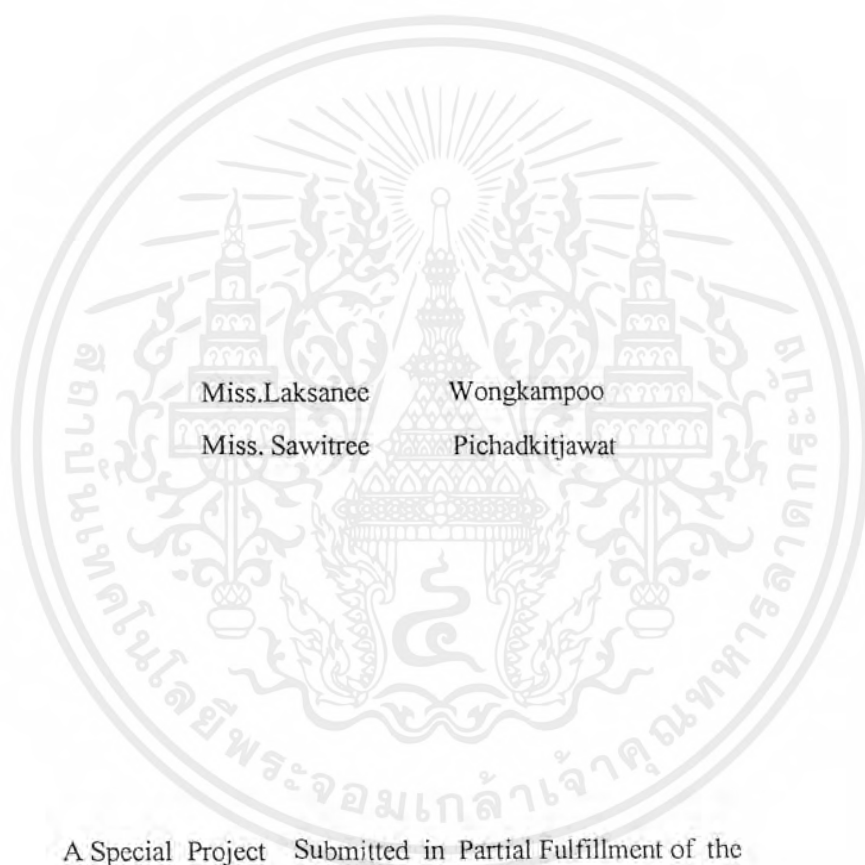




## Study of Biodegradable Polymers by Using Natural Fillers



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

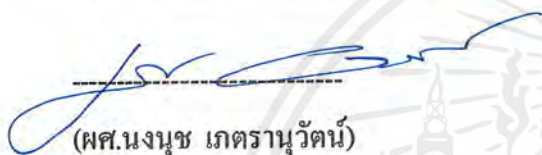
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้โดยใช้สารตัวเติมธรรมชาติ  
นักศึกษา นางสาวลัทษณีย์ วงษ์กำภู รหัส 38054244  
นางสาวสาวิตรี พิเชฐกิจจาวัฒน์ รหัส 38054249  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อิทธิพล แจ่มชัด  
ดร.อนุวัตร แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

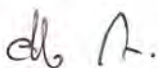
(ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์)

ประธานกรรมการ



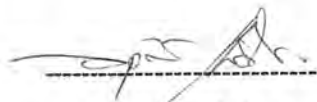
(ดร.ต๋องจิตต์ คิตชอบ)

กรรมการ



(ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ



(ดร.อนุวัตร แจ่มชัด)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้โดยใช้สารตัวเติมธรรมชาติ (Study of Biodegradable Polymers by Using Natural Fillers)
นักศึกษา	นางสาวลักษณีย์ วงษ์กำภู รหัส 38054244 นางสาวสาวิตรี พิเชฐกิจจาวัฒน์ รหัส 38054249
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อธิพิพล แจ่มชัด ดร. อนุวัตร แจ่มชัด
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymers) โดยนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) มาผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ (Natural fillers) คือ โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate soy protein) โปรตีนจากถั่วลิสง (Peanut protein concentrate) และ โซเดียมเคซีเนต (Sodium caseinate) ในปริมาณที่แตกต่างกัน (0-10% โดยน้ำหนัก) แล้วทำการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ในสภาวะที่เหมาะสม แล้วนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกล ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) และทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ แล้วนำผลการศึกษาที่ได้เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผสมสารตัวเติมธรรมชาติ พบว่า สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนที่เติมสารตัวเติมธรรมชาติ โซเดียมเคซีเนตปริมาณ 3-5% โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์เมื่อใช้อุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูปที่ 130 องศาเซลเซียส และการเติมสารตัวเติมธรรมชาติไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ จากรูป SEM ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนเมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติพบว่า สารตัวเติมแต่ละชนิดมีการกระจายตัวในพอลิเมอร์ดี อย่างไรก็ตามก็ยังคงพบช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการยึดเกาะระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ยังไม่ดี จากการศึกษายปริมาณคาร์บอนจากสารอินทรีย์ (Total organic carbon, TOC) พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) ได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Study of Biodegradable Polymers by Using Natural Fillers  
**Name** Miss Laksanee Wongkampoo  
 Miss Sawitree Pichadkitjawat  
**Special Project Advisors** Dr. Ittipol Jangchud  
 Dr. Anuvat Jangchud  
**Department** Chemistry  
**Academic Year** 1998

### Abstract

Novel biodegradable polymers were studied from high density polyethylene (HDPE) mixed with a varieties of natural fillers, i.e., wheat gluten, isolated soy protein, peanut protein concentrate, and sodium caseinate. The amount of the natural fillers was studied in a range of 0-10% by weight. The filled polymers were shaped by injection molding technique and then tested for mechanical, thermal, morphological (by SEM) and biodegradable properties. It was found that mechanical properties of the filled HDPE at 3-5% sodium caseinate filler loading were as good as those of the unfilled polymers. The optimum injection molding temperature was 130<sup>0</sup>C. It was seen that addition of the natural fillers had no effect on % water absorption of the polymers. From SEM study, it was revealed that the fillers had good dispersion in the polymer. However, the interfacial adhesion between the fillers and HDPE was weak as observed voids at the interfaces. By testing biodegradable property of the polymers with Trypsin enzyme using TOC technique it was found that the filled polymers were able to degrade faster than the unfilled polymers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ ดร.อนุวัตร แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องวิจัยและเครื่องมือของสถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร (KAPI)

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และ ดร.ต้องจิตต์ คิศจอบ อาจารย์คณะกรรมการการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ชูวงศ์ เอื้อสุขอารี ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และให้ความรู้เพิ่มเติมในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์ ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลการย่อยสลายทางชีวภาพ และอุปกรณ์การวิจัยอื่นๆ

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำ ในการใช้เครื่องมือที่ใช้เครื่องมือที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ทำให้โครงการพิเศษนี้ลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวลักษณ์ วงษ์กำภู

นางสาวสาวิตรี พิเชษฐกิจจำวัฒน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารตัวเติม	4
2.2 กรดอะมิโนและ โปรตีน	7
2.3 ชนิดและสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติ	21
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา	29
2.5 การย่อยสลายของพลาสติก	33
บทที่ 3	
การทดลอง	41
3.1 สารเคมีและวัสดุที่เกี่ยวข้อง	41
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	43
3.3 วิธีการทดลอง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4	
ผลการทดลองและวิจารณ์	46
4.1 การศึกษาสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ	46
4.2 การคัดเลือกสภาวะและเปอร์เซ็นต์สารตัวเติมธรรมชาติที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูป	48
4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM	65
4.4 ผลการย่อยสลายทางชีวภาพ	71
บทที่ 5	
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	74
ภาคผนวก	75
บรรณานุกรม	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสาร	5
ตารางที่ 2.2	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเมื่อใช้สารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ	6
ตารางที่ 2.3	แสดงโครงสร้างและสมบัติของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ	9
ตารางที่ 2.4	แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของ $\beta$ -lactoglobulin และ Caseinate	23
ตารางที่ 2.5	แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบใน โปรตีนจากถั่วเหลือง	27
ตารางที่ 2.6	แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบใน โปรตีนจากถั่วลิสง	28
ตารางที่ 3.1	สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีน	41
ตารางที่ 4.1	การศึกษาการสลายตัวของโปรตีนโดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ	46
ตารางที่ 4.2	แสดงเลขคลื่นที่เกิดจากการนำสารตัวเติมธรรมชาติ Wheat gluten, Soy protein, Peanut and Casein มาตรวจสอบหุ้มฟังก์ชันโดยเครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)	47
ตารางที่ 4.3	แสดงค่า TOC ที่ทำการวัดที่ 16 ชั่วโมง ของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ผสมโซเดียมเคซิเนต 10 % ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ทริปซินต่างกัน	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงสถิติการใช้วัสดุในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ	1
รูปที่ 2.1 รูปแสดงคุณสมบัติของกรดอะมิโน ก. สเตอริโอไอโซเมอร์ ข. การแตกตัว ค. การเกิดพันธะไดซัลไฟด์	8
รูปที่ 2.2 แสดงพันธะเปปไทด์ ก. ในสายโปรตีน ข. อะตอมต่างๆ ของพันธะเปปไทด์ ในระนาบเดียวกัน ค. โครงสร้างเรโซแนนซ์ ง. มุมหมุนของพันธะเปปไทด์	14
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์ ก. แสดงการเขียนชื่อย่อและสูตรเต็ม ข. โครงสร้างปฐมภูมิของอินซูลิน	15
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน ก. เกลียวอัลฟา ข. แผ่นพลิตทีบิตา	16
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างตติยภูมิของโปรตีน ก. all $\alpha$ -protein ข. all $\beta$ -protein ค. $\alpha$ + $\beta$ -protein ง. $\alpha$ / $\beta$ -protein จ. Coiled protein with disulfide ฉ. Coiled protein with metal ion	18
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีน ก. ซีโมโกลบินแสดงตำแหน่งของ หน่วยย่อยและฮีม (แถบดำ) ข. Tobacco mosaic virus แสดง โปรตีนหน่วยย่อย ล้อมรอบเกลียวอาร์เอ	19
รูปที่ 2.7 การสูญเสียสภาพธรรมชาติและ การกลับสู่สภาพธรรมชาติ	20
รูปที่ 2.8 ผลของปริมาณแป้ง Ecostar ที่ใช้ต่อความสามารถในการยืดขาดของ แผ่นฟิล์ม LDPE	30
รูปที่ 2.9 ความสามารถในการยืดขาดของแผ่นฟิล์ม LDPE ในแต่ละสูตรที่ต่างกัน	31
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเครื่อง Large sliding microtome	38
รูปที่ 2.11 แสดงส่วนบรรจุสารที่ทำการทดสอบของเครื่อง Total organic carbon	39
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Total organic carbon	39
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงที่จุดขาดกับอุณหภูมิที่ใช้ ในการฉีดขึ้นรูป	48
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่ามอดูลัสกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	49
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด กับอุณหภูมิเริ่มต้น ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง Shore D ของพอลิเมอร์กับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	51
รูปที่ 4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงกระแทกกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	52
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอ กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูป	53
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงยึดกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	54
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	55
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ในการดึงยึดกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	56
รูปที่ 4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความแข็งกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	57
รูปที่ 4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงกระแทกกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	58
รูปที่ 4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอ กับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ	59
รูปที่ 4.13	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ WHEAT ต่างๆ	60
รูปที่ 4.14	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ SOY ต่างๆ	61
รูปที่ 4.15	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ PEANUT ต่างๆ	62
รูปที่ 4.16	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ CASEIN ต่างๆ	63
รูปที่ 4.17	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติม 10% เป็นเวลา 9 วัน	64
รูปที่ 4.18	แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม WHEAT	65
รูปที่ 4.19	แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม SOY	65
รูปที่ 4.20	แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม PEANUT	66
รูปที่ 4.21	แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม CASEIN	66
รูปที่ 4.22	แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ โปรีตินจากข้าวสาลี (WHEAT)	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

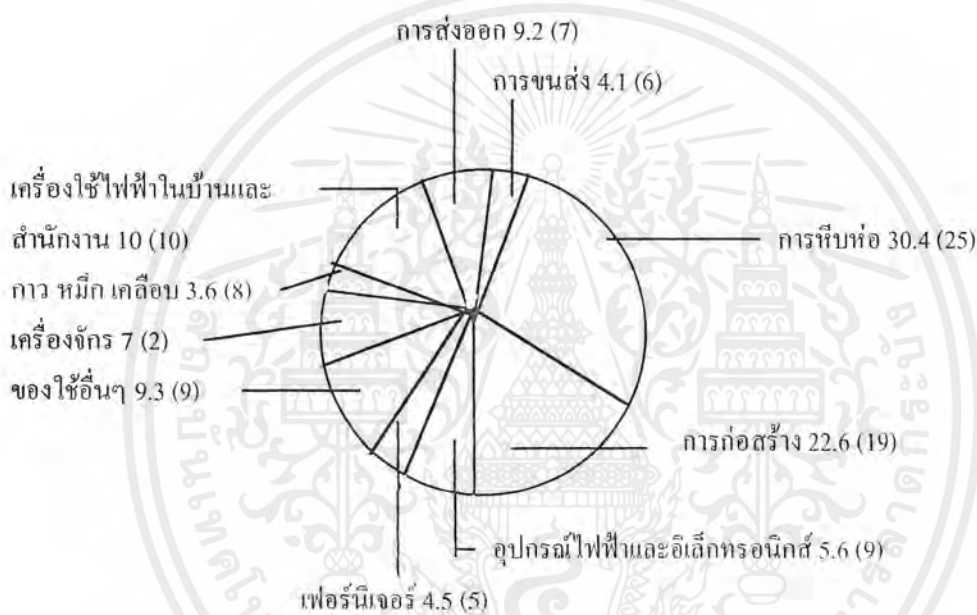
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ โปรตีนจากถั่วเหลือง (SOY)	67
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ โปรตีนจากถั่วลิสง (PEANUT)	68
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ โปรตีนจากโซเดียมเคซีน (CASEIN)	68
รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากข้าวสาลี (WHEAT)	69
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากถั่วเหลือง (SOY)	69
รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากถั่วลิสง (PEANUT)	70
รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากโซเดียมเคซีน (CASEIN)	70

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

พลาสติกเป็นวัสดุที่รู้จักกันดีในปัจจุบันและนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวัน เช่น ถุงพลาสติก ขวดน้ำ กล่องใส่อาหาร หรือภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่างๆ



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงสถิติการใช้วัสดุในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ [1]

สาเหตุหลักที่พลาสติกได้รับความนิยมสูงเทียบกับวัสดุอื่นๆ เนื่องมาจากความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมพลาสติก ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดใหม่ๆ ที่ให้คุณสมบัติในการใช้งานดีขึ้น หรือขบวนการแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติก ตลอดจนรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพของสินค้าและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด ในปัจจุบันพบว่าพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดทั้งในแง่ของปริมาณและขอบเขตการใช้งาน เนื่องจากมาคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ราคาถูก มีความทนทานต่อสารเคมี มีความเหนียวสูง สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความต้องการได้ง่าย ใช้เวลาการผลิตสั้น น้ำหนักเบา สีสนสวยงาม สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ เป็นต้น โดยจีนงานที่ใช้ส่วนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจากงานฉีดแบบหรือเป่าแบบ เนื่องจากความต้องการการทรงตัวของชิ้นงานสูงและมีความแข็งแรง เหนียว จึงสนใจพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) กันเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยโครงสร้างโมเลกุลมีการต่อเรียงเป็นสายโซ่ตรง และมีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถผลิตพลาสติกที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้

ขณะเดียวกันในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น การผลิตพลาสติกได้เริ่มจากการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยจะพบว่ากำลังการผลิตพลาสติกได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะพอลิเอทิลีนมีกำลังการผลิตที่สูงกว่าพลาสติกชนิดอื่น

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณความต้องการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จึงก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกตามมา เนื่องจาก พลาสติกทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้พลาสติกเป็นวัสดุหรือทำลายได้ยากในธรรมชาติ จึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะของขยะพลาสติกเกิดขึ้น โดยทั่วไปขยะพลาสติกส่วนใหญ่ จะมีวิธีกำจัดโดย [2]

1. การนำไปถมดิน
2. การนำกลับมาใช้ในรูปแบบใหม่
3. การทำให้พลาสติกสลายตัว

จากแนวทางแก้ปัญหาข้างต้น ถึงแม้ว่าจะเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่ดีได้แต่ก็มีผลกระทบเกิดขึ้น คือ

1. การนำไปถมดิน เป็นวิธีที่ง่ายแต่มีปัญหาการยุบตัวของดินที่เกิดขึ้น ใช้เวลาในการย่อยสลาย และเกิดการปนเปื้อนของดินและน้ำ
  2. การนำไปเผาทิ้ง เป็นวิธีที่ง่ายแต่จะเกิดปัญหามลภาวะเป็นพิษ เนื่องจากก๊าซพิษที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเผา เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอไมด์ ฯลฯ
  3. การทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัว เช่น การใช้แสง กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ
- จากผลกระทบที่เกิดขึ้นข้างต้นจึงได้มีการพยายามที่จะศึกษาวิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่สามารถทำได้ง่ายและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความสนใจในการที่จะทำลายพลาสติกโดยใช้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยทำให้พลาสติกชนิดนั้นย่อยสลายได้ง่ายขึ้น จึงพบวิธีที่น่าสนใจ คือ การใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและเป็นวัสดุเหลือใช้มาทำเป็นสารตัวเติมในพลาสติก แล้วสามารถทำให้พลาสติกชนิดนั้นสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้นและไม่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อหาแนวทางในการศึกษาและการพัฒนาใช้วัสดุจากธรรมชาติบางชนิดมาใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) ในพอลิเมอร์ ได้แก่ โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate soy protein) โปรตีนจากถั่วลิสง (Peanut protein concentrate) และ โซเดียมเคซีเนท (Sodium caseinate)
2. เพื่อผลิตพอลิเมอร์ที่มีสารตัวเติมจากธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ง่าย ต้นทุนต่ำและมีสมบัติเชิงกลที่ดี
3. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่มีการนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้เป็นสารตัวเติม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ศึกษานิวทอน ฯลฯ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate soy protein) โปรตีนจากถั่วลิสง (Peanut protein concentrate), Sodium caseinate และ Whey protein
2. ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปของพลาสติกที่เหมาะสม และคัดเลือกสารตัวเติมที่สามารถขึ้นรูปได้
3. ศึกษาปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสมที่ให้สมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นที่ดี และเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ไม่มีการผสมสารตัวเติมธรรมชาติ และมีการผสมสารตัวเติม
4. การศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติมธรรมชาติ เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมสารตัวเติม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเลือกใช้สารตัวเติมจากธรรมชาติที่เหมาะสม และทราบปริมาณการผสมสารตัวเติมที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ที่มีคุณสมบัติที่ดีและต้นทุนการผลิตต่ำ
2. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสารตัวเติมและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ
3. ทราบถึงผลของการที่สามารถปรับปรุงพอลิเมอร์เพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีได้และลดปัญหาภาวะจากขยะที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารตัวเติม (Fillers)

##### 2.1.1 ความหมายของสารตัวเติม

สารตัวเติม (Fillers) คือ สารจำพวกผงหรือจำพวกเส้นใย ที่ใช้เติมใส่พอลิเมอร์เพื่อให้สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ดีขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งาน เป็นสารที่เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยในการเติมสารตัวเติมลงในพอลิเมอร์มีจุดประสงค์หลัก ดังนี้

1. ลดต้นทุนการผลิต เพราะสารตัวเติมเป็นสารที่เพิ่มเนื้อชนิดหนึ่งที่มีราคาถูก
2. ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เช่น เพิ่มค่ามอดูลัส ความแข็งแรงดึง การยึดตัว ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็ง เป็นต้น

นอกจากนี้โดยทั่วไปในการผลิตพอลิเมอร์จะมีการเติมสารตัวเติมบางชนิด สารเสริมแรง (Reinforcements) และสารเติมแต่ง (Additives) เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น

1. ปรับปรุงสมบัติการไหล ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตัวเติมและการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์

2. ปรับปรุงสมบัติทางเคมี เช่น เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ลดการซึมผ่าน เป็นต้น

3. ปรับปรุงสมบัติทางความร้อน เช่น ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว เป็นต้น
4. ปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
5. ปรับปรุงสมบัติทางแสง เช่น ค่าดัชนีหักเห เป็นต้น
6. เพิ่มอายุการใช้งาน

2.1.2 ประเภทของสารตัวเติม สารตัวเติมโดยทั่วไปจะแบ่งตามชนิดของสาร มีมากมายหลายชนิดดังตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสารสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. สารตัวเติมประเภทสารอินทรีย์ (Organic fillers) เป็นสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มเนื้อ และเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น ผงไม้ที่ได้จากการป่นไม้ สารเส้นใย จำพวกเซลลูโลส สังกะสี ปอ เป็นต้น

2. สารตัวเติมประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic fillers) สารตัวเติมประเภทนี้ ส่วนมากใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วนและสารเคมี และสามารถเพิ่มสมบัติเฉพาะบางประการ สารตัวเติมจำพวกนี้ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ), เกล็ดของแก้ว (Glass flake), ไมก้า (Mica), Silicon carbide เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสาร [3]

Types of Fillers for Polymers	
<p>I. Organic Materials</p> <p>A. Cellulosic products</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wood products               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Kraft paper</li> <li>b. Chips</li> <li>c. Coarse flour</li> <li>d. Ground flour                   <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Softwood flour</li> <li>(2) Hardwood flour</li> <li>(3) Shell flour</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. Comminuted cellulose products               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Chopped paper</li> <li>b. Diced resin board</li> <li>c. Crepe paper</li> <li>d. Pulp preforms</li> </ol> </li> <li>3. Fibers               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Alpha cellulose</li> <li>b. Pulp preforms</li> <li>c. Cotton flock</li> <li>d. Textile byproducts</li> <li>e. Jute</li> <li>f. Sisal</li> <li>g. Rayon</li> </ol> </li> </ol> <p>B. Lignin-type products</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ground bark</li> <li>2. Processed lignin</li> </ol> <p>C. Synthetic fibers</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Polyamides (Nylon)</li> <li>2. Polyesters (Dacron)</li> <li>3. Polyacrylonitrile (Orlon, Acrilan)</li> </ol> <p>D. Carbon</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carbon black               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Channel black</li> <li>b. Furnace black</li> </ol> </li> <li>2. Ground petroleum coke</li> <li>3. Graphite filaments</li> <li>4. Graphite whiskers</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Chrysotile</li> <li>(2) Amosite</li> <li>(3) Anthophyllite</li> <li>(4) Crocidolite</li> <li>(5) Tremolite</li> <li>(6) Actinolite</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>b. Kaolinite (China clay)</li> <li>c. Mica</li> <li>d. Nepheline syenite</li> <li>e. Talc</li> <li>f. Wollastonite</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Synthetic products               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Calcium silicate</li> <li>b. Aluminum silicate</li> </ol> </li> </ol> <p>C. Glass</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Glass flakes</li> <li>2. Solid glass spheres</li> <li>3. Hollow glass spheres</li> <li>4. Milled fibers</li> <li>5. Fibrous glass               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Filament</li> <li>b. Rovings</li> <li>c. Woven roving</li> <li>d. Yarn</li> <li>e. Mat</li> <li>f. Fabric</li> </ol> </li> </ol> <p>D. Metals</p> <p>E. Boron filaments</p> <p>F. Metallic oxides</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ground material               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Zinc oxide</li> <li>b. Alumina</li> <li>c. Magnesia</li> <li>d. Titania</li> </ol> </li> <li>2. Whiskers               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Aluminum oxide (sapphire)</li> <li>b. Beryllium oxide</li> <li>c. Magnesium oxide</li> <li>d. Thorium oxide</li> <li>e. Zirconium oxide</li> </ol> </li> </ol> <p>G. Calcium carbonate</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chalk</li> <li>2. Limestone</li> <li>3. Precipitated calcium carbonate</li> </ol> <p>H. Polyfluorocarbons</p> <p>I. Other fillers</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Whiskers (nonoxide)               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Aluminum nitride</li> <li>b. Beryllium carbide</li> <li>c. Boron carbide</li> <li>d. Silicon carbide</li> <li>e. Silicon nitride</li> <li>f. Tungsten carbide</li> </ol> </li> <li>2. Barium ferrite</li> <li>3. Barium sulfate</li> </ol>
<p>II. Inorganic Materials</p> <p>A. Silica products</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minerals               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Sand</li> <li>b. Quartz</li> <li>c. Tripoli</li> <li>d. Diatomaceous earth</li> </ol> </li> <li>2. Synthetic materials               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Wet processed silica</li> <li>b. Pyrogenic silica</li> <li>c. Silica aerogel</li> </ol> </li> </ol> <p>B. Silicates</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minerals               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Asbestos</li> </ol> </li> </ol>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ผลการเติมสารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ

จากผลงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาเมื่อมีการเติมสารตัวเติมและสารเสริมแรงลงในพลาสติก โดยสรุปจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติก เมื่อใช้สารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ [4]

	Glass fiber	Asbestos	Wollastonite	Carbon fiber	Whiskers	Synthetic fibers	Cellulose	Mica	Talc	Graphite	Sand/ quartz powder	Silica	Kaolin	Glass spheres	Calcium carbonate	Metallic oxides	Carbon black
Tensile strength	++	+		+	+-			+	o					+			
Compressive strength	+								+		+			+	+		
Modulus of elasticity	++	++	++	++	+			++	+		+	+		+	+	+	+
Impact strength	-+	-	-	-	-	++	+	-+	-		-	-	-	-	-+	-	+
Reduced thermal expansion	+	+			+			+	+		+	+	+			+	
Reduced shrinkage	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Better thermal conductivity		+	+	+				+	+	+	+	+					
Higher heat deflection temperature	++	+	+	++				+	+				+		+	+	
Electrical conductivity				+						+							+
Electrical resistance			+					++	+			+	++				+
Thermal stability			+					+	+		+	+	+				+
Chemical resistance		+	+					+	o	+			+	+			
Better abrasion behavior				+				+	+	+			+				
Extrusion rate	-+	+						+					+		+		
Machine abrasion	-	o			o	o	o		o	o	-			o	o		o
Price reduction	+	+	+				+	+	+	+	++	+	+	+	++		
	Fibrous fillers and reinforcements							Lamellar types			Spherical fillers						

++ considerable influence, + less pronounced influence, o no influence, - negative influence

### 2.1.4 รูปแบบการทำงานของสารตัวเติม

เมื่อใส่สารตัวเติมลงไปผสมกับพอลิเมอร์ สารตัวเติมมีรูปแบบการทำงานหลายรูปแบบ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. สารตัวเติมบางชนิดสามารถเกิดพันธะเคมีกับวัสดุ เปรียบได้ว่า สารตัวเติมทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง เช่น เขม่าดำ (Carbon black) เกิดปฏิกิริยาเคมีในรูปอนุภาคลิธระ จึงทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง (Reinforcing fillers) ในยาง
2. สารตัวเติมทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อ อยู่ในรูปของอนุภาคติดกับพื้นผิวของพอลิเมอร์ ซึ่งทิศทางการจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของอนุภาค จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารตัวเติมอยู่บริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ ทำหน้าที่ช่วยในการกระจายแรงกระแทก ทำให้ปรับปรุงความสามารถในการทนแรงกระแทกได้ดีขึ้น แต่อาจมีค่าทนแรงกระแทกลดลงบริเวณที่เป็นจุดต่อระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติม

แต่อย่างไรก็ตามสมบัติของวัสดุขึ้นกับสมบัติของสารประกอบ สารตัวเติมที่มีสมบัติทางกายภาพต่างกันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้ต่างกัน ในการทดลองนี้ สารตัวเติมที่สนใจเป็นจำพวกวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีนจากข้าวสาลี โปรตีนจากถั่วเหลือง เป็นต้น เมื่อเติมสารตัวเติมลงไปจะเกิดการผสมกับพอลิเมอร์โดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นจึงไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง แต่คาดว่าจะทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมที่สามารถทำให้พอลิเมอร์สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้

## 2.2 กรดอะมิโนและโปรตีน [5]

### 2.2.1 โครงสร้างของกรดอะมิโนในโปรตีน

โปรตีนเป็นโมเลกุลมหภาค (Macromolecule) ที่พบมากที่สุดสิ่งมีชีวิต โดยมากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแห้งของเซลล์ทั่วไปเป็นโปรตีน และเมื่อทำการสลายโปรตีนด้วยกรดจะได้สารอินทรีย์ง่าย ๆ เรียกว่า กรดอะมิโน (Amino acid) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น  $\text{NH}_2\text{-CHR-COOH}$  ในสูตรโครงสร้างนี้จะต่อคาร์บอนในตำแหน่งอัลฟาเป็นคาร์บอนไม่สมมาตร ดังนั้นกรดอะมิโนทุกตัว (นอกจากไกลซีน ซึ่งมี R เป็นไฮโดรเจน) จะมีสเตอริโอไอโซเมอร์ (Stereoisomers) ได้สองชนิด คือ D- และ L- โดยที่กรดอะมิโนที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นชนิด L- ดังแสดงในรูปที่ 2.1ก

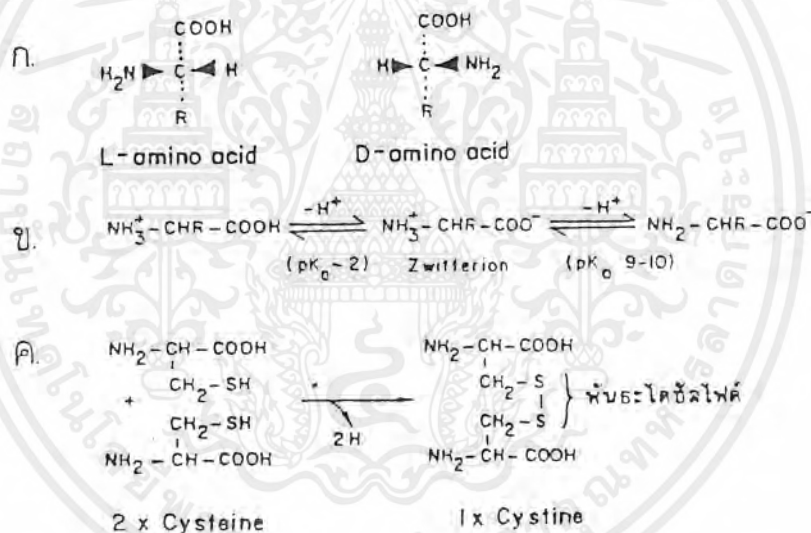
เนื่องจากกรดอะมิโนมีหมู่อัลฟาอะมิโนที่มีค่า pKa ประมาณ 9-10 และหมู่อัลฟาคาร์บอกซิลิกที่มีค่า pKa ประมาณ 2 ดังนั้นกรดอะมิโนจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบที่ pH เป็นกลาง ลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า ซวิตเตอร์ไอออน (Zwitterion) (รูปที่ 2.1ข) นอกจากนี้กรดอะมิโนจะมีจุดไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric point; pI) ซึ่งเป็นค่าประจุสุทธิของกรดอะมิโนมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากปริมาณประจุบวกเท่ากับปริมาณประจุลบพอดี

กรดอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด แต่ละชนิดจะมีชื่อเต็มและชื่อย่อแบบสามตัวอักษร และแบบหนึ่งตัวอักษร (ตารางที่ 2.3) กรดอะมิโนเหล่านี้แตกต่างกันที่หมู่ข้างเคียงหรือแขนงข้าง (Side chains) หรือ R group ซึ่งแบ่งออกได้เป็นแปดชนิดตามลักษณะทางเคมี คือ Aliphatic, Aromatic, Sulphur, Acidic, basic, Amide, Hydroxy และ Imino (ตารางที่ 2.3) แขนงข้างแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวหลายอย่าง ในประการแรก แขนงข้างบางชนิดสามารถแตกตัวได้ เช่น แขนงข้างของกรดแอสปาร์ติก (Aspartic acid) กรดกลูตามิก (Glutamic acid) ซิสเตอีน (Cysteine) และไทโรซีน (Tyrosine) จะมีประจุเป็นลบเมื่อ pH ของสารละลายสูงกว่า pKa ของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประการที่สอง กรดอะมิโนที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง 260-280 nm ได้แก่ กรดอะมิโนในกลุ่ม Aromatic เท่านั้น ประการสุดท้าย กรดอะมิโนซิสเตอีน (Cysteine) ยังมีคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่ง คือ ซิสเตอีนสองโมเลกุลรวมตัวกันโดยสร้างพันธะโควาเลนต์ เรียกว่า พันธะไดซัลไฟด์ (Disulphide bond) กลายเป็นกรดอะมิโนซิสไคน์ (รูป 2.1ค)

คุณสมบัติทางเคมีของแขนงข้าง ทำให้กรดอะมิโนบางตัวมีขั้ว (Polar) มักพบอยู่ที่บริเวณผิวนอกของโปรตีน เพราะชอบน้ำ (Hydrophilic) ส่วนกรดอะมิโนอีกกลุ่มหนึ่งมีลักษณะไม่มีขั้ว (Nonpolar) และมักซ่อนอยู่ภายในโมเลกุลของโปรตีน เพราะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) กรดอะมิโนที่เหลือไม่มีแนวโน้มที่จะเป็นขั้วหรือไม่เป็นขั้ว อาจเรียกว่า เป็นกลาง ๆ (Ambivalent) และมักพบอยู่ทั้งภายนอกและภายใน โมเลกุลของโปรตีน



รูปที่ 2.1 รูปแสดงคุณสมบัติของกรดอะมิโน ก. สเตอริโอไอโซเมอร์ ข. การแตกตัว  
ค. การเกิดพันธะไดซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





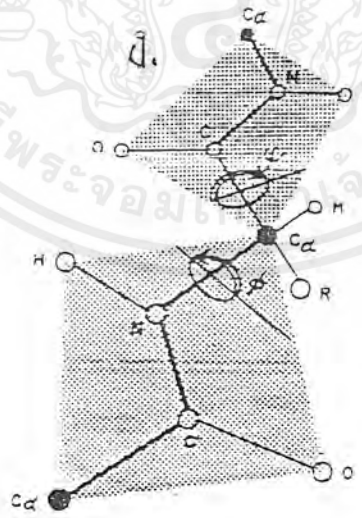
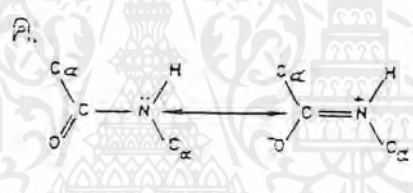
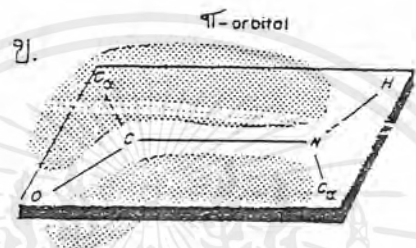
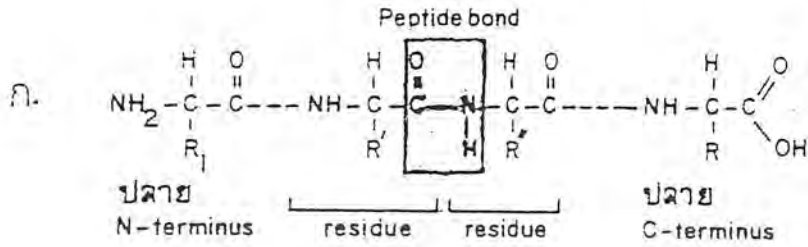




### 2.2.2 พันธะที่เชื่อมโยงกรดอะมิโนในโปรตีน

เปปไทด์ โปลิเปปไทด์ และโปรตีน เป็นโมเลกุลที่ได้จากการเชื่อมโยงกรดอะมิโนด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่เรียกว่า พันธะเปปไทด์ (Peptide bond) โครงสร้างส่วนที่เหลือของกรดอะมิโนในเปปไทด์ โปลิเปปไทด์ หรือโปรตีน เรียกว่า Amino acid residue (รูปที่ 2.2 ก.) คำว่าโปรตีนนั้นมักจะใช้เรียกโมเลกุลที่มีน้ำหนักมากกว่า 5,000 ขึ้นไปและโพลีเปปไทด์มักจะใช้เรียกโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1,000-5,000 พันธะเปปไทด์ประกอบด้วยอะตอมของอัลฟา คาร์บอนทั้งสองตัว คาร์บอนิลคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน อยู่ภายในระนาบเดียวกัน (รูปที่ 2.2 ข.) โดยที่คาร์บอนิลคาร์บอนและไนโตรเจนต่างใช้  $sp^2$  ออริบิทัลสร้างพันธะระหว่างกัน และสร้างพันธะกับอะตอมอื่นๆ คือ อัลฟา คาร์บอนทั้งสอง ออกซิเจน และไฮโดรเจน ส่วนอิเล็กตรอนที่เหลือ กล่าวคือ หนึ่งอิเล็กตรอนในคาร์บอนิลคาร์บอน และออกซิเจน และอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair) ของไนโตรเจนจะกระจาย (Delocalize) อยู่ในพายออริบิทัล ( $\pi$ -orbital) ที่ครอบคลุม 2p ออริบิทัลของอะตอมทั้งสาม (รูปที่ 2.2 ข.)

อีกนัยหนึ่งคือ โครงสร้างของพันธะเปปไทด์จะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เรียกว่า เรโซแนนซ์ (Resonance) ดังรูป 2.2 ค. ซึ่งเรโซแนนซ์เหล่านี้จะทำให้พันธะเปปไทด์มีความแข็งแรงมากกว่าพันธะเดี่ยวธรรมดา แต่น้อยกว่าพันธะคู่ธรรมดา ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน แต่เนื่องจากเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีที่อะตอมของคาร์บอนิลคาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจนอยู่ในระนาบเดียวกัน อะตอมทั้งสองนี้จึงถูกตรึงไม่ให้หมุนรอบพันธะที่เชื่อมระหว่างกัน ดังนั้นจึงพบว่าอัลฟา คาร์บอนที่อยู่เรียงกันในโปรตีนมักจะอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม (Trans position) โดยที่พันธะระหว่างอัลฟา คาร์บอนกับคาร์บอนิลคาร์บอน และระหว่างอัลฟา คาร์บอนกับไนโตรเจนสามารถหมุนรอบได้โดยใช้สัญลักษณ์  $\psi$  (Psi) และ  $\phi$  (Phi) กำหนดมุมของการหมุนรอบ ตามลำดับ (รูปที่ 2.2 ง.)

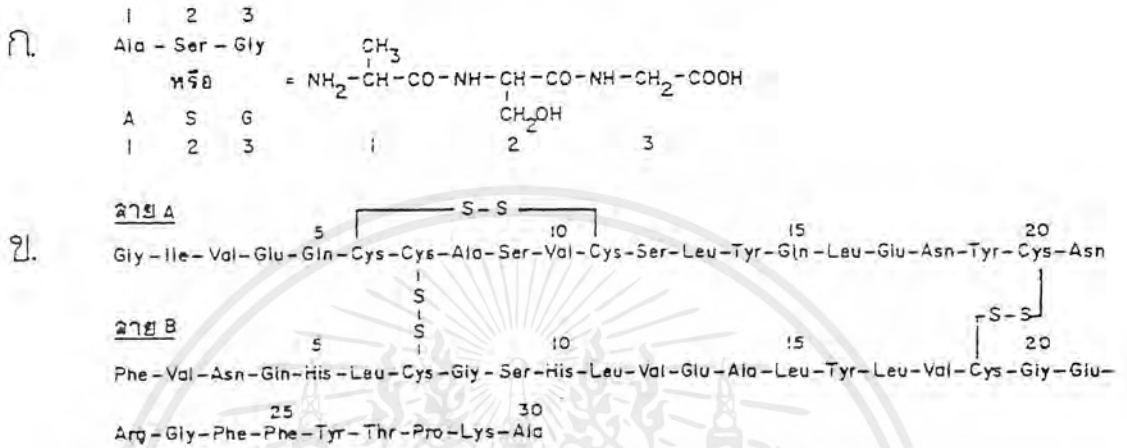


รูปที่ 2.2 แสดงพันธะเปปไทด์ ก. ในสายโปรตีน ข. อะตอมต่างๆ ของพันธะเปปไทด์ ในระนาบเดียวกัน ค. โครงสร้างเรโซแนนซ์ ง. มุมหมุนของพันธะเปปไทด์

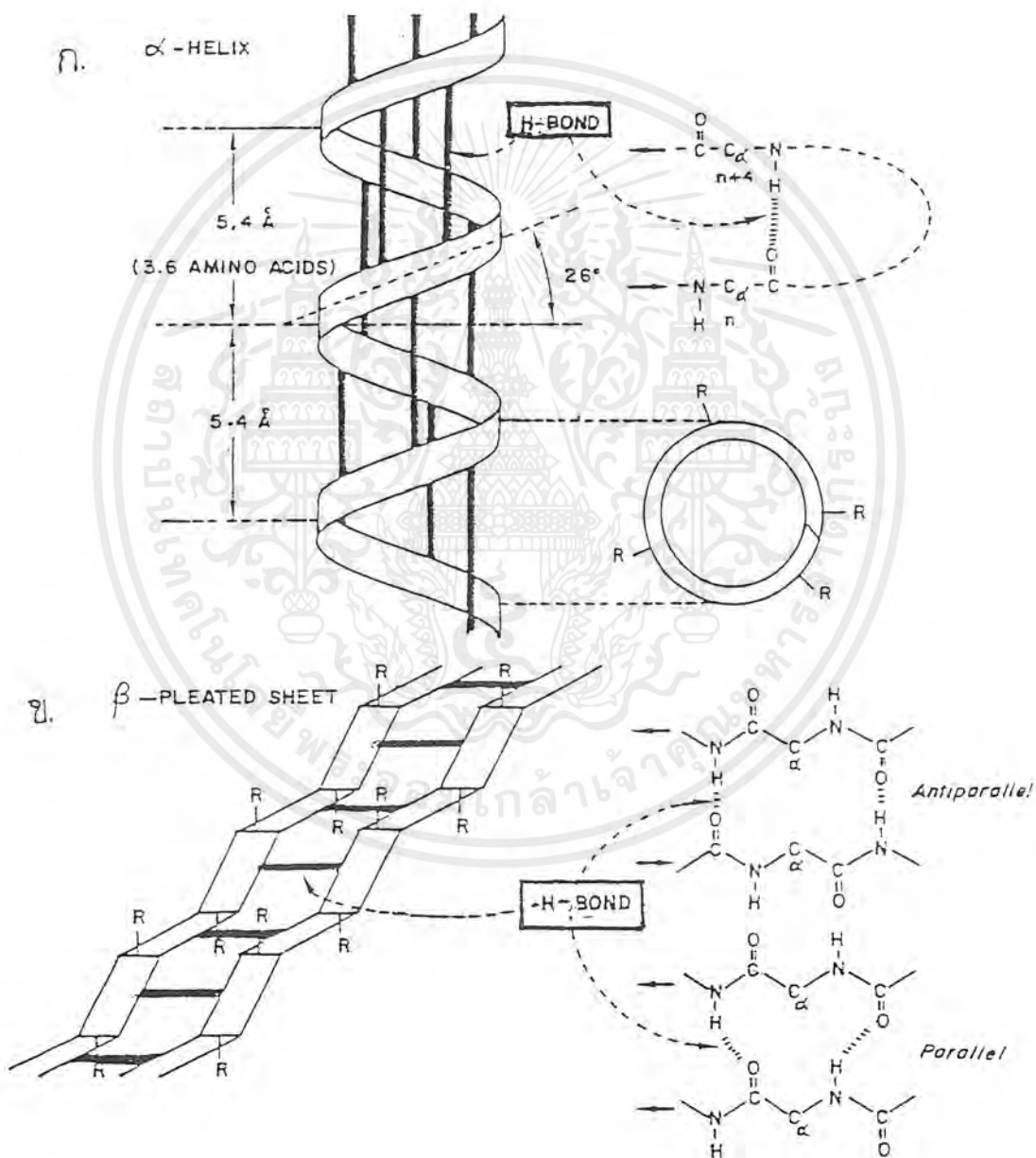
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ลำดับโครงสร้างของกรดอะมิโนในโปรตีน

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนที่ประกอบด้วย การเรียงลำดับของกรดอะมิโน ที่จำเพาะเป็นสายยาวของโซ่พอลิเปปไทด์ด้วยพันธะเปปไทด์ ดังรูป ที่ 2.3



ในแผ่นพลิทบิดา สายเปปไทด์จะวิ่งขนานกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่ม CO และกลุ่ม NH ของพันธะเปปไทด์ที่เคียงคู่กัน (รูปที่ 2.4 ข.) แขนงข้างจะชี้ออกสู่ด้านล่างและด้านบนของสายเปปไทด์ แขนงข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน (Glycine) เซรีน (Serine) และอะลานีน (Alanine) จะช่วยทำให้แผ่นพลิทอยู่ตัวได้ดี ในโปรตีนเส้นใย (Fibrous protein) จะพบว่าสายเปปไทด์ที่เคียงคู่กันจะวิ่งสวนทางกัน แต่ในโปรตีนชนิดก้อนกลม (Globular protein) สายเปปไทด์ที่เคียงคู่กันอาจวิ่งไปในทางเดียวกันหรือสวนทางกันก็ได้

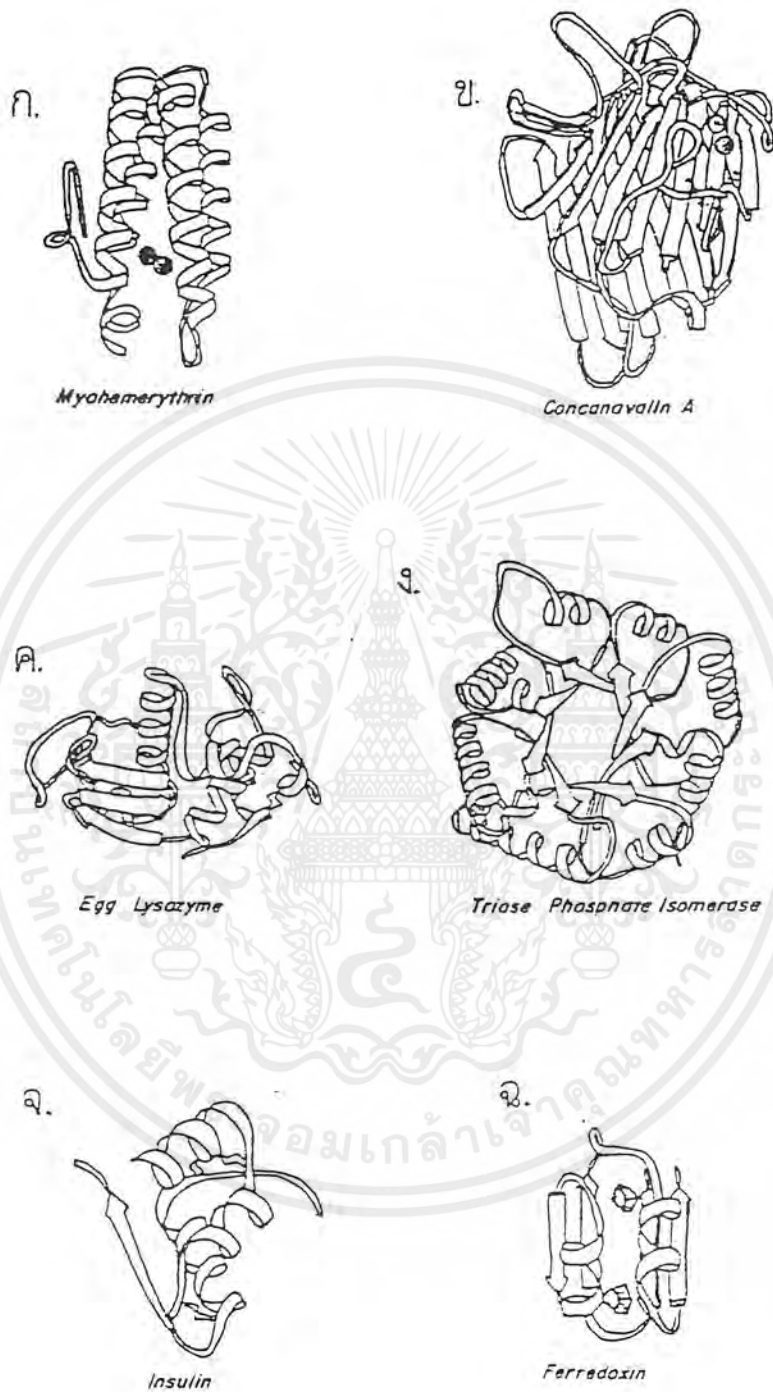


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน ก.เกลียวอัลฟา ข.แผ่นพลิทบิดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure) หมายถึงความสัมพันธ์เชิงสเตอริโอระหว่างกรดอะมิโนของเส้นเปปไทด์ที่อยู่ห่างกัน และมักจะหมายถึงโครงรูปของสายเปปไทด์ทั้งสายที่ประกอบด้วยโครงสร้างทุติยภูมิหลายส่วนรวมกัน โดยจากการศึกษาพบว่า โปรตีนเส้นใยมีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ และมีโครงสร้างทุติยภูมิคล้ายกันตลอดโมเลกุล ส่วนโปรตีนชนิดก้อนกลมมีโครงสร้างตติยภูมิที่ซับซ้อนกว่า สายเปปไทด์จะพันกันไปพันกันมาและอัดกันแน่นทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นก้อนกลม บริเวณที่ทำงานได้ของโปรตีนมักจะเป็นร่องที่ผิวของโมเลกุล ในก้อนกลมนี้บางส่วนของเปปไทด์จะทบกันอย่างเป็นระเบียบ และอาจมีลักษณะเป็นเกลียวอัลฟาและแผ่นพลิทบีตาก็ได้ แต่บางส่วนของมันจะซ้อนทับกันอย่างไร้ระเบียบ ดังนั้น ปริมาณและการจัดเรียงโครงสร้างทุติยภูมิทั้งสองนี้จึงสามารถนำมาใช้แบ่งชนิดของโครงสร้างตติยภูมิเป็นห้าประเภท (รูปที่ 2.5) คือ

1. all  $\alpha$ -protein (รูปที่ 2.5 ก.) ที่มีแต่เกลียวอัลฟาเท่านั้น
2. all  $\beta$ -protein (รูปที่ 2.5 ข.) ที่มีแต่เฉพาะแผ่นพลิทเบตา
3.  $\alpha+\beta$ -protein (รูปที่ 2.5 ค.) ที่มีทั้งเกลียวอัลฟาและแผ่นพลิทเบตา ซึ่งมักจะอยู่ห่างจากกัน
4.  $\alpha/\beta$ -protein (รูปที่ 2.5 ง.) ที่มีเกลียวอัลฟาและแผ่นพลิทบีตาสลับกัน
5. Coil protein ที่มักจะเป็นโปรตีนขนาดเล็ก ที่มีปริมาณเกลียวอัลฟาและแผ่นพลิทบีตาน้อย เพราะว่ามีพันธะไดซัลไฟด์หรือไอออนของโลหะเป็นจำนวนมาก ช่วยยึดโครงสร้างไว้ (รูปที่ 2.5 จ.ฉ)



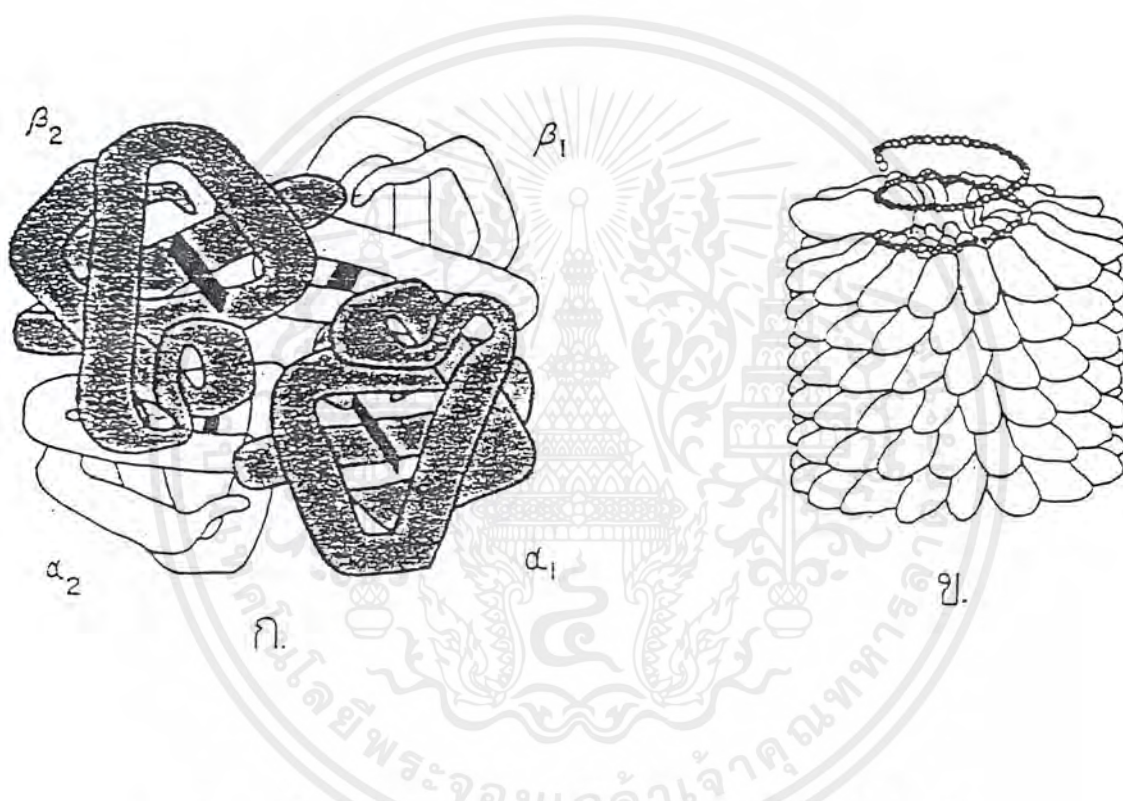
รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างตติยภูมิของ โปรตีน ก. all  $\alpha$ -protein ข. all  $\beta$ -protein

ค.  $\alpha + \beta$ -protein ง.  $\alpha / \beta$ -protein จ. Coiled protein with disulfide

ฉ. Coiled protein with metal ion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure) เป็นคำที่ใช้กับ Oligomeric protein ได้แก่ โปรตีนที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย ดังนั้น โครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีนจะหมายถึงลักษณะการเรียงตัวของหน่วยย่อยในโปรตีนที่พบในธรรมชาติ โปรตีนอาจมีหน่วยย่อยชนิดเดียวหรือมากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ เช่น ฮีโมโกลบิน จะจัดเรียงกันในลักษณะจตุรมุข (Tetrahedral) ส่วน Tobacco mosaic virus (TMV) เป็นไวรัสจากใบยาสูบประกอบด้วย RNA หดเป็นเกลียวหุ้มด้วยโปรตีนหน่วยย่อยชนิดเดียวกันอย่างมากมาย (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีน ก. ฮีโมโกลบินแสดงตำแหน่งของหน่วยย่อยและซิม (แถบดำ) ข. Tobacco mosaic virus แสดงโปรตีนหน่วยย่อยล้อมรอบเกลียวอาร์เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.4 การสูญเสียสภาพธรรมชาติ (Denaturation) [6]

การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน คือ การที่โครงสร้างทุติยภูมิ โครงสร้างตติยภูมิ และ โครงสร้างจตุรภูมิถูกทำลายได้โดยพวกสารเคมีหรือสภาวะบางอย่าง ทำให้พอลิเปปไทด์ซึ่งเคยมีการคองที่จำเพาะ (Specific folding) นั้นคลายตัวเป็นเส้นที่ไม่มีระเบียบแบบแผน (Random coil) โดยที่พันธะเปปไทด์ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์จะไม่ถูกทำลายแสดงว่าโครงสร้างปฐมภูมิยังคงมีอยู่

โปรตีนที่เกิดจากการสูญเสียสภาพธรรมชาตินี้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ไม่สามารถจะแสดงกิจกรรมทางชีววิทยาได้ คุณสมบัติการละลายน้ำลดต่ำลง อย่างไรก็ตาม โปลิเปปไทด์ที่เกิดการคลายตัวออกมานี้จะสามารถกลับไปมีโครงสร้างแบบเดิมได้ (Renaturation) ถ้าเราแยกสารเคมีนั้นออกไปหรือขจัดสภาวะต้นเหตุที่เสียดังกล่าวกลับเป็นอย่างเดิมได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสูญเสียสภาพธรรมชาติและการกลับสู่สภาพธรรมชาติ

สารเคมีหรือสภาวะที่สามารถทำลายสภาพของ โปรตีน

1. ความร้อน ความดัน การทำให้แข็ง
2. สารเคมีบางชนิด เช่น Urea , Guanidine hydrochloride
3. รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอ็กซ์
4. สารอินทรีย์บางชนิด เช่น เอทานอล เมทานอล และอะซิโตน
5. กรดแก่และด่างแก่
6. Detergent เช่น Sodium dodecyl sulfate (SDS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เกลือของโลหะหนักบางชนิด เช่น Mercuric chloride , Lead acetate และ Silver nitrate เป็นต้น

8. อัลคาลอยด์รีเอเจนต์ เป็นสารที่ใช้ตกตะกอนพวกอัลคาลอยด์ ได้แก่ Tannic acid , Picric acid เป็นต้น

9. เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน

#### ผลของการเสียสภาพธรรมชาติที่มีต่อโปรตีน

เนื่องจากการที่โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติโดยเป็นผลมาจากการให้ความร้อน แก่โปรตีน ซึ่งมีผลต่อ โครงสร้างและการดูดซับน้ำของโปรตีน โดยจะปรากฏได้สองทางแตกต่างกัน โดยพิจารณาความไม่ชอบน้ำ

1. โมเลกุลไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้น บริเวณที่ไม่ชอบน้ำจึงเปิดออก ทำให้สูญเสียความสามารถในการละลาย

2. ความร้อนเหนียวทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้บริเวณพื้นที่ที่ไม่ชอบน้ำจึงลดลง

ซึ่งในการเกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ จะเกิดขึ้นเป็นรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของ โครงสร้างและรูปร่างของโปรตีนชนิดนั้นๆรวมทั้งสภาพแวดล้อมที่อยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติไปแต่โปรตีนยังคงสามารถรักษาโครงสร้างทางเคมีไว้ได้ จึงทำให้ในการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ยังคงเกิดขึ้นเหมือนเดิม แต่ประสิทธิภาพอาจน้อยลงไปบ้าง

### 2.3 ชนิดและสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติ [7]

2.3.1 โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) โปรตีนจากข้าวสาลีจะพบเป็นจำนวน 8-15 % ของน้ำหนักแห้งในเมล็ดของข้าวสาลี โดยจะพบว่าโปรตีนอีก 70 % จะพบในเอนโดสเปิร์มของข้าวสาลีซึ่งจะเป็นส่วนที่นำไปผลิตเป็นแป้งสาลี เมื่อทำการแยกโปรตีนออกจากข้าวสาลีจะแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- Albumins
- Globulins
- Prolamins
- Glutelins

โปรตีนทั้ง 4 ชนิดนี้จะเป็นตัวกำหนดชนิดของ Wheat proteins

Wheat gluten มีชื่อทางการค้าว่า “ Vital wheat gluten” โดยจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 75-85% โปรตีนส่วนใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบจะเป็น Gliadin, Glutinin และมี โปรตีน Albumins, Globulins อยู่เป็นส่วนน้อยมาก

#### การสกัด Wheat gluten

- ในห้องปฏิบัติการจะเตรียม Gluten จากแป้งสาลี โดยนำแป้งสาลีมาสกัดไขมันออกโดยใช้ n-butyl alcohol ส่วนแป้งและส่วนที่ไม่ใช่ Gluten จะถูกล้างออกโดยการใส่สารละลายเจือจางของโซเดียมคลอไรด์ที่ร้อน ต่อมานำมาใส่ในสารละลายเจือจางของกรดอะซิติก ทำการเหวี่ยงแล้วนำไปอบแห้งเพื่อทำเป็นผงของ Gluten

- ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะเตรียมจากการนำแป้งสาลีมาล้างขณะที่มีการปั่นกวน โดยจะใช้สารละลายอัลคาไลน์ในการแยกแป้งออกไป จากนั้นจึงนำมาทำการเหวี่ยงและแยกด้วยเทคนิคต่างๆกัน

#### ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์ : เป็นผงสีน้ำตาล-สีเหลืองอ่อน

กลิ่น : มีกลิ่นข้าวสาลีเล็กน้อย

การดูดซับน้ำ : 150 %

#### องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน 75.0-82.2 %

ความชื้น 8.0 %

เถ้า 1.0 %

#### การนำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไป

1. เป็นแหล่งโปรตีนและเป็นตัวเสริม โปรตีน
2. เป็น Binder และเป็น Extender ของไขมันและน้ำ ทำให้ไขมันและน้ำรวมตัวกันได้ดี ผลิตภัณฑ์สูญเสียให้น้ำน้อยลง
3. ให้โครงสร้างในผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบเนื้อ
4. เป็น Dusting flour ของเนื้อ

2.3.2 Whey protein เป็นโปรตีนที่ได้จากนม โดยจะมี Whey protein เป็นปริมาณ 20 % ของปริมาณ โปรตีนทั้งหมดในนม และจะพบว่า Whey protein จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ทั้งหมด 5 ชนิด คือ

1.  $\alpha$ -lactalbumin
2.  $\beta$ -lactoglobulin
3. Bovine serum albumin (BSA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. Immunoglobulins

## 5. Proteose-peptones

$\alpha$ -lactalbumin มีประมาณ 25 % ของ Whey protein ซึ่งจะเป็นโปรตีนที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 14,000 g/mol

$\beta$ -lactoglobulin จะเป็นโปรตีนหลักที่พบส่วนประกอบใน Whey protein โดยจะพบประมาณ 3.7 กรัมต่อลิตร ชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของ  $\beta$ -lactoglobulin จะแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของ  $\beta$ -lactoglobulin และ Caseinate

Amino Acid	Whey Protein <sup>1</sup> Isolate	$\beta$ -Lactoglobulin <sup>1</sup> A	Caseinate <sup>2</sup>	$\alpha_1$ -B	Casein <sup>3</sup> $\beta$ -A1	$\alpha$ -A
Lysine	8.3	9.2	6.9	7.0	5.3	5.3
Histidine	7.8	1.2	2.6	2.5	2.9	1.8
Arginine	1.9	1.8	2.8	3.0	1.9	3.0
Aspartic Acid <sup>4</sup>	10.0	9.9	6.5	7.5	4.3	7.1
Threonine	4.7	4.9	4.5	2.5	4.3	8.9
Serine	7.9	4.3	6.4	8.0	7.5	7.7
Glutamic Acid <sup>4</sup>	13.3	15.4	18.6	19.6	18.7	16.0
Proline	4.9	4.9	10.9	8.5	16.3	11.8
Glycine	2.6	1.8	2.9	4.5	2.4	1.2
Alanine	6.6	8.6	4.4	4.5	2.4	8.3
Cysteine/2	2.4	3.1	0.3	0.0	0.0	1.2
Valine	4.0	6.2	7.3	5.5	9.1	6.5
Methionine	1.6	2.5	2.5	2.5	2.9	1.2
Isoleucine	4.7	6.2	5.2	5.5	4.8	7.1
Leucine	12.3	13.6	9.5	8.5	10.5	4.7
Tyrosine	2.5	2.5	4.0	5.0	1.9	5.3
Phenylalanine	2.5	2.5	4.0	4.0	4.3	2.4
Tryptophan	1.2	1.2	0.8	1.0	0.5	0.6

<sup>1</sup>From Bio-Isolates, Le Sueur Isolates, Le Sueur, MN (1992).

<sup>2</sup>From Kinsele and Whitenead (1959).

<sup>3</sup>From New Zealand Milk Products, Inc., Santa Rosa, CA (1992).

<sup>4</sup>From Brunner (1977).

<sup>5</sup>Includes asparagine.

<sup>6</sup>Includes glutamine.

Bovine serum albumin (BSA) เป็นโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 66,000 ซึ่งประกอบด้วย พันธะ Disulfide 17 พันธะ และหมู่ Thiol อิสระ 1 หมู่ เนื่องจากโครงสร้างนี้ทำให้ BSA เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

Immunoglobulins และ Proteose-peptones เป็นส่วนที่พบส่วนน้อยใน Whey protein โดยที่ Immunoglobulins มีหน้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนผ่านเมมเบรน (Membrane) และเกิดการเชื่อมต่อนของ แอนติเจน (Antigen) แต่จะพบว่า Immunoglobulins จะไม่เสถียรต่อความร้อน

Proteose-peptones จะมีคุณสมบัติเป็น Amphiphilic ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีผลต่อคุณสมบัติของโปรตีนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การสกัด Whey protein

ในการสกัด Whey protein ออกมาเพียงอย่างเดียวจะเป็นการสกัดที่ต้องใช้ต้นทุนที่สูงมาก เนื่องจากจะต้องใช้กระบวนการที่ซับซ้อนในการที่จะทำให้บริสุทธิ์ โดยเริ่มจากการที่ต้องแยก Casien ออกจาก Skim milk โดยการใช้กรดในการตกตะกอน หลังจากนั้นทำการแยก Whey protein ทั้งหมดออกจากองค์ประกอบที่มีอยู่ใน Whey โดยในการแยก Whey protein ออกอาจทำได้หลายวิธี เช่น

- เนื่องจาก Whey protein สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนได้กับคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose, CMC) จึงใช้กรดตกตะกอนออกมาที่ pH 3.2 แล้วล้างด้วย 0.25 % CMC แล้วนำไปกำจัดองค์ประกอบอื่นๆออกด้วยการเหวี่ยง

- การแยก Whey protein โดยการทำให้ Ion exchange ด้วย Sodium hexametaphosphate
- การแยกโดยการกรองชนิด Ultrafiltration
- การใช้วิธี Reverse osmosis

ฯลฯ

วิธี โดยทั่วไปที่ใช้ คือ การแยก Whey protein โดยการเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต 200 กรัมต่อลิตร ลงในนมที่ 40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงทำการแยกส่วนประกอบต่างๆออกจากกัน และเนื่องจาก  $\beta$ -lactoglobulin เป็นโปรตีนหลักที่พบใน Whey protein จึงสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยการใส่ 3% Trichloroacetic acid ใต้ลงในสารละลาย Whey แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง หลังจากนั้นจึงนำไปกำจัด Lactose และเกลือทั้งหมดออกจาก  $\beta$ -lactoglobulin

### ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์	:	ผงสีขาว
รส	:	หวาน
กลิ่น	:	ตามธรรมชาติ

### องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน	72.0 %
ไขมัน	4.0 %
ไขมัน	1.5 %
เกลือ	4.6-5.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 Sodium caseinate หรือ Casein

Casein เป็นโปรตีนหลักที่พบในนม ซึ่งมีประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมดที่พบในนม และความเข้มข้นของ Casein ในนมอยู่ระหว่าง 2.5-3.2% จะพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ Casein จะเป็นพวก Phospho proteins ซึ่งจะเกิดการตกตะกอนที่ pH 4.6 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะพบว่า Casein ที่ตกตะกอนจะประกอบด้วย

- $\alpha_{s1}$ - Casein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 23,500 และตกตะกอนที่ pH 5.1
- $\alpha_{s2}$ - Casein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 23,500 และตกตะกอนที่ pH 5.1
- $\beta$  - Casein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 24,000 และตกตะกอนที่ pH 5.3
- $\gamma$  - Casein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 19,000 และตกตะกอนที่ pH 3.7 และ pH 4.2

วิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้ในการตกตะกอน Casein คือ การตกตะกอนด้วย pH โดยจะพบว่าที่อุณหภูมิ 2 °C ความสามารถในการละลายน้อยที่สุด จะเกิดที่ pH 4.3 และที่อุณหภูมิ 20 °C และ 30 °C ความสามารถในการกระจายตัวมากที่สุด เกิดที่ pH 4.6 ดังนั้น Skim milk จะตกตะกอนที่ pH 4.6 ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์

#### การสกัด Casein ออกจาก Whey

นำ Whey มาละลายใน 50% แอลกอฮอล์ในสารละลายแอมโมเนียมแอซิเตด ( Ammonium acetate) แล้วนำมาแยกส่วนต่างๆ ของ Casein ออก

$\alpha_{s1}$  และ  $\gamma$  -Casein สามารถแยกโดยตกตะกอนด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 37 °C แล้วกำจัดแคลเซียมด้วยออกซาเลตและทำการตกตะกอนอีกครั้งหนึ่งด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 37 °C ที่ pH 7

ส่วนของ  $\gamma$  -Casein สามารถกำจัดได้โดยการตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต และตกตะกอนอีกครั้งโดยใช้สารละลาย 50%แอลกอฮอล์ในแอมโมเนียมแอซิเตด

Casein ที่สกัดจากการเลือก pH ของ Skim milk ที่ 4.6 และให้ความร้อนที่ 46 °C จะกลายเป็นนมข้น จึงต้องนำไปกำจัดน้ำออกและล้างเพื่อกำจัด Lactose หลังจากนั้นนำไปบดและทำให้แห้ง และโดยทั่วไปพบว่า Caseinate จะเกิดโดยการทำให้ Casein ตกตะกอนที่ pH 6.7 โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) หรือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่ง Caseinate มีความสามารถในการละลายที่ pH 5.5 ซึ่ง Sodium caseinate สามารถละลายได้มากกว่า Calcium caseinate ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนมากจึงเป็น Sodium caseinate เมื่อนำ Caseinate มาตรวจสอบจะพบกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบโดยแสดงในตารางที่ 2.4

### ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์	:	ผงละเอียดสีขาวครีม
กลิ่นรส	:	เป็นกลางทางธรรมชาติ
ความสามารถการละลายในน้ำ	:	มากกว่า 99 %

### องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน	90.4 %
ไขมัน	4.4 %
ไขมันจากนม	1.3 %
แลคโตส	0.1 %
เถ้า	3.8 %

### การนำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไป

1. ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และสเตบิไลเซอร์ (Stabilizer) ที่ดี ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืด ความคงตัวสูงและมีผลผลิตเพิ่มขึ้น
2. เป็นแหล่งโปรตีน ทำให้ลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์เมื่อนำไปแทนส่วนของเนื้อในรูปอิมัลชัน
3. ในผลิตภัณฑ์สุริมิ ช่วยให้ลักษณะเนื้อหลังเกิดเจล มีความแน่นแข็งเป็นมันเงา

2.3.4 โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate soy protein) ในถั่วเหลืองจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 38-44% ซึ่งประกอบด้วย Globulin protein ที่อยู่ในกากถั่ว (Meal) ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการอุตสาหกรรมถั่วเหลือง เมื่อนำ Protein meal มาทำให้เข้มข้นจะได้เป็น

- Soy protein concentrate ที่มีโปรตีนอยู่ 70 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งทำได้โดยใช้สารละลายเอทานอล (Ethanol) ในการกำจัดไขมันออกจาก Protein meal และทำการกำจัดคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ ออกด้วย

- Soy protein Isolates ที่มีโปรตีนอยู่ 90 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้จากการสกัดไขมันออกจาก Protein meal โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เจือจางแล้วนำโปรตีนที่สกัดแล้วมาทำการเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ pH 4.5 แล้วนำไปเหวี่ยงอีกครั้งหนึ่ง จึงนำกลับมาล้างแล้วทำให้เป็นกลางด้วย Food grade alkali หลังจากนั้นจึงนำไปพ่นแห้งทำให้แห้ง ( Spray dry) เมื่อนำมาตรวจสอบจะพบกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบโดยแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจากถั่วเหลือง

Amino Acid	Soy Protein
Lysine	6.4
Histidine	2.5
Arginine	7.2
Aspartic Acid <sup>1</sup>	11.7
Threonine	3.9
Serine	5.1
Glutamic Acid <sup>2</sup>	18.7
Proline	5.5
Glycine	4.2
Alanine	4.3
Cystine	1.3
Valine	4.8
Methionine	1.3
Isoleucine	4.5
Leucine	7.8
Tyrosine	3.1
Phenylalanine	4.9
Tryptophan	1.3

<sup>1</sup>From Boldwell and Hopkins (1985).

<sup>2</sup>Includes asparagine.

<sup>3</sup>Includes glutamine.

### ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์ : ผงละเอียดสีขาว

### องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน	90.0 %
ความชื้น	5.0 %
ไขมัน	0.5 %
เถ้า	4.0 %

### การนำมาใช้งานโดยทั่วไป

1. ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรมการทำเนื้อและใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ
2. ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Mixer emulsifier) ในระบบต่างๆ

2.3.5 โปรตีนจากถั่วลิสง (Peanut protein concentrate) ถั่วลิสงจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 22-30 % โดยโปรตีนส่วนใหญ่จะเป็นAlbumins และ Globulins ซึ่งได้แก่ Arachin และ Conarachin

โปรตีนจากถั่วลิสง สามารถผลิตได้โดยการสกัดไขมันออกก่อน โดยวิธีการ เช่น ไฮโดร-ลิกเพรส หรือวิธีการทางเคมี เช่น การสกัดด้วยเฮกเซน หรือใช้ผสมกันทั้งวิธีการและวิธีทางเคมี หลังจากนั้นนำถั่วลิสงที่สกัดไขมันออกไปแล้วนำมาสกัดโปรตีนด้วยค่าง นำสารละลายที่ได้ไปตก-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนเอาโปรตีนออกด้วยสารละลายกรดอีกครั้งหนึ่ง โปรตีนที่ได้จะถูกทำให้เป็นกลางก่อนที่จะทำให้แห้งเป็นผง

- Peanut protein concentrates มีความเข้มข้นของโปรตีนประมาณ 70 % ในขณะที่

- Peanut protein isolates มีความเข้มข้นของโปรตีนประมาณ 90 %

โดยพบว่า กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจากถั่วลิสง

Amino Acid	Peanut Protein
Lysine	3.5
Histidine	2.4
Arginine	11.2
Aspartic Acid <sup>1</sup>	11.4
Threonine	2.6
Serine	4.8
Glutamic Acid <sup>2</sup>	18.3
Proline	4.4
Glycine	5.6
Alanine	3.9
Cystine	1.3
Valine	4.2
Methionine	1.2
Isoleucine	3.4
Leucine	6.4
Tyrosine	3.9
Phenylalanine	5.0
Tryptophan	1.0

<sup>1</sup>From Boldwell and Hopkins (1935)

<sup>2</sup>Includes asparagine.

<sup>3</sup>Includes glutamine.

#### ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์	:	ผงสีเหลืองอ่อน
รส	:	bland
กลิ่น	:	ถั่วลิสง

#### องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน 85 %

จากคุณสมบัติของสารตัวเติมทั้งหมด เป็นสารตัวเติมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ได้ ดังนั้น เมื่อนำสารตัวเติมธรรมชาตินี้ไปเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ นอกจากจะปรับปรุงสมบัติเชิงกลแล้ว หลังการใช้งานพอลิเมอร์ชนิดนั้นสามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

### การนำสารตัวเติมธรรมชาติเติมลงในพอลิเมอร์

งานวิจัยของมหาวิทยาลัยเปอร์คิว [8] ได้นำแป้งมาผสมกับพอลิสไตรีน แล้วเติมสารช่วยในการเชื่อม โยงระหว่างโมเลกุลของพอลิสไตรีนกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก

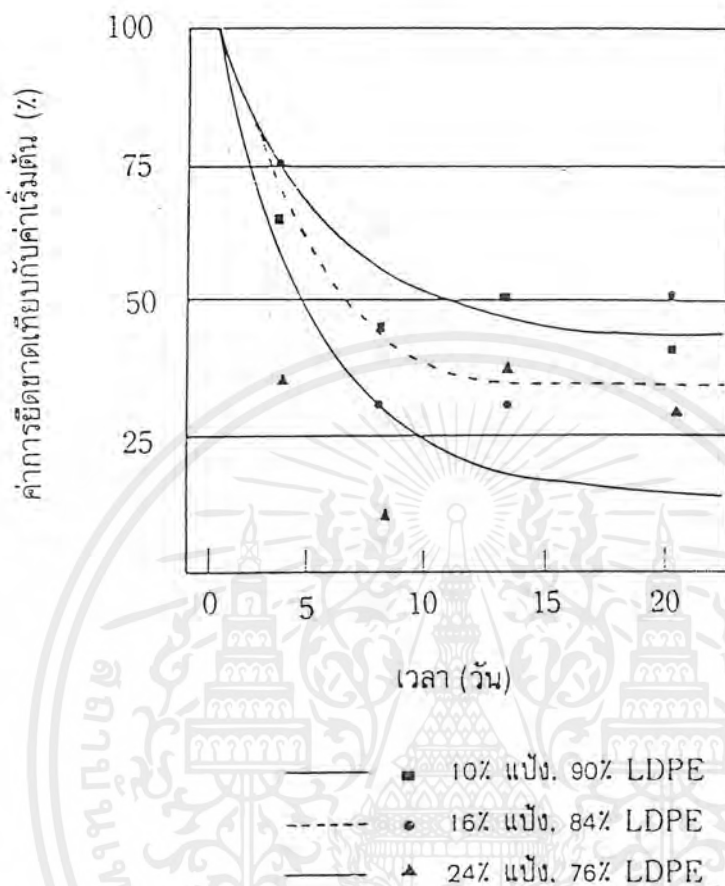
งานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [8] ได้มีการนำแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม เพื่อผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพโดยการกราฟท์โพลิเมอร์ของแป้ง สามารถเตรียมได้โดยการทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มขนาดใหญ่ ตัวริเริ่มที่เกิดขึ้นนี้เกิดมาจาก 2 วิธี คือ ตัวริเริ่มทางเคมีและตัวริเริ่มจากการฉายรังสีแล้วนำแป้งที่ได้นี้มากราฟท์กับพอลิเมอร์ และศึกษาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะเข้าย่อยส่วนที่เป็นแป้งก่อนทำให้เกิดเป็นรู ทำให้อากาศหรือออกซิเจนสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ทำให้พลาสติกเกิดการย่อยสลาย

บริษัท St. Lawrence Starch Co.,Ltd,Canada [9] ได้ผลิตแป้งชนิดหนึ่งที่ปรับผิวให้เป็นส่วนที่ไม่จับน้ำซึ่งจากเดิมเป็นส่วนที่จับน้ำ มีชื่อทางการค้าว่า “Ecostar system” เมื่อนำ Ecostar เติมลงในพลาสติก มีกลไกเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ

1. จุลินทรีย์เข้าจับเม็ดแป้งและแยกเม็ดแป้งออกจากพลาสติก ทำให้พลาสติกอ่อนลงและพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น
2. โดหะหรือน้ำที่มีอยู่ในดิน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เปอร์ออกไซด์ แล้วเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปทำให้สายพอลิเมอร์สั้นลง นั่นคือ น้ำหนักโมเลกุลลดลงทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยพลาสติกได้

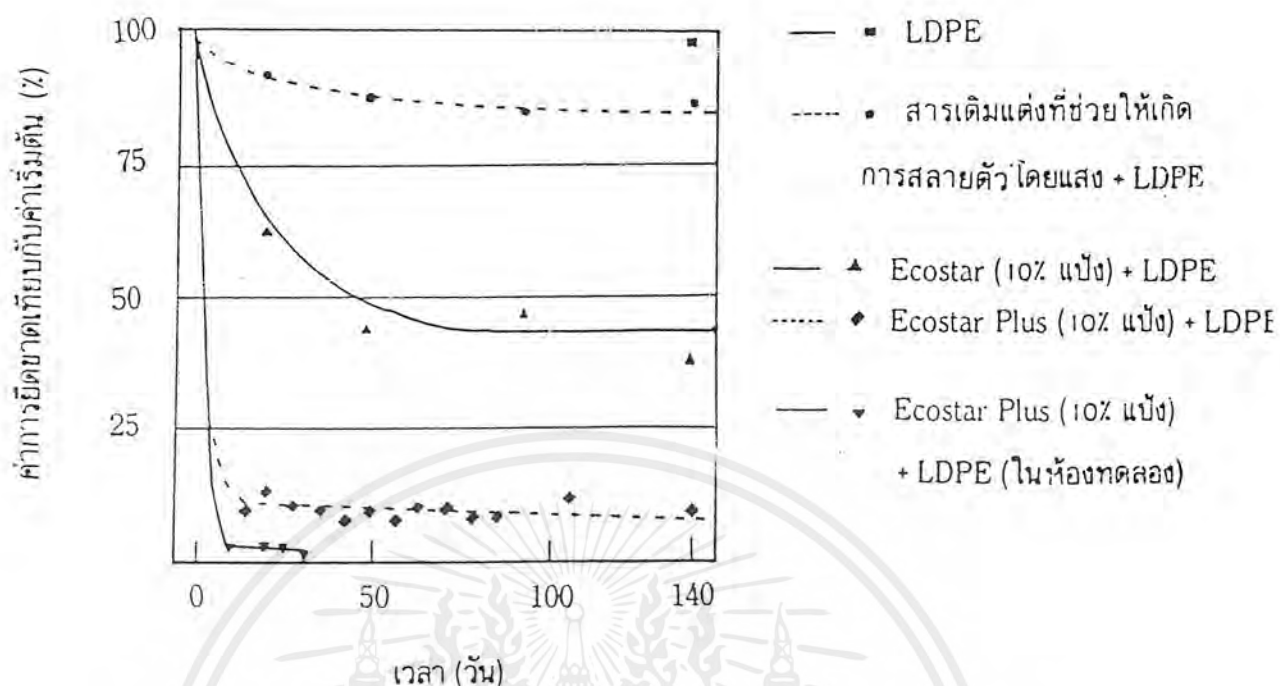
ในการทดลองเตรียม Ecostar ในรูป Masterbatch ก่อนที่จะใช้ผสมลงในพลาสติก Linear low density polyethylene (LLDPE) และ Low density polyethylene (LDPE) โดยในการผลิตต้องหลีกเลี่ยงความชื้นและอุณหภูมิไม่เกิน 230 องศาเซลเซียส นำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มและได้นำมาทดสอบผลของการสลายตัวของพลาสติกเมื่อมีการเติม Ecostar ลงไปในปริมาณต่างๆ

### ผลการทดลองที่เกิดขึ้นพบว่า



รูปที่ 2.8 ผลของปริมาณแฉ่ง Ecostar ที่ใช้ต่อความสามารถในการยืดยาดของแผ่นฟิล์ม LDPE

- แผ่นฟิล์ม LDPE ที่ใส่แฉ่ง Ecostar มากกว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดยาดเทียบจากค่าเริ่มต้นมีค่าต่ำลงในระยะเวลาที่สั้นกว่า นั่นคือ แฉ่ง Ecostar ที่ใส่ลงในแผ่นฟิล์ม LDPE มีผลทำให้พลาสติกสลายตัวเร็วขึ้น



รูปที่ 2.9 ความสามารถในการยืดขาดของแผ่นฟิล์ม LDPE ในแต่ละสูตรที่ต่างกัน

- แผ่นฟิล์ม LDPE ที่เติม Ecostar plus ซึ่งคือแปะ Ecostar เติมสารช่วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย จะทำให้พลาสติกเสื่อมสลายเร็วกว่าพลาสติกที่เติมแปะ Ecostar เพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงว่า Ecostar plus จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าแปะ Ecostar และดีกว่าพลาสติกที่เติมสารที่ช่วยให้เกิดการสลายตัวเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ

งานวิจัยของ V.M. Ghorpade , A. Gennadios , M.A. Hanna , and C.L. Weller [10] นำ Soy isolate ผสมลงใน Poly(ethylene oxide) มาผลิตพลาสติกในรูปของฟิล์ม โดยทำการเตรียม Film-forming solution ที่ทำจากการนำ Soy isolate 5 g. มาปั่นรวมกับน้ำกลั่น 100 ml และใช้ Glycerin เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยทำการควบคุม pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หลังจากนั้นได้นำ Film-forming solution ที่ได้มาผสมกับ Poly(ethylene oxide) (PEO) ในอัตราส่วนของ PEO ที่ต่างกันเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลที่เกิดจาก Poly(ethylene oxide) (PEO) ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำมากกว่า Soy isolate ดังคุณสมบัติดังกล่าวมีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกพอลิเมอร์มาทำการทดลองต่อไป พบว่า ค่าคงทนแรงดึง (Tensile strength) จะมีค่าลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (Elongation) มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PEO เพิ่มขึ้น แสดงว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มเป็นผลเนื่องมาจาก ปริมาณ PEO เพราะว่าจากสมบัติของ PEO ที่ชอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมากกว่า Soy isolate และพบว่าที่ 40% PEO จะเป็นปริมาณที่เหมาะสมทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของฟิล์มมีค่าดีที่สุด

งานวิจัยของ Hardening Pranamuda, Yutaka Tokiwa, and Hideo Tanaka [11] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมของโพลีคาโพลแลโทน (Poly( $\epsilon$ -Caprolactone), PCL) กับแป้งชนิดต่างๆ (Starch) โดยเริ่มทำการทดลองโดยนำ PCL pellets ผสมกับ Starch granule ที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% (w/w) ในเครื่อง High-speed 10-L mixer ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาผสมต่อในเครื่อง Extruder หลังจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล โดยในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่าง PCL บริสุทธิ์, PCL/Sago, PCL/Cassava, PCL/Corn และ Polyethylene โดยที่ Sago, Cassava and Corn เป็นชนิดต่างๆ ของแป้งที่ใช้ พบว่า PCL/Starch blends ชนิดต่างๆ จะมีค่าความคงทนต่อแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดลดลงเมื่อปริมาณของ Starch เพิ่มขึ้น และพบว่าค่าความคงทนต่อแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดของ PCL/Starch blends < ค่าของ Polyethylene < ค่าของ PCL บริสุทธิ์ แสดงว่า Starch มีผลทำให้สมบัติเชิงกลของ PCL ลดลงไปมากแต่เมื่อนำไปศึกษาการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์พบว่า PCL/Starch blends ถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า PCL บริสุทธิ์ และเร็วกว่า Polyethylene

## 2.4 การย่อยสลายของพลาสติก [12]

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ (Degradable Plastics) หมายถึง พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกโดยทั่วไป เมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง ความชื้น จุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. พลาสติกย่อยสลายเมื่อสัมผัสกับรังสีอัลตราไวโอเลตในแสงอาทิตย์ในระยะเวลาหนึ่ง (Photodegradable plastics)
2. พลาสติกย่อยสลายด้วยสารเคมี โดยผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ (Chemically degradable plastics)
3. พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) โดยใช้เอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์

### 2.4.1 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

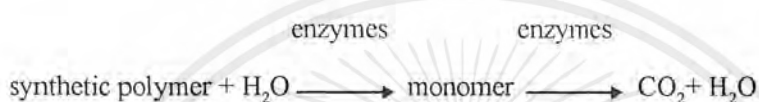
การสลายตัวทางชีวภาพนั้น เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น รา แบคทีเรีย ปล่องเอนไซม์ซึ่งเป็นสารเคมีออกมาย่อยสลาย โดยขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร กล่าวคือ

1. สภาพแวดล้อมในขณะนั้น เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ความ

เป็นกรดความเป็นด่าง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยพลาสติก
  3. น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ คือ ถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำความสามารถในการย่อยสลายจะสูง ในทางกลับกัน ถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีความสามารถในการย่อยสลายต่ำไปด้วย
  4. ชนิดของพลาสติก
  5. พื้นที่ผิวและความหนาของพลาสติก
- กลไกการย่อยสลายโดยทั่วไปเป็นดังนี้



ในการปรับปรุงให้การย่อยสลายทางชีวภาพมีประสิทธิภาพดีขึ้น สามารถทำได้ 2 วิธี

1. ปรับปรุงแบคทีเรียหรือเชื้อราให้ย่อยสลายพลาสติกให้ดีและเร็วขึ้น
2. ปรับปรุงพลาสติกให้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ของแบคทีเรีย หรือราให้ง่ายขึ้นอาจทำได้โดยวิธีต่อไปนี้

1) เตรียมพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดใหม่ที่ย่อยสลายได้โดยสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันสามารถผลิตพลาสติกดังกล่าว เป็นสารประกอบประเภทอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) เช่น Polycaprolactone, Polyethylene adipate และ Polyglycolic acid โดยคาดว่าเอนไซม์ของจุลินทรีย์จะไฮโดรไลซ์หมู่เอสเตอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ นอกจากนี้ มีการทำโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Copolymerization) ของมอนอเมอร์อื่น เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลาย แต่ยังไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2) เติมสารที่สิ่งมีชีวิตย่อยสลายได้ เช่น แป้ง เซลลูโลส เข้าไปในพอลิเมอร์ ซึ่งพบว่าจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้สารดังกล่าวในลักษณะที่ปรับเปลี่ยนโครงสร้างบางอย่างแล้ว เพื่อทำเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแผ่นฟิล์มบางซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดี เช่น การผลิตแผ่นบางคลุมดิน ภาชนะเพาะชำพืช

#### 2.4.2 เสถียรภาพของพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เพราะพลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน ไม่ผุ่ร่อนเหมือนเช่น โลหะ แต่ก็มีปัญหาคือ เราจะมีคามยุ่งยากในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลายสาเหตุ แต่ที่น่าสนใจและมีการศึกษายู่มาก คือการสลายตัวอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ (Microorganism) โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
2. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (Aliphatic polyester) พอลิเอไมด์ (Polyamide) และพอลิยูรีเทน (Polyurethane) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ดังกล่าว เช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด (Polyglycolic acid) พอลิคาร์โปแลคโตน (Polycaprolactone) เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาว่า เหตุใดพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อดังต่อไปนี้

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อโซ่โมเลกุลมีขนาดยาวมากๆ ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จากการค้นคว้าวิจัยของบริษัทยูนิคาร์ไบด์ (Union Carbide CO.,Ltd.) โดยการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ โดยการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 123,000 และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมาเรื่อยๆ พบว่าพอลิเอทิลีน ชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ จะไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ และพอลิเอทิลีนจะสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง โดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลง และการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสก็ยิ่งน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

#### 1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติก อันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น

การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกประเภทนี้ สามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวทาง คือ

##### 1.) การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Modified natural polymers)

เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุง โดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

##### 2.) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้ นั้น จะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ และนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายตัว เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ (Graft copolymer) ของอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งก็เป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น

นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ที่ใช้ทั่วไป เช่น เอทิลีน หรือ สไตรีน กับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น อะคริลิก-แอซิด (Acrylic acid) อะคริลามิโด (Acrylamide) หรือ ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) จะทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติในการย่อยสลายดีขึ้น เช่น เอทิลีนอะคริลิกแอซิด โคลพอลิเมอร์ (Ethylene acrylic acid copolymer)

พอลิเมอร์สังเคราะห์ตัวอื่นๆ ที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น ไฮโดรไลซ์อะคริโนไนล์ โคลพอลิเมอร์ (Hydrolyzed acrylonitrile copolymer) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซับน้ำ เป็นต้น

3.) การศึกษานำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

วิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทำการศึกษากันมาก ได้แก่ แป้ง

*การเติมแข็งเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่น*

พลาสติกประเภทนี้ จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายส่วนที่เป็นแข็ง ทำให้เหลือโครงสร้างของพลาสติกในรูปโครงสร้างแบบรูพรุน (Porous structure) ต่อมาก็จะกลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

*การเติมแข็งผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท*

เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) และเอสเตอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ester) เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 ตัว เช่น อัลคีนิก เอสเทอร์ (Alkenyl ester) หรือ ไขมันธรรมชาติ (Natural fats) พลาสติกชนิดนี้มีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแข็งจนหมด เหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ง่ายต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นตอนที่สอง กลือของโลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (Autooxidation) สารเติมแต่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง เช่น กรดไขมัน โดยจะเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์และ/หรือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ขึ้น เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ และเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้ โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ในกระบวนการผลิตพลาสติกชนิดนี้ ควรจะมีเอสเตอร์ของกรดไขมันอยู่ในส่วนผสม เนื่องจากมีสมบัติในการดูดซับสารเคมีบนผิวของอนุภาคแข็ง (Chemisorption) และพบว่ากรดไขมันจะถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคแข็ง ดังนั้นจะต้องใส่เอสเตอร์ของกรดไขมันลงไป เนื่องจากเอสเตอร์ของกรดไขมันจะมีความสามารถในการเข้ากันได้กับเทอร์โมพลาสติกมากกว่ากรดไขมัน

*การเติมแข็งผสมกับสารเชื่อมโยง*

งานวิจัยของมหาวิทยาลัยเปอร์โตริโก ได้นำแข็งมาผสมกับพอลิสไตรีน แล้วเติมสารช่วยในการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของพอลิสไตรีนกับโมเลกุลของแข็ง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก

นอกจากการนำแข็งมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกแล้ว ยังมีการศึกษาใช้สารตัวเติมอีกหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ และสามารถผสมเข้ากันได้กับพลาสติก เช่น การนำพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ของแข็งกับพอลิอะคริโตนไทรล์ หรือพอลิเมทิลเมทาอะคริเลตมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ หรือการนำวัสดุทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก เป็นต้น

## 2 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้ทิ้งไว้ให้โดนแสงอาทิตย์ พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสภาพและค่อยๆ สลายตัวไป

## 3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้แต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (Azoaromatic) และหมู่คีโต (Keto groups) ที่ไวต่อแสง ในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (Azo groups) จะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากการเลิกใช้งานแล้วพลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม ทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลาย และเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป

### 2.4.4 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ

การสลายตัวของพลาสติกมี 3 ลักษณะ คือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง (Autooxidation) ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ โดยเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือ จุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกนั้นโดยตรง เช่น โพลีคาร์โปแลคโตน และ พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรตารีเรต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.5 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย[13]

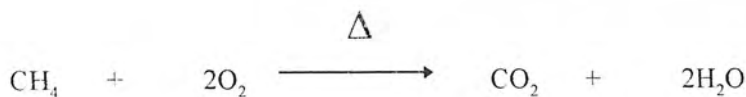
ในขั้นตอนแรกของการทำการย่อยสลาย คือ ต้องนำชิ้นงานมาตัดด้วยเครื่อง Large sliding microtome เพื่อเตรียมชิ้นงานบางขนาด 0.1 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเครื่อง Large sliding microtome

ในการตรวจสอบการย่อยสลายทางชีวภาพนั้น เครื่องมือที่นำมาใช้ คือ เครื่องวัด Total organic carbon ในการเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หรือเอนไซม์จะเกิดปริมาณคาร์บอนเกิดขึ้นพบในรูปของ

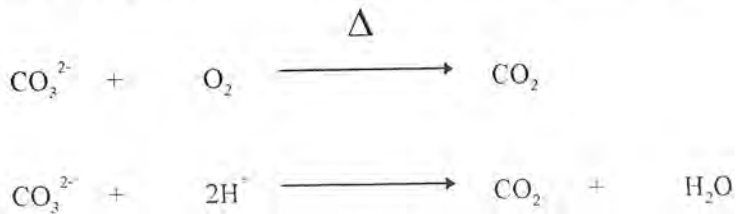
1. Organic Carbon (OC หรือ TOC) จะเป็นปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากการย่อยสลายสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ โดยเกิดการปฏิกิริยาพื้นฐานสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาการเผาไหม้ แสดงได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



TOC จึงเป็นการวัดปริมาณของคาร์บอนในน้ำ ที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Inorganic Carbon (IC หรือ TIC) เป็นปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งก็คือ คาร์บอเนตไอออน โดยการเกิดปฏิกิริยาพื้นฐานสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาการเผาไหม้ และการเกิดปฏิกิริยากับกรด แสดงได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



IC จึงเป็นการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่อยู่ในรูปของคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต

จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นพบว่า คาร์บอนไดออกไซด์สามารถเกิดได้ทั้งสารอนินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังนั้นจึงต้องแยกสารละลายเป็น 2 ขวด ดังนี้

1. นำสารละลายขวดที่ 1 มาทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยการให้ความร้อนจึงเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจากทั้งสองปฏิกิริยา วัดออกมาเป็นค่า TC (Total carbon)
2. นำสารละลายขวดที่ 2 มาเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ pH 2-3 เพื่อให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากสารอนินทรีย์และสารประกอบคาร์บอเนตต่างๆ จะเกิดปฏิกิริยากับกรดที่สถานะนี้ จึงสามารถวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากสารประกอบอนินทรีย์ทั้งหมดได้ในค่าของ IC (TIC) ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากสารประกอบอนินทรีย์ จะไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดภายใต้สถานะนี้ จึงไม่ถูกบันทึกค่ารวมกับค่า IC
3. นำค่า TC มาลบค่า IC จะได้ค่า TOC หรือค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดจากสารประกอบอนินทรีย์ แสดงได้ดังสมการ

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$$

ในการวัดค่าที่ได้จะถูกบันทึกในหน่วย ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือ Total organic carbon แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.11 แสดงส่วนบรรจุสารที่ทำการทดสอบของเครื่อง Total organic carbon



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Total organic carbon

#### 2.4.5 การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้

ในอดีตพลาสติกชนิดนี้ไม่สามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ แต่ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถนำพลาสติกชนิดนี้กลับมาใช้ได้แล้ว โดยบริษัท Resource Plastics Corp. ในประเทศแคนาดา ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่สามารถนำพลาสติกที่มีส่วนผสมของแป้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ จึงนับว่าเป็นประโยชน์ในการลดความสูญเสียได้อย่างมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุที่เกี่ยวข้อง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง : บริษัท Thai Polyethylene (TPE) Co.,Ltd. (HDPE) เกรด H6105JU สมบัติของ HDPE ที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีน

สมบัติ	หน่วย	การทดสอบ	งานฉีดแบบ H6105JU
ครรชนีการไหล	กรัม/10นาที	ASTM D1238	5.5
ความหนาแน่น	กรัม/ลบ.ซม.	ASTM D1505	0.961
ความต้านทานแรงดึงยืด	กก./ตร.ซม.	ASTM D638	310
ความต้านทานแรงดึงขาด	กก./ตร.ซม.	ASTM D638	220
ความยืดที่จุดขาด	%	ASTM D638	>500
ความสามารถในการทรงรูป	กก./ตร.ซม.	ASTM D747	11,000
ความต้านทานแรงกระแทก	กก.-ซม./ซม.	ASTM D256	5
ความแข็ง, SHORE D	-	ASTM D2240	67
ความต้านทานแรงเค้นจากสิ่งแวคส์อ้อม	F <sub>50</sub> ซม.	ASTM D1693	-
จุดหลอมเหลว	องศาเซลเซียส	ASTM D2117	133
จุดอ่อนตัว	องศาเซลเซียส	ASTM D1525	127
จุดเปราะ	องศาเซลเซียส	ASTM D746	>-80
ความต้านทานแรงกระแทกของฟิล์ม(ฟิล์มหนา 12 ไมครอน)	กรัม	ASTM D1709	-

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต (TPE) Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ชนิดของสารตัวเติมธรรมชาติ

สารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่

สารตัวเติมธรรมชาติ	ชื่อทางการค้า	บริษัท
1. Wheat gluten	Wheat gluten "R"	บริษัทวิคทีคอน โซลิดเทท จำกัด
2. Whey protein	40% Demin Whey "Watsonia"	บริษัทวิคทีคอน โซลิดเทท จำกัด
3. Isolated soy protien	Supro Ex 33	บริษัทไฮนัวนเซนส์ จำกัด
4. Sodium caseinate	EM-HV	บริษัทวิคทีคอน โซลิดเทท จำกัด
5. Peanut protein concentrate	ไม่มี	University of Georgia, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	บริษัท
1. เครื่องบดผสมชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Extruder)	: Axon ab
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine)	: Cosmo
3. เครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)	
4. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC-50)	: Shimadzu
5. เครื่อง Temperature gravimetric analyzer (TGA)	: Shimadzu
6. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact tester)	: Yazuda
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรง (Dead load hardness tester ,Shore D)	: Yazuda
8. เครื่อง Heat distortion tester (HDT)	: Yazuda
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด Scanning electron microscope (SEM)	: JEOL JSM 6200
10. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile tester)	: LLOYD LR 30 K
11. เครื่องตัดชิ้นงานด้วยลม	: Ceast
12. เครื่องบดพลาสติก	: NEMA 600
13. เครื่อง Large sliding microtome	
14. เครื่อง Total organic carbon	
15. ตู้อบ	
16. เทอร์โมมิเตอร์	
17. Oil bath	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 1. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารตัวเติมธรรมชาติ

1.1 การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารตัวเติมเมื่อให้ความร้อนโดยตรง โดยใช้อ่างน้ำมันร้อน (Oil Bath)

- ชั่งสารมาประมาณ 2.00 กรัม เทลงบนกระจกสไลด์ (Cover glass)
- นำกระจกสไลด์ ไปวางบน Hot plate โดยมี Oil bath ที่มีเทอร์โมมิเตอร์จุ่มอยู่วางบน

เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)

- ค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ อย่างช้าๆจาก 40 องศาเซลเซียสจนกว่าสารตัวเติมจะไหม้

หมด

- บันทึกอุณหภูมิ พร้อมสังเกตการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลองที่สารตัวเติมมีการเปลี่ยนแปลง

1.2 เครื่อง Temperature gravimetric analyzer (TGA)

1.3 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

2. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติโดยใช้เครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)

3. คัดเลือกชนิดของสารตัวเติมธรรมชาติจากอุณหภูมิเมื่อสลายตัว และสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติทั้งหมดที่ทำการศึกษา

4. นำสารตัวเติมธรรมชาติที่เลือกแล้ว มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 เครื่องบดผสมชนิดเกลียวहनเดียว (Single screw extruder)

- ชั่ง HDPE ในปริมาณที่ทำการศึกษารวมกับสารตัวเติมธรรมชาติแต่ละชนิด ตามเปอร์เซ็นต์ (0-10%w/w) และสถานะของอุณหภูมิที่ศึกษา (120-140 °C) จะได้

HDPE บริสุทธิ์ , HDPE + % Filler 1 ชนิด (ตามชนิดที่ได้ทำการคัดเลือกไว้)

- นำไปปั่นในเครื่องปั่นละเอียด โดยทำการแยกแต่ละชนิดไว้ แล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป

4.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine)

- นำพลาสติกแต่ละชนิดที่อบไว้มาทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ศึกษา (120-140 °C)

4.3 นำพลาสติกที่ฉีดเป็นรูปคัมเบลแต่ละสูตรมาทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องต่างๆ ดัง

นี้

- Dead load hardness tester

- Impact tester

- Tensile tester

- Heat distortion tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 นำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

4.5 เลือกสภาวะที่ทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าดีที่สุด แล้วทำการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ปริมาณของสารตัวเติมธรรมชาติ นำมาศึกษาหาค่าสมบัติเชิงกลต่อไป เพื่อหาสภาวะและปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม

4.6 นำไปทดสอบสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ (ดัดแปลงจากวิธีทำการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ที่ผสมเป้งเป็นสารตัวเติม) โดยนำชิ้นงานไปสไลด์ให้มีขนาดความหนา 0.1 ไมครอน ด้วยเครื่อง Large sliding microtome แล้วนำไปแช่ในเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) หลังจากนั้น จึงนำมาสารละลายที่แช่ชิ้นงานมาวัดปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากการย่อยสลาย โดยเอนไซม์ทริปซินในสภาวะต่างๆ โดยใช้เครื่อง Total organic carbon (TOC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการดำเนินงาน โครงการวิจัยศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้โดยใช้สารตัวเติมธรรมชาติ ได้ทำการศึกษาสมบัติของสารตัวเติมธรรมชาติ และสมบัติของพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติ ดังผลงานวิจัยต่อไปนี้

#### 1. การศึกษาสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ

1.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารตัวเติมธรรมชาติ โดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิการสลายตัวของสารตัวเติมธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การศึกษาการสลายตัวของ โปรตีน โดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ

เครื่องมือ	Oil bath	DSC	TGA
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
ชนิดของโปรตีน		เฉลี่ย	
WHEAT GLUTEN	160	136.2	130
SOY PROTEIN	140	154.0	130
PEANUT PROTEIN	130	133.1	140
SODIUM CASEINATE	150	144.7	125
WHEY PROTEIN	86	151.2	120

จากตารางแสดงอุณหภูมิที่ทำให้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ เกิดการสลายตัว พบว่า ค่าอุณหภูมิการสลายตัวของสารตัวเติมจะอยู่ในช่วงระหว่าง 130-160 องศาเซลเซียส และจะพบว่า โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat) สามารถทนความร้อนได้สูงสุดก่อนเกิดการสลายตัว คือ 160 องศาเซลเซียส ส่วนโปรตีนจากนม (Whey protein) จะสามารถสลายตัวทางความร้อนเร็วที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลการสลายตัวของความร้อนมาพิจารณาควบคู่กับสมบัติเฉพาะทางกายภาพของสารตัวเติมแต่ละชนิด พบว่า โปรตีนจากนม (Whey protein) มีความชื้นที่อุณหภูมิห้องมาก ทำให้ Whey protein มีสภาพเหนียวเหนอะที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวเติม เนื่องจาก การเกิดปัญหาด้านการเก็บรักษาและการเกิดปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ ส่วนสารตัวเติมธรรมชาติชนิดอื่นๆ มีอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปพอลิเอทิลีน (120-140 °C) ดังนั้น ในขั้นตอนนี้ จึงทำการคัดเลือกสารตัวเติมธรรมชาติมาใช้ 4 ชนิด คือ Wheat, Soy, Peanut และ Sodium Caseinate หรือ Casein

## 1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ โดยเครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)

เนื่องจากสารตัวเติมธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองเป็นโปรตีนที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติชนิดต่างๆ จึงประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ มากมาย โดยกรดอะมิโนทุกชนิดมีหมู่ฟังก์ชันเฉพาะ คือ หมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) และ หมู่คาร์บอกซิลิก ( $-COOH$ ) ดังนั้นเมื่อนำสารตัวเติมธรรมชาติมาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเลขคลื่นที่เกิดจากการนำสารตัวเติมธรรมชาติ Wheat, Soy, Peanut and Casein มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)

เลขคลื่น ( $cm^{-1}$ )	Peak characteristic	หมายเหตุ
3200-2300	NH ของหมู่ $NH_2$	Broad
2960-2300	Aliphatic C-H	Broad
1650	NH ของหมู่ $NH_2$	Asymmetric
1550	CO carboxylic	Asymmetric
1480	NH ของหมู่ $NH_2$	Symmetric
1380	CO carboxylic	Symmetric

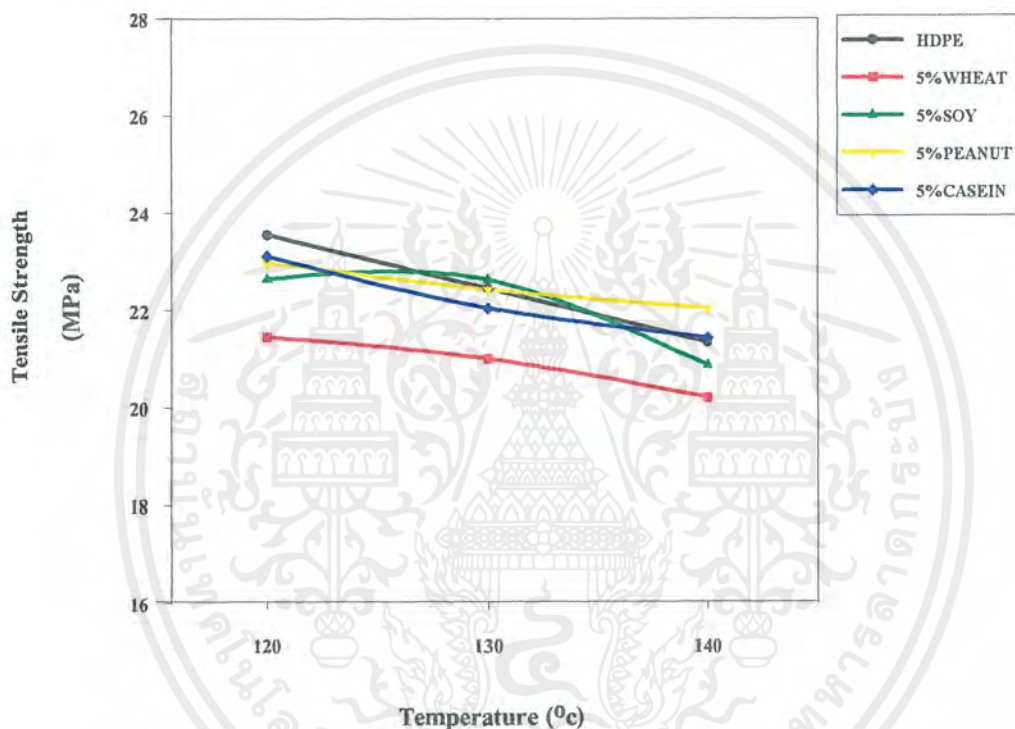
จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สารตัวเติมทั้ง 4 ชนิดประกอบด้วย กรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชัน  $-NH_2$  และ  $-COOH$  เป็นหลัก โดยเลขคลื่นที่เกิดขึ้นนำไปเปรียบเทียบกับเลขคลื่นของกรดอะมิโนลูซีน (Leucine) ที่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน คือ N-H ของหมู่  $NH_2$  ยึดที่  $2000-3200$   $cm^{-1}$ , แอลิฟาติก C-H ยึดที่  $2850-2960$   $cm^{-1}$ , N-H ของหมู่  $NH_2$  งามอย่างไม่มีสมมาตรที่  $1610$   $cm^{-1}$ , C-O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ยึดอย่างไม่มีสมมาตรที่  $1580$   $cm^{-1}$ , N-H ของหมู่  $NH_2$  งามอย่างมีสมมาตรที่  $1505$   $cm^{-1}$ , C-O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ยึดอย่างมีสมมาตรที่  $1405$   $cm^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคัดเลือกสถานะและเปอร์เซ็นต์สารตัวเติมธรรมชาติที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูป

### 2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่สภาวะต่างๆในการฉีดขึ้นรูป

ในการวิจัยได้ทำการทดสอบสมบัติเมื่อนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE), 5%WHEAT, 5%SOY, 5%PEANUT และ 5%CASEIN มาฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน ผลที่เกิดขึ้นแสดงในกราฟรูปที่ 4.1

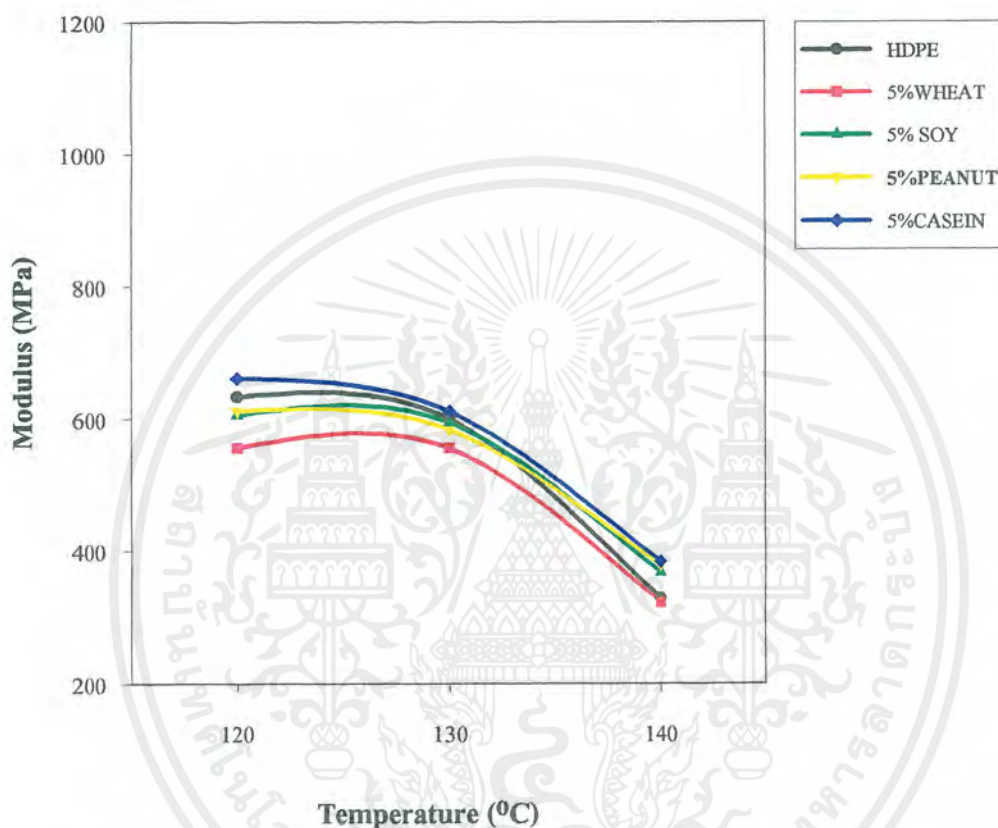


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงที่จุดขาดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกตัวอย่างของพอลิเอทิลีน (HDPE), 5%WHEAT, 5%SOY, 5%PEANUT และ 5%CASEIN

จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติมสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากการเสื่อมสลาย (Degrade) บางส่วนของสารตัวเติมที่ผสมอยู่ ทำให้การยึดติระหว่างสารตัวเติมและพลาสติกกลดน้อยลง จึงมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงยึดที่จุดขาดที่เกิดขึ้น และพบว่า เมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120 องศาเซลเซียส และ 130 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดึงยึดที่จุดขาดใกล้เคียงกัน แสดงว่า การ Degrade ของสารตัวเติมมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงยึดที่จุดขาดน้อยมาก

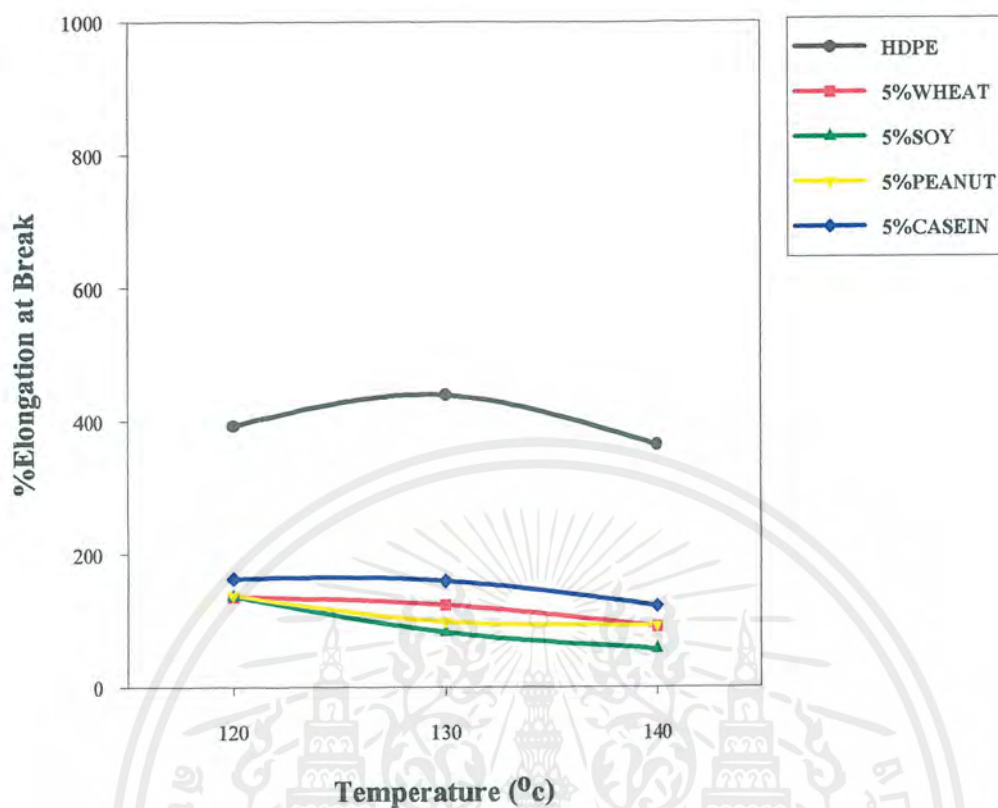
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบหาสมบัติการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดูลัส (Modulus) การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (%Elongation) การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งในชิ้นงาน ได้ผล ดังรูปที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4



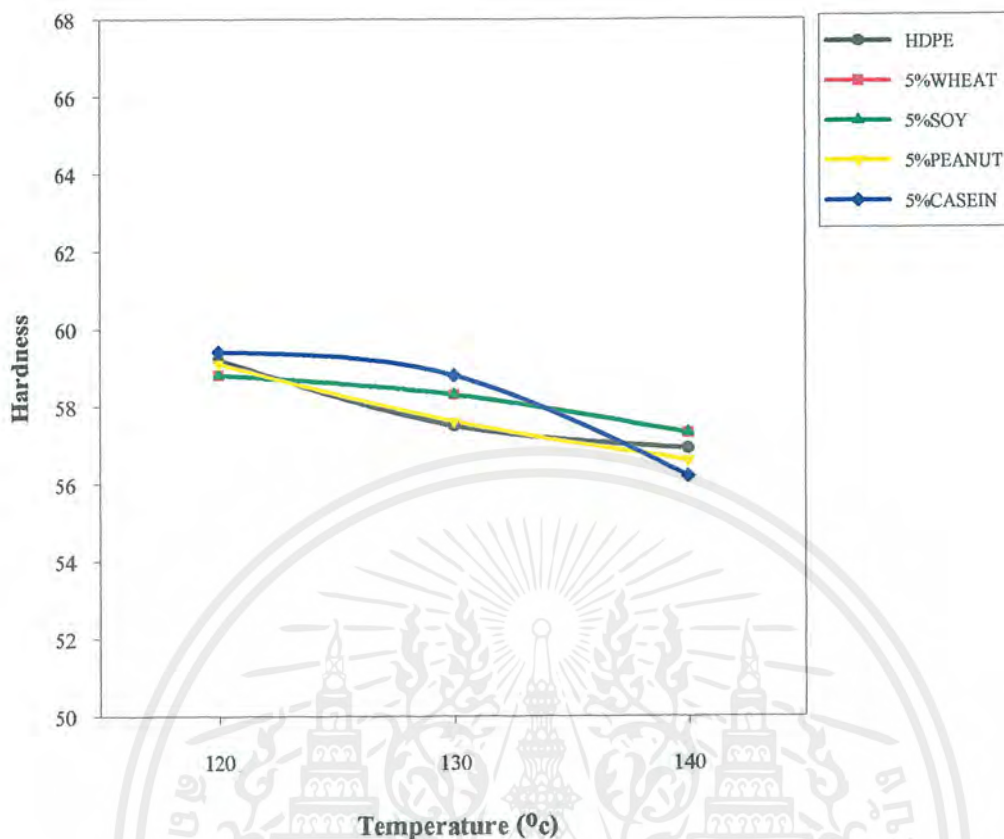
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่ามอดูลัสกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

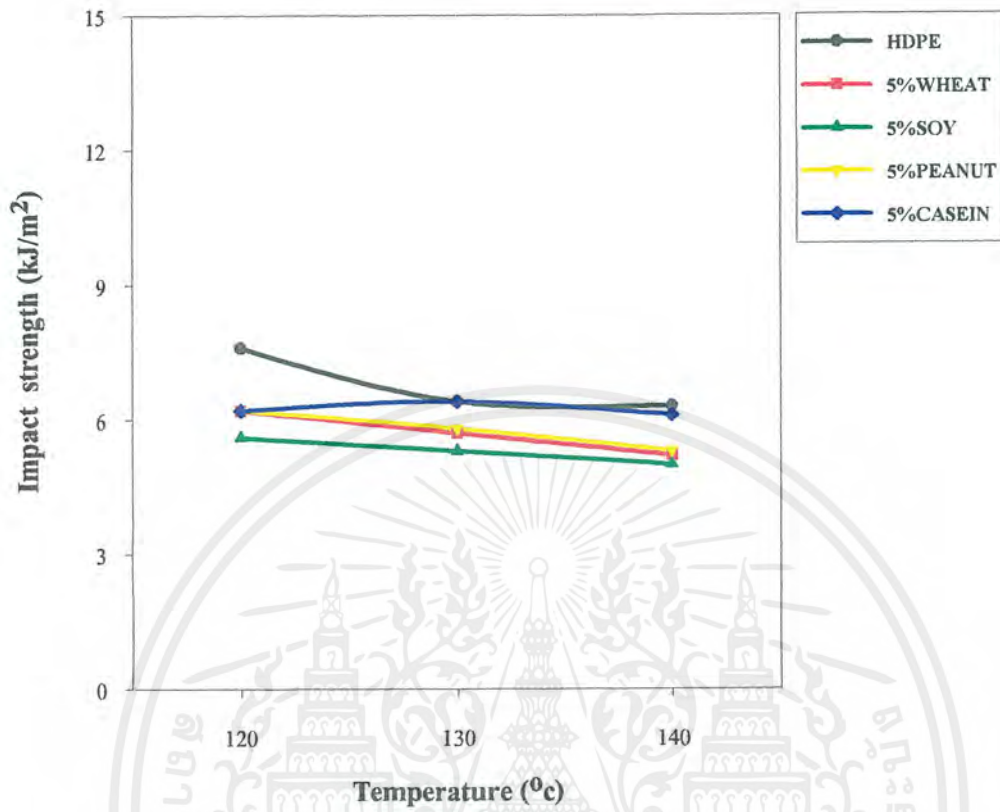
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง Shore D ของพอลิเมอร์กับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

จากรูปที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 พบว่าค่ามอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด และค่า ความแข็ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์สูงขึ้น จะทำให้ค่ามอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด และค่าความแข็งมีค่าลดลง โดยเฉพาะค่ามอดูลัสเมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิเริ่มต้น 140 องศาเซลเซียส จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจาก การ Degrade บางส่วนของสารตัวเติม ทำให้การเกาะยึดติดของสารตัวเติมที่ขัดขวางการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์นั้นมีค่าลดลง และพบว่า ค่าความมอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด และค่าความแข็ง เมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันอย่างมากกับค่าที่เมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่ อุณหภูมิเริ่มต้น 130 องศาเซลเซียส แสดงว่า การ Degrade ของพอลิเมอร์เกิดขึ้นน้อยมาก จึงไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลดังกล่าว

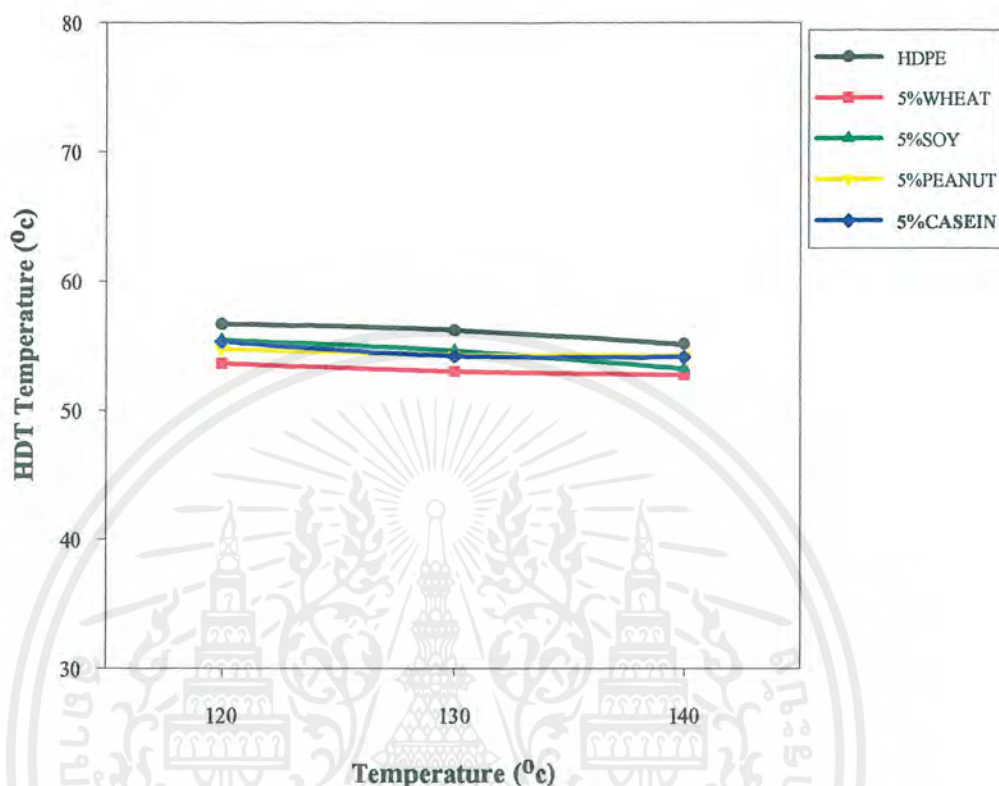
เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบความทนต่อแรงกระแทก ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงกระแทกกับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

จากกราฟพบว่า ค่าทนแรงกระแทกเมื่อได้รับแรงอย่างเฉียบพลันของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติมธรรมชาติเมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่ อุณหภูมิเริ่มต้น 130 องศาเซลเซียส มีค่าดีกว่า เมื่อทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องมาจากการผสมระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์สามารถผสมกันได้อย่างดี จึงทำให้เมื่อได้รับแรงสามารถที่จะทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่า และพบว่าการ Degrade ของพอลิเมอร์เมื่ออุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปสูงขึ้นไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์

การศึกษาอุณหภูมิ ที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการโค้งงอ (HDT) โดยทดสอบด้วยเครื่อง Heat distortion ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอกับกับอุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูป

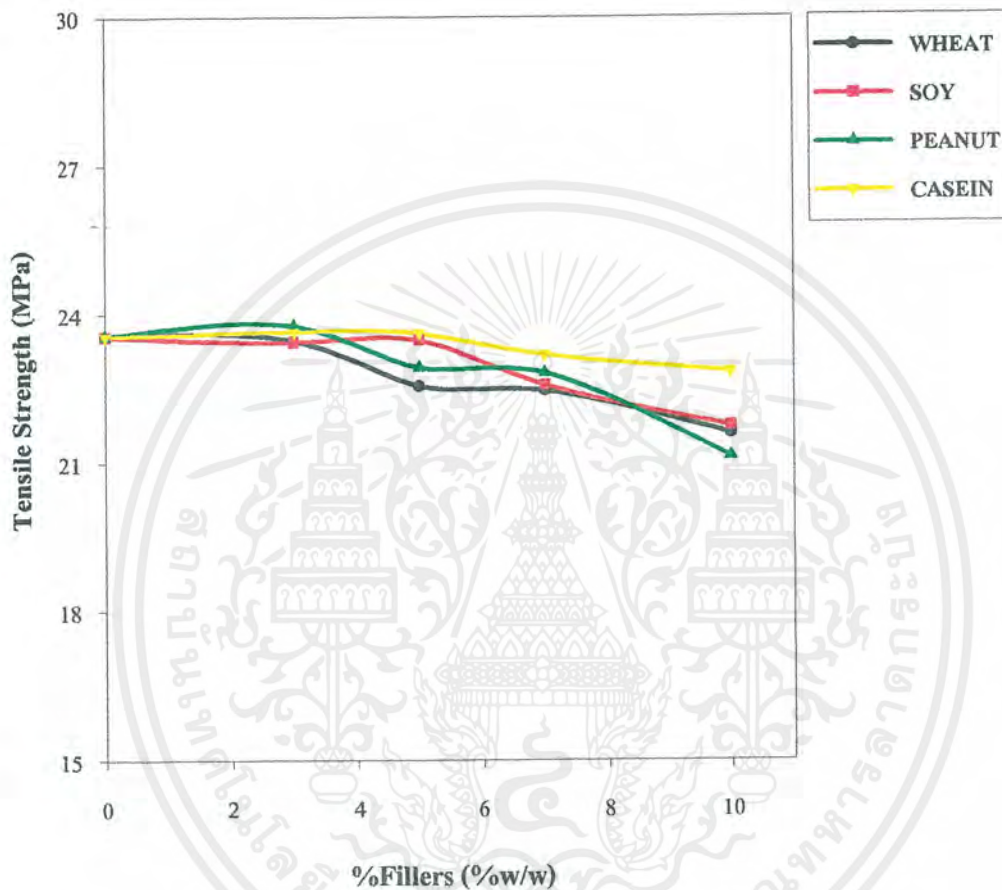
จากกราฟ พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอ ของชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปมากขึ้น เนื่องจากการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติมจึงทำให้ชิ้นงานอ่อนตัวลง แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอน้อยมาก

เมื่อทำการนำสมบัติเชิงกลทั้งหมดมาพิจารณา ได้ผลว่า จะใช้อุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูปที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสยังมีผลน้อยมากต่อการ Degrade ในสารตัวเติมธรรมชาติ แต่มีผลดีต่อการหลอมตัวของพอลิเมอร์เมื่อทำการฉีดขึ้นรูป ดังนั้นจึงเลือก อุณหภูมิเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูปที่ 130 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาเป็นหลักในการศึกษาถึงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่เปอร์เซ็นต์สารตัวเติมต่างๆ

### 2.2.1 สมบัติความแข็งแรงดึงยืด (Tensile strength) ผลที่เกิดขึ้นแสดงในกราฟรูปที่ 4.7

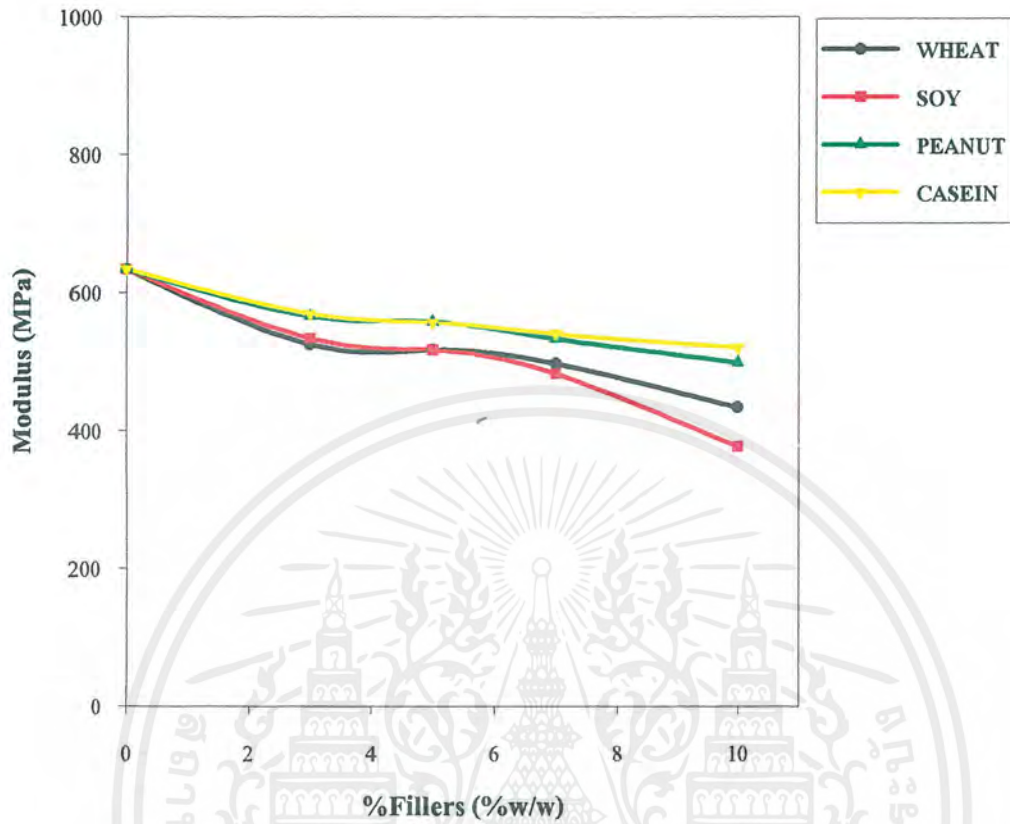


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงยืดกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากกราฟในรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงยืดของพอลิเมอร์ ที่ผสมสารตัวเติมชนิดต่างๆ ลงไปมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยจะให้ค่าความแข็งแรงดึงยืดที่ดีที่สุดที่ปริมาณสารตัวเติม 3-5 % เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นจนถึง 10 % จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงยืดลดลงไป เนื่องจาก จำนวนของสารตัวเติมเข้ามาขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น และช่องว่างของการยึดติดระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์มากขึ้นด้วย ทำให้สามารถรับแรงได้น้อยลงกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 สมบัติแสดงค่ามอดุลัส (Modulus) ผลที่เกิดขึ้นแสดงในกราฟรูปที่ 4.8

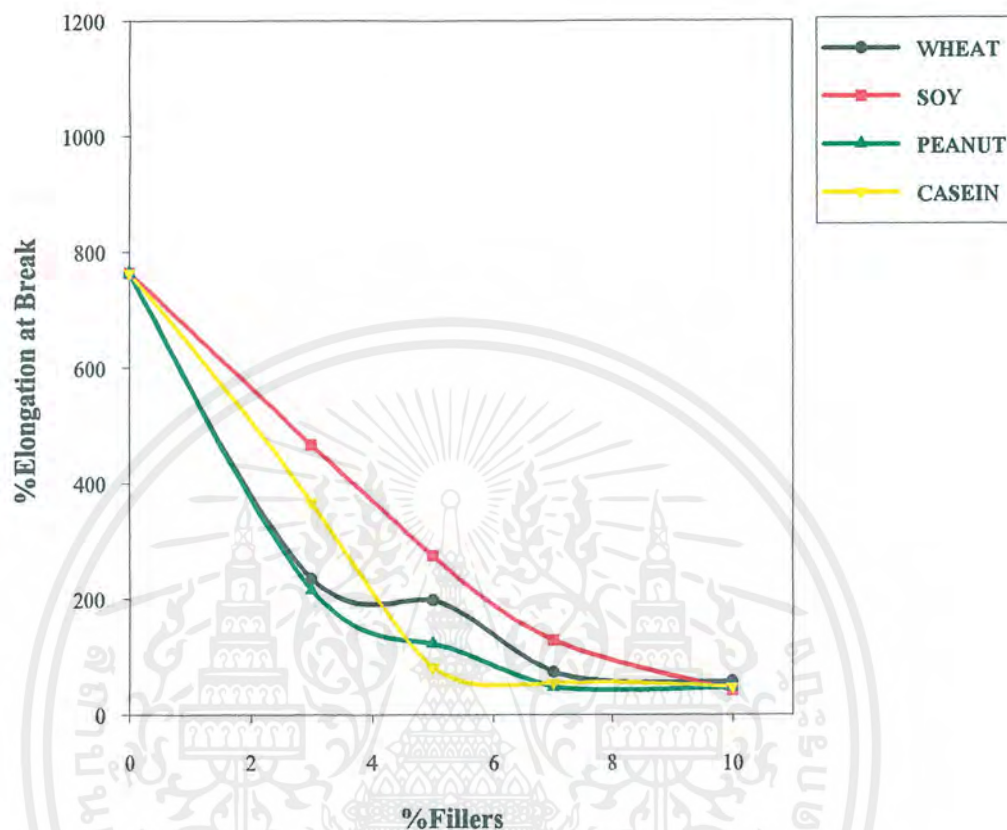


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิด

ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

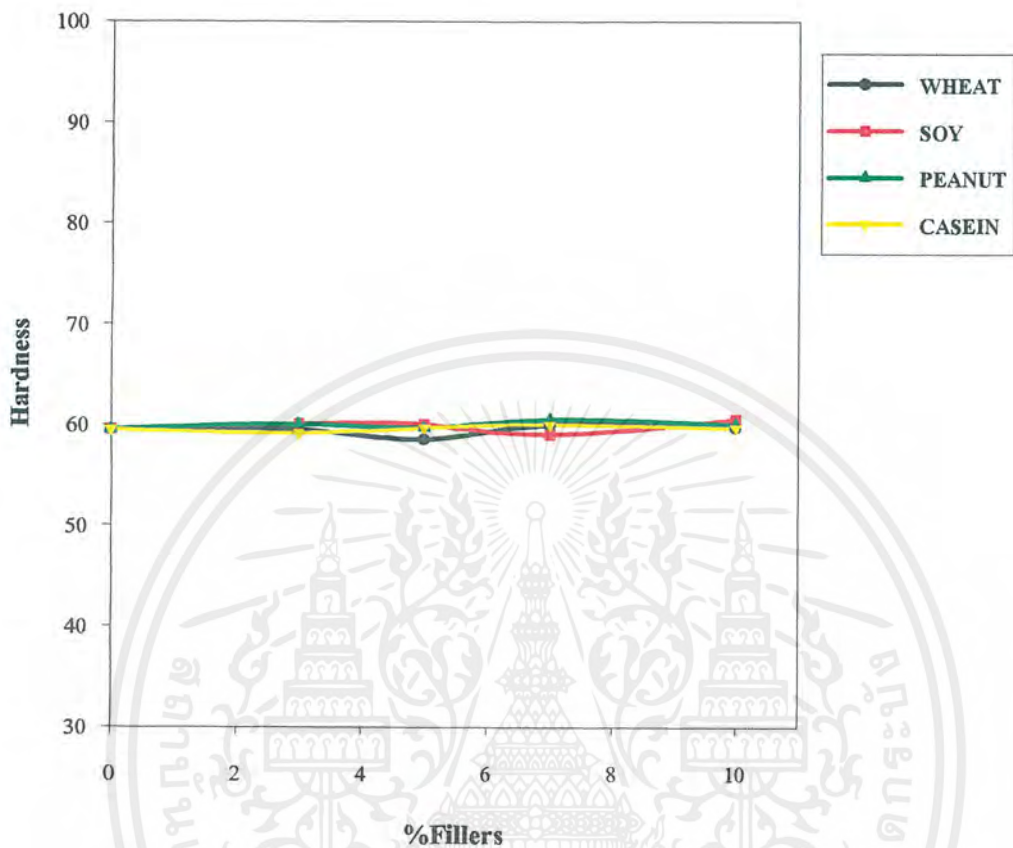
### 2.2.3 สมบัติค่าเปอร์เซ็นต์ในการยึดที่จุดขาด ผลที่เกิดขึ้นแสดงในกราฟรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ในการดึงยึดกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า ค่ามอดูลัสและค่าเปอร์เซ็นต์ต่อการยึดที่จุดขาดมีค่าลดลง พบว่า ค่ามอดูลัสที่ปริมาณ 3-7 % ของสารตัวเติมให้ค่ามอดูลัสที่ใกล้เคียงกันแต่ที่ปริมาณ 10% ของสารตัวเติมให้ค่ามอดูลัสที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การการยึดที่จุดขาดมีค่าลดลงมากในแนวโน้มเดียวกับค่ามอดูลัส เนื่องจาก การที่สารตัวเติมมีลักษณะเป็นทรงกลมซึ่งเข้ามาขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์มีจำนวนมากขึ้นมากขึ้น และช่องว่างของการยึดติดระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์มากขึ้นด้วย ทำให้เมื่อ ได้รับแรงจึงเกิดค่ามอดูลัสและค่าเปอร์เซ็นต์ต่อการยึดที่จุดขาดน้อยลง

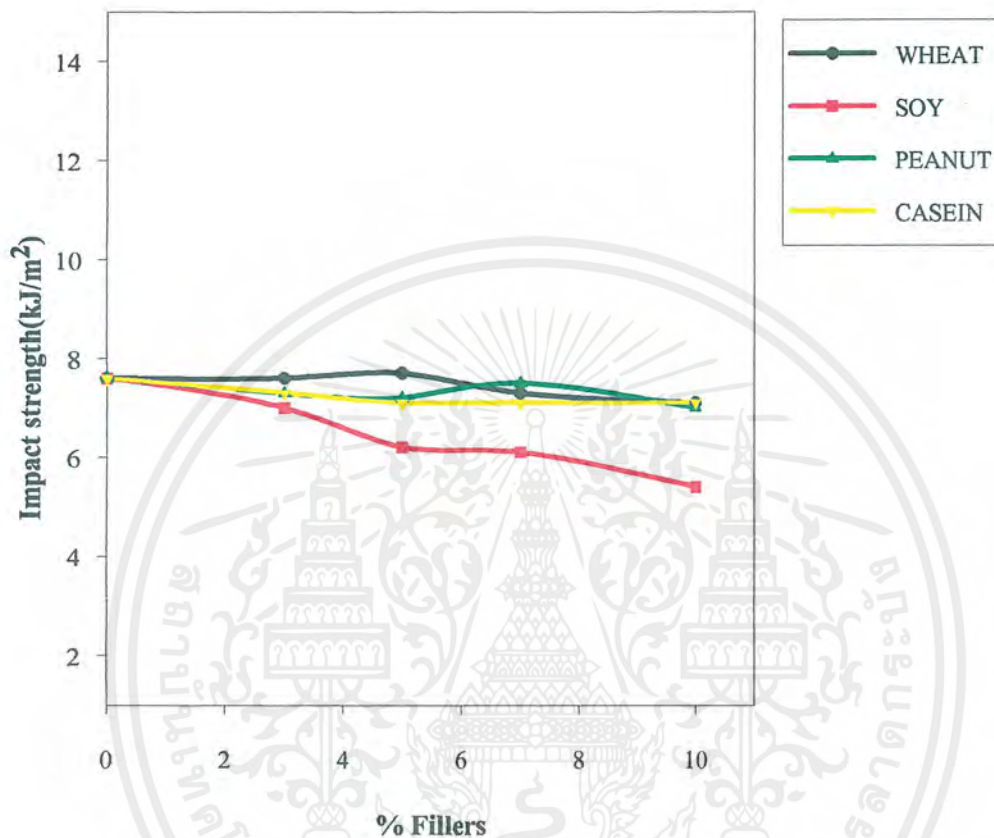
## 2.2.4 สมบัติความแข็งของพอลิเมอร์ ผลแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความแข็งกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

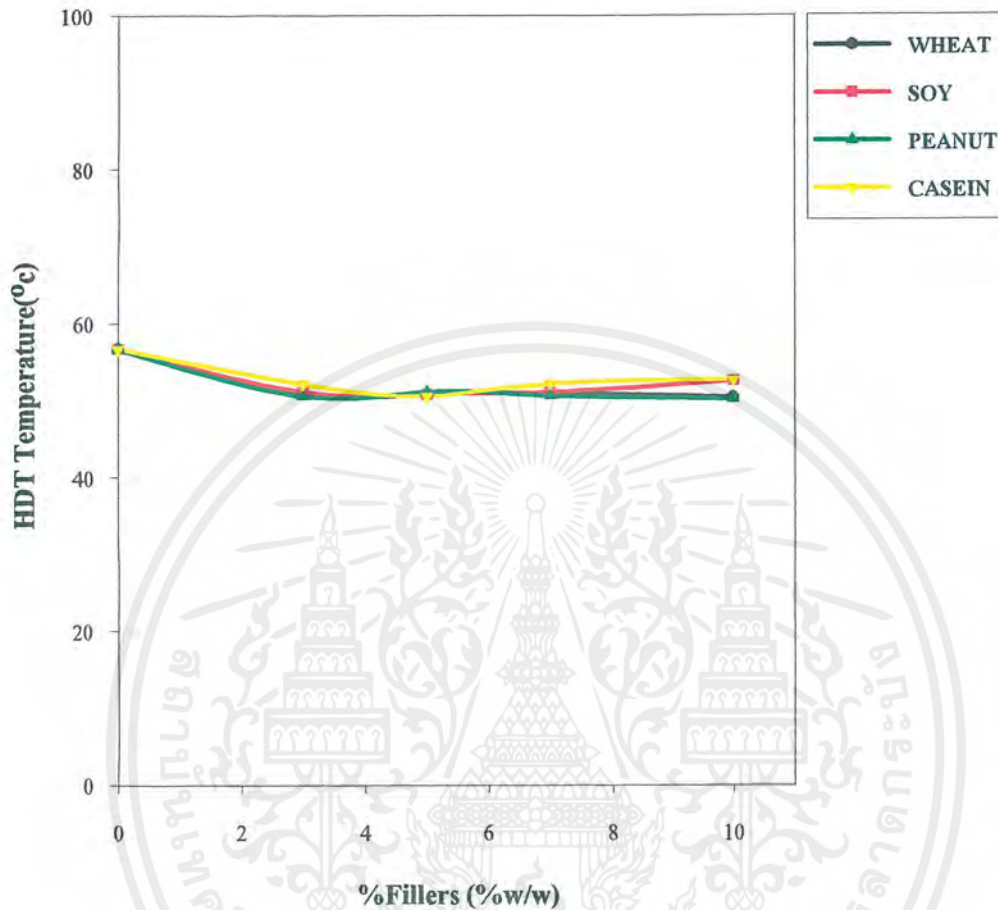
### 2.2.5 สมบัติแสดงค่าทนแรงกระแทก ผลที่เกิดขึ้นแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงกระแทกกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

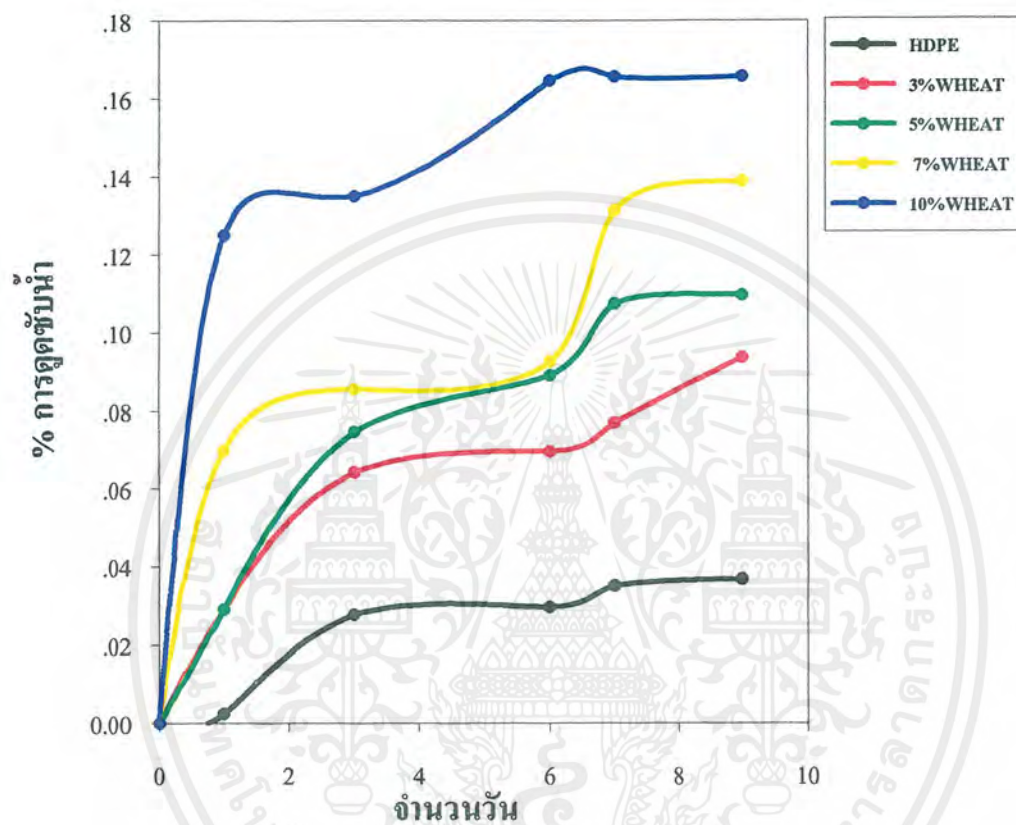
## 2.2.6 สมบัติแสดงอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการ โค้งงอ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการ โค้งงอ กับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารตัวเติมชนิดต่างๆ

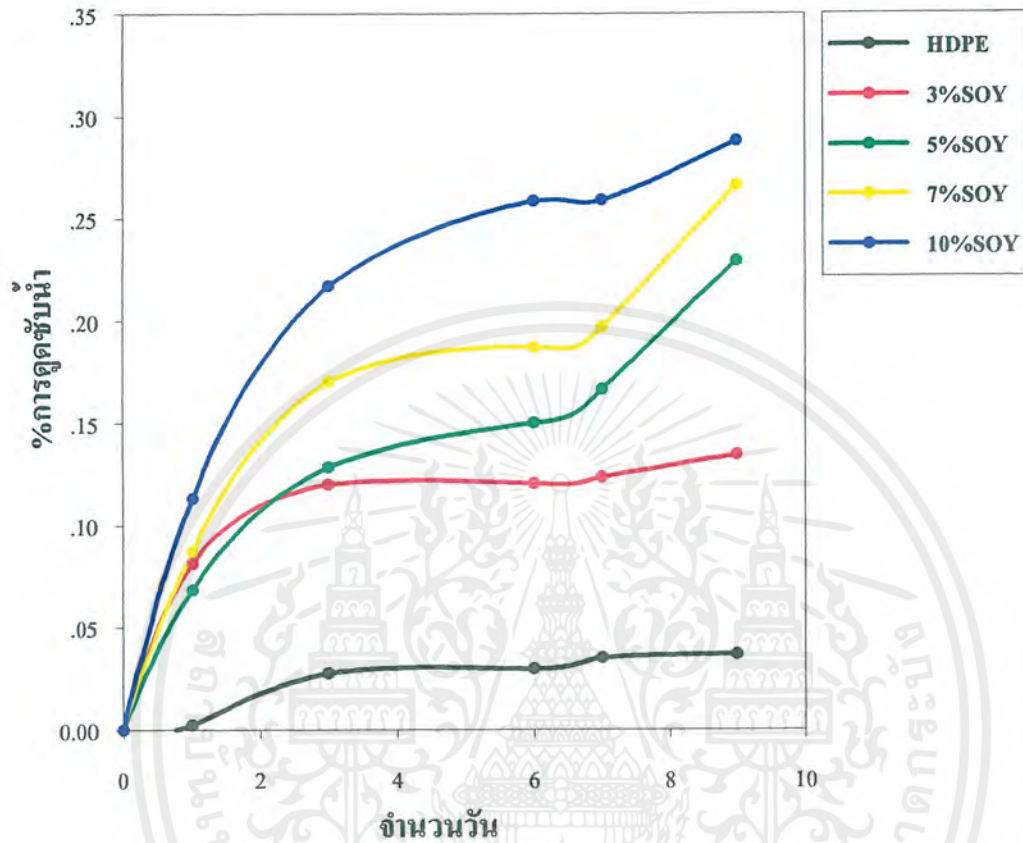
จากกราฟรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 พบว่า ปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง ค่าทนแรงกระแทก และค่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการ โค้งงอ แต่แนวโน้มของค่าก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น ค่าสมบัติเชิงกลทั้งสามมีค่าลดลงแต่ใกล้เคียงกัน

2.2.7 ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของสารตัวเติมธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 , 4.14 ,4.15 และ 4.16



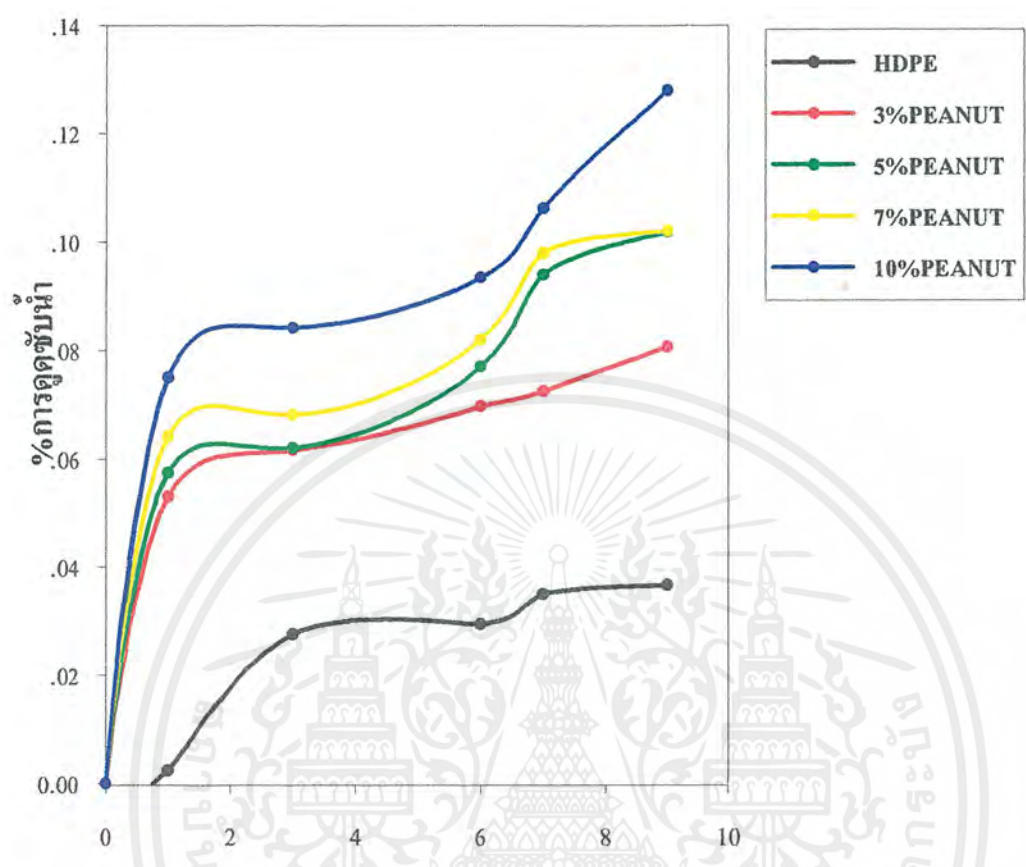
รูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ WHEAT ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



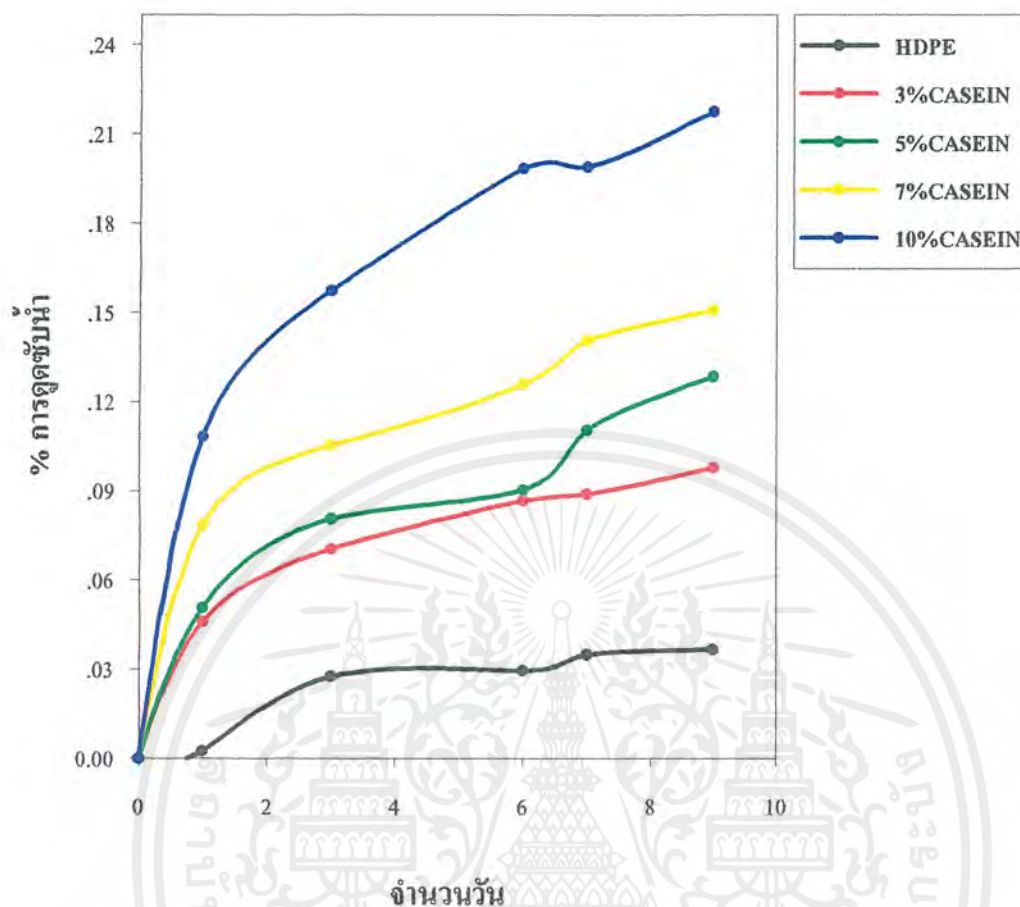
รูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ SOY ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ PEANUT ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



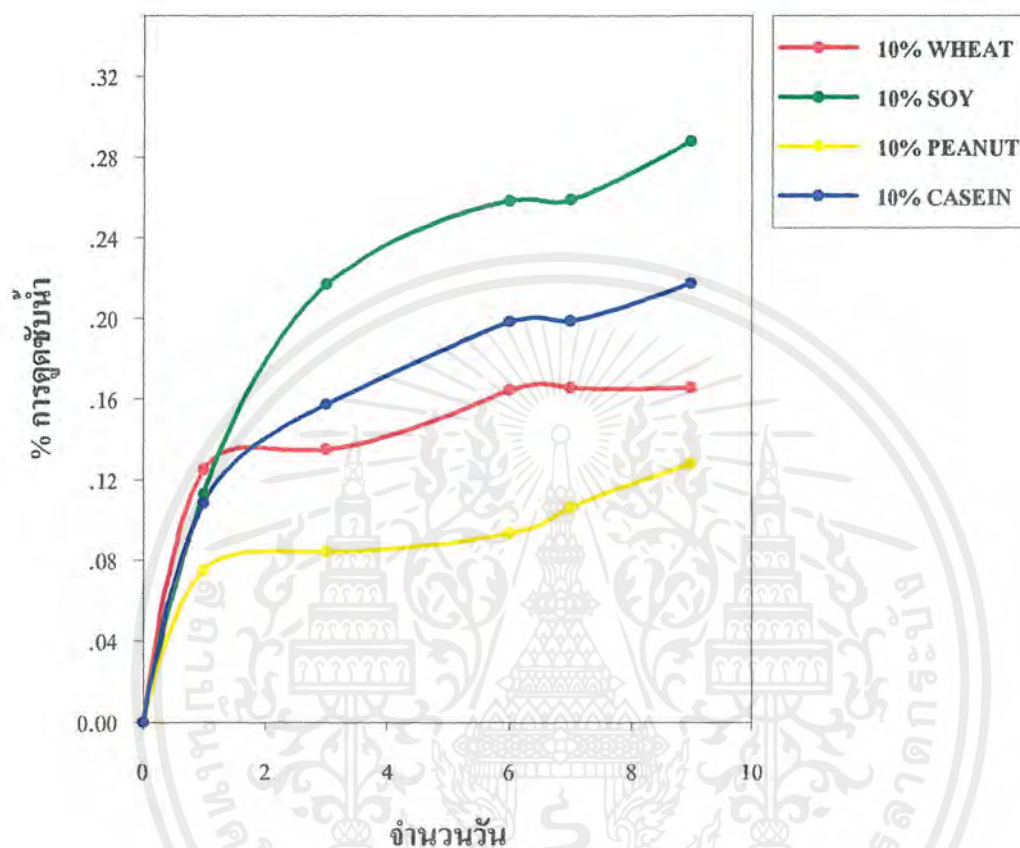
รูปที่ 4.16 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เปอร์เซ็นต์ CASEIN ต่างๆ

จากกราฟ พบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปริมาณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่มากขึ้นในช่วงแรก ต่อมาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ในช่วงวันสุดท้าย แต่พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก จึงไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติมที่เกิดขึ้น สำหรับค่าการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจาก ช่องว่างที่เกาะยึดติดกันระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติมที่เกิดขึ้น และสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมที่ใช้

จากข้อมูล ที่ทำการศึกษพบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำที่เกิดขึ้นจะมีประโยชน์ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์หรือ จุลินทรีย์ในการช่วยย่อยสลาย ดังนั้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์เมื่อมีการผสมสารตัวเติมชนิดต่างๆที่ปริมาณสารตัวเติม 10% โดยบันทึกค่านำมาเปรียบเทียบที่เวลานาน 9 วัน พบว่าผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 14.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติม 10% เป็นเวลา 9 วัน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.17



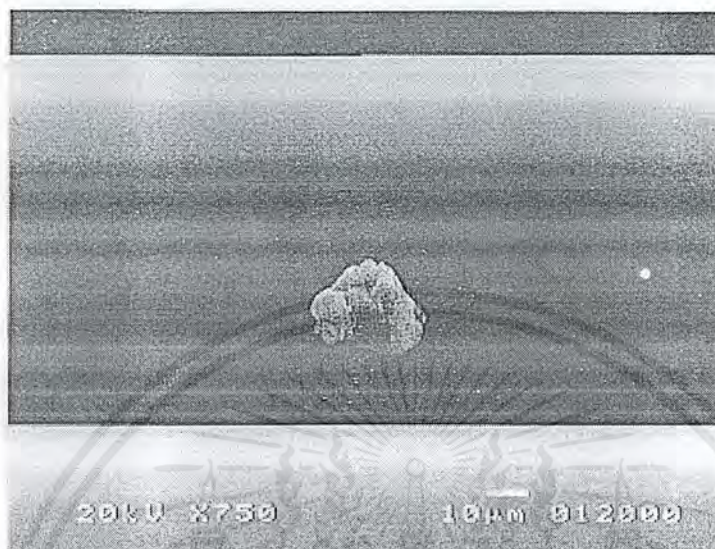
รูปที่ 4.17 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติม 10% เป็นเวลา 9 วัน

จากกราฟ พบว่า ค่าปริมาณการดูดซับน้ำเป็นเวลานาน 9 วัน ปริมาณการดูดซับน้ำของ 10% SOY มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ 10 % CASEIN, 10% WHEAT และ 10% PEANUT ตามลำดับ ดังนั้น ในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ พอลิเมอร์ที่ทำการผสม SOY ควรจะมีโอกาสทางการย่อยสลายได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าปริมาณการดูดซับน้ำของ SOY จะมากแต่สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ทำการผสม SOY จะมีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่ทำการผสม CASEIN ดังนั้น ในขั้นนี้จึงทำการศึกษาพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงจากเดิมน้อยที่สุดและปริมาณการดูดซับน้ำยังคืออยู่ จึงได้ทำการคัดเลือกพอลิเมอร์ที่ทำการผสม CASEIN ในปริมาณ 10% โดยนำหนักไปทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

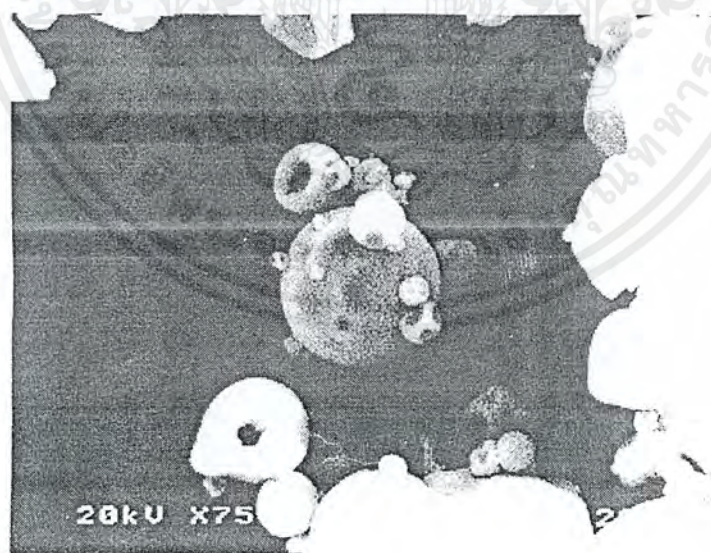
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การศึกษาสัณฐานวิทยาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM

#### 3.1 ลักษณะรูปร่างของสารตัวเติม ดังแสดงในรูปที่ 4.18 , 4.19 , 4.20 และ 4.21

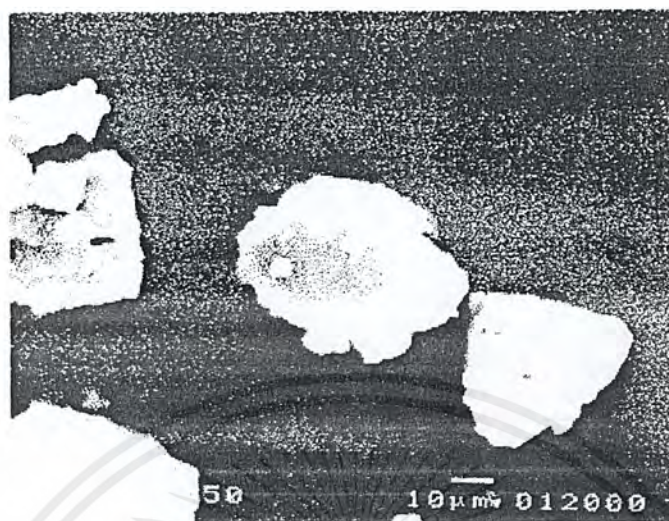


รูปที่ 4.18 แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม WHEAT โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

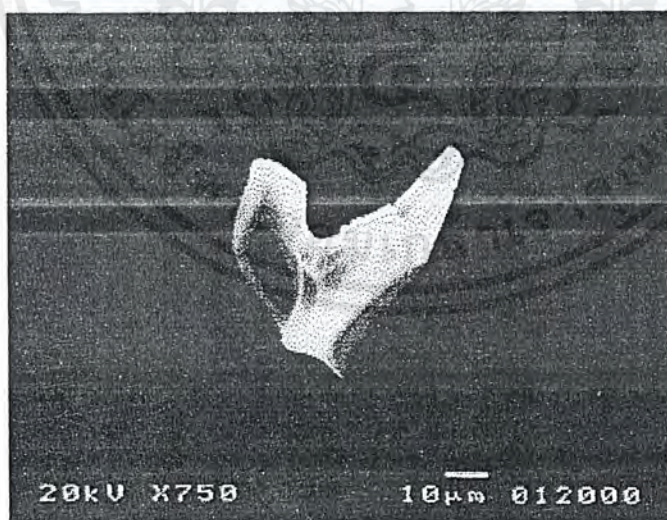


รูปที่ 4.19 แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม SOY PROTEIN โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



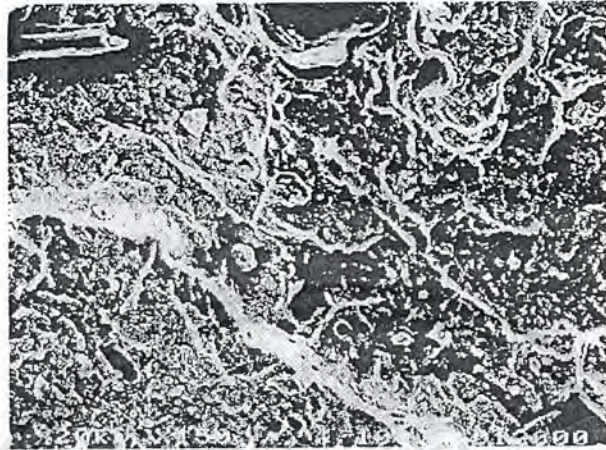
รูปที่ 4.20 แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม PEANUT โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า



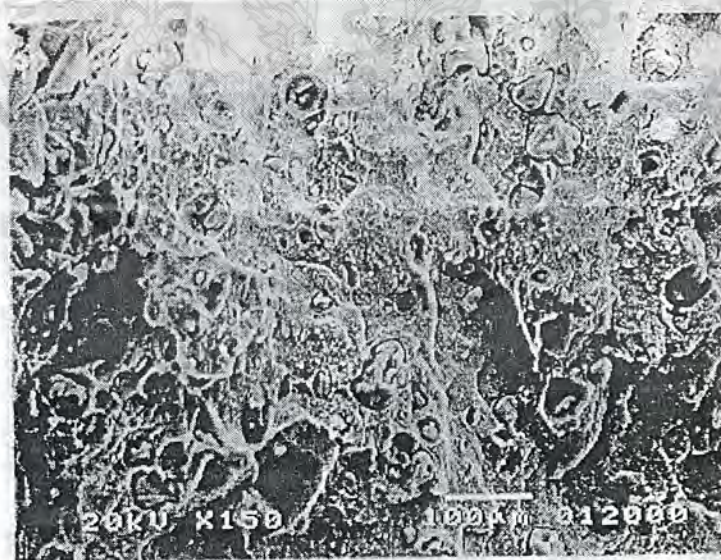
รูปที่ 4.21 แสดงรูปร่างลักษณะของสารตัวเติม CASEIN โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25

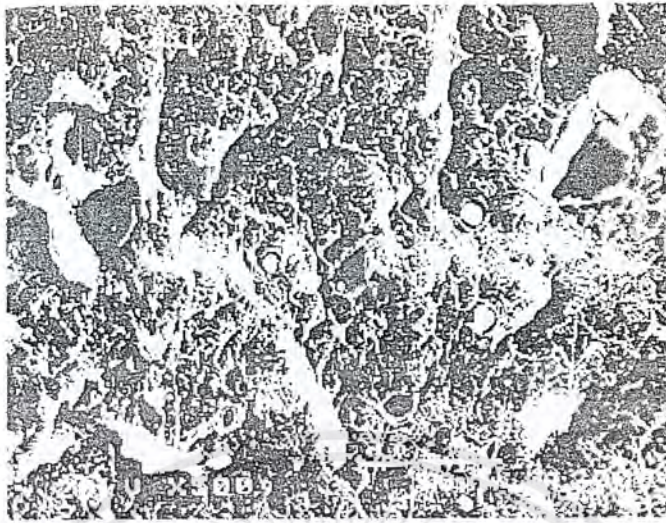


รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติโปรตีนจากข้าวสาลี (WHEAT) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติโปรตีนจากถั่วเหลือง (SOY) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



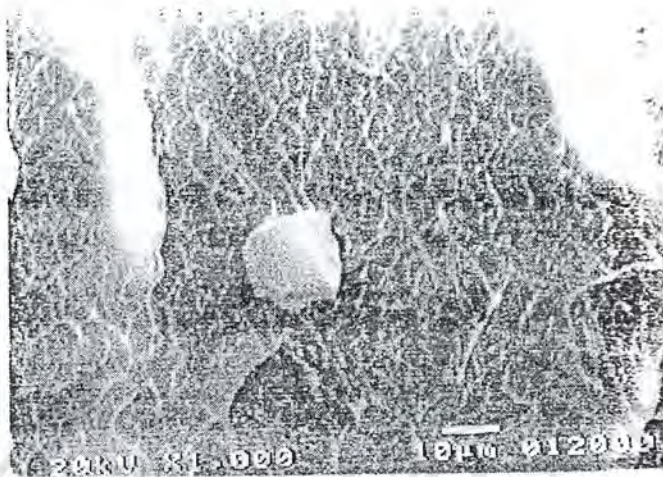
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติโปรตีนจากถั่วลิสง (PEANUT) โดยใช้กำลังขยาย 500 เท่า



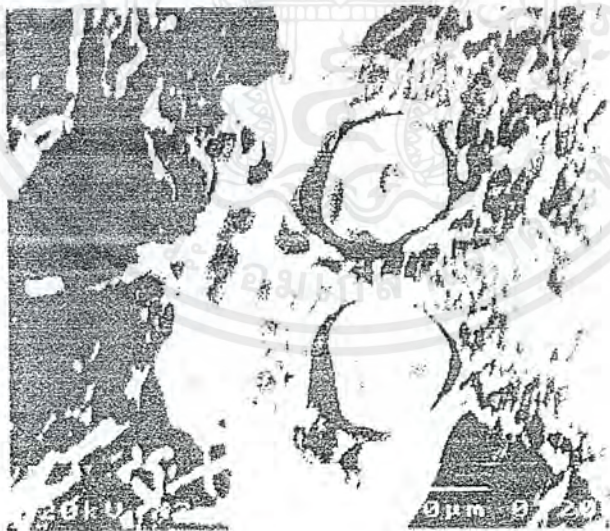
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติโปรตีนจากโซเดียมเคซีน (CASEIN) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม แสดงดังรูปที่ 4.26, 4.27, 4.28, และ 4.29



รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากข้าวสาลี (WHEAT) โดยใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากถั่วเหลือง (SOY) โดยใช้กำลังขยาย 2,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากถั่วลิสง (PEANUT) โดยใช้กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะพื้นผิวของยึดติดกันของพอลิเมอร์และสารตัวเติม โปรตีนจากโซเดียมเคซีน (CASEIN) โดยใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป SEM แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่า สารตัวเดิมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในเนื้อของพอลิเมอร์ แต่สมบัติการยึดเกาะระหว่างสารตัวเดิมและพอลิเมอร์ยังไม่ดี พบช่องว่างเกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างวัสดุภาค (Interface) ซึ่งมีผลต่อค่าสมบัติเชิงกล และปริมาณการดูดซับน้ำที่เกิดขึ้น เช่น จากรูปช่องว่างระหว่างสารตัวเดิมและพอลิเมอร์ของพอลิเมอร์ที่ทำการผสม Soy เห็นได้ชัดเจน ซึ่งเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลง และ ปริมาณการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

#### 4. ผลการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ที่เติมสารตัวเดิมจำพวกโปรตีน ดังนั้นในรายงานการวิจัยนี้ จึงประยุกต์วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายทางชีวภาพจากงานวิจัยที่ใกล้เคียง (การย่อยสลายแบ่งในพอลิเมอร์) และเสนอที่จะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความสามารถในการย่อยสลาย ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายต่อพอลิเอทิลีน และพอลิเอทิลีนที่ผสมเคซีน 10%

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า TOC ที่ทำการวัดที่ 16 ชั่วโมง ของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ผสมโพรตีนเคซีน 10 % ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ปซินต่างกัน

ความเข้มข้นของเอนไซม์	ค่า TOC ของ HDPE+ 10%CASEIN (ppm)	ค่า TOC ของ HDPE (ppm)
1:250	283.45	135.20
1:200	266.00	166.35
1:100	259.55	158.50
1:50	262.40	114.00
1:25	301.20	97.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดปริมาณค่า TOC (Total organic carbon) ของสารละลายที่ได้จากการใช้เอนไซม์ ทริปซิน (Trypsin) ย่อยสลายพลาสติกพอลิเอทิลีน เปรียบเทียบกับค่า TOC ที่ใช้เอนไซม์ทริปซินในการย่อยสลายพอลิเอทิลีน เมื่อทำการผสมสารตัวเติมธรรมชาติ Casein 10% โดยน้ำหนัก และได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายและความสามารถในการย่อยสลาย พบว่า

1. เมื่อทำการศึกษาปัจจัยทางด้านความเข้มข้นของเอนไซม์ที่มีผลต่อการย่อยสลาย โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 5 สภาวะ คือ ความเข้มข้น เอนไซม์ : บัฟเฟอร์ ได้แก่ 1:250, 1:200, 1:100, 1:50 และ 1:25 เมื่อนำค่า TOC มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ไม่มีผลต่อการย่อยสลาย หรือให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. เมื่อทำการศึกษาปัจจัยทางด้านเวลา โดยทำการวัดค่า TOC ที่ 2 สภาวะ คือ ที่ 16 ชั่วโมง และที่ 22 ชั่วโมง พบว่า เวลาที่มีผลต่อการย่อยสลายน้อยมาก

3. เมื่อทำการศึกษาการย่อยสลาย โดยวัดค่า TOC ที่เกิดจากการย่อยสลายพอลิเอทิลีน เปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ผสมสารตัวเติม Casein 10% โดยน้ำหนัก ทำการวัดที่ 16 ชั่วโมง พบว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมสารตัวเติม Casein 10% ให้ค่า TOC ที่มากกว่าที่ระดับสำคัญนัยสำคัญ 0.01 ค่า TOC ที่วัดได้จากการย่อยสลายพอลิเอทิลีน แสดงว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมสารตัวเติม Casein 10% สามารถถูกย่อยสลาย ด้วยเอนไซม์ทริปซินได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สามารถช่วยแก้ปัญหาภาวะที่เกิดจากขยะพลาสติกชนิดต่างๆ จึงทำการศึกษา โดยการนำโปรตีนจากธรรมชาติหลายชนิดมาผสมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในรูปของสารตัวเติม จากการทดลองพบว่า สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวเติม สภาวะและปริมาณสารตัวเติมที่ใช้

เมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ 130 องศาเซลเซียส และสารตัวเติมธรรมชาติ โซเดียมเคซีเนตเมื่อผสมในพอลิเอทิลีนให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า การผสมสารตัวเติมธรรมชาติชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ ค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเมื่อไม่ได้ผสมสารตัวเติมธรรมชาติ และพบว่า การเติมสารตัวเติมธรรมชาติไม่มีการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์

สารตัวเติมธรรมชาติ 3-5 % เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผสมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เพื่อคงสภาพค่าสมบัติเชิงกล และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดี

การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) สามารถย่อยสลายพอลิเอทิลีนที่ผสมสารตัวเติมธรรมชาติได้ดีกว่า พอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมสารตัวเติมธรรมชาติ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรขยายศึกษาถึงชนิดของพอลิเมอร์และสารตัวเติมธรรมชาติชนิดอื่นที่สามารถหาง่าย ราคาถูก ผลิตได้จากธรรมชาติโดยผ่านขั้นตอนหรือกรรมวิธีการสกัดที่ไม่ยุ่งยาก และมีเมื่อผสมในพอลิเมอร์แล้วยังคงสภาพสมบัติเชิงกลและการย่อยสลายในทางชีวภาพที่ดี
2. ศึกษาผลของการเติมสารช่วยผสม (Compatibilizers) และ Coupling agent อื่นๆ เพื่อช่วยในการยึดติดกันของช่องว่างระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานที่กว้างขวางได้ดี
3. ควรศึกษาเปรียบเทียบวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติ ในวิธีการอื่นที่ไม่ต้องใช้ความร้อนสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (Denature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารตัวเติมธรรมชาติ และศึกษาสมบัติเชิงกลพร้อมกับสมบัติการย่อยสลาย เพื่อศึกษาผลกระทบของการสูญเสียสภาพธรรมชาติไปรติน

4. ศึกษาและค้นคว้าชนิดของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ที่สามารถทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างรวดเร็ว และเหมาะกับชนิดของสารตัวเติมแต่ละชนิด
5. ศึกษาวิธีการตรวจวิเคราะห์การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมไปรตินอย่างละเอียดเป็นมาตรฐานที่แน่นอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

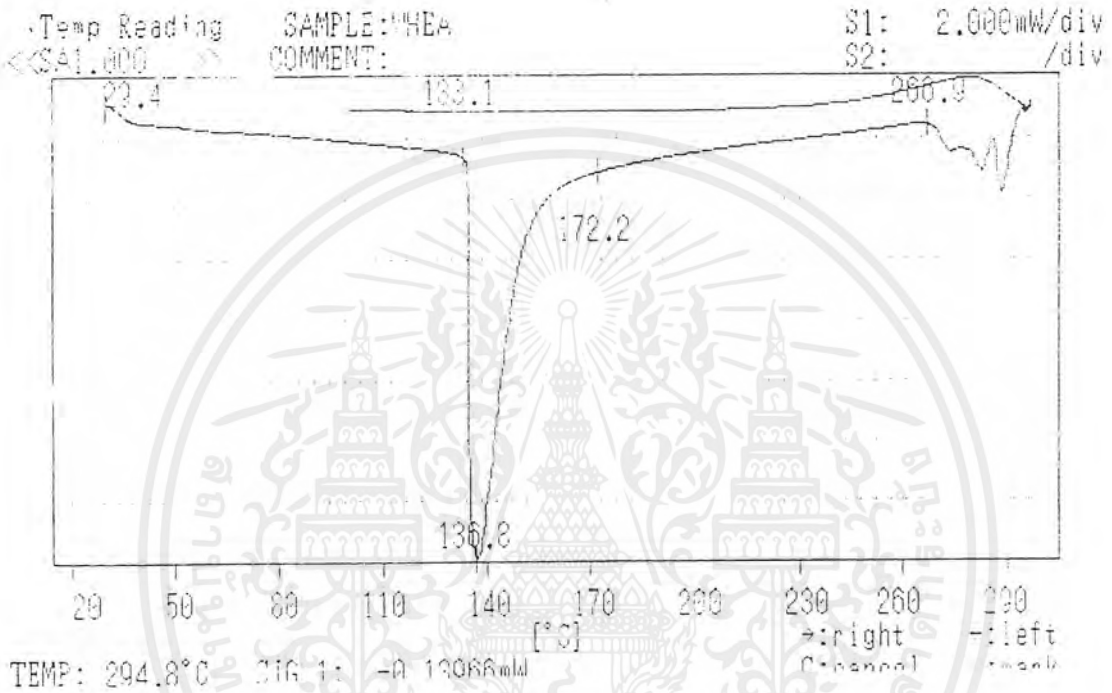


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

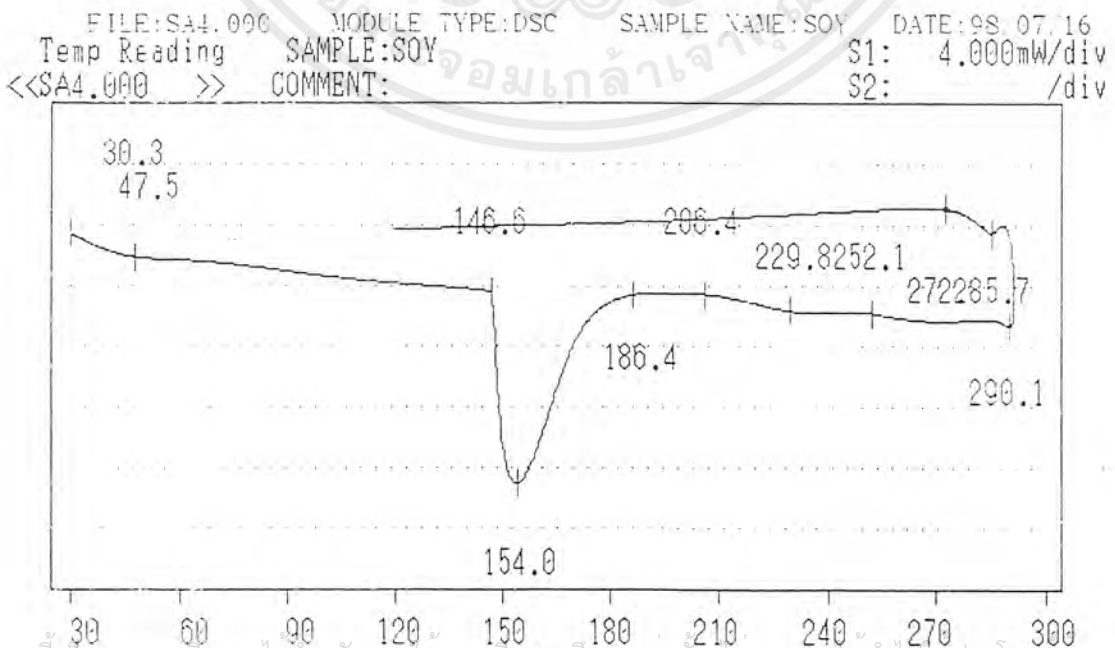
ภาคผนวก ก

เทอร์โมแกรมจากเครื่องดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์

1. โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten)

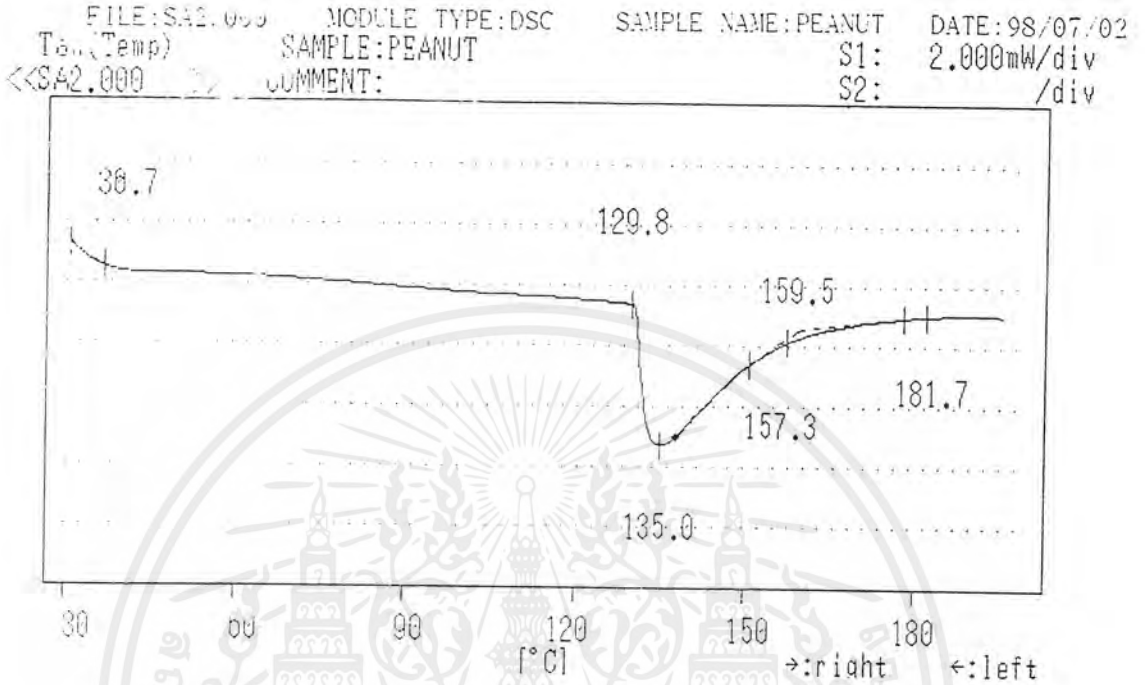


2. โปรตีนจากถั่วเหลือง (Soy protein)

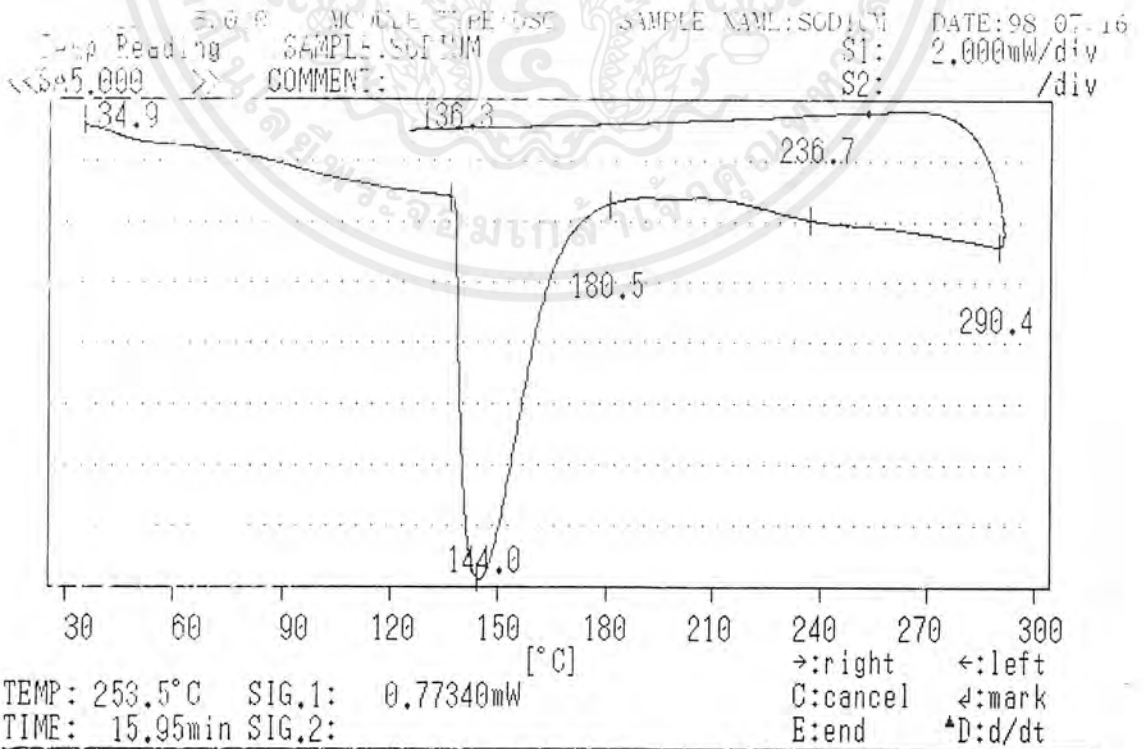


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรตีนจากถั่วลิสง (Peanut)



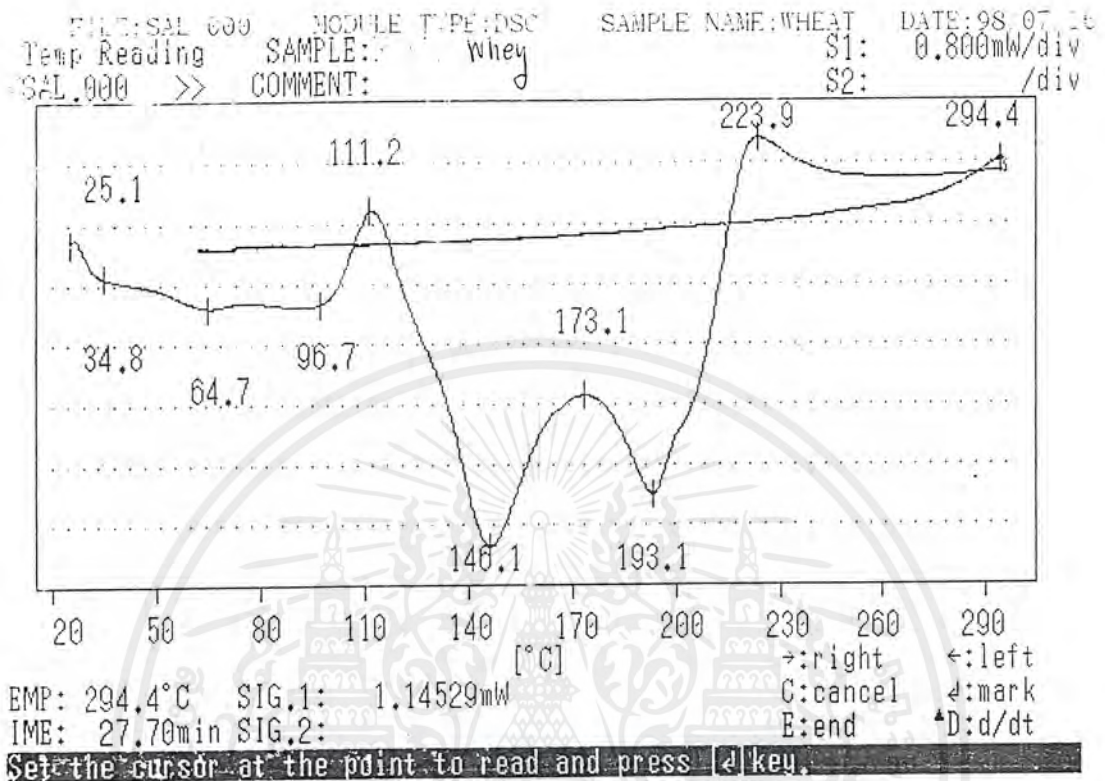
4. Sodium caseinate



Set the cursor at the point to read and press [↵] key.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. Whey protein



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข  
ความถี่ย่านรังสี IR

ตารางที่ 1 แสดงความถี่ย่านรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่

ความถี่ ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชัน
810	$R_2C = CHR$ (การงอออกนอกวงระนาบ)
1160	$(CH_2)_nCH$
1250	$CH_2$ หรือ $CH$ , หลายหมู่
1475 และ 1380	$CH_3$
1475	$CH_2$
2950	$C-H$ , $CH_2$ และ $CH_3$
3050	$=C-H$
675 - 870	aromatic ( การงอออกนอกวงระนาบของ $C-H$ )
(ความเข้มสูง)	
1667 - 2000	aromatic ที่มีวง benzene
(ความเข้มต่ำ)	
1000 - 1100	aromatic ( การงอในระนาบของ $C-H$ )
1500 - 1600	aromatic ( การยืด $C=C$ )
3000 - 3100	aromatic ( การยืด $C-H$ )
690 - 710, 730 - 770	มีหมู่แทนที่หมู่เดียว ( monosubstituted )
735 - 770	มีหมู่แทนที่ 2 หมู่แบบออร์โธ ( o - disubstituted )
690 - 710, 750 - 810	มีหมู่แทนที่ 2 หมู่แบบเมตา ( m - substituted )
810 - 840	มีหมู่แทนที่ 2 หมู่แบบพารา ( p - substituted )
3200 - 3500	การยืด $N-H$ การงอ $N-H$
650 - 900 (กว้าง)	1 amine
1590 - 1650	
1550 - 1650	2 amine
ความเข้มต่ำ	

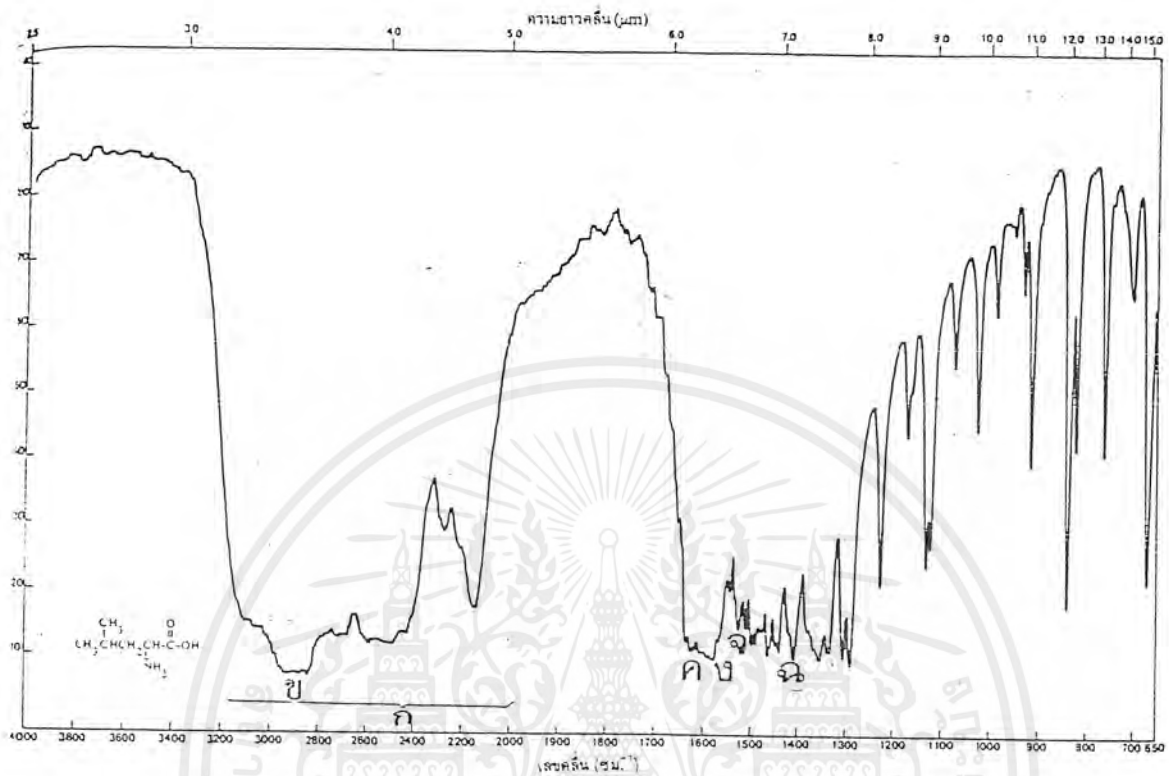
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงความถี่ย่านรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่

ความถี่ ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชัน
	<u>การยืด C - N</u>
1020 - 1220 (ความเข้มต่ำ)	aliphatic
1180 - 1360 (ความเข้มสูง)	aromatic
1250 - 1340	1° amine
1280 - 1350	2° amine
1310 - 1360	3° amine

\* จาก วิชัย รวีระกุล, โภศลิษฐ์ กุศลาราม, พิเชษฐ์ วิริยะจิตรรา, สุรชัย นิยมจิรวัฒน์ และอภิชาติ สุขสำราญ หนังสือ  
การประยุกต์สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดอินทรีย์ พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 72-73, 76-77 และ 102-105. พ.จ.ก. นำอักษร  
การพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ก : N-H ของหมู่  $-NH_3^+$  ชัด ที่ 2000–3200  $cm^{-1}$  ขยายกว้างขึ้นด้วยแบนด์รวมที่ 2140  $cm^{-1}$  และแบนด์รวมกับโอเวอร์โทนอื่น ๆ
- ข : แอลิฟาติก C-H ชัด (ซ้อนทับ N-H ชัด) 2950–2960  $cm^{-1}$
- ค : N-H ของหมู่  $-NH_3^+$  งออย่างไม่มีสมมาตร 1610  $cm^{-1}$
- ง : C=O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ชัดอย่างไม่มีสมมาตร 1580  $cm^{-1}$
- จ : N-H ของหมู่  $-NH_3^+$  งออย่างมีสมมาตร 1505  $cm^{-1}$
- ฉ : C=O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ชัดอย่างมีสมมาตร 1405  $cm^{-1}$

\* จาก วิชัย ธีวระภูต, โกศลย์ อุสาธานู, พิเชษฐ์ วิริยะจิตรา, สุรชัย นิมจิรวัดน์ และอภิชาติ สุขสำราญ หนังสือ  
การประยุกต์สเปกโทรสโกปีในเคมีอินทรีย์ พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 109 ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2526.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค  
ข้อมูลแสดงสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิในการเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูปต่างๆ

ชนิดพอลิเมอร์	อุณหภูมิที่ขึ้นรูป ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tensile strength (MPa)	% Elongation	Modulus (MPa)
PURE HDPE	HD 120	23.55	392.7	633.33
	HD 130	22.44	439.2	327.77
	HD 140	21.34	364.3	411.11
HDPE + 5%SOY	SY 120	22.64	136.03	605.53
	SY 130	22.62	82.37	594.44
	SY 140	20.87	56.68	366.66
HDPE + 5%WHEAT	WH 120	21.45	135	555.55
	WH 130	20.996	123.7	555.55
	WH 140	20.2	90.66	322.21
HDPE + 5% PEANUT	PN 120	22.98	137.25	611.10
	PN 130	22.42	98.12	583.32
	PN 140	22.03	92.55	377.77
HDPE+ 5% CASEIN	CA 120	23.11	163.00	661.10
	CA 130	22.04	160.00	611.11
	CA 140	21.43	122.00	383.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิในการเริ่มต้นในการฉีดขึ้นรูปต่างๆ

ชนิดพอลิเมอร์	อุณหภูมิที่ขึ้นรูป (°C)	HARDNESS	IMPACT (kJ/m <sup>2</sup> )	HDT (°C)
PURE HDPE	HD 120	58.2	7.6	56.65
	HD 130	56.5	6.4	56.20
	HD 140	55.9	6.3	55.10
HDPE+ 5%SOY	SY 120	57.8	5.6	55.40
	SY 130	57.3	5.3	54.60
	SY 140	56.3	5.0	53.20
HDPE+ 5%WHEAT	WH 120	57.2	6.2	53.60
	WH 130	56.4	5.7	53.00
	WH 140	54.3	5.2	52.70
HDPE+ 5%PEANUT	PN 120	58.1	6.2	54.70
	PN 130	56.6	5.8	54.30
	PN 140	55.6	5.3	54.20
HDPE+ 5%CASEIN	CA 120	58.4	6.2	55.30
	CA 130	57.8	6.4	54.20
	CA 140	55.2	6.1	54.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ชนิดสารตัวเติม	เปอร์เซ็นต์สารตัวเติม	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	% Elongation
WHEAT	0 %	23.55	633.33	763.4
	3%	23.46	524.44	124.7
	5%	22.54	516.65	197.4
	7%	22.45	496.66	72.67
	10%	21.58	433.33	56.37
SOY	0 %	23.55	633.33	763.4
	3%	23.43	533.33	466.2
	5%	23.47	516.65	274.1
	7%	22.56	482.22	128.02
	10%	21.73	376.70	41.01
PEANUT	0 %	22.55	633.33	763.4
	3%	23.76	565.55	215.1
	5%	22.91	557.77	121.8
	7%	22.81	532.81	47.16
	10%	21.11	498.33	46.57
CASEIN	0 %	23.55	633.33	763.4
	3%	23.64	568.89	366.7
	5%	23.60	556.67	81.3
	7%	23.17	539.77	53.29
	10%	22.83	520.00	47.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ชนิดสารตัวเติม	เปอร์เซ็นต์สารตัวเติม	HARDNESS	IMPACT (kJ/m <sup>2</sup> )	HDT Temperature (°C)
WHEAT	0 %	59.50	7.6	56.65
	3%	59.50	7.6	51.03
	5%	58.52	7.7	50.70
	7%	60.00	7.3	50.87
	10%	59.67	7.1	50.30
SOY	0 %	59.50	7.6	56.65
	3%	60.02	7.0	51.06
	5%	60.00	6.2	50.76
	7%	59.02	6.1	51.00
	10%	60.50	5.4	52.50
PEANUT	0 %	59.50	7.6	56.65
	3%	60.02	7.3	50.50
	5%	59.67	7.2	51.06
	7%	60.50	7.5	50.57
	10%	60.02	7.0	50.10
CASEIN	0 %	59.50	7.6	56.60
	3%	59.17	7.3	52.05
	5%	59.67	7.1	50.50
	7%	60.00	7.1	52.10
	10%	59.67	7.1	52.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์  
ที่ผสมสารตัวเติม WHEAT ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

วัน/ชนิด	HDPE	3%WHEAT	5%WHEAT	7%WHEAT	10%WHEAT
1	0.00236	0.0290	0.0290	0.0696	0.1250
3	0.0276	0.0641	0.0745	0.0855	0.1350
6	0.0295	0.0695	0.0890	0.0925	0.1645
7	0.0350	0.0768	0.1074	0.1313	0.1656
9	0.0367	0.0936	0.1096	0.1387	0.1656

ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์  
ที่ผสมสารตัวเติม SOY ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

วัน/ชนิด	HDPE	3%SOY	5%SOY	7%SOY	10%SOY
1	0.00236	0.0814	0.0685	0.0871	0.1130
3	0.0276	0.1200	0.1285	0.1700	0.2170
6	0.0295	0.1205	0.1500	0.1870	0.2585
7	0.0350	0.1235	0.1665	0.1970	0.2590
9	0.0367	0.1345	0.2290	0.2660	0.2660

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์  
ที่ผสมสารตัวเติม PEANUT ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

วัน/ชนิด	HDPE	3%PEANUT	5%PEANUT	7%PEANUT	10%PEANUT
1	0.00236	0.0530	0.0574	0.0641	0.0750
3	0.0276	0.0616	0.0620	0.0681	0.0842
6	0.0295	0.0697	0.0770	0.0820	0.0935
7	0.0350	0.0725	0.0940	0.0980	0.1063
9	0.0367	0.0807	0.1020	0.1021	0.1280

ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์  
ที่ผสมสารตัวเติม CASEIN ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

วัน/ชนิด	HDPE	3%CASEIN	5%CASEIN	7%CASEIN	10%CASEIN
1	0.00236	0.0460	0.0506	0.0785	0.1084
3	0.0276	0.0705	0.0806	0.1053	0.1574
6	0.0295	0.0868	0.0904	0.1260	0.1985
7	0.0350	0.0890	0.1105	0.1405	0.1990
9	0.0367	0.0978	0.1285	0.1508	0.2175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. มยุรี ภาคคำเจียก “สถิติความรู้เกี่ยวกับพลาสติก” พลาสติก 3 (2534):48. (กทม. : สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย)
2. กฤษณา ลูชีวะ “การกำจัดพลาสติก” วิทยาศาสตร์ 9 (2522) :57-58.
3. B. Seymour, Additives in Introduction to Polymer Chemistry (McGraw-Hill Kogakusha,) pp.254-255.
4. R. Gachter and H. Muller , Filler and Reinforcements in Plastics Additives Handbook , 2 nd ed., p. 438.
5. ศ.ดร. มนตรี จุฬวัฒน์พล และคณะ กรดอะมิโนและชีวโปรตีน ชีวเคมี หน้า 107-115, 127-132 ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2530
6. สุนันทา ภิณูญาวัชรน์ การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ชีวเคมี I พิมพ์ครั้งที่ 4 หน้า 103-104 มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2530.
7. A. Gennadios ; T.H. Mchugh ; C.L. Weller and J.M. Krochta , Edible Coatings and Films Based on Proteins in Edible Coating and Films to Improve Food Qaulity (J.M. Krochta ; E.A. Baldwin and M.O. Nisperos-Carriedo eds.) pp. 202-262, 1994.
8. จีรศาสตร์ สายยศ และ มรุค คุณุทัย “การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งซึ่งมีคุณสมบัติดูดซึมน้ำ” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2529.
9. เกียรติศักดิ์ คูหา “พลาสติกย่อยสลายได้” พลาสติก 2 (2535):29-36,93 ( กทม. :สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย)
10. V.M. Ghorpade , A. Gennadios , M.A. Hanna , and C.L. Weller Miscellaneous 72 (6). (1995.): 559-563.
11. H. Pranamuda; Y. Tokiwa and H. Tanaka. Journal of Enviromental Polymer Degradation 4(1).(1996):559-563.
12. ทศนีย์ คำภูเวียง และนฤมล เปรมธีรวัฒน์ชัย “การศึกษาพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้