.33	91.39
5	15.53	93.78	15.57	94.26

จากค่าที่ได้พบว่า ค่า % Conversion ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับ Batch เล็กและ Batch ใหญ่

% Conversion ที่ได้มีค่าประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์

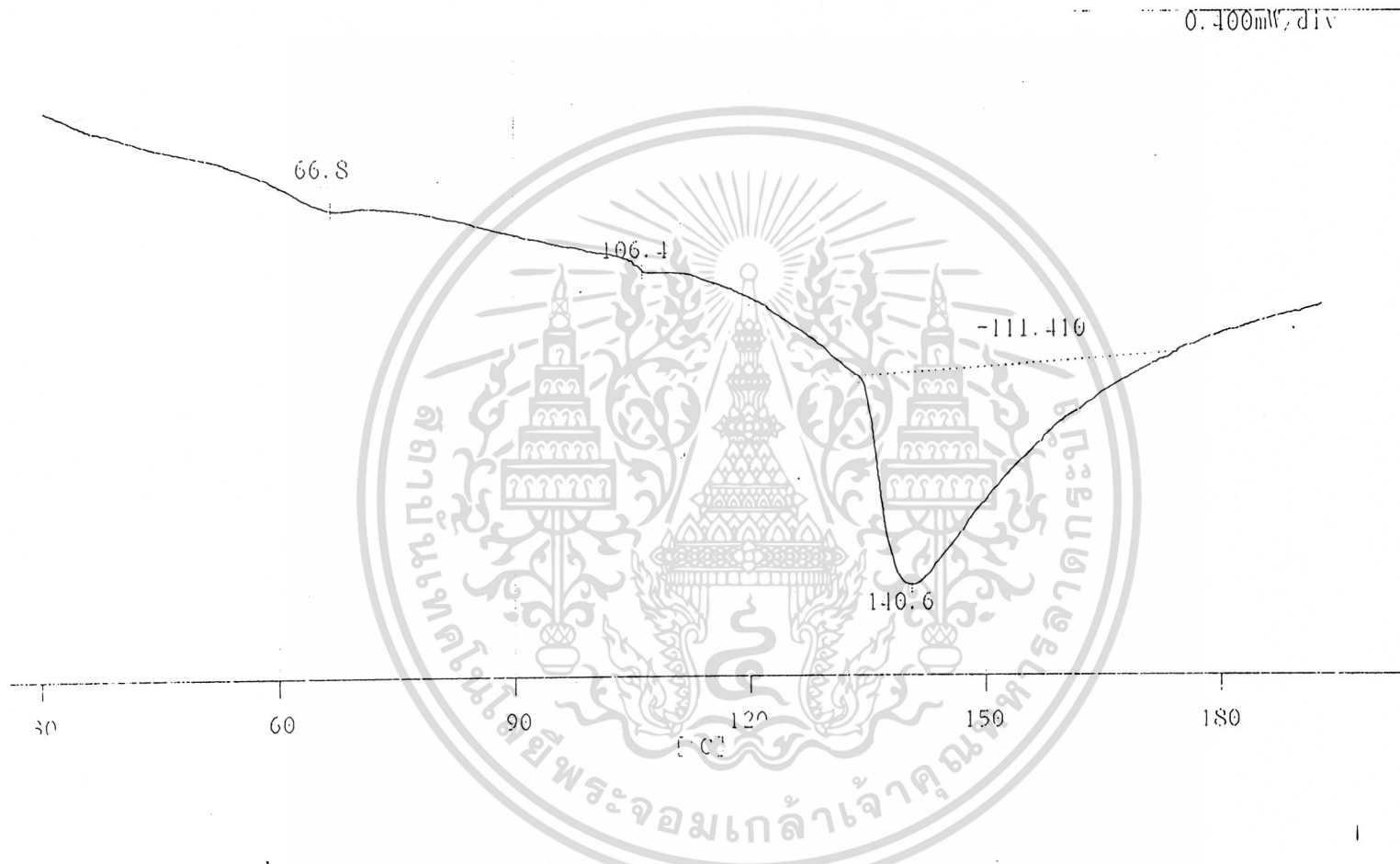
##### 4.1.2 การหาค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) และหมู่ฟังก์ชันของแป้งกราฟท์

จากกราฟที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเตอร์ ( DSC ) พบว่าค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์อยู่ที่ประมาณ 140 องศาเซลเซียส

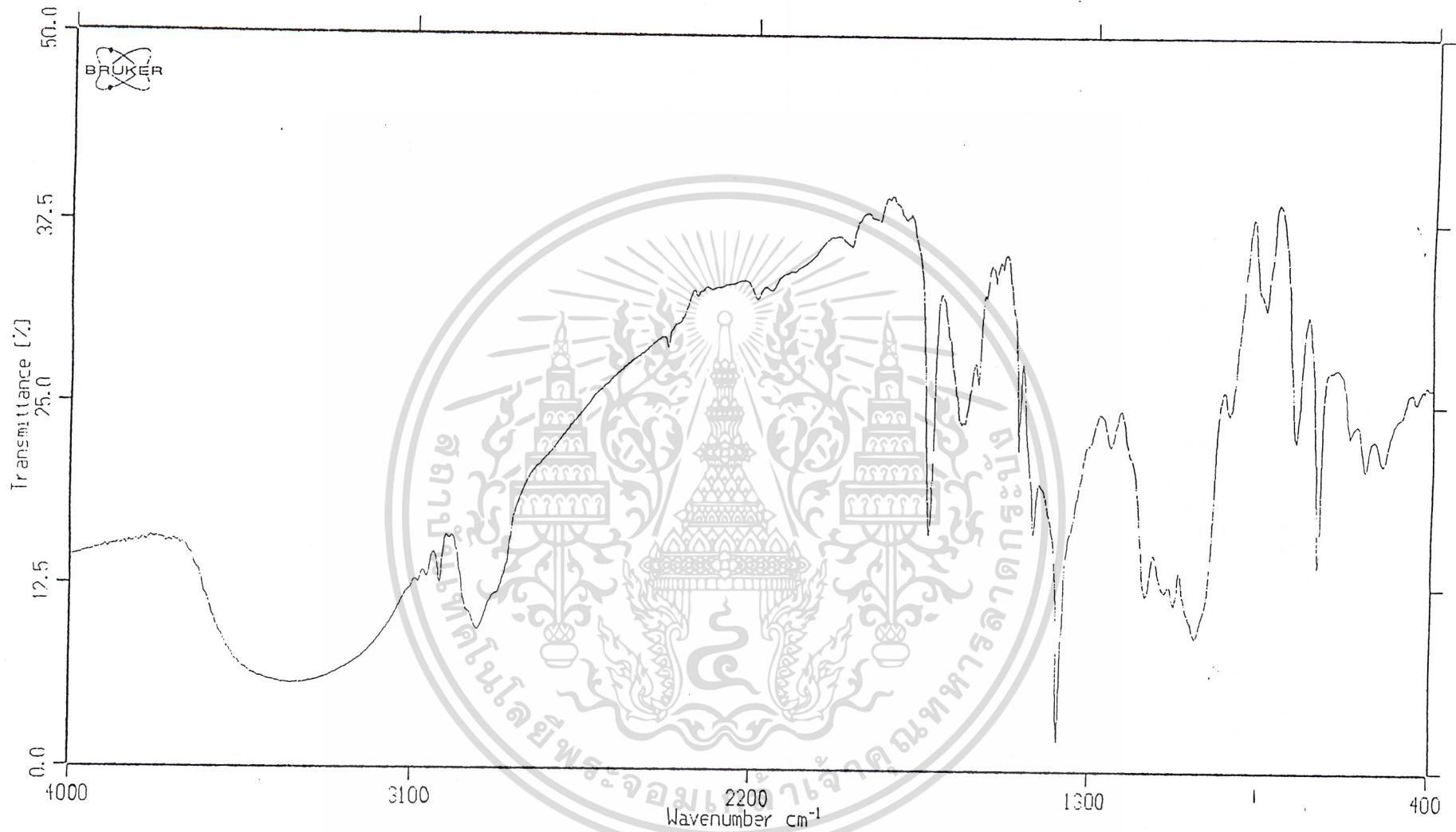
จากกราฟที่ได้จากเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ( FT-IR ) พบว่าเกิดการกราฟท์ของสไตรีนและบิวทิลอะคริเลตบนสายโซ่ของแป้ง

สำหรับรายละเอียดของการหาค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว และหมู่ฟังก์ชันของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากโครงการงานพิเศษเรื่อง การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (1) <sup>1</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอร์นเซียลสแกนนิ่งแคลอรีมิเตอร์



รูปที่ 4.2 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่ได้จาก  
เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

## 4.2 ผลของปัจจัยต่างๆในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออน

### 4.2.1 ผลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงอัตราส่วนพอลิเมอร์และสารเคมีที่ใช้ในสูตรผสมต่างๆ

สูตรที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
สาร									
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	450 g	225 g	225 g	180 g	135 g	157.5 g	90 g	150 g	-
LDPE	-	225g	-	225 g	315 g	202.5 g	315 g	150 g	225 g
EVA 18%	-	-	225 g	45 g	-	90 g	45 g	150 g	225 g
กรดสเตียริก	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g	14 g
ZnO	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
AZ	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g	13 g
DCP	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g	4.5 g

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการอัดขึ้นรูปของสูตรผสมต่างๆ

สูตรที่	ลักษณะที่สังเกต		
	สีของโฟมที่ได้	กลิ่น	ความเข้ากันได้ของเนื้อโฟม
1	ดำ	เหม็นไหม้	สังเกตไม่ได้
2	ดำ	เหม็นไหม้	สังเกตไม่ได้
3	ดำ	เหม็นไหม้	สังเกตไม่ได้
4	น้ำตาลเข้ม	เริ่มมีกลิ่นไหม้	ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
5	น้ำตาล	ไม่มีกลิ่นไหม้	ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
6	น้ำตาล	ไม่มีกลิ่นไหม้	เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
7	น้ำตาลอ่อน	ไม่มีกลิ่นไหม้	เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
8	น้ำตาล	ไม่มีกลิ่นไหม้	เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
9	ขาว	ไม่มีกลิ่นไหม้	เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะกิจเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่มีการเผยแพร่ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

จากการสังเกตลักษณะของโฟมที่ได้พบว่า

**สีของโฟม** สีของโฟมที่ได้จะมีสีขาวในกรณีที่ไม่มีการกราฟท์ โคพอลิเมอร์ในสูตรผสม และสีของโฟมจะมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณการกราฟท์ โคพอลิเมอร์ที่ใช้ผสมในสูตร ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่า การกราฟท์ โคพอลิเมอร์เกิดการสลายตัวในขณะที่อัดขึ้นรูปร้อน จึงทำให้สีที่ได้มีสีเข้มขึ้น

**กลิ่นของโฟม** กลิ่นของโฟมที่ได้จะเริ่มมีกลิ่นใหม่เมื่อมีการกราฟท์ โคพอลิเมอร์ในสูตรผสมมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป นั่นคือปริมาณการกราฟท์ โคพอลิเมอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผสมสูตรควรจะไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์

**ความสามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันของโฟม** พบว่าในสูตรผสมที่ 1 - 3 ไม่สามารถสังเกตเนื้อโฟมได้เนื่องจากโฟมที่ได้ใหม่ ในสูตรผสมที่ 4 ( การกราฟท์ โคพอลิเมอร์ 40 เปอร์เซ็นต์ LDPE 50 เปอร์เซ็นต์ EVA18% 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ) และสูตรผสมที่ 5 ( การกราฟท์ โคพอลิเมอร์ 70 เปอร์เซ็นต์ LDPE 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ) เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเนื้อโฟมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และในสูตรผสมที่ 6 - 9 นั้นเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเนื้อโฟมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

ในสูตรผสมที่ 5 สามารถเห็นเนื้อโฟมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าโครงสร้างหลักของการกราฟท์ โคพอลิเมอร์นั้นเป็นส่วนที่มีขี้้ว ส่วนโครงสร้างหลักของ LDPE นั้นเป็นส่วนที่ไม่มีขี้้ว จึงทำให้สูตรผสมของการกราฟท์ โคพอลิเมอร์และ LDPE เข้ากันได้ไม่ดี เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยเติมตัว Compatibiliser ในที่นี้ใช้ EVA18% เป็น Compatibiliser

ในสูตรผสมที่ 4 สามารถเห็นเนื้อโฟมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ได้มีการเติม EVA 18% เป็น Compatibiliser แล้วทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณ Compatibiliser ที่เติมเข้าไปนั้นมีไม่เพียงพอที่จะช่วยให้การกราฟท์ โคพอลิเมอร์และ LDPE เข้ากันได้

ในสูตรผสมที่ 6 - 9 นั้น เห็นเนื้อโฟมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจาก EVA 18% ซึ่งทำหน้าที่เป็น Compatibiliser ช่วยให้การกราฟท์ โคพอลิเมอร์และ LDPE เข้ากันได้

จากผลข้างต้นนี้สามารถนำสูตรที่ 6 - 9 ไปทดสอบสมบัติต่างๆของโฟมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลของขนาดของแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงลักษณะของโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนต่างกัน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร

เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป (นาที)	สีของโฟม	ลักษณะผิวโฟม	สัมประสิทธิ์การขยายตัว	ค่าความแข็งแบบชอร์ซี
5	น้ำตาลอ่อน	ผิวมัน	1.61	62 – 64
6	น้ำตาลอ่อน	เรียบ	1.78	55 – 57
7	น้ำตาล	เรียบ	1.83	50 – 52
8	น้ำตาลเข้ม	มีรอยแตก	1.85	50 – 52

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงลักษณะของโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนต่างกัน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร

เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป (นาที)	สีของโฟม	ลักษณะผิวโฟม	สัมประสิทธิ์การขยายตัว	ค่าความแข็งแบบชอร์ซี
14	น้ำตาล	ผิวมัน	1.67	56 – 58
16	น้ำตาลเข้ม	เรียบ	1.94	50 – 52
18	น้ำตาลเข้ม	เรียบ	2.11	47 – 49
20	น้ำตาลดำ	มีรอยแตก	2.17	46 – 48

จากผลการทดลองพบว่า

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตรจะใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนเพื่อให้ได้โฟมน้อยกว่าแม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร

โฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนมากกว่าจะให้สีของโฟมที่เข้มกว่า

โฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนที่เหมาะสมจะมีลักษณะผิวเรียบ ส่วนโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนน้อยไปจะมีลักษณะผิวมัน และโฟมที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนมากไปมีลักษณะผิวที่มีรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้าที่ต่ำกว่าโฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตรจะให้ค่าความแข็งแบบชอร์ซีที่สูงกว่าโฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร

ขนาดของแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออนมีความสัมพันธ์กัน และมีผลต่อลักษณะของโฟมดังนี้คือ

แม่พิมพ์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนเพื่อให้ได้ชิ้นงานโฟมน้อยกว่าแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า

โฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีขนาดเล็กกว่า จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่าโฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า

โฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีขนาดเล็กกว่า จะให้ค่าความแข็งแบบชอร์ซีสูงกว่าโฟมที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า

ถ้าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนน้อยไปจะทำให้โฟมที่ได้มีลักษณะผิวขุ่น ทั้งนี้เนื่องมาจากการทำงานของสารเชื่อม โยง ไคคิวมิลเปอร์ออกไซด์ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์หรือที่เราเรียกว่า โฟมไม่สุก ( Undercured Foam ) แต่ถ้าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนมากไปจะทำให้โฟมที่ได้มีลักษณะแข็งและมีผิวที่แตก ทั้งนี้เนื่องมาจากการทำงานของสารเชื่อม โยง ไคคิวมิลเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นมากเกินไปหรือที่เราเรียกว่า โฟมสุกเกิน ( Overcured Foam ) นอกจากนี้การใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปรีออนมากไปอาจจะทำให้โฟมไหม้ได้

จากผลข้างต้นนี้เราได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปรีออนดังนี้

แม่พิมพ์ขนาด 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร ควรจะใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 7 นาที

แม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร ควรจะใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 18 นาที

#### 4.2.3 ผลของความชื้นของแป้งกราฟท์ โคพอลิเมอร์

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลของความชื้นของแป้งกราฟท์ โคพอลิเมอร์ที่มีต่อลักษณะของโฟมที่ได้

ความชื้นของแป้งกราฟท์ โคพอลิเมอร์	ลักษณะผิวด้านในของโฟม
6.44 %	มีฟองอากาศมาก โฟมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
3.27 %	มีฟองอากาศ โฟมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
1.66 %	มีฟองอากาศน้อยมาก โฟมเป็นเนื้อเดียวกัน
0.39 %	ไม่มีฟองอากาศ โฟมเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า ที่ความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็น 3.27 และ 6.44 เปอร์เซ็นต์ จะมีฟองอากาศที่ผิวด้านในของโฟมและเนื้อโฟมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ที่ความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็น 1.66 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ ที่ผิวด้านในของโฟมจะมีฟองอากาศน้อยมากหรือไม่มีเลยและโฟมที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน

แสดงว่าความชื้นมีผลต่อลักษณะผิวและความเข้ากันได้ของโฟม แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีความชื้นมากจะส่งผลให้ลักษณะโฟมที่ได้มีเนื้อไม่เข้ากัน

จากผลข้างต้นนี้จะได้ว่า เราควรใช้แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีความชื้นไม่เกิน 1.66 เปอร์เซ็นต์ในการอัดขึ้นรูปรีออน

#### 4.2.4 ผลของลำดับในการผสมสูตรด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลของลำดับในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่มีต่อลักษณะของ โฟม

แบบที่	ลำดับการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง			ลักษณะของเนื้อโฟม
	0 นาที	4 นาที	8 นาที	
1	แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์, LDPE, EVA 18%, ZnO และกรดตเตียริก	--	DCP และ AZ	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
2	แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์	LDPE, EVA 18%, ZnO และกรดตเตียริก	DCP และ AZ	เป็นเนื้อเดียวกัน
3	LDPE, EVA 18%	แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์, ZnO และกรดตเตียริก	DCP และ AZ	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

จากผลการทดลองพบว่าการผสมแบบที่ 1 และ 3 จะให้ลักษณะของโฟมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่แบบที่ 2 จะให้ลักษณะของโฟมที่เป็นเนื้อเดียวกัน

ทั้งนี้เนื่องจากพอลิสไตรีนที่กราฟท์อยู่บนสายโซ่ของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีจุดอ่อนตัวสูงกว่า LDPE และ EVA 18% มาก ดังนั้นในการผสมแบบที่ 1 และ 3 นั้นแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ LDPE และ EVA 18% ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จึงเห็นเนื้อของโฟมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนแบบที่ 2 นั้นแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะเกิดการหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ LDPE และ EVA 18% ได้มากกว่าแบบที่ 1 และ 3 จึงเห็นเนื้อโฟมเป็นเนื้อเดียวกันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 ผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคควิมิตเปอร์ออกไซด์

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลของปริมาณสารเชื่อมโยงโคควิมิตเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อลักษณะของโฟม

ปริมาณสารเชื่อมโยงโคควิมิตเปอร์ออกไซด์ ( ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก )	ลักษณะผิวของโฟม
0.5	ผิวขุ่น
1.0	ผิวเรียบ ก่อนข้างแข็ง
1.5	ผิวมีรอยแตก แข็ง

จากการทดลองพบว่า ที่ปริมาณสารเชื่อมโยงเป็น 0.5 ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์ โดยน้ำหนักจะให้โฟมที่มีผิวขุ่น ที่ปริมาณสารเชื่อมโยงเป็น 1.0 ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนักจะให้โฟมที่มีผิวเรียบ ก่อนข้างแข็ง และที่ปริมาณสารเชื่อมโยงเป็น 1.5 ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก จะให้โฟมที่มีผิวแตก แข็ง

ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าที่ปริมาณสารเชื่อมโยงน้อยๆ จะเกิดการเชื่อมโยงต่ำทำให้แผ่นโฟมยึดกันไม่ได้ไม่ดีผิวที่ได้จึงขุ่น แต่ที่ปริมาณสารเชื่อมโยงมากๆ จะเกิดการเชื่อมโยงที่มากเกินไปทำให้โฟมที่ได้มีรอยแตก และโฟมที่ได้แข็ง สูตรผสมที่มีปริมาณสารเชื่อมโยงที่พอเหมาะจะให้โฟมที่มีผิวเรียบ และมีความยืดหยุ่นพอเหมาะ ไม่แข็งจนเกินไป

จากผลที่ได้ข้างต้นนี้ เราควรใช้สารเชื่อมโยงที่ประมาณ 0.8 ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก ( เพราะที่สารเชื่อมโยงที่ประมาณ 1.0 ส่วนต่อร้อยส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก จะให้ชิ้นงานที่ค่อนข้างแข็ง หรือเริ่มจะสุกเกิน ( Overcure ) นั้นเอง )

#### 4.2.6 ผลของสารช่วยผสม

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลของสารช่วยผสมที่มีต่อลักษณะของโฟม

สารช่วยผสม	ลักษณะเนื้อของโฟมที่ได้เทียบกับตัวที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม
EPO	ไม่แตกต่าง
DOP	ไม่แตกต่าง

เอกสารนี้เป็น PE Wax ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เนื้อโฟมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าการเติม EPO และ DOP ที่ปริมาณ 2 ส่วนต่อร้อยละของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก ไม่ช่วยให้เนื้อโฟมมีสมบัติที่ดีขึ้น แต่การเติม PE Wax ที่ปริมาณ 2 ส่วนต่อร้อยละของพอลิเมอร์โดยน้ำหนักจะช่วยให้เนื้อโฟมมีความเข้ากันได้มากขึ้น แสดงว่า PE Wax สามารถใช้เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของเนื้อโฟมได้ โดยใช้ที่ปริมาณ 2 ส่วนต่อร้อยละของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก

### 4.3 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของโฟมที่ได้

ทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของโฟม โดยใช้สูตรผสมและสภาวะในการผสมดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงสูตรผสมต่างๆ ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออนโฟม

สารเคมี	สูตรที่	1	2	3	4
แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์		315 g	180g	300 g	-
LDPE		405 g	630 g	300 g	450 g
EVA 18%		180 g	90 g	300 g	450 g
กรดสเตียริก		28 g	28 g	28 g	28 g
ZnO		20 g	20 g	20 g	20 g
AZ		26 g	26 g	26 g	26 g
DCP		7.2 g	7.2 g	7.2 g	7.2 g
PE Wax		18 g	18 g	18 g	18 g

สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง:

ความชื้นของแป้งกราฟท์ 1.66 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลัง 100 , 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลำดับการผสม ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที ใส่ LDPE , EVA 18% , ZnO , กรดสเตียริก และ PE Wax

ที่ 8 นาที ใส่ DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออก แล้วนำไปอัดขึ้นรูปรีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน:

แม่พิมพ์ขนาด 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร

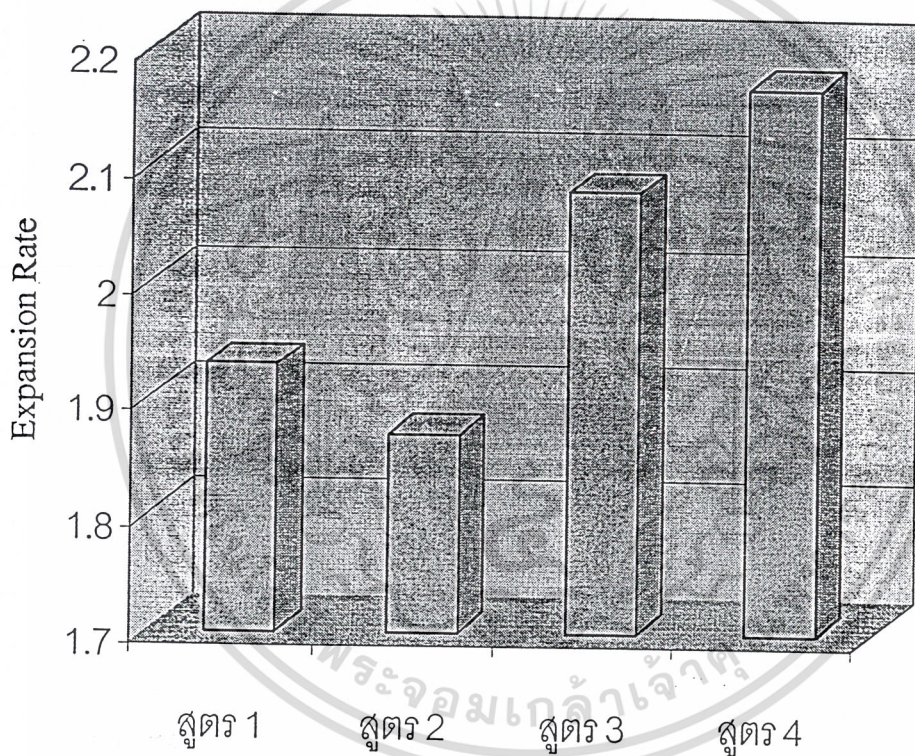
น้ำหนักเข้าเครื่องอัด 900 กรัม

อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เวลาที่ใช้ 18 นาที

#### 4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion Rate)



สูตรที่ 1 แป้งกราฟท์ 35% LDPE 45% EVA 20%

สูตรที่ 2 แป้งกราฟท์ 20% LDPE 70% EVA 10%

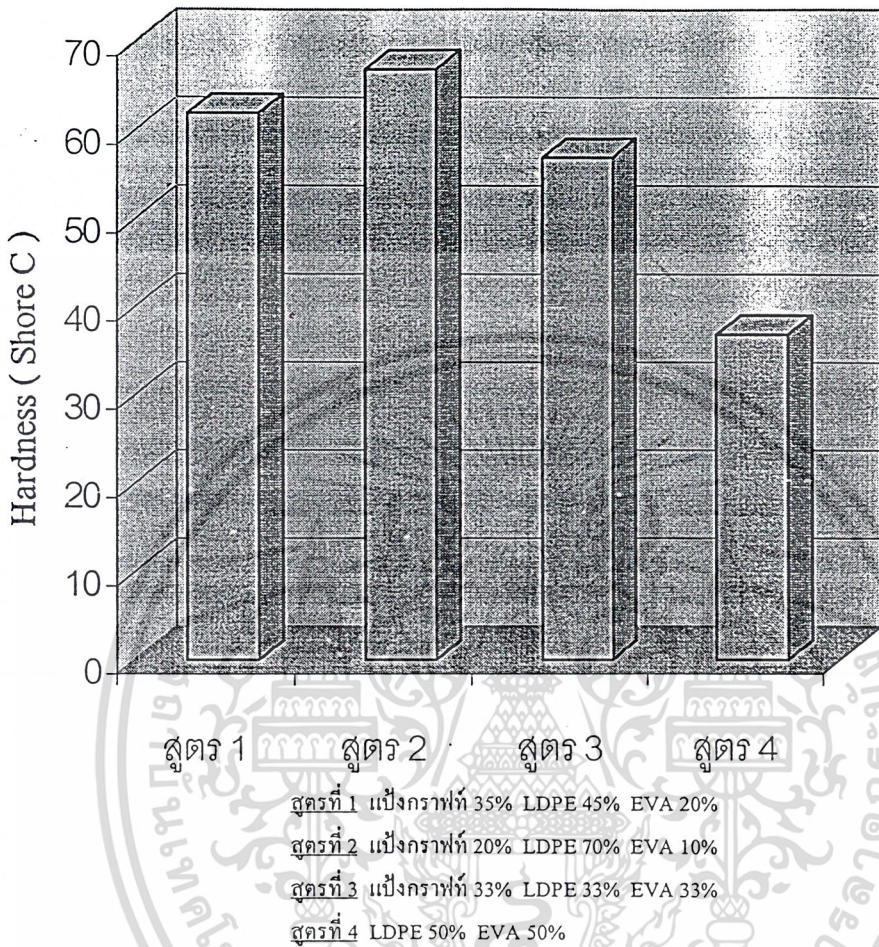
สูตรที่ 3 แป้งกราฟท์ 33% LDPE 33% EVA 33%

สูตรที่ 4 LDPE 50% EVA 50%

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโพลีสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจะลดลงตามปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก EVA 18% มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ค่าความแข็งแบบชอร์ซี (Hardness Shore C)

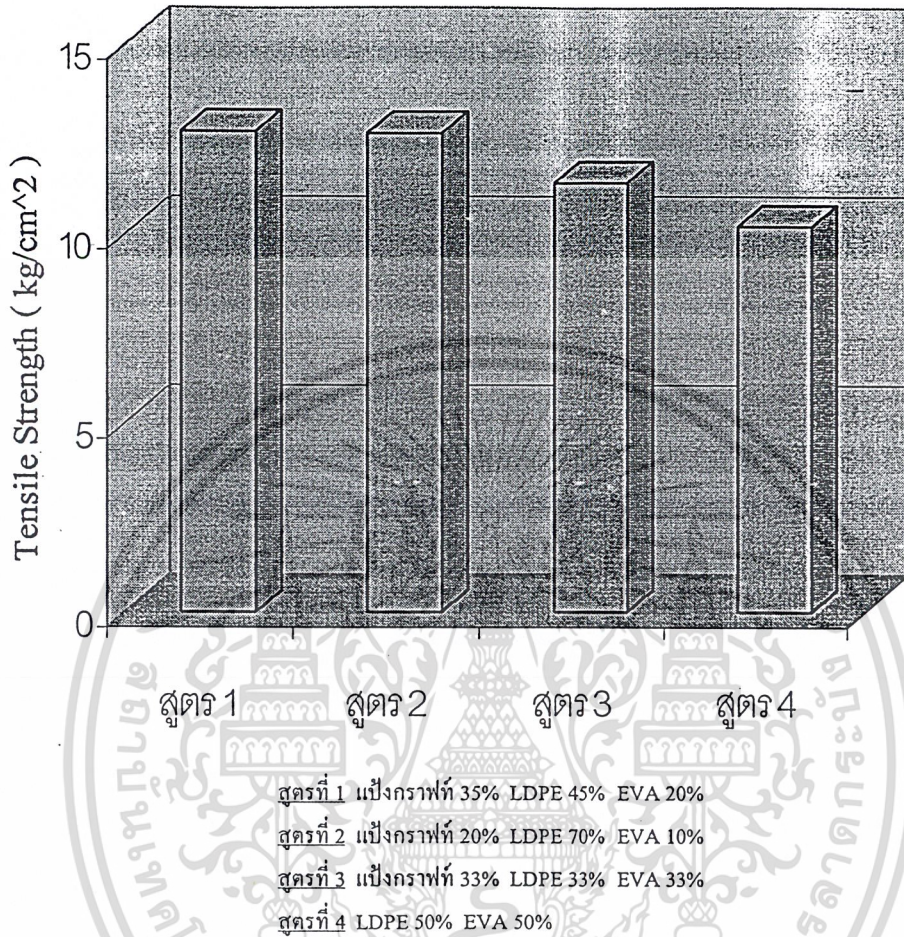


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแบบชอร์ซีของ โฟมสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งแบบชอร์ซีต่ำที่สุด และค่าความแข็งแบบชอร์ซีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก EVA 18% มีความอ่อนนุ่มมากกว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 ค่าความแข็งแรงดึง ( Tensile Strength )

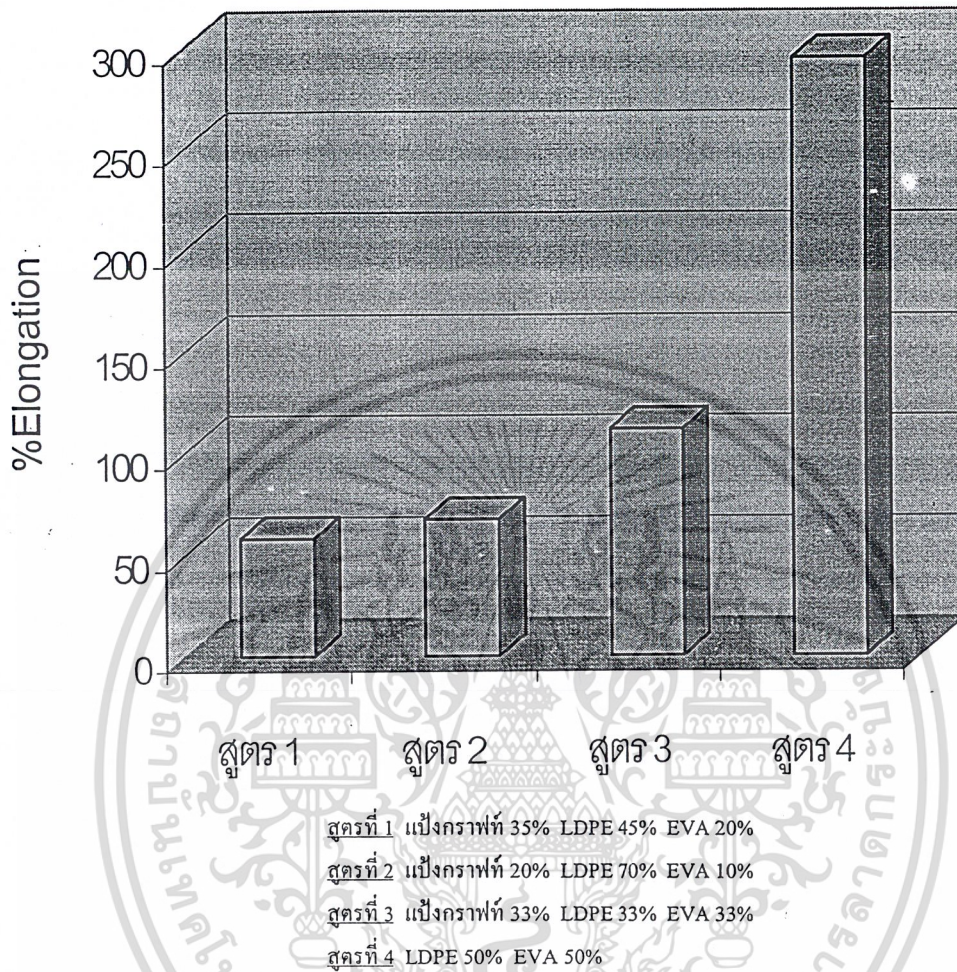


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของโพลีสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งแรงดึงค่าที่สุด และค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก EVA 18% มีความอ่อนมากกว่าเป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation)

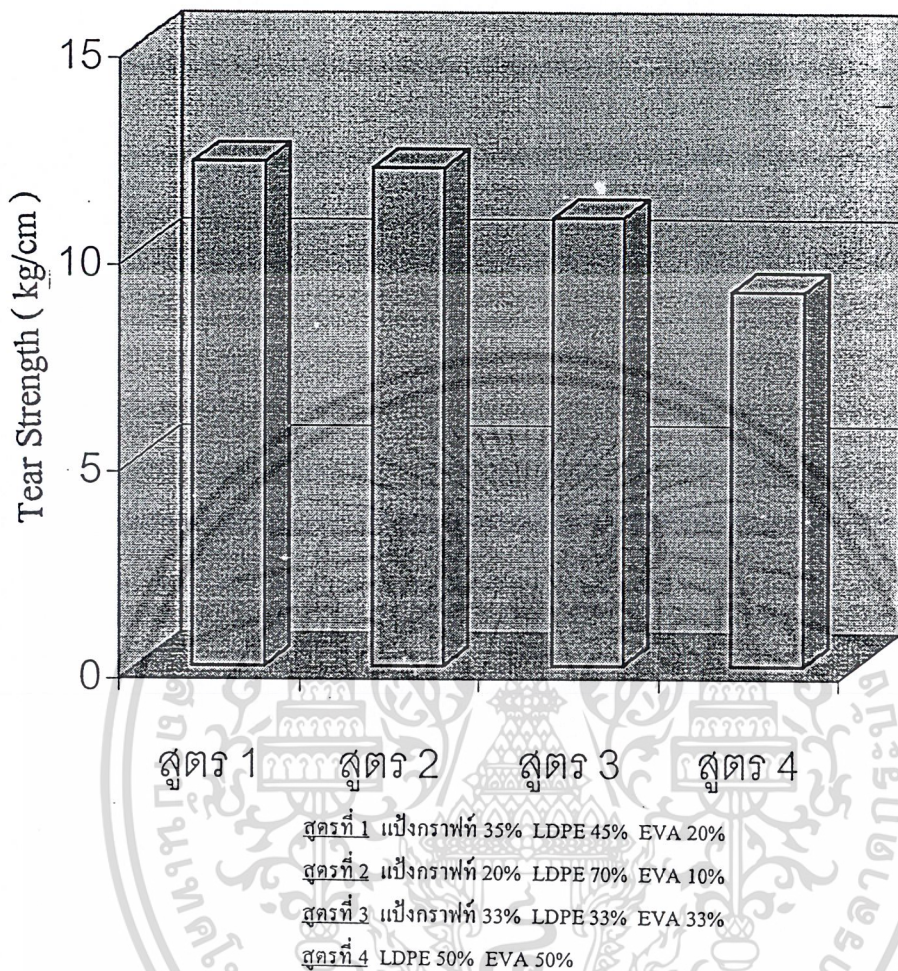


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของโพลีสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงที่สุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดจะลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณ EVA 18% ลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก EVA 18% มีความยืดหยุ่นมากกว่าแป้งกราฟท์ โคลพอลิเมอร์และ LDPE มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.5 ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศา (Tear Strength die C)

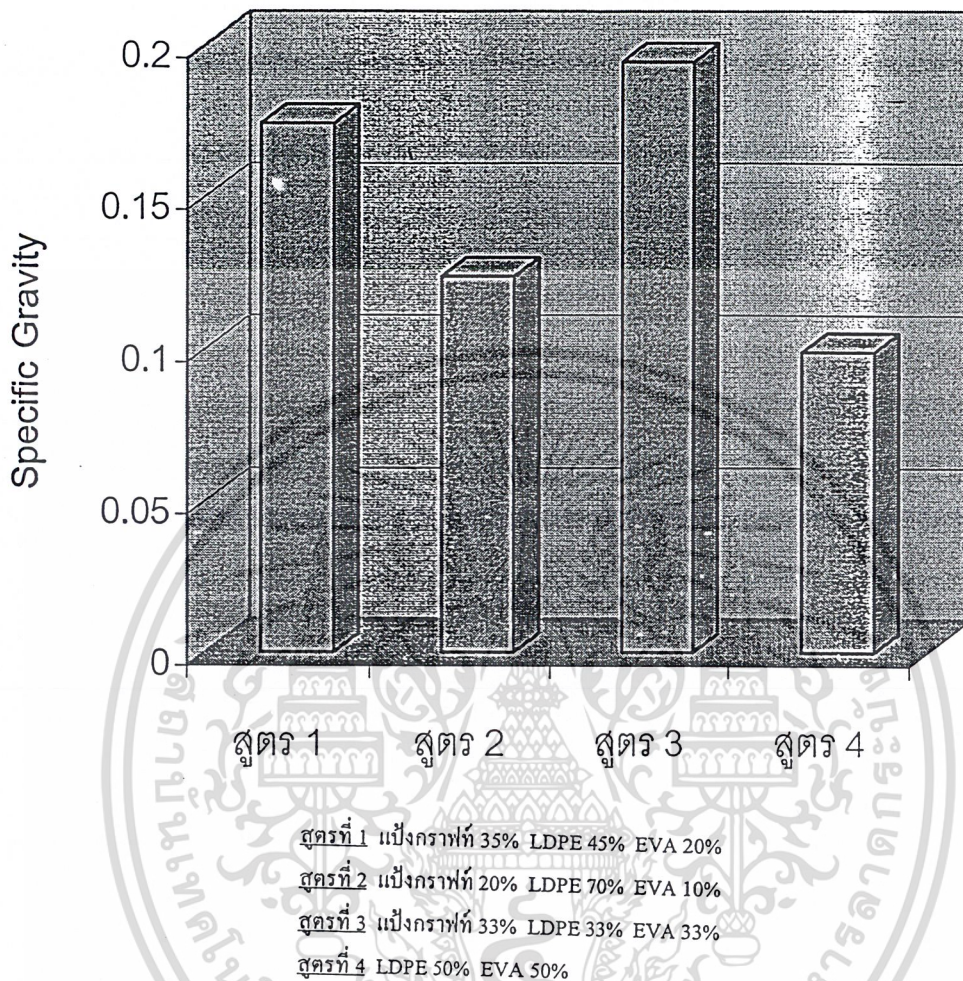


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศาของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศาต่ำที่สุด และค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศาจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก EVA 18% มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่มุม 90 องศาต่ำกว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.6 ค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity )



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของโพลีสูตรผสมต่างๆ

จากข้อมูลภาคผนวก :

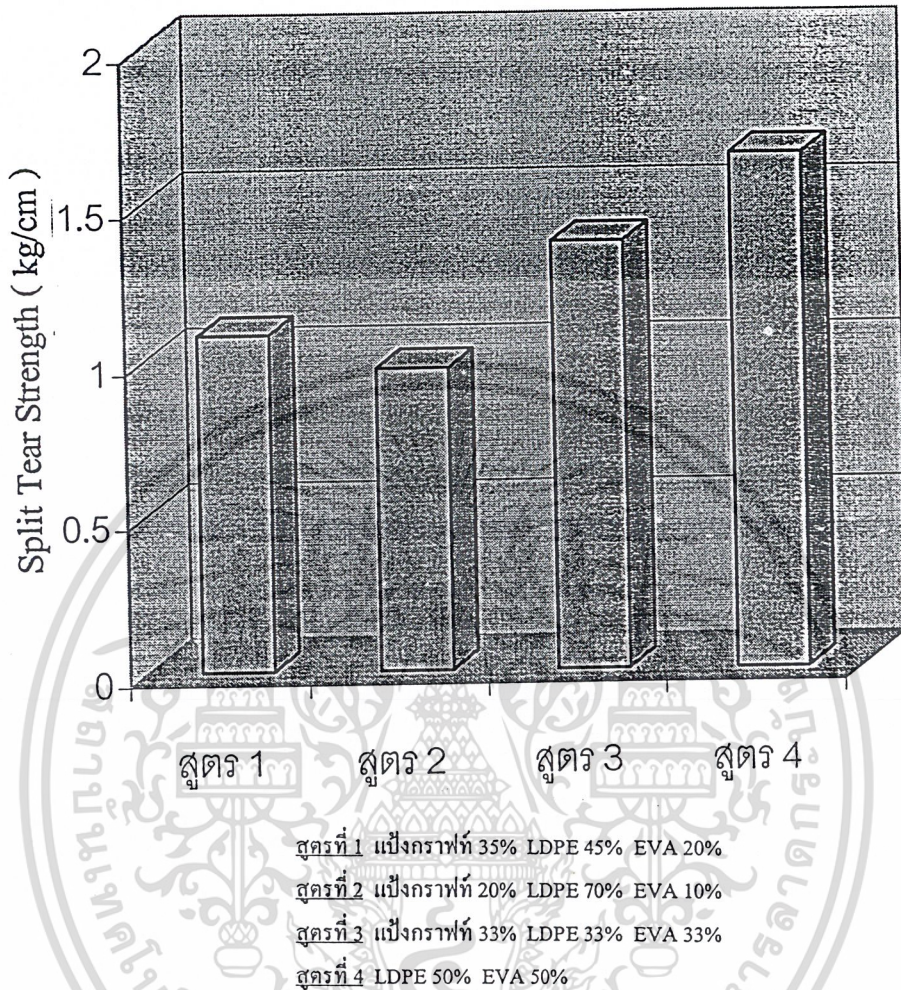
ความหนาแน่นของ EVA 18 % = 0.938 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นของ LDPE = 0.818 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความถ่วงจำเพาะค่าที่สูงสุด และค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แสดงว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า LDPE และ EVA 18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.7 ค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุ ( Split Tear Strength )



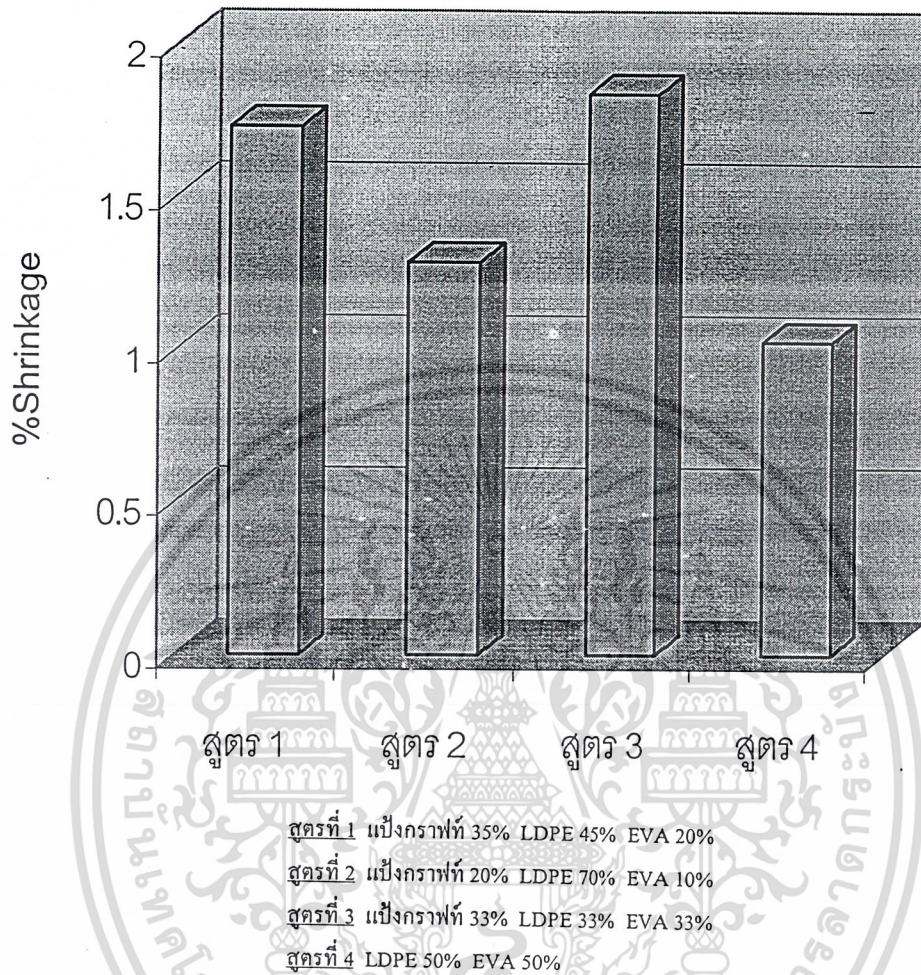
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุของโพลีสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุสูงที่สุด และค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุจะลดลงตามปริมาณ EVA 18% ที่ลดลง

ค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุเป็นค่าที่บอกถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันภายในเนื้อของวัสดุ การที่สูตรที่ 4 มีค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุมากที่สุด แสดงว่ามีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันมาก สูตรผสมเข้ากันได้ดี แต่ในสูตรที่ 1 – 3 นั้นค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อของวัสดุจะลดต่ำลง เนื่องจากแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์และ LDPE มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันน้อย EVA 18% จึงทำหน้าที่เป็น Compatibiliser ช่วยให้ LDPE และแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ผสมกันได้ดี ดังนั้นเมื่อมีการลดปริมาณของ EVA 18% จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันในงานลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Shrinkage)

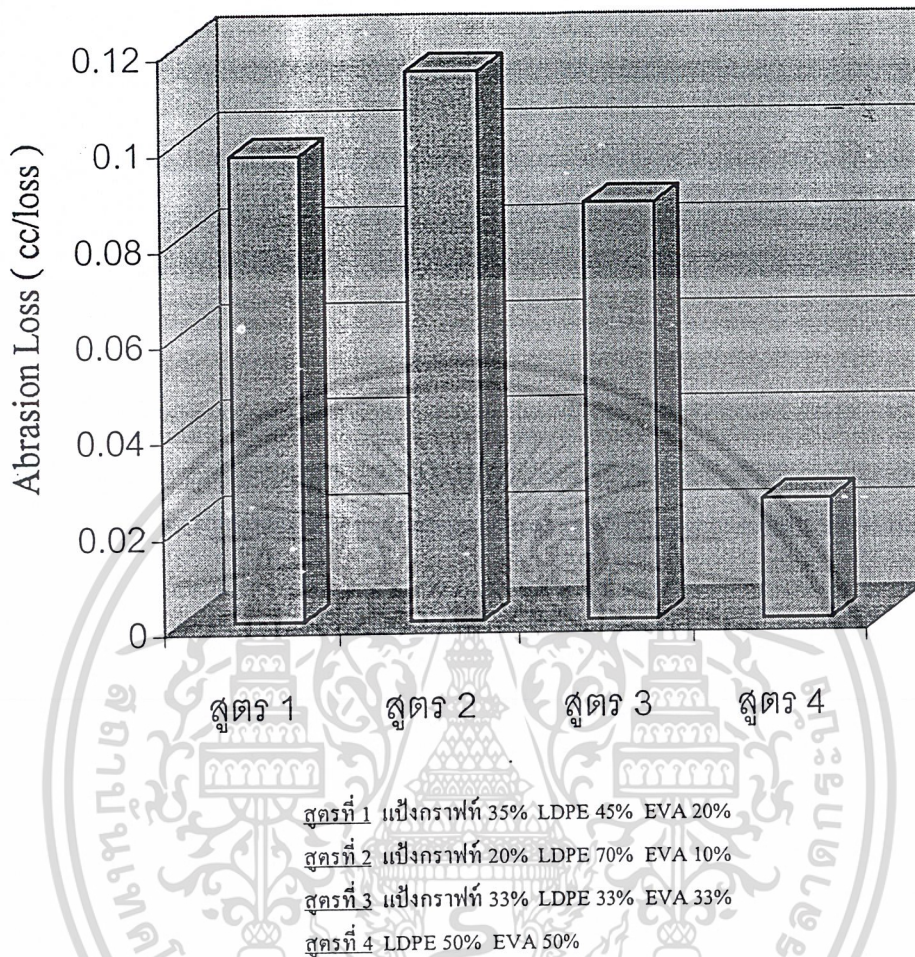


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลีเมอร์ผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำที่สุด และค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แสดงว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่า LDPE และ EVA 18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.9 ค่าความทนทานเนื่องจากการขัดถู (Abrasion Loss)

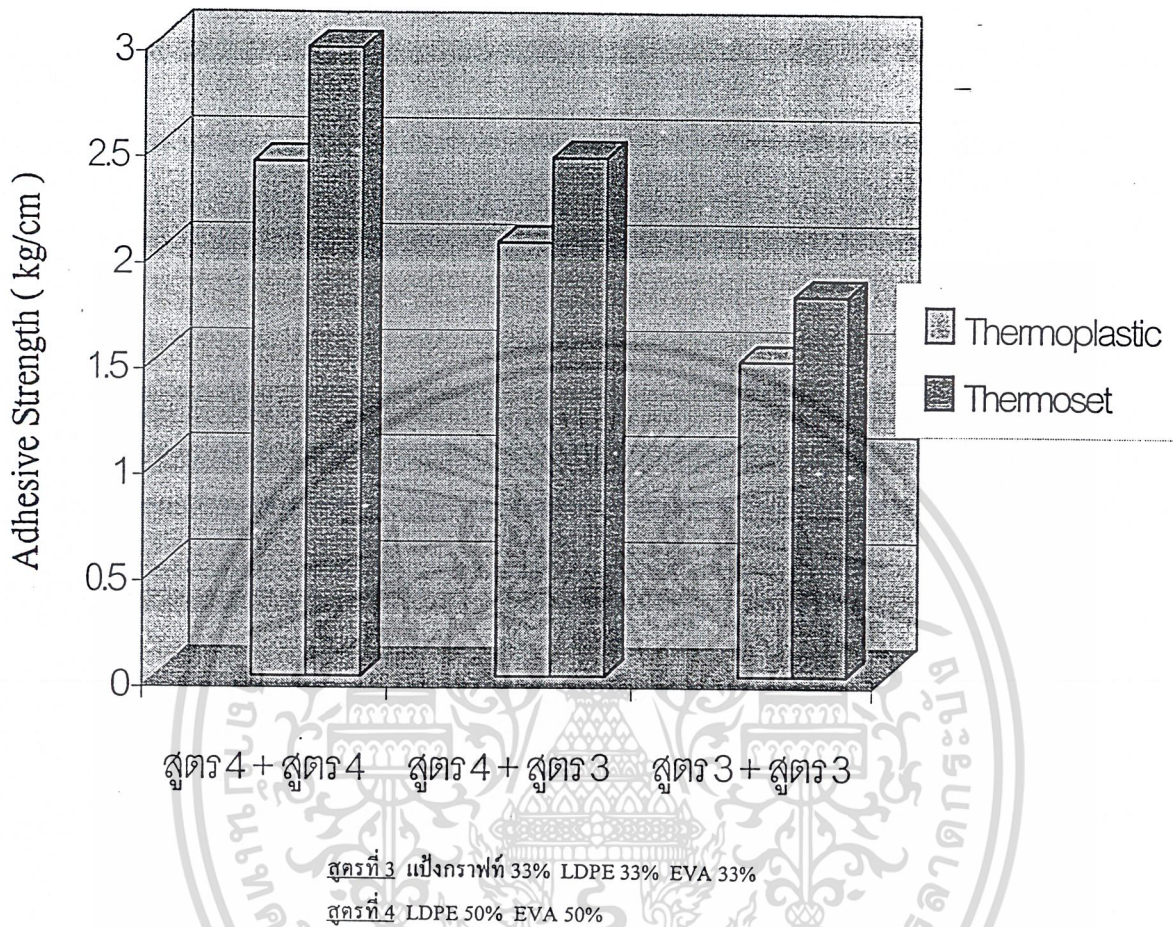


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความทนทานเนื่องจากการขัดถูของ โฟมสูตรผสมต่างๆ

พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการขัดถูต่ำที่สุด และค่าการสูญเสียเนื่องจากการขัดถูจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าโครงสร้างของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากกว่า EVA 18% จึงเกิดการสูญเสียเนื่องจากการขัดถูได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.10 ค่าความแข็งแรงในการยึดติด



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการยึดติดด้วยกาวเทอร์โมพลาสติก และกาวเทอร์โมเซต

ทั้งกาวเทอร์โมพลาสติกและกาวเทอร์โมเซตจะมีแนวโน้มเหมือนกันคั้งนี้คือ จะให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดของสูตร 4 + สูตร 4 มากที่สุด รองลงมาคือ สูตร 4 + สูตร 3 และน้อยที่สุดคือ สูตร 3 + สูตร 3

แสดงว่าสูตรผสมที่มีแป้งกราฟท์มีความสามารถในการยึดติด น้อยกว่าสูตรผสมของ LDPE + EVA 18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางสรุปสมบัติต่างๆของโฟมที่ได้

สูตรที่	อัตราส่วนพอลิเมอร์ที่ใช้ (%)			Expansion Rate	Hardness ( Shore C )	Tensile Str. kg / cm <sup>2</sup>	% Elongation	Tear Str. kg / cm	Split Tear kg / cm	Spacific Gravity	Abrasion cc / loss	% Shrinkage
	แป้งกราฟท์	LDPE	EVA 18 %									
1	35	45	20	1.93	62-64	12.73	58.2	12.19	1.08	0.174	0.0972	1.73
2	20	70	10	1.87	66-68	12.68	67.4	12.04	0.97	0.123	0.1146	1.29
3	33	33	33	2.08	56-58	11.36	111.7	10.83	1.37	0.194	0.0869	1.84
4	-	50	50	2.17	36-38	10.21	295	9.06	1.65	0.099	0.0248	1.03

ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงในการยึดติดของโฟมที่ได้

สูตรที่ใช้ทดสอบ	ค่าการยึดติด ( kg / cm )	
	กาวเทอร์โมพลาสติก	กาวเทอร์โมเซต
สูตร 3 + สูตร 3	1.49	1.81
สูตร 3 + สูตร 4	2.05	2.45
สูตร 4 + สูตร 4	2.43	2.97

# กาวเทอร์โมพลาสติกที่ใช้คือ TN 2200

# กาวเทอร์โมเซตที่ใช้คือ GS 8731 + RF 2 %

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้นำแป้งมันสำปะหลัง มาทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์เซชันกับ สไตรีนและบิวทิลอะครีเลต โดยใช้เทคนิคอิมัลชันพอลิเมอร์เซชันโดยมีโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา เมื่อได้แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์แล้วนำมาศึกษาสูตรและสภาวะที่เกี่ยวข้องในการอัดขึ้นรูปรีออน สรุปได้ผลดังนี้

##### 1. สูตรผสมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน

- อัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ในสูตรผสม ไม่ควรมีแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพราะจะทำให้โฟมที่ได้ใหม่

- อัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ให้สมบัติที่ดีคือ แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ 33 เปอร์เซ็นต์ LDPE 33 เปอร์เซ็นต์ และ EVA18% 33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

- ความชื้นของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ควรจะไม่เกิน 1.66 เปอร์เซ็นต์

- สูตรผสมที่ใช้ประกอบด้วย กรดสเตียริก 3.1 ส่วน ซิงค์ออกไซด์ 2.2 ส่วน สารให้ฟองเอแซค 2.8 ส่วน ไคลิมิลเปอร์ออกไซด์ 0.8 ส่วน พอลิเอทิลีนแวกซ์ 2 ส่วนต่อร้อยละของพอลิเมอร์ โดยน้ำหนักตามลำดับ

##### 2. สภาวะที่เหมาะสมในการผสมสูตรด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

- อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลังเป็น 100 และ 110 องศาเซลเซียสตามลำดับ

- ลำดับการผสมมีดังนี้

ที่ 0 นาที ใส่แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

ที่ 4 นาที เติม LDPE , EVA 18% , PE Wax , ZnO และกรดสเตียริก

ที่ 8 นาที เติม DCP และ AZ

ที่ 12 นาที นำสูตรผสมออกไปอัดขึ้นรูปรีออน

##### 3. สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปรีออน

- อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส

- ความดันที่ใช้ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

- ขนาดแม่พิมพ์ 12 x 18 x 0.5 เซนติเมตร ใช้น้ำหนักเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปรีออน 100 กรัม

และใช้เวลา 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดแม่พิมพ์ 18 x 28 x 1.5 เซนติเมตร ใช้น้ำหนักเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปรีออน 900 กรัม และใช้เวลา 18 นาที

สมบัติต่างๆของโพลีที่ได้สรุปได้ดังนี้

- โพลีที่มีอัตราส่วนของ EVA 18% มักจะให้สมบัติที่ดีกว่าโพลีที่มีอัตราส่วนของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มาก ในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดฉ.จุดขาด ความเบา ค่าแรงฉีกขาดระหว่างเนื้อวัสดุ ค่าความทนทานเนื่องจากการขีดถู และค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว

- โพลีที่มีอัตราส่วนของ EVA 18% มักจะให้สมบัติที่ดีน้อยกว่าโพลีที่มีอัตราส่วนของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มาก ในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความแข็งแบบชอร์ซี ความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงฉีกขาดที่มุม 90 องศา

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยนมอนอเมอร์ที่จะนำมากราฟท์บนแป้ง เพื่อให้แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีสมบัติที่เปลี่ยนไปตามที่ต้องการ
2. ในการทดลองนี้ยังมีตัวแปรอีกหลายตัวที่ไม่ได้ศึกษา และมีผลต่อการอัดขึ้นรูปรีออน เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปรีออน ปริมาณ AZ , ZnO และกรดคอสเตียริก เป็นต้น
3. สามารถเปลี่ยนพอลิเมอร์ที่ใช้นำมาผสมสูตรนอกเหนือจาก LDPE และ EVA 18 % ได้ เพื่อให้ได้โพลีที่มีสมบัติต่างๆกันตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. กาญจนกร เกศางาม; วิมลมาศ เมืองแก่น. การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (1). วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี,ภาควิชาเคมี,คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2541
2. ทศนีย์ คำภูเวียง;นฤมล เปรมธีรวัฒน์ชัย. การศึกษาพอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี,ภาควิชาเคมี,คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2538,13 – 33.
3. ควงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์;ศนินาฏ แก้วกระจ่าง;วรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล. วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี,ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2538, 3 - 10.
4. Trimnell,D.,Swanson,C.L.,Shogren,R.L.,Fanta,G.F..*J.Appl.Polym.Sci.*,1993,48, 1665 –1675.
5. Wurzburg,O.B. *Modified Starch: Properties and uses*. USA: CRC Press,1987.
6. Odian,D. *Principle of Polymerisation*. John wiley and Sons , New York , 1981 , 271 –273.
7. Maddever,J.W.,Chapman,M.G. *Plastic Engineering.*,1989,31 –34.
8. Athawale,V.D.,Rathi,S.C. *J.Appl.Polym.Sci.*,1997,66,1399 – 1403.
9. Damodar,R.P.,George,F.F., *J.Appl.Polym.Sci.*,1993,47,1765 – 1772.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

#### POLENE N 8038

MFI	1.8 g/10 min.	(ASTM D 1238)
Density	0.938 g/cm <sup>3</sup>	(ASTM D 1505)
Tensile Strength at Break	> 15 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM D 638)
Tensile Strength at Yield	> 4.8 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM D 638)
Elongation at Break	> 800 %	(ASTM D 638)
Softening Temp.	65 °C	(ASTM D 1525)

### Low Density Polyethylene (LDPE)

#### LD 1905 F

MFI	5.0 g/10 min.	(ASTM D 1238)
Density	0.818 g/cm <sup>3</sup>	(ASTM D 1505)
Tensile Strength at Break	210 kg/cm <sup>2</sup> (MD)	(ASTM D 638)
	15 kg/cm <sup>2</sup> (TD)	
Elongation at Break	320 % (MD)	(ASTM D 638)
	680 % (TD)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้