

การนำไปโอพอลิเมออร์เป็นสารตัวเติมเพื่อ
ประยุกต์ใช้งานการกระจายตัวของไวนิล



นางสาวทิพวรรณ พรปัญญาวุฒิ
นางสาวศิริอร ประสพชัยชนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่..... 2543
เลขทะเบียน..... 40069
วัน, เดือน, ปี..... 24 ก.ค. 2544

b.....

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biopolymer as Fillers in Vinyl Dispersion Application



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
2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การนำไปโอพอลิเมอร์เป็นสารตัวเติมเพื่อประยุกต์ใช้งานการ
กระจายตัวของไวนิล

นักศึกษา นางสาวทิพวรรณ พรปัญญาวุฒิ รหัส 40052019

นางสาวศิริอร ประสพชัยชนะ รหัส 40052055

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.สิริภค สระตันดี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ



(ดร.พัชนี เจริญยิ่ง)

ประธานกรรมการ



(ดร.จุฑารัตน์ สิริชัยสิทธิ์)

กรรมการ



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ



(ผศ.สิริภค สระตันดี)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การนำไปโพลิเมอร์เป็นสารตัวเติมเพื่อประยุกต์ใช้งานการกระจายตัวของไวนิล	
นักศึกษา	นางสาวทิพวรรณ พรปัญญาวุฒิ รหัส 40052019	นางสาวศิริอร ประสพชัยชนะ รหัส 40052055
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.สิริภักดิ์	สระตันต์
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำไปโพลิเมอร์ (Biopolymer) มาใช้เป็นสารตัวเติมธรรมชาติ (Natural fillers) ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate Soy protein) และโปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) เพื่อใช้ในการกระจายตัวของเรซินไวนิล (Vinyl Dispersion) โดยผสมเรซินโพลิไวนิลคลอไรด์ชนิดกระจายตัว (Poly(vinyl chloride) dispersion resin, PVC) กับสารตัวเติมธรรมชาติ ที่มีปริมาณแตกต่างกัน (10-40% โดยน้ำหนัก) โดยทำในระบบที่มีสารปรับสภาพพลาสติก (plasticizer) แล้วทำการหล่อ (casting) ในสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ แล้วนำผลการศึกษาที่ได้เปรียบเทียบกับโพลิเมอร์ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) เป็นสารตัวเติม และที่ไม่ได้ผสมสารตัวเติม พบว่า สมบัติเชิงกลของพีวีซีที่เติมสารตัวเติมธรรมชาติ (โปรตีนจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากข้าวสาลี) ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลของพีวีซีบริสุทธิ์ และพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม ที่อุณหภูมิในการหล่อขึ้นรูปเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส รวมทั้งการเติมสารตัวเติมมีผลต่อการดูดซับน้ำเพียงเล็กน้อย ส่วนการศึกษาทางสัณฐานวิทยาของพีวีซีที่ผสมสารตัวเติมธรรมชาติ พบว่า สารตัวเติมธรรมชาติสามารถแทรกตัวได้ในวัฏภาคของโพลิเมอร์ทำให้จุลินทรีย์ในธรรมชาติสามารถย่อยสลายสารตัวเติม ส่งผลให้โครงสร้างของโพลิเมอร์แตกออก ทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไป งานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากปริมาณขยะพลาสติกลงได้อีกวิธีหนึ่งในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Biopolymer as Fillers in Vinyl Dispersion Application	
Name	Miss Tippawan	Pornpanyawoot
	Miss Siriorn	Prasopchaichana
Special Project Advisor	Asst.Prof.Somsak	Woramongkolchai
Special Project Co-Advisor	Asst.Prof.Siripak	Sarathan
Department	Chemistry	
Academic Year	2000	

Abstract

This research aims to study biopolymer as natural fillers (soy protein and wheat gluten) for vinyl dispersion application. Poly (vinyl chloride) dispersion resin was mixed to natural fillers with different amount (10-40% by weight) in the plasticizer system. Then it was cast at optimum condition. The samples were tested for mechanical properties, absorption properties, morphology with Scanning Electron Microscope (SEM) technique and biodegradation. The results were compared to polymer with and without calcium carbonate. The mechanical properties of poly (vinyl chloride) with 10% by weight was close to neat poly (vinyl chloride) and poly (vinyl chloride) with calcium carbonate as a filler by using casting temperature of 180 °C, involving fillers less affected to water absorption. As morphology studies of poly (vinyl chloride) with natural fillers found that natural filler could penetrate in polymer phases caused filler decomposition by microorganism that affected the structure of polymer. This research is the other guide line for reducing the amount of plastic wastes in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และผศ.สิริภักดิ์ สระตันต์ อาจารย์ผู้ควบคุม
โครงการพิเศษอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาช่วยแก้ปัญหาและเอาใจใส่ดูแลการทำงานของผู้วิจัยจน
โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์สร้อยญา พันธุ์พุกษ์ และ อาจารย์วีณา ชูโชติ อาจารย์ผู้ให้คำ
ปรึกษาโครงการพิเศษในส่วนของกรรณียสลายทางชีวภาพของผู้วิจัยจนโครงการพิเศษฉบับนี้
สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ และ ดร.พัชนี เจริญยิ่ง อาจารย์คณะกรรณการ
รวมทั้งอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง
ต่างๆ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ทุกท่าน ที่ได้
กรุณาให้ความช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณภาควิชาเคมี ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้มาศึกษา ณ สถานที่แห่งนี้ ได้พบกับสิ่งดีๆ
ต่างๆ มากมาย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่เคารพอย่างสูง ที่คอยเป็นกำลังใจและคอย
สนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมีและภาค
วิชาชีววิทยาทุกคนสำหรับคำแนะนำและกำลังใจที่แสนดี

ทิพวรรณ พรปัญญาวุฒิ

ศิริอร ประสพชัยชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1	
บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สารตัวเติม	3
2.2 กรดอะมิโนและโปรตีน	6
2.3 ชนิดและสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติ	15
2.4 การย่อยสลายของพลาสติก	17
2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์	24
2.6 สารเติมแต่ง	30
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา	35
บทที่ 3	
การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ	37
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	38
3.4 การทดสอบ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ	44
4.2 การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้	45
4.3 การศึกษาปริมาณสารตัวเติมธรรมชาติที่เหมาะสม	49
4.4 การศึกษาเวลาในการหล่อที่เหมาะสม	52
4.5 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	56
4.6 การศึกษาสัณฐานวิทยา	57
4.7 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ	62

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	66

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

67
77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสาร	4
ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพลาสติก เมื่อใช้สารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ	6
ตารางที่ 2.3 ชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจากถั่วเหลือง	16
ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติมสารปรับสภาพ พลาสติก	31
ตารางที่ 2.5 สมบัติทั่วไปของ DOP	32
ตารางที่ 3.1 สูตรผสมของการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ที่ ย่อยสลายได้	39
ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของการศึกษาหาปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม	40
ตารางที่ 4.1 การศึกษาการสลายตัวของโปรตีน	44
ตารางที่ 4.2 เลขคลื่นที่เกิดจากการนำสารตัวเติมธรรมชาติ Soy protein และ Wheat gluten มาตรวจสอบห่มู่ฟังก์ชันโดยเครื่อง IR	45
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการย่อยสลายของพืชที่มีโปรตีนจากถั่วเหลือง และ โปรตีนจากข้าวสาลี เป็นสารตัวเติม	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สมบัติของกรดอะมิโนทางสเตอริโอไอโซเมอร์(ก) และการแตกตัว(ข)	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ	8
รูปที่ 2.3 พันธะเปปไทด์ในสายโปรตีน (ก) และโครงสร้างเรโซแนนซ์ (ข)	11
รูปที่ 2.4 โครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์ ซึ่งแสดงการเขียนชื่อย่อและสูตรเต็ม	11
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนในลักษณะเป็นเกลียวอัลฟา (ก) และแผ่นฉับบีตา(ข)	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างจตุรภูมิของฮีโมโกลบินโดยแสดงตำแหน่งของหน่วยย่อยและฮีม (แถบดำ)	13
รูปที่ 2.7 การเสียสภาพธรรมชาติและการกลับสู่สภาพธรรมชาติ	14
รูปที่ 2.8 โครงสร้างและปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์	24
รูปที่ 2.9 ชนิดของการแพร่กระจายสารประกอบไวนิลล์	27
รูปที่ 2.10 ผลของเวลาที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติกไฮลและความแข็งแรงดึง	28
รูปที่ 2.11 ผลจากการให้ความร้อนแก่พลาสติกไฮลแบบเป็นขั้นตอน	29
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)	46
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยืดกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)	46
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสและเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)	47
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงและเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)	47
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของพลาสติกไฮล (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม) กับสูตรที่ใช้ต่างๆ	48
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและไม่ใช้สารตัวเติม)	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับเวลาที่ใช้ หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียม- คาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและไม่ใช้สารตัวเติม)	50
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีน จากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม)	51
รูปที่ 4.9 ความเหนียวของพลาสติกไซล (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี และ แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม)	52
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)	53
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับเวลาที่ใช้หล่อ เรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียม- คาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)	54
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจาก ถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)	54
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีน จากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)	55
รูปที่ 4.14 ค่าความเหนียวของพลาสติกไซล (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)	56
รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเรซินพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลือง ปริมาณต่างกัน	56
รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเรซินพีวีซีที่มีโปรตีนจากข้าวสาลี ปริมาณต่างกัน	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17	รูปร่างลักษณะของโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า	58
รูปที่ 4.18	รูปร่างลักษณะของโปรตีนจากข้าวสาลี โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า	58
รูปที่ 4.19	รูปร่างลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้กำลังขยาย 3,500 เท่า	59
รูปที่ 4.20	รูปร่างลักษณะของเรซินพีวีซี โดยใช้กำลังขยาย 3,500 เท่า	59
รูปที่ 4.21	ลักษณะพื้นผิวของพีวีซีเมื่อผสมกับสารตัวเติม(แคลเซียมคาร์บอเนต) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า	60
รูปที่ 4.22	ลักษณะพื้นผิวของพีวีซี เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ (โปรตีนจากข้าวสาลี) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า	61
รูปที่ 4.23	ลักษณะพื้นผิวของพีวีซี เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ (โปรตีนจากถั่วเหลือง) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า	61
รูปที่ 4.24	การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยใช้กำลัง- ขยาย 750 เท่า	63
รูปที่ 4.25	การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากถั่วเหลืองหลังการย่อย โดยใช้ กำลังขยาย 750 เท่า	64
รูปที่ 4.26	การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากข้าวสาลี โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า	64
รูปที่ 4.27	การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากข้าวสาลีหลังการย่อย โดยใช้ กำลังขยาย 750 เท่า	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

พลาสติกเป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตภาชนะ เครื่องใช้สอย บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ อุปกรณ์เครื่องเขียน และในทางอุตสาหกรรม ได้มีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้สามารถใช้แทนโลหะและไม่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมเครื่องจักร การใช้พลาสติกมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้มีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มตามปริมาณการใช้ วิธีการบำบัดขยะพลาสติกเหล่านี้มีหลายวิธี ได้แก่

1. การเผา เป็นวิธีการที่ง่ายไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่มีข้อเสียคือ การปล่อยก๊าซพิษสู่บรรยากาศ
2. การฝังดิน มีข้อจำกัดคือ ขยะพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้ในดิน
3. การทำให้ขยะพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและทางแสง
4. การนำกลับมาใช้ใหม่

อุตสาหกรรมในปัจจุบัน มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสมตามความต้องการของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโพลีเอทิลีน พลาสติกหรือวัสดุธรรมชาติ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้บรรจุภัณฑ์ดังกล่าว คือจะทำให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษได้ เช่น การนำขยะไปฝังดินจะก่อให้เกิดมลพิษทางดิน หรือการนำขยะไปเผาจก่ให้เกิดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงนำพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่าง ๆ และเป็นการลดปริมาณขยะด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อหาแนวทางในการศึกษาและการพัฒนาใช้วัสดุจากธรรมชาติบางชนิดมาใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในพอลิเมอร์ ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) และ โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten)
2. เพื่อหาปริมาณของสารตัวเติมที่เหมาะสมในการผลิต
3. เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการหล่อแบบ
4. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ที่มีการนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้เป็นสารตัวเติม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ และสัณฐานวิทยา เป็นต้น
5. เพื่อผลิตพอลิเมอร์ที่มีสารตัวเติมจากธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารตัวเติมธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากข้าวสาลี

2. ศึกษาปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสมที่ให้สมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆที่ดี และเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติม พอลิเมอร์ที่ไม่มีการผสมสารตัวเติม และพอลิเมอร์ที่มีวัสดุจากธรรมชาติเป็นสารตัวเติม

3. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการหล่อแบบ

4. ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่ผสมสารตัวเติมธรรมชาติเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมสารตัวเติม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ที่มีคุณสมบัติที่ดี

2. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสารตัวเติมและพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ

3. ทราบผลของการปรับปรุงพอลิเมอร์เพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีได้และลดปัญหามลภาวะจากขยะที่เกิดขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารตัวเติม(Fillers)

2.1.1 ความหมายของสารตัวเติม

สารตัวเติม คือ สารจำพวกผงหรือจำพวกเส้นใยที่ใช้เติมใส่พอลิเมอร์เพื่อทำให้สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ดีขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งานซึ่งเป็นที่ต้องการอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยการเติมสารตัวเติมลงในพอลิเมอร์มีจุดประสงค์หลัก ดังนี้

- 1.ลดต้นทุนการผลิต เพราะสารตัวเติมเป็นสารที่เพิ่มเนื้อชนิดหนึ่งที่มีราคาถูก
- 2.ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เช่น เพิ่มความอดุลล์ ความแข็ง ความแข็งแรงดึง การยึดตัว ความต้านทานต่อแรงกระแทก เป็นต้น

นอกจากนี้โดยทั่วไปในการผลิตพอลิเมอร์ จะมีการเติมสารตัวเติมบางชนิด สารเสริมแรง (Reinforcements) และสารเติมแต่ง (Additives) เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น

- 1.ปรับปรุงสมบัติการไหล ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตัวเติมและการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์
- 2.ปรับปรุงสมบัติทางเคมี เช่น เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ลดการซึมผ่าน เป็นต้น
- 3.ปรับปรุงสมบัติทางความร้อน เช่น ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว เป็นต้น
- 4.ปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เป็นต้น
- 5.ปรับปรุงสมบัติทางแสง เช่น ค่าดัชนีหักเห เป็นต้น
- 6.เพิ่มอายุการใช้งาน

2.1.2 ประเภทของสารตัวเติม

โดยทั่วไปจะแบ่งสารตัวเติม ออกได้เป็นหลายชนิดดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแบ่งตามประเภทของสารได้ดังนี้

1.สารตัวเติมประเภทสารอินทรีย์(Organic fillers) เป็นสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มเนื้อ และเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น ผงไม้ที่ได้จากการป่นไม้ เส้นใยจำพวกเซลลูโลส สาลี และปอ เป็นต้น

2.สารตัวเติมประเภทสารอนินทรีย์(Inorganic fillers) สารตัวเติมประเภทนี้ ส่วนมากใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วนและสารเคมี และสามารถเพิ่มสมบัติเฉพาะบางประการ สารตัวเติมจำพวกนี้ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) เกล็ดของแก้ว(Glass flake) ไมก้า(Mica) และซิลิกอนคาร์ไบด์(Silicon carbide) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสาร [1]

Types of Fillers for Polymers	
I. Organic Materials	(1) Chrysotile
A. Cellulosic products	(2) Amosite
1. Wood products	(3) Anthphylite
a. Kraft paper	(4) Crocidolite
b. Chips	(5) Tremolite
c. Coarse flour	(6) Actinolite
d. Ground flour	b. Kaolinite (China clay)
(1) Softwood flour	c. Mica
(2) Hardwood flour	d. Nepheline syenite
(3) Shell flour	e. Talc
2. Comminuted cellulose products	f. Wollastonite
a. Chopped paper	2. Synthetic products
b. Diced resin board	a. Calcium silicate
c. Crepe paper	b. Aluminum silicate
d. Pulp preforms	C. Glass
3. Fibers	1. Glass flakes
a. Alpha cellulose	2. Solid glass spheres
b. Pulp preform	3. Hollow glass spheres
c. Cotton flock	4. Milled fibers
d. Textile byproducts	5. Fibrous glass
e. Jute	a. Filament
f. Sisal	b. Rovings
g. Rayon	c. Woven roving
B. Lignin-type products	d. Yard
1. Ground bark	e. Mat
2. Processed lignin	f. Fabric
C. Synthetic fibers	D. Metal
1. Polyamides (Nylon)	E. Boron filaments
2. Polyesters (Dacron)	F. Metallic oxides
3. Polyacrylonitrile (Orlon, Acrilan)	1. Ground material
D. Carbon	a. Zinc oxide
1. Carbon black	b. Alumina
a. Channel black	c. Magnesia
b. Furnace black	d. Titania
2. Ground petroleum coke	2. Whiskers
3. Graphite filaments	a. Aluminum oxide (sapphire)
4. Graphite whiskers	b. Beryllium oxide
	c. Magnesium oxide
	d. Thorium oxide
	e. Zirconium oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารตัวเติมตามประเภทของสาร (ต่อ)

II. Inorganic Materials	G. Calcium carbonate
A. Silica products	1. Chalk
1. Minerals	2. Limestone
a. Sand	3. Precipitated calcium carbonate
b. Quartz	H. Polyfluorocarbons
c. Tripoli	I. Other fillers
d. Diatomaceous earth	1. Whiskers (nonoxide)
2. Synthetic materials	a. Aluminum nitride
a. Wet processed silica	b. Beryllium carbide
b. Pyrogenic silica	c. Boron carbide
c. Silica aerogel	e. Silicon nitride
B. Silicates	f. Tungsten carbide
1. Minerals	2. Barium ferrite
a. Asbestos	3. Barium sulfate

2.1.3 ผลการเติมสารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ

จากผลงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา เมื่อมีการเติมสารตัวเติมและสารเสริมแรงลงในพลาสติก โดยสรุปจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.1.4 รูปแบบการทำงานของสารตัวเติม

เมื่อใส่สารตัวเติมลงไปผสมกับพอลิเมอร์ สารตัวเติมมีรูปแบบการทำงานหลายรูปแบบ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. สารตัวเติมบางชนิดสามารถเกิดพันธะเคมีกับวัสดุ เรียกว่า สารตัวเติมทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง เช่น เขม่าดำ(Carbon black) เกิดปฏิกิริยาเคมีในรูปอนุมูลอิสระ จึงทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง(Reinforcing fillers) ในยาง

2. สารตัวเติมทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อ อยู่ในรูปของอนุภาคติดกับพื้นผิวของพอลิเมอร์ ซึ่งทิศทางการจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของอนุภาค จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลต่างๆ

3. สารตัวเติมอยู่บริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ ทำหน้าที่ช่วยในการกระจายแรงกระแทก ทำให้ปรับปรุงความสามารถในการทนแรงกระแทกได้ดีขึ้น แต่อาจมีค่าทนแรงกระแทกลดลงบริเวณที่เป็นจุดต่อระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติม

แต่อย่างไรก็ตามสมบัติของวัสดุขึ้นกับสมบัติของสารประกอบ สารตัวเติมที่มีสมบัติทางกายภาพต่างกันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้ต่างกัน ในการทดลองนี้ สารตัวเติมที่สนใจเป็นสารจำพวกวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี เป็นต้น เมื่อเติมสารตัวเติมลงไปจะเกิดการผสมกับพอลิเมอร์โดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นจึงไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง แต่จะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อให้กับพอลิเมอร์ โดยที่สามารถทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพลาสติก เมื่อใช้สารตัวเติม และสารเสริมแรงชนิดต่างๆ[2]

Properties	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
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						

(หมายเหตุ) 1 ถึง 17 แทน 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 ตามลำดับ

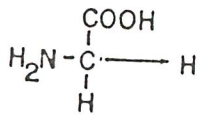
++ considerable influence, + less pronounced influence, o no influence และ - negative influence

2.2 กรดอะมิโนและโปรตีน[3]

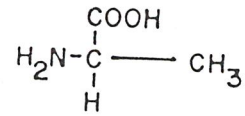
2.2.1 โครงสร้างของกรดอะมิโนในโปรตีน

โปรตีนเป็นแมโครโมเลกุล ที่พบมากที่สุดในสิ่งมีชีวิต โดยมากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแห้งของเซลล์ทั่วไปเป็นโปรตีน และเมื่อทำการสลายโปรตีนด้วยกรดจะได้กรดอะมิโน(Amino acid) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น $\text{NH}_2\text{-CHR-COOH}$ ในสูตรโครงสร้างนี้จะตอมคาร์บอนในตำแหน่งอัลฟาเป็นคาร์บอนไม่สมมาตร ดังนั้นกรดอะมิโนทุกตัว (นอกจากไกลซีน ซึ่งมี R เป็นไฮโดรเจน) จะมีสเตอริโอไอโซเมอร์(Stereoisomer) ได้สองชนิด คือ D- และ L- โดยที่กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนเป็นชนิด L- ดังแสดงในรูปที่ 2.1ก.

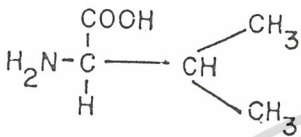
เนื่องจากกรดอะมิโนมีหมู่อัลฟาอะมิโนที่มีค่า pKa ประมาณ 9-10 และหมู่อัลฟาคาร์บอกซิลที่มีค่า pKa ประมาณ 2 ดังนั้นกรดอะมิโนจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบที่ pH เป็นกลาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



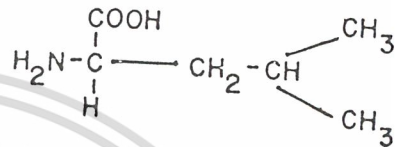
ไกลซีน
(Glycine)



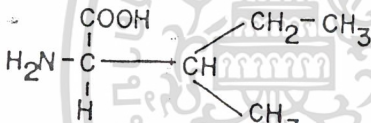
อะลานีน
(Alanine)



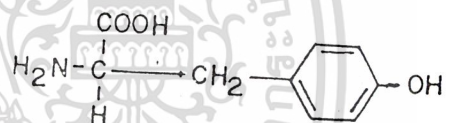
แวลีน
(Valine)



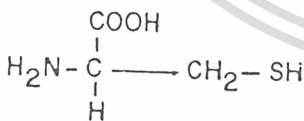
ลูซีน
(Leucine)



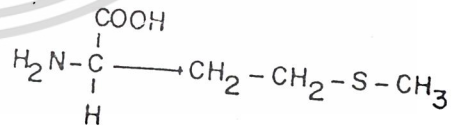
ไอโซลูซีน
(Isoleucine)



ไทโรซีน
(Tyrosine)



ซิสเตอีน
(Cysteine)



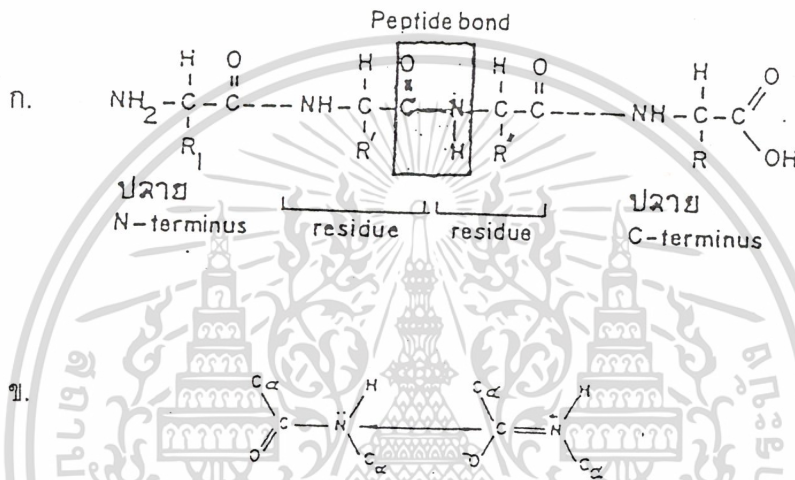
เมไทโอนีน
(Methionine)

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 พันธะที่เชื่อมโยงกรดอะมิโนในโปรตีน

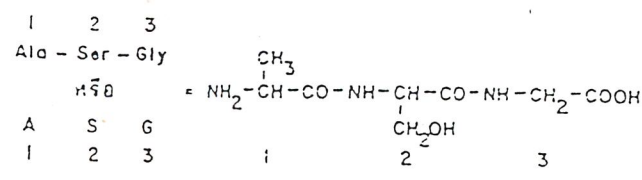
โปรตีน เป็นโมเลกุลที่ได้จากการเชื่อมโยงกรดอะมิโนด้วยพันธะเพปไทด์ (Peptide bond) กรดอะมิโนแต่ละตัวในสายโปรตีน เรียกว่า Amino acid residue (รูปที่ 2.3 ก.) พันธะเพปไทด์เกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่างหมู่คาร์บอกซิลกับหมู่อะมิโน ซึ่งโครงสร้างของพันธะเพปไทด์จะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เรียกว่าเรโซแนนซ์ (Resonance) ดังรูป 2.3 ข. ทำให้พันธะเพปไทด์มีความแข็งแรงมากกว่าพันธะเดี่ยวธรรมดา แต่น้อยกว่าพันธะคู่ธรรมดา ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน



รูปที่ 2.3 พันธะเพปไทด์ในสายโปรตีน (ก) และโครงสร้างเรโซแนนซ์ (ข)

2.2.3 ลำดับโครงสร้างของกรดอะมิโนในโปรตีน

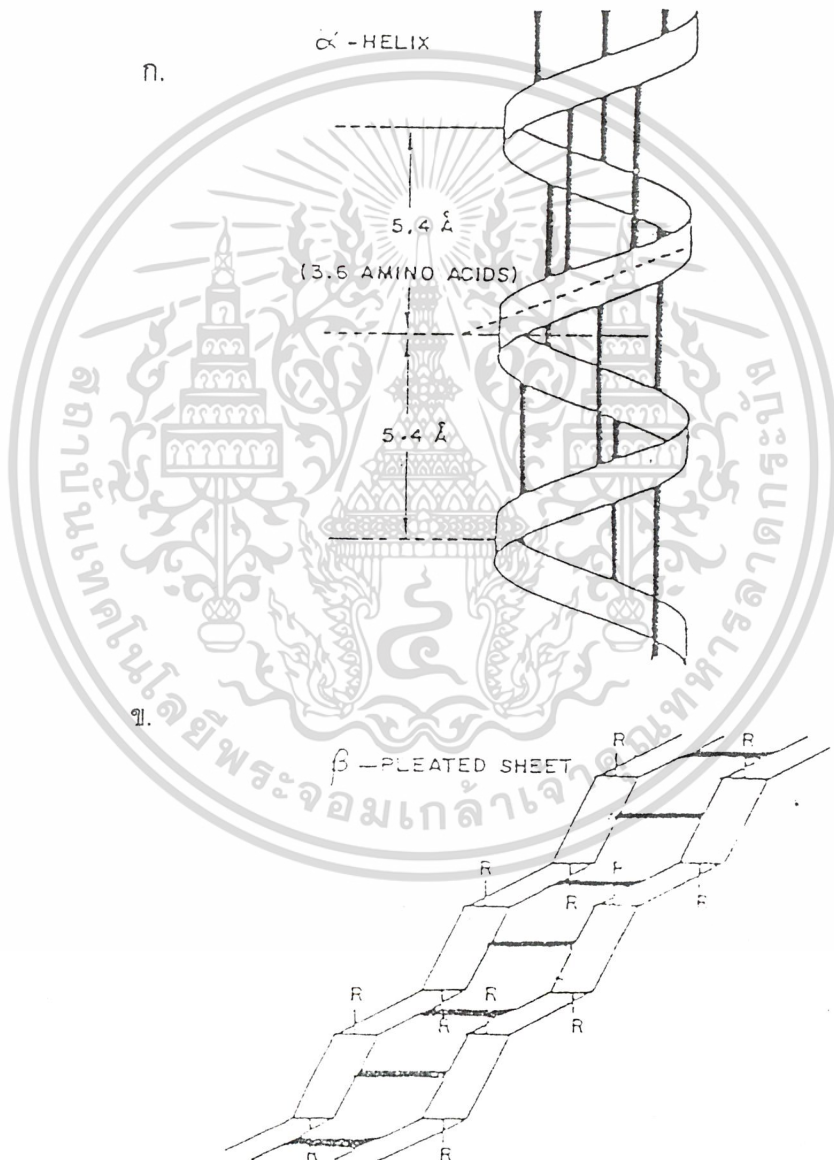
1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนที่ประกอบด้วย การเรียงลำดับของกรดอะมิโน ที่จำเพาะเป็นสายยาวของโซ่พอลิเพปไทด์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างปฐมภูมิของเพปไทด์ ซึ่งแสดงการเขียนชื่อย่อและสูตรเต็ม [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) หมายถึง โครงสร้าง 3 มิติของสายเพปไทด์ที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนยึดสายเพปไทด์ไว้ ทำให้มีรูปร่างเป็นเกลียว หรือหักงอเป็นแผ่นพับ หรือขดอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งเรียกว่าเกลียวแอลฟา (α -helix) และ แผ่นพับบีตา (β -pleated sheet) ดังรูปที่ 2.5 ตามลำดับ สายเพปไทด์ 1 สายอาจประกอบด้วยโครงสร้างทั้ง 3 แบบ เช่น เอนไซม์ต่างๆ แต่โปรตีนบางชนิด เช่น โปรตีนในเส้นผมประกอบด้วยสายเพปไทด์ที่เรียกว่าเคราตินซึ่งแต่ละสายเป็นเกลียวแอลฟาตลอดทั้งสาย

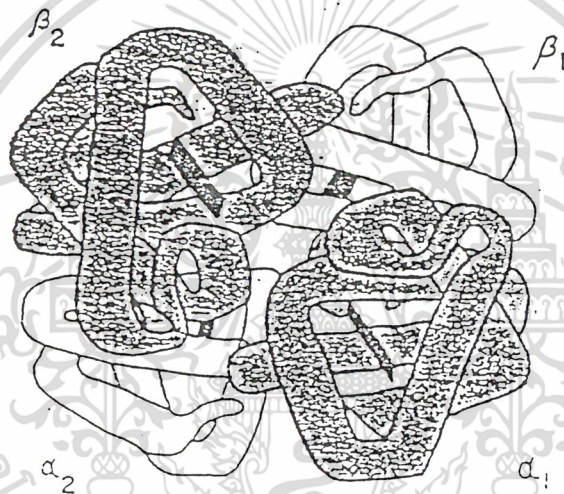


รูปที่ 2.5 โครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนในลักษณะเป็นเกลียวอัลฟา (ก) และแผ่นพับบีตา(ข) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างตติยภูมิ(Tertiary structure) หมายถึง โครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนทั้งโมเลกุล แบ่งออกได้เป็น 2 พวก ตามรูปร่าง คือโปรตีนแบบแท่ง-เส้น (Rod-fibrous protein) เช่น เคราติน ในเส้นผม และโปรตีนแบบก้อน (Globular protein) เช่น เอนไซม์ต่าง ๆ ถ้านำเอาโครงสร้างตติยภูมิมาคลี่ออก ก็จะได้พบโครงสร้างทุติยภูมิ

4. โครงสร้างจตุรภูมิ(Quaternary structure) หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนบางชนิดที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยมาอยู่รวมกัน เช่น ฮีโมโกลบินประกอบด้วยสายเพปไทด์หรือโปรตีน 4 หน่วยมาอยู่รวมกัน เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ทางชีวภาพได้ (ดังรูปที่ 2.6) ถ้าหน่วยย่อยหลุดออกจากกัน ฮีโมโกลบินจะเสียสภาพธรรมชาติ ทำหน้าที่ไม่ได้ แต่โปรตีนจำนวนมากในธรรมชาติ (เช่น ไมโอโกลบิน) ไม่มีโครงสร้างจตุรภูมิ (กล่าวคือเป็นแค่โครงสร้างตติยภูมิ หรือมีเพปไทด์อยู่เพียง 1 สาย)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างจตุรภูมิของฮีโมโกลบินโดยแสดงตำแหน่งของหน่วยย่อย และฮีม (แถบดำ) [3]

2.2.4 การเสียสภาพธรรมชาติ (Denaturation)

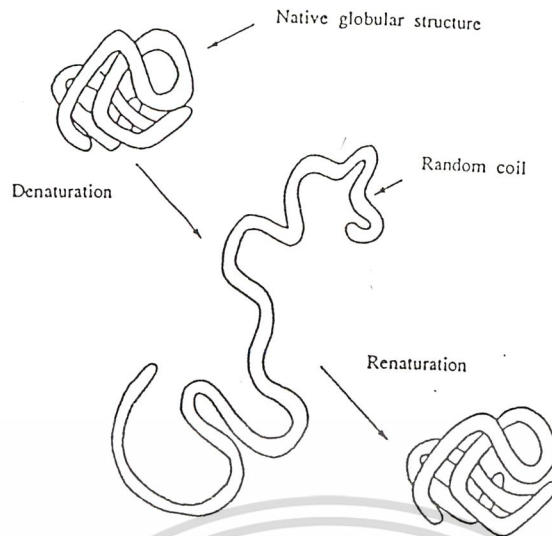
การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน คือ การที่โครงสร้างทุติยภูมิ โครงสร้างตติยภูมิ และโครงสร้างจตุรภูมิถูกทำลายโดยสารเคมีหรือสภาวะบางอย่าง ทำให้พอลิเพปไทด์ซึ่งเคยมีการคดงอที่จำเพาะ(Specific folding) คลายตัวเป็นเส้นที่ไม่มีระเบียบ(Random coil) โดยที่พันธะเพปไทด์ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์จะไม่ถูกทำลาย แสดงว่าโครงสร้างปฐมภูมิยังคงมีอยู่ [4]

โปรตีนที่เกิดจากการเสียสภาพธรรมชาตินี้มีสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ไม่สามารถจะแสดงกิจกรรมทางชีววิทยาได้ คุณสมบัติการละลายน้ำลดต่ำลง อย่างไรก็ตาม พอลิเพปไทด์ที่เกิดการคลายตัวออกมานี้จะสามารถกลับไปมีโครงสร้างแบบเดิมได้ (Renaturation) ถ้า

สามารถแยกสารเคมีนั้นออกไปหรือขจัดสภาวะต้นเหตุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การเสียสภาพธรรมชาติและ การกลับสู่สภาพธรรมชาติ [4]

2.2.4.1 สารเคมีหรือสภาวะที่สามารถทำลายสภาพของโปรตีน

1. ความร้อน ความดัน
2. สารเคมีบางชนิด เช่น Urea และ Guanidine hydrochloride
3. รังสีอัลตราไวโอเล็ต
4. สารอินทรีย์บางชนิด เช่น เอทานอล เมทานอล และอะซิโตน
5. กรดแก่และด่างแก่
6. Detergent เช่น Sodium dodecyl sulfate (SDS)
7. เกลือของโลหะหนักบางชนิด เช่น Mercuric chloride , Lead acetate และ Silver nitrate เป็นต้น

8. อัลคาลอยด์รีเอเจนต์ เป็นสารที่ใช้ตกตะกอนพวกอัลคาลอยด์ ได้แก่ Tannic acid , Picric acid เป็นต้น

9. เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน

2.2.4.2 ผลของการเสียสภาพธรรมชาติที่มีต่อโปรตีน

การที่โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติโดยเป็นผลมาจากการให้ความร้อนแก่โปรตีน ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างและการดูดซับน้ำของโปรตีน โดยจะปรากฏได้สองทางแตกต่างกัน โดยพิจารณาความไม่ชอบน้ำ

1. โมเลกุลไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้น บริเวณที่ไม่ชอบน้ำจึงเปิดออก ทำให้สูญเสียความสามารถในการละลาย

2. ความร้อนเหนียวทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้บริเวณพื้นที่ที่ไม่ชอบน้ำลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ จะเกิดขึ้นเป็นรูปแบบใดนั้นขึ้นกับชนิดของโครงสร้างและรูปร่างของโปรตีนชนิดนั้นๆ รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่อยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติไปแต่โปรตีนยังคงสามารถรักษาโครงสร้างทางเคมีไว้ได้ จึงทำให้การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ยังคงเกิดขึ้นเหมือนเดิม แต่ประสิทธิภาพอาจน้อยลงไปบ้าง

2.3 ชนิดและสมบัติเฉพาะของสารตัวเติมธรรมชาติ [5]

2.3.1 โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten)

โปรตีนจากข้าวสาลีจะพบเป็นจำนวน 8-15% ของน้ำหนักแห้งในเมล็ดของข้าวสาลี โดยจะพบว่าโปรตีนอีก 70% จะพบในเอนโดสเปิร์มของข้าวสาลี ซึ่งจะเป็นส่วนที่นำไปผลิตเป็นแป้งสาลี 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 และมีโปรตีน Albumins และ Globulins อยู่เป็นส่วนน้อยมาก

การสกัด Wheat gluten

ในห้องปฏิบัติการจะเตรียม Gluten จากแป้งสาลี โดยนำแป้งสาลีมาสกัดไขมันออกโดยใช้ n-butyl alcohol ส่วนแป้งและส่วนที่ไม่ใช่ Gluten จะถูกล้างออกโดยการใช้สารละลายเจือจางของโซเดียมคลอไรด์ที่ร้อน ต่อมานำมาใส่ในสารละลายเจือจางของกรดแอสติค ทำการเหวี่ยงแล้วนำไปอบแห้งเพื่อทำเป็นผงของ Gluten

ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะเตรียมจากการนำแป้งสาลีมาล้างขณะที่มีการปั่นกวน โดยจะใช้สารละลายอัลคาไลน์ในการแยกแป้งออกไป จากนั้นทำการเหวี่ยงและแยกด้วยเทคนิคต่างๆ กัน

2.3.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์ : เป็นผงสีน้ำตาล-สีเหลืองอ่อน

กลิ่น : มีกลิ่นข้าวสาลีเล็กน้อย

การดูดซับน้ำ : 150%

2.3.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน	75.0-82.2%
ไขมัน	8.0%
เถ้า	1.0%

2.3.1.3 การนำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไป

1. เป็นแหล่งโปรตีนและเป็นตัวเสริมโปรตีน
2. เป็น Binder และเป็น Extender ของไขมันและน้ำ ทำให้ไขมันและน้ำรวมตัวกันได้ดี ผลិតภัณฑ์สูญเสียให้น้ำน้อยลง
3. ให้โครงสร้างในผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบเนื้อ
4. เป็น Dusting flour ของเนื้อ

2.3.2 โปรตีนจากถั่วเหลือง (Soy protein)

ในถั่วเหลืองจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 38-44% ซึ่งประกอบด้วย Globulin protein ที่อยู่ในกากถั่ว (Meal) ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการอุตสาหกรรมถั่วเหลือง เมื่อนำ Protein meal มาทำให้เข้มข้นจะได้โปรตีน 2 ชนิด ดังนี้

- 1) Soy protein concentrate ที่มีโปรตีนอยู่ 70% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งทำได้โดยใช้สารละลายเอทานอล (Ethanol) กำจัดไขมันออกจาก Protein meal และทำการกำจัดคาร์โบไฮเดรตรวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ ออกด้วย
- 2) Soy protein Isolates ที่มีโปรตีนอยู่ 90% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้จากการสกัดไขมันออกจาก Protein meal โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เจือจางและนำโปรตีนที่สกัดแล้วมาทำการเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ pH เท่ากับ 4.5 แล้วนำไปเหวี่ยงอีกครั้งหนึ่ง จึงนำกลับมาล้างแล้วทำให้เป็นกลางด้วย Food grade alkali หลังจากนั้นจึงนำไปพ่นแล้วทำให้แห้ง (Spray dry) เมื่อนำมาตรวจสอบจะพบกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบโดยแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนจากถั่วเหลือง [5]

Amino Acid	Soy Protein
Lysine	6.4
Histidine	2.5
Arginine	7.2
Aspartic Acid	11.7
Threonine	3.9
Serine	5.1
Glutamic Acid	18.7
Proline	5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amino acid	Soy Protein
Glycine	4.2
Alanine	4.3
Cysine	1.3
Valine	4.8
Methionine	1.3
Isoleucine	4.5
Leucine	7.8
Tyrosine	3.1
Phenylalanine	4.9
Tryptophan	1.3

2.3.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะผลิตภัณฑ์ : ผงละเอียดสีครีม

2.3.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน 90.0%

ความชื้น 5.0%

ไขมัน 0.5%

เถ้า 4.0%

2.3.2.3 การนำมาใช้งานโดยทั่วไป

1. ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรมการทำเนื้อและใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ
2. ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Mixer emulsifier) ในระบบต่างๆ

2.4 การย่อยสลายของพลาสติก

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ (Degradable Plastics) หมายถึงพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติก โดยทั่วไป เมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง ความชื้น จุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท [6]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

การสลายตัวทางชีวภาพนั้น เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น รา แบคทีเรีย ปล่อย เอนไซม์ซึ่งเป็นสารเคมีออกมาย่อยสลาย โดยขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร กล่าวคือ

1.สภาวะแวดล้อมในขณะนั้น เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ความ เป็นกรดความเป็นด่าง เป็นต้น

2.ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยพลาสติก

3.น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ คือ ถ้าพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำความสามารถในการย่อยสลายจะสูง ในทางกลับกัน ถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีความสามารถในการย่อยสลายต่ำไปด้วย

4.ชนิดของพลาสติก

5.พื้นที่ผิวและความหนาของพลาสติก

กลไกการย่อยสลายโดยทั่วไปเป็นดังนี้



ในการปรับปรุงให้การย่อยสลายทางชีวภาพมีประสิทธิภาพดีขึ้น สามารถทำได้ 2 วิธี

- 1.ปรับปรุงแบคทีเรียหรือเชื้อราให้ย่อยสลายพลาสติกให้ดีและเร็วขึ้น
- 2.ปรับปรุงพลาสติกให้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ของแบคทีเรีย หรือราให้ง่ายขึ้นอาจทำได้

โดยวิธีต่อไปนี้

1) เตรียมพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดใหม่ที่ย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันสามารถผลิต พลาสติกดังกล่าว เป็นสารประกอบประเภทอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic Polyester) เช่น Polycaprolactone, Polyethylene adipateและPolyglycolic acid โดยคาดว่าเอนไซม์ของจุลิน- ทรีย์จะไฮโดรไลซ์หมู่เอสเตอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ นอกจากนี้ มีการทำโค- พอลิเมอร์ไรเซชัน(Copolymerization) ของมอนอเมอร์อื่น เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลาย แต่ยังไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2) เติมสารที่สิ่งมีชีวิตย่อยสลายได้เช่น แป้ง เซลลูโลสเข้าไปในพอลิเมอร์ซึ่งพบว่าจุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้สารดังกล่าวในลักษณะที่ปรับเปลี่ยนโครงสร้างบาง อย่างแล้ว เพื่อทำเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแผ่นฟิล์มบางซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดี เช่น การผลิตแผ่นบางคลุมดิน และภาชนะเพาะชำพืช เป็นต้น

2.4.2 เสถียรภาพของพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เพราะพลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน ไม่ฝุ่กร่อนเหมือนเช่นโลหะ แต่ก็มีปัญหาคือ ความยุ่งยากในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลายสาเหตุ แต่ที่น่าสนใจและมีการศึกษาอยู่มาก คือการสลายตัวอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์(Microorganism) โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา

พลาสติกสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
2. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถถูกย่อยได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) พอลิเอไมด์ (Polyamid) 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 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆจะไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ และพอลิเอทิลีนจะสามารถย่อยสลายได้เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำ(Hydrophobic) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นผิวมันเยิ้ม เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง โดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึม(Metabolism)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลงและการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

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.) การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ (Modified natural polymers)

เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเตอร์สามารถถูกย่อยสลายได้ นั้น จะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ และนอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายตัว เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ (Graft copolymer) ของอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น

นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ที่ใช้ทั่วไปเช่น เอทิลีน หรือสไตรีนกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วเช่น อะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) อะคริลามิเด (Acrylamide) หรือไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) จะทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นั้นมีสมบัติในการย่อยสลายดีขึ้น เช่น เอทิลีนอะคริลิกแอซิด โคพอลิเมอร์ (Ethylene acrylic acid copolymer)

พอลิเมอร์สังเคราะห์ตัวอื่นๆ ที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น ไฮโดรไลซ์อะคริโลไนไทรล์ โคพอลิเมอร์ (Hydrolyzed acrylonitrile copolymer) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซับน้ำ เป็นต้น

3.) การศึกษาการเติมสารเติมแต่งลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

วิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทางการศึกษากันมาก ได้แก่ แปะ ซึ่งมีการศึกษาดังนี้

- การเติมแปะเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่น

พลาสติกประเภทนี้ จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายส่วนที่เป็นแปะ ทำให้เหลือโครงสร้างของ พลาสติกในรูปโครงสร้างแบบรูพรุน (Porous structure) ต่อมาจะกลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการ เพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่ง สามารถผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

- การเติมแปะผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท

เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ester) เป็นต้น กรด ไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 ตัว เช่น อัลคีนิล เอสเทอร์ (Alkenyl ester) หรือไขมันธรรมชาติ (Natural fats) พลาสติกชนิดนี้จะมีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ขั้น- ตอน คือ ขั้นตอนที่แรกจุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแปะจนหมด เหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ ย่อยต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นตอนที่สอง เกิดของโลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัส กับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง (Autooxidation) สาร เติมแต่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง เช่น กรดไขมัน โดยจะเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ และ/หรือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ขึ้น เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลาย ตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์และเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่ง มีน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้ โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ในกระบวนการผลิตพลาสติกชนิดนี้ ควรจะมีเอสเทอร์ของกรดไขมันอยู่ในส่วนผสม เนื่องจาก มีสมบัติในการดูดซับสารเคมีบนผิวของอนุภาคแปะ (Chemisorption) และพบว่ากรดไขมันจะ ถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคแปะ ดังนั้นจะต้องใส่เอสเทอร์ของกรดไขมันลงไป เนื่องจากเอสเทอร์ ของกรดไขมันจะมีความสามารถในการเข้ากันได้กับพลาสติกมากกว่ากรดไขมัน

- การเติมแปะผสมกับสารเชื่อมโยง

งานวิจัยของมหาวิทยาลัยเปอร์ติว ได้นำแปะมาผสมกับพอลิสไตรีน แล้วเติมสารช่วยใน การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของพอลิสไตรีนกับโมเลกุลของแปะ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแปะ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก

นอกจากการนำแปะมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกแล้ว ยังมีการศึกษาใช้สารตัวเติมอีก หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ และสามารถผสมเข้ากันได้กับพลาสติก เช่นการ นำพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ของแปะกับพอลิอะคริลาไมด์ หรือพอลิเมทิลเมทาอะคริเลตมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ หรือการนำวัสดุทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก เป็นต้น

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้ทิ้งไว้ภายใต้แสงอาทิตย์ 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 ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูปทรงแปลกและต่อไปจะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง (Autooxidation) ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ โดยเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือ จุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกนั้นโดยตรงเช่น โพลีคาร์โปแลคโตนและพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต เป็นต้น

2.4.4.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมีและก่อให้เกิดรอยดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage) การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่น การกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุรศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหน้าและผนังเซลล์

2.การทำลายทางเคมี (Chemical damage) การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น Aflatoxin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือรอยด่างดำที่เกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3.การเกิดรอยดำ (Soiling) ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ด้วยเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหน้าของแก้วโดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

2.4.4.2 ข้อบกพร่องของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

พลาสติกชนิดนี้มีข้อดีอยู่มากมาย แต่ก็มีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1.เพิ่มต้นทุนการผลิต

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เลย การเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิตเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพมีราคาแพงขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อผู้บริโภค

2.พลาสติกที่สามารถสลายตัวเพียงบางส่วน

อาจก่อให้เกิดปัญหาเมื่อพลาสติกชนิดนี้ถูกทิ้งลงบนพื้นดิน และตามถนนหนทางต่างๆ ในที่สาธารณะเป็นระยะเวลานาน พลาสติกดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายขึ้นเป็นบางส่วน โดยการสลายตัวเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ พลาสติกดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นรูพรุนบ้างและเป็นผงละเอียดบ้าง ทำให้เกิดเป็นภาพที่ไม่สวยงามและยากต่อการตามเก็บทำลายเป็นอย่างยิ่ง

3.การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการสลายตัวของพลาสติก

การสลายตัวของพลาสติกโดยจุลินทรีย์จะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารมัธยันต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ถึงแม้จะค่อนข้างแน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่จะให้มีความมั่นใจได้อย่างไรว่า สารมัธยันต์ที่อยู่ในธรรมชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารอื่นที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงยิ่งกว่าพลาสติกที่ใช้โดยทั่วไป

4.ระยะเวลาในการสลายตัว

เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของพลาสติกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์พลาสติก ดังนั้นหากนำพลาสติกดังกล่าวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนามากๆ จะทำให้การสลายตัวของพลาสติกใช้เวลายาวนาน

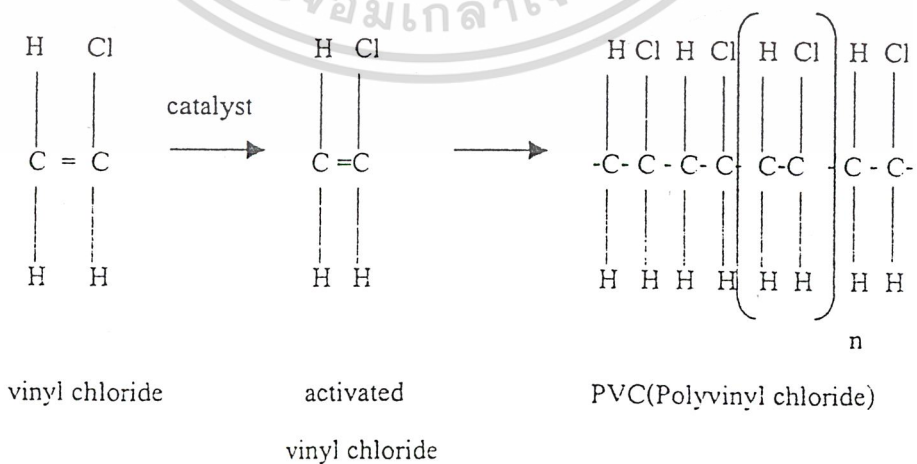
5.อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการทิ้งขยะกันอย่างมีระมัดระวัง

การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ อาจช่วยส่งผลให้ผู้บริโภคคิดอยู่เสมอว่าพลาสติกชนิดนี้สามารถสลายตัวได้ ดังนั้นจะทิ้งที่ใดก็ได้เหมือนกัน จะทำให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะพลาสติกอาจจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

6.เป็นการลำบากที่จะทำการคัดแยกพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้กับพลาสติกที่ใช้ทั่วไปออกจากกัน เพราะกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของพลาสติกทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นการนำพลาสติกชนิดนี้มาใช้งาน จะต้องมีการทำเครื่องหมายให้เห็นได้อย่างเด่นชัดเพื่อความสะดวกในการคัดแยกพลาสติก และเพื่อเป็นการบอกให้ผู้บริโภคทราบว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดใดใช้พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

พอลิไวนิลคลอไรด์จัดเป็นสารประเภทเทอร์โมพลาสติกและเป็นอสัณฐาน (amorphous) ที่มีความเป็นผลึก(Crystallinity)5-10%โดยพอลิไวนิลคลอไรด์สามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ในน้ำโดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ(Free radical) ดังรูป 2.8 [7]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและปฏิกิริยาพอลิไวนิลคลอไรด์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 กระบวนการในการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

กระบวนการผลิตสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension Polymertisation, S-PVC) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวกลางที่เป็นของเหลวจะมีการใช้สารช่วยแขวนลอย (Suspension agent) โดยในระบบมอนอเมอร์จะแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวเรซินพีวีซี (PVC resin) ที่ได้จะมีลักษณะใส ผิวมีรูพรุนสามารถดูดซับสารหล่อลื่น (Lubricant) และสารปรับสภาพพลาสติก (Plasticisers) ได้ง่าย

2. ฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk Polymertisation, M-PVC) กระบวนการนี้จะไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง แต่จะใช้สารช่วยผสม (Emulsifiers) หรือสารแขวนลอย (Suspension agent) ในการเกิดปฏิกิริยา เรซินพีวีซีที่ได้มีลักษณะใส บริสุทธิ์ มีความกลมมนกว่า S-PVC มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ผิวแข็ง มีความหนาแน่นที่ดีแต่ความสามารถในการดูดซับสารเติมแต่ง (Additive) จะลดลง

3. ฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymertisation, E-PVC) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเก่าที่มีตัวกลางเป็นของเหลว และใช้สารช่วยผสม (Emulsifiers) ในการเกิดปฏิกิริยาเรซินพีวีซีที่ได้มีลักษณะขุ่นและทึบ ตัวอย่างของ E-PVC ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ถูมือ รองเท้าบูท และของเล่น เป็นต้น

2.5.2 สมบัติทั่วไปของพีวีซี

สมบัติทั่วไปของพีวีซีที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเติมสารเติมแต่งลงไป ได้แก่

- แข็ง เปราะ และแตกง่าย จัดเป็นพลาสติกอสัญฐาน
- ไม่มีสีและใส
- มีความหนาแน่นประมาณ 1.4 g/cm^3
- มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Tg) 80°C
- พีวีซีเมื่อติดไฟแล้วจะดับด้วยตนเอง
- สลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความร้อนและแสงแดด ดังนั้นในการนำพีวีซีไปใช้ ต้องผสมสารเติมแต่งลงไปช่วย

สมบัติทางเคมีทั่วไปของ S-PVC กับ E-PVC จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของรูปร่างและขนาดอนุภาค กล่าวคือ

S-PVC เรซินจะมีรูปร่างเหมือนลูกบอล และเนื่องจากที่ผิวมีรูพรุนจึงสามารถดูดซับพลาสติกไซเซอไรต์ได้ ทำให้ได้พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีลักษณะเหนียว มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น

เหมือนยาง ในการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดนี้จะต้องผสมภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง เช่น เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) หรือเครื่องผสมแบบเกลียวทวนอน (Extruder) เป็นต้น

E-PVC เรซินจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม ใส มีขนาดประมาณ 1/200 ของขนาดอนุภาค S-PVC เมื่อนำมาผสมจะมีสัดส่วนของ Plasticiser/Stabiliser ที่พอเหมาะ อิมัลชันเรซินที่ได้จะมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (Paste) หรือ "Plastisols" ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ โดยการประยุกต์ใช้ความร้อน (Application of Heat)

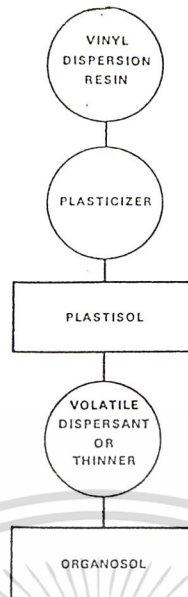
2.5.3 กระบวนการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์

การแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์ (Vinyl Dispersions) จัดเป็นของไหลที่มีเรซินพอลิไวนิลคลอไรด์ขนาดอนุภาคละเอียดแขวนลอยอยู่ในระบบของเหลวประเภทสารสร้างสภาพพลาสติก และสารทำให้เจือจาง (Plasticizer/Diluent system) โดยที่ความหนืดของพลาสติกไซลอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ลักษณะที่เป็นของเหลวที่เทได้จนมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (paste) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสูตรผสม เมื่อให้ความร้อนจนถึงประมาณ 150-170 °C (302-328 °F) การแพร่กระจายจะทำให้ของไหลอมเหลวร้อนรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเมื่อทำให้ของเหลวร้อนเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง (25 °C หรือ 77 °F) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไวนิลล์ที่แข็งแรง [8]

การนำไวนิลล์ไปใช้ประโยชน์โดยมากจะใช้วิธีการผสมแห้ง (dry blend) หรือทำเป็นสารประกอบไวนิลล์ชนิดตัดเม็ด ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับกระบวนการของไหลอมเหลว เช่น เครื่องรีดกลิ้ง เครื่องอัดรีด เครื่องฉีด เครื่องเป่า และอื่นๆ เป็นต้น แต่การผสมจัดเป็นแบบของเหลวซึ่งทำได้โดยการหล่อ การสเปรย์ การเคลือบ การอัดแบบหมุน การจุ่ม และอื่นๆ เป็นต้น

คำว่า "พลาสติกไซล" (plastisol) จะใช้อธิบายถึงการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์ที่ไม่มีทินเนอร์หรือตัวทำละลายระเหยได้อยู่หรือมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 2.9) พลาสติกไซลนี้มีความหนืดอยู่ในช่วงของไหลอมเหลวที่มีน้ำอยู่น้อยจนถึงลักษณะคล้ายแป้งเปียกหรือครีมราดสลัด โดยมีส่วนประกอบเป็นเรซินพีวีซี สารสร้างสภาพพลาสติก สารทำให้เกิดเสถียรภาพ สารเติม และสารให้สี เมื่อไม่มีส่วนของทินเนอร์ที่ระเหยได้ พลาสติกไซลจะมีของแข็งอยู่สูงถึง 98-99% แต่ในบางกรณีที่ต้องการให้เกิดการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์และทำให้อยู่ในรูปของเหลวจะต้องเติมสารทำให้เกิดการแพร่กระจาย (Dispersants) หรือทินเนอร์ (Thinners) จากนั้นจึงมีการกำจัดสารนี้ออกไปในระหว่างการไหลอมเหลว เรียกลักษณะใหม่นี้ว่าเป็น "ออร์แกโนโซล" (Organosol) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 พบว่าตลาดที่สำคัญของเรซินการแพร่กระจายสารประกอบพีวีซี ได้แก่ ตัวคลุมพื้นกระเบื้อง การเคลือบผ้า ถุงมือทางการแพทย์ พิล์มสำหรับตกแต่ง การเคลือบขวด และตัวปิดผนึกในรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ชนิดของการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์ [8]

2.5.3.1 เรซิน

เรซินสำหรับการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์แตกต่างกันออกไปเริ่มจากเรซินแขวนลอยแบบเอนกประสงค์ (general purpose suspension resins) เหมาะสำหรับการรีดกึ่งการอัดรีด หรือ การอัดแบบชนิดฉีด เรซินประเภทนี้ผลิตโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอยหรือแบบโดยมวล เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50-250 ไมครอน เรซินนี้มีรูพรุนอยู่มาก แต่ค่อนข้างหยาบ และไม่พร้อมที่จะทำให้มีลักษณะคล้ายแป้งเปียก ถ้ามีสารช่วยผสมพลาสติกอยู่ต่ำกว่า 100 พีเอชอาร์ (phr) ในทางตรงกันข้ามเรซินการแพร่กระจายอาจมีขนาดเล็กและไม่มีรูพรุน เรซินประเภทนี้ใช้น้อยมากหรือไม่ใช้เลยในงานที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกโพลีเอทิลีน เนื่องจากเรซินนี้ไม่สามารถเกิดการหลอมเหลวได้ถ้าไม่มีการบดผสม (Mastication) และใช้อุณหภูมิในการบ่มตัวสูง (ประมาณ 380 °F)

เรซินการแพร่กระจายของสารประกอบไวนิลล์สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ประเภทพอลิเมอไรซ์ชนิดเดี่ยว (Homopolymer) และพอลิเมอไรซ์ร่วม (Copolymer) ผลิตได้โดยกระบวนการพอลิเมอไรซ์เรซินแบบแขวนลอยระดับจุลภาค (Micro-Suspension) และแบบอิมัลชัน (Emulsion) โดยในระหว่างการพอลิเมอไรซ์เรซินจะเกิดการกระจายตัวของอนุภาคในช่วง 0.2-15 ไมครอน อย่างไรก็ตามจะเกิดอนุภาคทุติยภูมิ (Secondary particle or grain) ในช่วง 5-60 ไมครอน ในระหว่างการสตรีปปิง (Stripping) การกำจัดน้ำ (Dewatering) การทำให้แห้ง (Drying) และการบดให้ละเอียด เรซินชนิดแพร่กระจายจะมีคุณภาพคล้ายกับแป้ง (talc) ที่มีอนุภาคละเอียดยึดติดซึ่งกันและกันจึง

ทำให้เกิดการไหลของผงแป้งไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

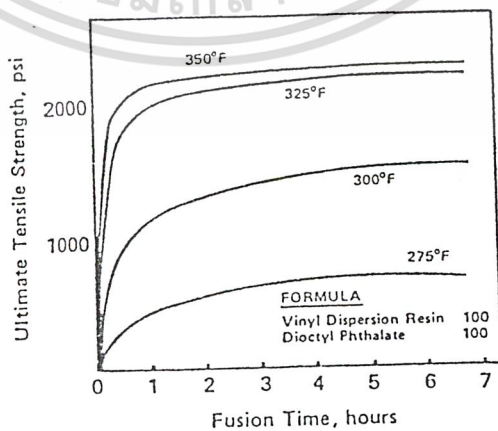
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซินแขวนลอยชนิดพิเศษ เรียกว่า เรซินขยายออก (Extender resins) หรือเรซินผสม (Blending resins) จะมีขนาดอนุภาคละเอียดกว่าเรซินแขวนลอยชนิดเอนกประสงค์ ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 5-150 ไมครอน แต่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยชนิดพิเศษจะอยู่ในช่วง 5-90 ไมครอน โดยเรซินขยายออกมีรูพรุนน้อย เกิดการหลอมเหลวโดยไม่ต้องบด และเมื่อใช้ร่วมกับเรซินแพร่กระจายจะสามารถควบคุมความเร็วของแข็งเป็ยิก ความเงา ความใส การเกิดเจล และสมบัติของพลาสติกไซลอื่น ๆ ได้

2.5.3.2 การหลอมเหลว

กระบวนการที่มีการแพร่กระจายของเหลวให้เปลี่ยนไปเป็นของแข็งแบบรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยอาศัยความร้อนช่วยเรียกว่า การหลอมเหลว (Fusion) การเปลี่ยนแปลงนี้จัดเป็นการหลอมเหลวที่แท้จริง (True fusion or melting) ของโครงสร้างที่เป็นผลึกในอนุภาคพอลิเมอร์และสารละลายพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มีสารสร้างสภาพพลาสติก การพัฒนาสมบัติทางกล (ปริมาณของการหลอมเหลว) ของสารประกอบไวนิลส์เกี่ยวข้องกับเวลาและอุณหภูมิ (Time-Temperature phenomenon) โดยที่อุณหภูมิของการหลอมเหลวของสารสร้างสภาพพลาสติกไวนิลส์เป็นฟังก์ชันที่ค่อนข้างซับซ้อนกับน้ำหนักโมเลกุล ปริมาณของมอนอเมอร์ร่วม ระดับสารสร้างสภาพพลาสติก และแรงกระทำระหว่างพอลิเมอร์กับสารสร้างสภาพพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่กระจายจะหลอมรวมกับความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีส่วนของงานทางกลเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและการสอดแทรกขององค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไวนิลส์ตรงผิวของอนุภาคล้วนแล้วแต่มีผลต่ออุณหภูมิของการหลอมเหลวด้วย

ผลึกที่อยู่ในพีวีซีจะหลอมเหลวในช่วงอุณหภูมิที่กว้างทำให้ความแข็งแรงถูกพัฒนาขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวสูงสุด ความแข็งแรงนี้จะไม่เพิ่มขึ้นถ้ามีการเพิ่มเวลาของการให้ความร้อน (รูปที่ 2.10)



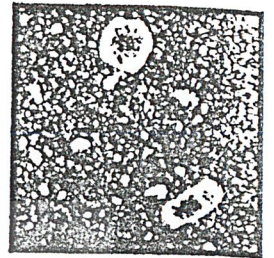
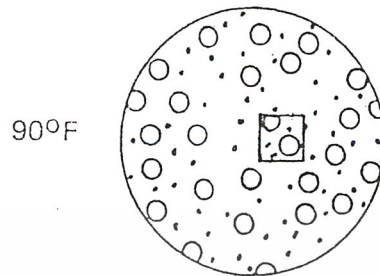
รูปที่ 2.10 ผลของเวลาที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติกไซลและความแข็งแรงดึง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การแพร่กระจายของไวทิลเหลว

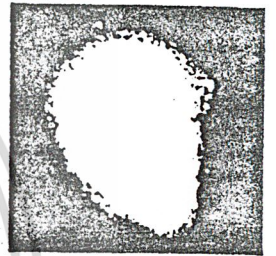
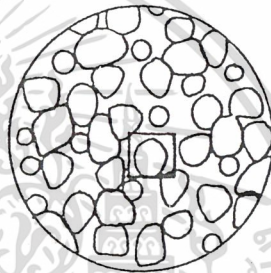
Schematic

Photomicrographs
(160X)



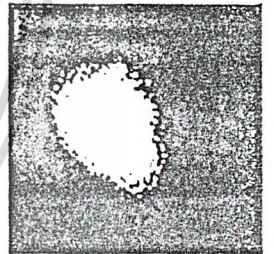
ข. การแพร่กระจายตอนเริ่มเป็นจุด

90-140°F



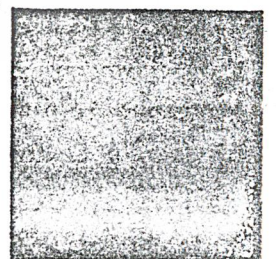
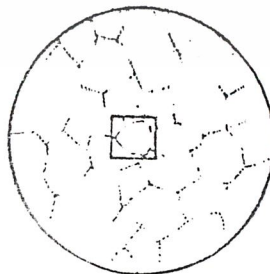
ค. การแพร่กระจายตอนเป็นเจล

140-300°F



ง. การแพร่กระจายตอนหลอมเหลว

250-350°F



รูปที่ 2.11 ผลจากการให้ความร้อนแก่พลาสติกไซลแบบเป็นชั้นตอน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่พลาสติไซลได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้หลายทาง(รูปที่ 2.11) กล่าวคือในขั้นตอนเริ่มแรกของการให้ความร้อนความหนืดเกิดขึ้นจากการแข่งขันกันระหว่างสองปรากฏการณ์คือ ความหนืดที่มาจากสารสร้างสภาพพลาสติก (Plasticizer viscosity) ซึ่งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงถึงประมาณ 38°C (100°F) ให้ความหนืดของการแพร่กระจายลดลง (รูปที่ 2.11ก.) ในขณะที่อุณหภูมิยังคงเพิ่มขึ้น สารสร้างสภาพพลาสติกเริ่มซึมผ่านอนุภาค ทำให้อนุภาคบวมตัว และความหนืดจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร่ง (รูปที่ 2.11ข.) เมื่อให้ความร้อนต่อไปจะเกิดการดูดกลืนสารสร้างสภาพพลาสติกมากขึ้นทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคที่บวมตัวขึ้น และพันธะอ่อนแอ (รูปที่ 2.11ค.) และถ้าทำให้วัสดุเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง จะทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง (Weak cheesy structure) และที่บด แต่ปริมาณความร้อนที่ยังเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดเมตริกซ์ที่เด่นชัด (รูปที่ 2.11ง.) และได้ผลิตภัณฑ์ที่แข็งแรงเมื่อทำให้เย็นลง อย่างไรก็ตามความใสไม่ดีเท่ากับตอนที่เกิดการหลอมได้สมบูรณ์ ซึ่งมีความแข็งแรงดีขึ้น

ในทางปฏิบัติอุณหภูมิการหลอมเหลวของระบบการแพร่กระจาย โดยปกติจะหาได้จากเส้นโค้งแสดงสมบัติทางกายภาพ (ความแข็งแรงดึงสูงสุดและการยืด ณ จุดขาดสูงสุด) ของฟิล์มหล่อที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (รูปที่ 2.10) โดยอุณหภูมิการหลอมเหลวที่แท้จริงคืออุณหภูมิที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด

2.6 สารเติมแต่ง

2.6.1 สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticizers)

สารปรับสภาพพลาสติกจัดเป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การไหลของพอลิเมอร์ดีขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มีความยืดหยุ่นและนุ่ม สารปรับสภาพพลาสติกจะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ และทำให้ความแข็งแรงของสายโซ่พอลิเมอร์อ่อนลง พอลิเมอร์ที่ได้จึงมีลักษณะอ่อนนุ่ม และยืดหยุ่นมากขึ้น สารปรับสภาพพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ สารเสริมสภาพพลาสติกภายในและสารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก สารเคมีที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ต้องมีสมบัติดังนี้

1. เป็นสารประกอบอินทรีย์ ส่วนมากเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง ควรมีน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่ำประมาณ 300 ด้วยเหตุนี้ที่อุณหภูมิห้องจึงมีอัตราการละลายในเนื้อพอลิเมอร์ช้า
2. ควรมีพารามิเตอร์การละลายใกล้เคียงกับพลาสติกหรือยางที่จะผสม
3. พลาสติไซเซอร์ควรมี T_g ในช่วงอุณหภูมิขณะใช้งาน และไม่ควรตกผลึกที่อุณหภูมิขณะใช้งาน

หน้าที่สำคัญของพลาสติไซเซอร์ คือ ลดความหนืดมีหน้าที่คล้ายตัวทำละลายและสารหล่อลื่นลดแรงวานเดอวาลส์ระหว่างโซ่พอลิเมอร์ แต่แตกต่างจากตัวทำละลายจริงๆ ตรงที่ว่าต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 300 เพื่อที่จะได้ไม่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์พลาสติกและยางระหว่างใช้งาน

หน้าที่อีกประการหนึ่งคือ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มความอ่อนตัวทำให้สภาพติดตั้งง่าย ลด cold flex temperature ซึ่งส่งผลต่อ T_g ของพอลิเมอร์ นอกจากนี้เมื่อปริมาณของพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ลดลง แต่ความยาว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น รวมทั้งความทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้นด้วย

สมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติมสารปรับสภาพพลาสติกแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติมสารปรับสภาพพลาสติก [7]

สมบัติทางกายภาพ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิด
ความหนาแน่น	ลดลง
ความแข็ง (Hardness)	ลดลง
ความแข็งแรงดึง	ลดลง
เปอร์เซ็นต์การยืดออก	เพิ่มขึ้น
100% มอดูลัส	ลดลง
คุณสมบัติการแข็งเปราะ	ลดลง
การระเหยกลายเป็นไอ	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงขีดถู	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงกระแทก	เพิ่มขึ้น
คุณสมบัติอ่อนตัว	ต่ำ
ความทนทานต่อน้ำมัน	ลดลง
ความทนทานต่อสารเคมี	ลดลง

นอกจากนี้สารปรับสภาพพลาสติกต้องมีจุดเดือดที่สูงเพื่อมิให้ระเหยออกไปได้ง่ายและต้องเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Phthalate ester ที่นิยมใช้กันมากได้แก่
 - Di (2-ethylhexyl)phthalate หรือ Dioctyl phthalate (DOP)
 - Di-isononyl phthalate (DINP)
 - Butyl benzyl phthalate (BBP)
 - Dibutyl phthalate (DBP)
2. Straight chained alcohol esters , adipates
3. Phosphate ester เช่น tricresyl phosphate

สารปรับสภาพพลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. สารปรับสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิ (primary plasticiser) ได้แก่ ไดออกทิลฟทาเลต (dioctyl phthalate ,DOP) ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.5
ตารางที่ 2.5 สมบัติทั่วไปของ DOP [7]

สมบัติ	DOP
ความหนืด (Pa.s)	70-80
ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25°C	0.984
ดัชนีการหักเหของแสง	1.490
เปอร์เซ็นต์การระเหย	0.400
ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้า ($\Omega \cdot m$)	$1 \cdot 10^5$
สี	ใส

2. สารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิ (secondary plasticiser) ได้แก่ ซีรีคลอร์ (cereclor) และ epoxidized soybean oil

2.1 Cereclor

เป็นชื่อทางการค้าของ chlorinated paraffins และเป็นสารปรับสภาพพลาสติกทุติยภูมิ ซึ่งใช้แทน สารปรับสภาพพลาสติกปฐมภูมิ

เนื่องจาก DOP เป็นสารเคมีที่อันตราย เพราะ อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ดังนั้นจึงมีการใช้ซีรีคลอร์ แทนเนื่องจากมีราคาถูก และไม่ใช่อันตราย แต่ซีรีคลอร์จะให้สมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ถ้าใช้เพียงลำพัง จำเป็นต้องใช้ร่วมกับสารปรับสภาพพลาสติกชนิดอื่นๆ

คุณสมบัติของซีรีคลอร์มีดังนี้

- ทนต่อการติดไฟ
- ทนต่อการขีดข่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทนต่อสารเคมี
- การระเหยต่ำ
- ไม่มีสี
- ความหนืดต่ำ
- ความสามารถในการเข้ากันได้สูง
- มีความเสถียรสูง
- ง่ายต่อกระบวนการ
- ทำให้ PVC มีความยืดหยุ่น
- ปรับปรุงเสถียรภาพความหนืดของพลาสติกไซด

2.2 Epoxidized soybean oil

เนื่องจาก cereclor มีสมบัติเชิงกลไม่ดี ดังนั้นจึงมีการเติม epoxidized soybean oil ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อน

คุณสมบัติที่สำคัญของ epoxidized soybean oil คือ

- ช่วยทำให้มีความยืดหยุ่นสูง
- การระเหยต่ำ
- ทนต่อก๊าซและน้ำมัน
- ปรับปรุงความเร็วของกระบวนการ
- ช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี
- ปรับปรุงเสถียรภาพความหนืดของพลาสติกไซด
- มีเสถียรภาพทางความร้อนและทางแสง

2.6.2 สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizers)

เนื่องจากพีวีซีจะเกิดการเสถียรภาพเมื่อได้รับความร้อนและแสงแดดโดยผ่านกลไกของปฏิกิริยาการขจัดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ออกจากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวของพีวีซี ทำให้ผิวของพีวีซีใหม่และเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้น จึงต้องลดการเกิดปฏิกิริยานี้ลงให้เกิดน้อยที่สุด โดยการเติมสารเสถียรภาพทางความร้อนซึ่งมีหน้าที่อยู่ 2 แบบ คือ

- 1) มีความสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอริเนชัน หรืออย่างน้อยช่วยทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดน้อยลง
 - 2) ช่วยทำให้ลำดับของพอลิอิน (Polyene) สั้นลงและทำลายเกลือคาร์บอนเนียม
- สารเสริมสภาพที่ดีควรมีปัจจัยพื้นฐานดังนี้

- ไม่มีพิษ
- ราคาไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรมีเสถียรภาพต่อการเสื่อมสภาพชนิดต่างๆ เช่น ความร้อน แสงและความชื้น เป็นต้น
 - ไม่ระเหยง่าย ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ทำให้เกิดตำหนิหรือเกิดสีเมื่อผสมเข้ากับพอลิเมอร์
 - ต้องสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์และจะต้องไม่เกิดการเคลื่อนย้ายมาอยู่ที่ผิวของวัสดุ (Blooming)
 - เมื่อผสมเข้ากับพอลิเมอร์แล้วต้องไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ และการนำไปประยุกต์ใช้
 - เมื่อผสมเข้ากับพอลิเมอร์แล้วต้องสามารถกำจัดส่วนเกินออกได้และสามารถตรวจสอบได้ง่าย
- ตัวอย่างของสารเพิ่มเสถียรภาพ ได้แก่
- Lead Stabilizer เป็น basic mineral salt และ organic salt ซึ่งใช้ในงานประเภท ท่อ และ กระเบื้องปูพื้น
 - Barium & Cadmium Stabilizer
 - Sn-Stabilizer
 - Ca/Zn Stabilizer

จะเห็นได้ว่าสารเสถียรภาพทางความร้อนของพีวีซีมีหน้าที่ในการป้องกัน(Preventive function) และการรักษา (Curative function) และการใช้ระบบของสารเสถียรภาพแตกต่างกันจะมีผลต่อสมบัติการไหลและ/หรือลักษณะเฉพาะของกระบวนการพีวีซีคอมปาว์นที่ต่างกันด้วย

ในงานวิจัยนี้ใช้ Ca/Ba Stabilizer เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพ

2.6.3 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยสารตัวเติมทำหน้าที่ดังนี้

1. เพิ่มความหนืด
2. ลดต้นทุน
3. เพิ่มความเป็นฉนวน
4. ช่วยให้พอลิเมอร์คอมพอลสิตมีความเสถียรทางรูปร่าง
5. ลดการหดตัวในแม่พิมพ์

สารตัวเติม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Inert filler ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความอดุลล์ ความแข็งแรงและทำให้พอลิเมอร์มีสีขาว ปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้า ลดต้นทุนและช่วยให้กระบวนการผลิตทำได้ง่าย รวมทั้งลักษณะของผลิตภัณฑ์น่าใช้
2. Reinforcing filler ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทกและความแข็งตึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา

V,M,Ghorpade, A.Gennabios, M.A.Hanna, and C.L.Weller [9] นำ soy isolate ผสมลงใน Poly(ethylene oxide) (PEO) เพื่อผลิตพลาสติกในรูปของฟิล์มโดยทำการเตรียม Film forming solution ด้วยการนำ soy isolate มา 5 กรัม บั่นกวนกับน้ำกลั่น 100 ml และใช้กลีเซอรินเป็น พลาสติกไซเซอร์ โดยทำการควบคุม pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หลังจากนั้นได้นำ Film forming solution ที่ได้มาผสมกับ Poly(ethylene oxide) (PEO) ในอัตราส่วนของ PEO ที่ต่างกัน เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลที่เกิดจาก Poly(ethylene oxide) ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำมากกว่า soy isolate ซึ่งสมบัติดังกล่าว มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกพอลิเมอร์มาทำการทดลองต่อไป พบว่า ค่าคงทนแรงดึง (Tensile strength) จะมีค่าลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (Elongation) มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PEO เพิ่มขึ้นแสดงว่า สมบัติเชิงกลของฟิล์มเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณ PEO เพราะว่า จากสมบัติของ PEO ที่ชอบน้ำมากกว่า soy isolate และพบว่าที่ 40% PEO เป็นปริมาณที่เหมาะสมทำให้สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของฟิล์มมีค่าดีที่สุด

ภัทรภูมิ สุพรรณสมบูรณ์ ภัฏญาวีร์ สุวรรณชัย และสุภาณี ชนระวงศ์ [10] ทำการศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยนำแป้งมันสำปะหลังปริมาณต่างกันมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วนที่เท่ากัน แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำ สถาบันวิทยาและการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีความแข็ง ความโค้งงอ และการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิการหลอมผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และพลังงานความร้อนในการหลอมผลึกมีแนวโน้มลดลง

ลักษณี วงษ์ลำภู และสาวิตรี พิเชฐกิจจาวัดมน [11] ทำการศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ คือ โปรตีนจากข้าวสาลี โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากถั่วลิสง และโซเดียมเคซีเนต ในปริมาณที่ต่างกัน แล้วทำการฉีดขึ้นรูปในสภาวะที่เหมาะสม นำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล ศึกษาสถาบันวิทยาด้วยเทคนิค SEM และทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนที่เติมสารตัวเติมธรรมชาติโซเดียมเคซีเนตปริมาณ 3-5% โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดี การเติมสารตัวเติมธรรมชาติไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์

D.Zuchowska, D.Hlavatac และคณะ [12] ทำการทดลองนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหรือพอลิพรอพิลีนมาผสมกับแป้งในอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก นำพอลิเมอร์ผสมมาทดสอบฝังดิน 4 เดือน และจากนั้นนำมาแช่ในสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก นาน 5 วัน พบว่าแป้งในพอลิเมอร์ผสมสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในดิน สมบัติเชิงกลลดลง และน้ำหนักลดลง

R.Chandra, and Renu Rustgi [13] ทำการทดลองนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกราฟท์กับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MA-g-LLPE) มาผสมกับแป้งข้าวโพดในอัตรา 10-60% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดึงยืด ณ.จุดขาดจะลดลง การดูดซับน้ำมากขึ้น ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เมื่อปริมาณแป้งที่ใช้เติมปริมาณมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. เรซินพีวีซีชนิดกระจายตัว (PVC dispersion resin) เกรด 74GP บริษัท TPC-OXY จำกัด
2. โปรตีนจากถั่วเหลือง (Isolate soy protein) และโปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) บริษัท วิคกี้ คอนโซลิดेट จำกัด
3. แคลเซียมคาร์บอเนต เกรด อุตสาหกรรม บริษัท สุรินทร์ ออมยาเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด
4. สารปรับปรุงสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิ ได้แก่ DOP เกรด อุตสาหกรรม บริษัท South City Petrochem จำกัด
5. สารปรับปรุงสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิ ได้แก่ ซีลคลอร์ (cereclor) เกรด อุตสาหกรรม บริษัท ICI จำกัด
6. สารปรับปรุงสภาพพลาสติกชนิดเอพอกซีไดซ์ ได้แก่ epoxidized soybean oil เกรด อุตสาหกรรม บริษัท ศรีเทพไทย จำกัด
7. สารทำให้เกิดเสถียรภาพชนิดแบเรียม-แคลเซียม (Ba-Ca stabilizer) เกรด อุตสาหกรรม บริษัท Siam stabilizer จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ

1. เครื่องปั่นกวนไฟฟ้า (Electric stirrer) รุ่น RW 20 บริษัท Janke & Kunkel Ika-Werk จำกัด
2. ตู้อบแบบอากาศหมุนเวียน (Air circulation oven) บริษัท WTB binder
3. แม่พิมพ์สำหรับหล่อ (Casting molds)
4. เครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรม WINDAP:LLOYD INSTRUMENTS LTD.
5. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter , DSC): Shimadzu Co.,Ltd.
6. เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (Hardness tester, shore A)
7. เครื่องทดสอบความหนืด (Brookfield viscometer) Model LVT:Serial 71420
8. เครื่องตัดชิ้นงาน CEAST6052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เครื่องสแกนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM)
 รุ่น SEM JSM-54010 LV scanning microscopy : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และ
 เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. เครื่อง Infrared spectrophotometer

11. เครื่องเขย่า

12. ตู้ UV (super clean 120 BS)

13. เครื่อง Autoclave SS-325

14. เครื่องไมโครเวฟ

15. เครื่องชั่ง

16. ไมโครมิเตอร์

17. เวอร์เนีย

18. ถาดอะลูมิเนียม

19. ชุดเครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร ข้อนตักสาร ขวดรูปชมพู่

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การศึกษาสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ

1. การศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารตัวเติมธรรมชาติ โดยใช้เครื่องดิฟเฟอ
 เรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำสารตัวเติมธรรมชาติใส่ pan จำนวน 5-10 mg ทราบปริมาณสารที่แน่นอน ให้
 อัตราการให้ความร้อน 10°C ต่อนาที อุณหภูมิ 200°C ศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลว

2. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติโดยเครื่อง Infrared
 spectrophotometer

3.3.2 การศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้

1. ผสมวัสดุให้ได้ตามสูตรผสมดังตารางที่ 3.1

2. เปิดตู้อบที่อุณหภูมิ 180°C เพื่อให้อุณหภูมิเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของพีวีซีเรซิน

3. ผสมเรซินและสารตัวเติมด้วยเครื่องปั่นกวนไฟฟ้าจนกว่าจะได้รับการกระจายตัวที่
 สม่ำเสมอ เติมสารปรับสภาพพลาสติกปฐุมภูมิในขณะที่มีการผสม แล้วเติมสารเติมแต่งอื่นๆลงไป
 ปั่นกวนโดยใช้ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. วัดความหนืดที่ได้โดยใช้ Brookfield viscometer

5. เทสูตรผสมที่เกิดการกระจายตัวแล้วลงในแม่พิมพ์อะลูมิเนียม แล้วหลอมในตู้อบ นำ

สูตรผสมที่ได้ ออกที่เวลา 20 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำตัวอย่างที่ได้ให้เย็นลงด้วยการสเปรย์น้ำ
7. ทำซ้ำกับสูตรผสมอื่นๆ
8. วัดความแข็ง โดยใช้ shore A
9. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปคัมเบลในแต่ละสูตร ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.3 การศึกษาหาปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม

1. ใช้สารตัวเติมธรรมชาติ คือ โปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากข้าวสาลี

แทนแคลเซียมคาร์บอเนต

2. อบสารตัวเติมในตู้อบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำสารตัวเติมที่อบแล้วไปผสมสูตร ดังตารางที่ 3.2
4. ทำการหล่อแบบในแม่พิมพ์ ที่อุณหภูมิ 180°C โดยนำออกที่เวลา 20 25 และ 30

นาที ตามลำดับ

5. นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และ สมบัติการดูดซับน้ำ
6. ทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆกับสูตรผสมที่มี CaCO_3 เป็นสารตัวเติม และสูตรที่ไม่ใส่สารตัวเติม ซึ่งสูตรผสมเหมือนตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมของการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอริที่
ย่อยสลายได้

วัสดุที่ใช้ (กรัม, ส่วนโดยน้ำหนัก)	สูตรผสมที่			
	# 1	# 2	# 3	# 4
เรซินพีวีซีชนิดกระจายตัว	229(100)	229(100)	229(100)	210(100)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิ คือ DOP	172(75)	115(50)	57(25)	158(75)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิ คือ cereclor	57(25)	115(50)	172(75)	53(25)
สารทำให้เกิดเสถียรภาพ	7(3)	7(3)	7(3)	6(3)
สารตัวเติม (CaCO_3)	23(10)	23(10)	23(10)	62(30)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดเอฟอกซี	12(5)	12(5)	12(5)	11(5)
รวมทั้งหมด	500	500	500	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของการศึกษาหาปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม

วัสดุที่ใช้ (กรัม, ส่วนโดยน้ำหนัก)	สูตรผสมที่			
	# 1	# 2	# 3	# 4
เรซินพีวีซีชนิดกระจายตัว	229(100)	207(90)	184(80)	161(70)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิ คือ DOP	115(50)	115(50)	115(50)	115(50)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิ คือ cereclor	115(50)	115(50)	115(50)	115(50)
สารทำให้เกิดเสถียรภาพ	7(3)	7(3)	7(3)	7(3)
สารตัวเติม (โปรตีนธรรมชาติ)	23(10)	46(20)	69(30)	92(40)
สารปรับสภาพพลาสติกชนิดเอพอกซี	12(5)	12(5)	12(5)	12(5)
รวมทั้งหมด	500	500	500	500

3.3.4 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับสูตรที่ให้ผลดีที่สุด

1. ทำการทดลองซ้ำสูตรที่ให้ผลดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 180°C โดยนำออกที่เวลา 30 32 34 และ 36 นาที ตามลำดับ
2. นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และ สมบัติการดูดซับน้ำ
3. ทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆกับสูตรผสมที่มี CaCO_3 เป็นสารตัวเติม และสูตรที่ไม่ใส่สารตัวเติม ซึ่งสูตรผสมเหมือนตารางที่ 3.2

3.4 การทดสอบ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

1. สมบัติของแรงดึง (Tensile Properties)

สมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลและโปรแกรม WINDAP ใช้ชิ้นงาน 5 ชิ้นมาทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D638

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ

Load cell	1.0	กิโลนิวตัน
Test speed	100	มิลลิเมตรต่อนาที
Grammage	1.0	กรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cell class	0.5	
Gauge length	2.5	เซนติเมตร

2. ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester) แบบ shore A ตามมาตรฐาน ASTM D-412 ทดสอบ 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3.4.2 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorption)

1. นำชิ้นงานขนาดกว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 3.1 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น ต่อหนึ่งตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

2. นำชิ้นงานมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

3. นำชิ้นงานที่แช่น้ำมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับ ที่เวลา 2 4 6 8 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

4. นำผลการทดลองที่ได้มา คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

3.4.3 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

1. นำเชื้อที่ได้จากดิน 10 แหล่ง มาเจือจางแล้วทำให้มีความเข้มข้น 1×10^4 กรัมต่อ มิลลิลิตร

หมายเหตุ ดิน 10 แหล่ง ได้แก่

ดินชนิดที่ 1 มาจากบ่อน้ำหน้าคณะวิศวกรรมฯ

ดินชนิดที่ 2 มาจากข้างห้องสมุดคณะวิศวกรรมฯ

ดินชนิดที่ 3 มาจากข้างบ่อคณะสถาปัตยกรรมฯ

ดินชนิดที่ 4 มาจากแปลงผักคณะเกษตร

ดินชนิดที่ 5 มาจากข้างสโมสรคณะเกษตร

ดินชนิดที่ 6 มาจากกองขยะประเวศ

ดินชนิดที่ 7 มาจากกองขยะหน้าหมู่บ้านไกรทอง

ดินชนิดที่ 8 มาจากข้างฟุตบอลคณะครุฯ

ดินชนิดที่ 9 มาจากท่อระบายน้ำหน้าคณะวิทยาศาสตร์

ดินชนิดที่ 10 มาจากข้างหอบั้วอุไร ซอยเก๊ก 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 1x1 cm แต่ละตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น แล้วชั่งน้ำหนักก่อนย่อย

3. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ลิตร ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- Yeast extract	250	มิลลิกรัม
- FeSO ₄ . 7 H ₂ O	10	มิลลิกรัม
- MgSO ₄ . 7 H ₂ O	200	มิลลิกรัม
- (NH ₄) ₂ SO ₄	100	มิลลิกรัม
- CaCl ₂ . 2 H ₂ O	20	มิลลิกรัม
- NaCl	100	มิลลิกรัม
- Na ₂ MoO ₄ . 2 H ₂ O	0.5	มิลลิกรัม
- Na ₂ WO ₄	0.5	มิลลิกรัม
- MnSO ₄	0.5	มิลลิกรัม
- Glucose	20	มิลลิกรัม

4. ผสมอาหารเหลวกับน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 3 ลิตร นำเข้าไมโครเวฟ เพื่อให้

สารละลายเข้ากัน

5. ใส่อาหารเชื้อในขวดรูปชมพู่ ปริมาณ 100 ml 30 ขวด ในแต่ละตัวอย่าง

6. นำน้ำกลั่นใส่ในขวดรูปชมพู่ ปิดจุก แล้วนำไป autoclave พร้อมกับอาหารเหลว ที่

อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที

7. นำเชื้อ 10 เชื้อ มาใส่น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อ แล้วคนให้เชื้อละลายในน้ำกลั่น

8. ดูดเชื้อโดยใช้ไมโครปิเปต ใส่ในอาหารเหลวพร้อมชิ้นงาน จำนวน 1 ชิ้น ในแต่ละขวด

โดยแต่ละเชื้อจะทำ 3 ขวด

9. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 25 วัน

10. พอครบเวลาที่กำหนด นำชิ้นงานออกจากขวด แล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ

11. นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังย่อย

$$\% \text{ การย่อยสลาย} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนย่อย} - \text{น้ำหนักหลังย่อย})}{\text{น้ำหนักก่อนย่อย}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ศึกษาภาพตัดขวางของลักษณะพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักโดยการกระแทก เตรียมตัวอย่างโดยนำพอลิเมอร์มาแช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 3 นาที จากนั้นนำพอลิเมอร์มาหักให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ นำพอลิเมอร์ที่ได้จากการแตกหักวางบนแท่นรองรับ แล้วนำมาเคลือบด้วยทองคำ จากนั้นนำไปส่องลักษณะพื้นผิวโดยเครื่องสแกนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการดำเนินงานโครงการวิจัยการนำไบโอพอลิเมอร์เป็นสารตัวเติมเพื่อประยุกต์ใช้งานในโวนิลดีสเพอชัน โดยศึกษาสมบัติของสารตัวเติมธรรมชาติ และสมบัติของพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติ ได้ผลงานวิจัยต่อไปนี้

1. การศึกษาสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ

1.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารตัวเติมธรรมชาติ โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของสารตัวเติมธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 4.1 และ ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 การศึกษาการสลายตัวของโปรตีน

ชนิดของโปรตีน	เครื่อง DSC อุณหภูมิ (°C)
SOY PROTEIN	154.0
WHEAT GLUTEN	136.8

อุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนเริ่มเกิดการสลายตัวได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 140-160 องศาเซลเซียส

1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวเติมธรรมชาติ โดยเครื่อง Infrared spectrophotometer เนื่องจากสารตัวเติมธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองเป็นโปรตีนที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติชนิดต่างๆ จึงประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ มากมาย โดยกรดอะมิโนทุกชนิดมีหมู่ฟังก์ชันเฉพาะคือ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) และ หมู่คาร์บอกซิลิก ($-COOH$) ดังนั้นเมื่อนำสารตัวเติมธรรมชาติมาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เลขคลื่นที่เกิดจากการนำสารตัวเติมธรรมชาติ Soy protein และ Wheat gluten มาตรวจสอพบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่อง Infrared spectrophotometer (IR)

เลขคลื่น (cm^{-1})	Peak characteristic	หมายเหตุ
3200-2300	NH ของหมู่ NH_3^+	Broad
2960-2300	Aiphatic C-H	Broad
1650	NH ของหมู่ NH_3^+	Asymmetric
1550	CO ของหมู่ carboxylic	Asymmetric
1480	NH ของหมู่ NH_3^+	Symmetric
1380	CO ของหมู่ carboxylic	Symmetric

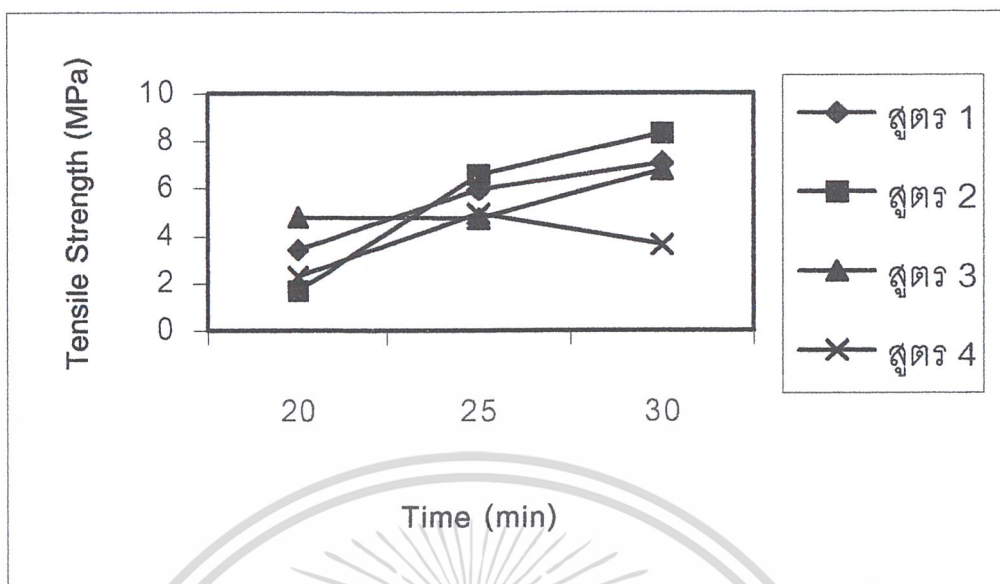
จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สารตัวเติมทั้ง 2 ชนิดประกอบด้วย กรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชัน $-\text{NH}_2$ และ $-\text{COOH}$ เป็นหลัก โดยเลขคลื่นที่เกิดขึ้นนำไปเปรียบเทียบกับเลขคลื่นของกรดอะมิโน ลูซีน (Leucine) ที่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน คือ N-H ของหมู่ NH_3^+ อยู่ที่ $2000-3200 \text{ cm}^{-1}$ อะลิฟาติก C-H อยู่ที่ $2850-2960 \text{ cm}^{-1}$ N-H ของหมู่ NH_3^+ มีลักษณะไม่สมมาตรที่ 1610 cm^{-1} C-O ของหมู่ คาร์บอกซิเลต มีลักษณะไม่สมมาตรที่ 1580 cm^{-1} N-H ของหมู่ NH_3^+ มีลักษณะสมมาตรอยู่ที่ 1505 cm^{-1} และ C-O ของหมู่คาร์บอกซิเลต มีลักษณะสมมาตรที่ 1405 cm^{-1} .

2. การเลือกสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้

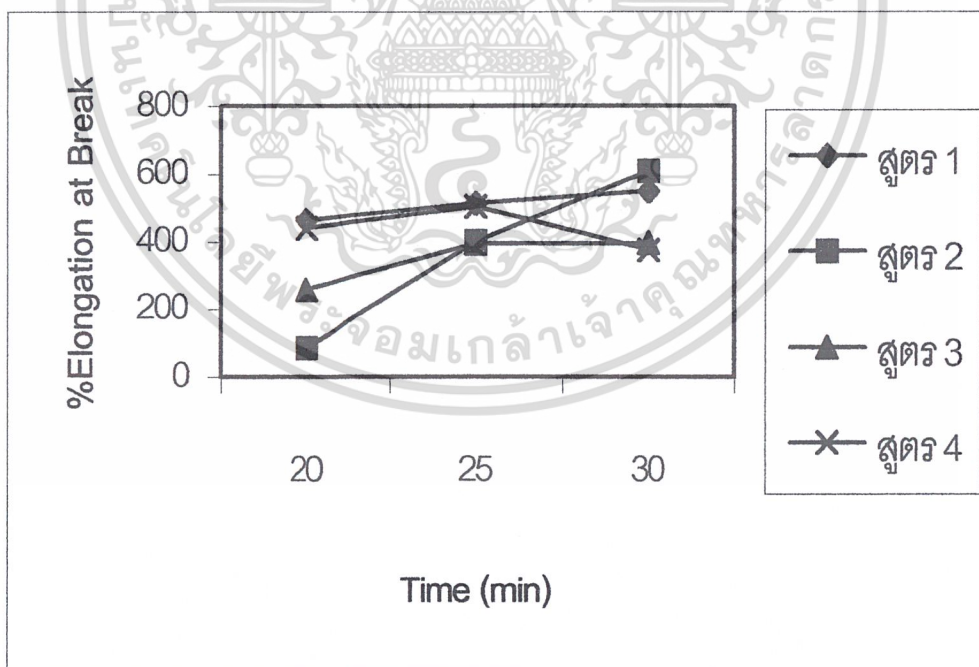
2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 อธิบายได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติม มีผลให้ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาด และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติเชิงกลเกี่ยวข้องกับเวลาและอุณหภูมิของการหลอมเหลวของสารสร้างสภาพพลาสติก (Plasticizer) ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีขึ้น โดยพบว่าสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิและสารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิเท่ากับ 50:50 (ส่วนโดยน้ำหนัก) ให้ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดดีที่สุด ที่เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



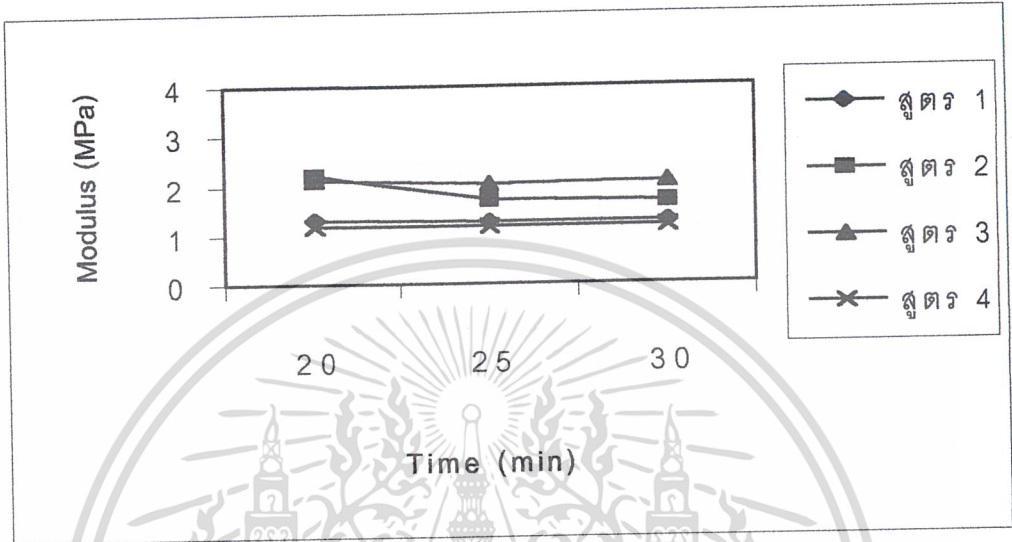
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ให้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)



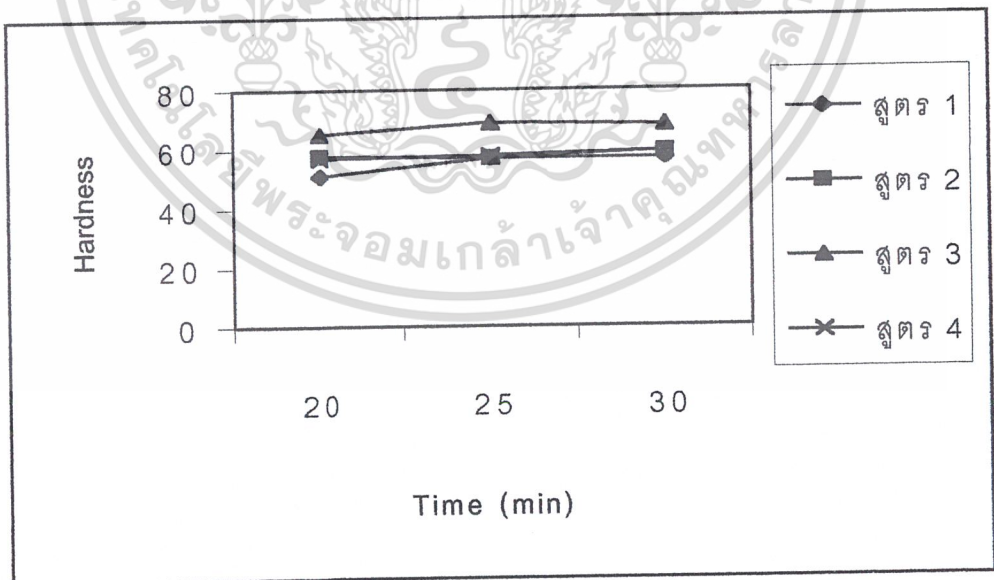
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยืดกับเวลาที่ให้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าค่ามอดุลัส และค่าความแข็งของสูตรผสมของทุกสูตรที่เวลาในการหล่อแตกต่างกัน แต่ให้ค่าใกล้เคียงกันและพบว่าสูตรที่ 3 ให้ค่ามอดุลัสสูงสุด เนื่องจากปริมาณของซีเมนต์ (Cereclor) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ส่งผลให้พีวีซีมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น



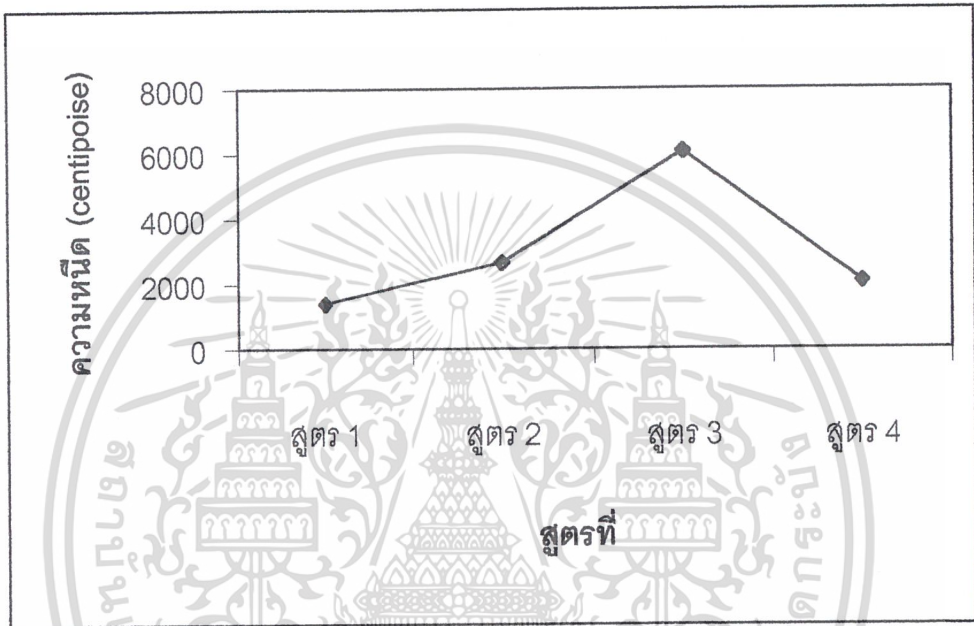
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสและเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 เห็นว่า สูตรที่ 3 มีความหนืดสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดพุดิยุมิ (Cereclor) ในปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ซึ่งซีรีคลอร์สามารถรวมเข้ากับเรซินพีวีซีได้ดี โดยซีรีคลอร์สามารถแทรกซึมเข้าสู่สายโซ่พีวีซีได้มาก ปริมาณซีรีคลอร์ที่เหลืออยู่ภายนอกจึงลดลง ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น ทำให้พีวีซีมีการกระจายตัวที่ไม่ดี



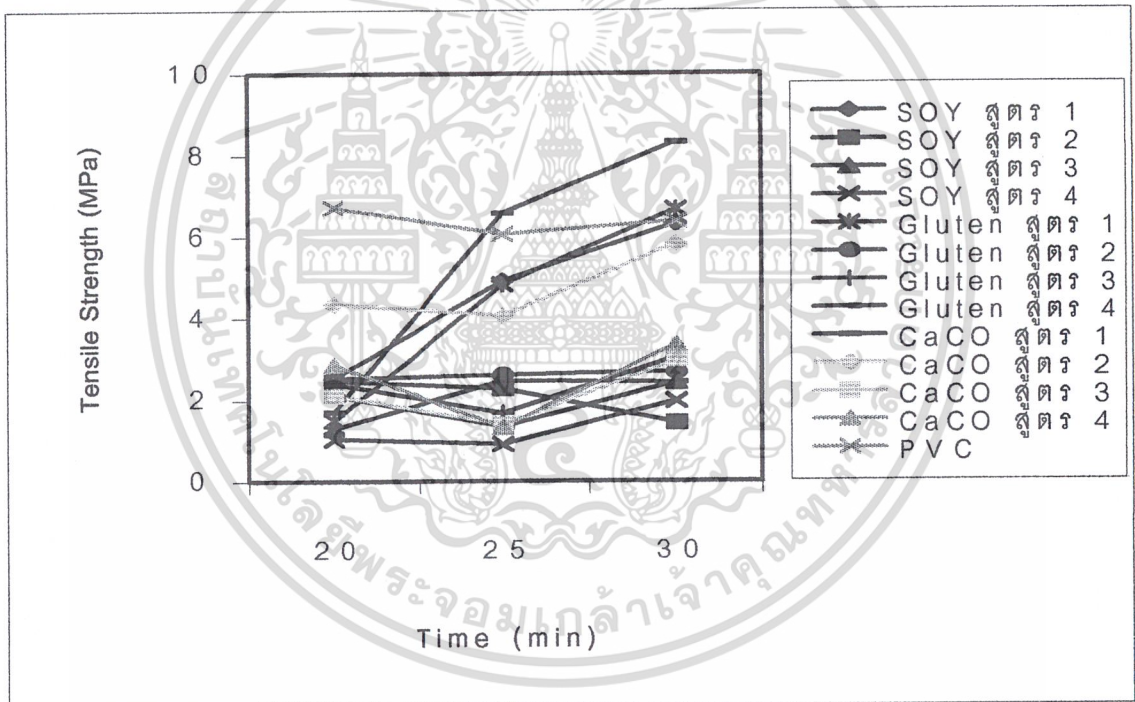
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของพลาสติกโซล (ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม) กับสูตรที่ใช้ต่างๆ

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ พบว่า สูตรที่ 2 ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น แม้ว่าจะมีค่ามอดูลัสต่ำกว่าสูตร 3 แต่ค่าที่แตกต่างมีเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงนำสูตร 2 มาศึกษาปริมาณสารตัวเติมธรรมชาติที่เหมาะสม เพื่อให้พอลิเมอร์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ รวมทั้งทำการเปรียบเทียบกับการใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติมและที่ไม่เติมสารตัวเติม

3. การศึกษาปริมาณสารตัวเติมธรรมชาติที่เหมาะสม

3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากกราฟในรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อเวลาในการหล่อเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากปริมาณของสารตัวเติมที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงพบว่า ที่เวลาเดียวกัน (30 นาที) ปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากจำนวนของสารตัวเติมเข้ามาขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น และช่องว่างของการยึดติดระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์มากขึ้นด้วย ทำให้สามารถรับแรงได้น้อยลง

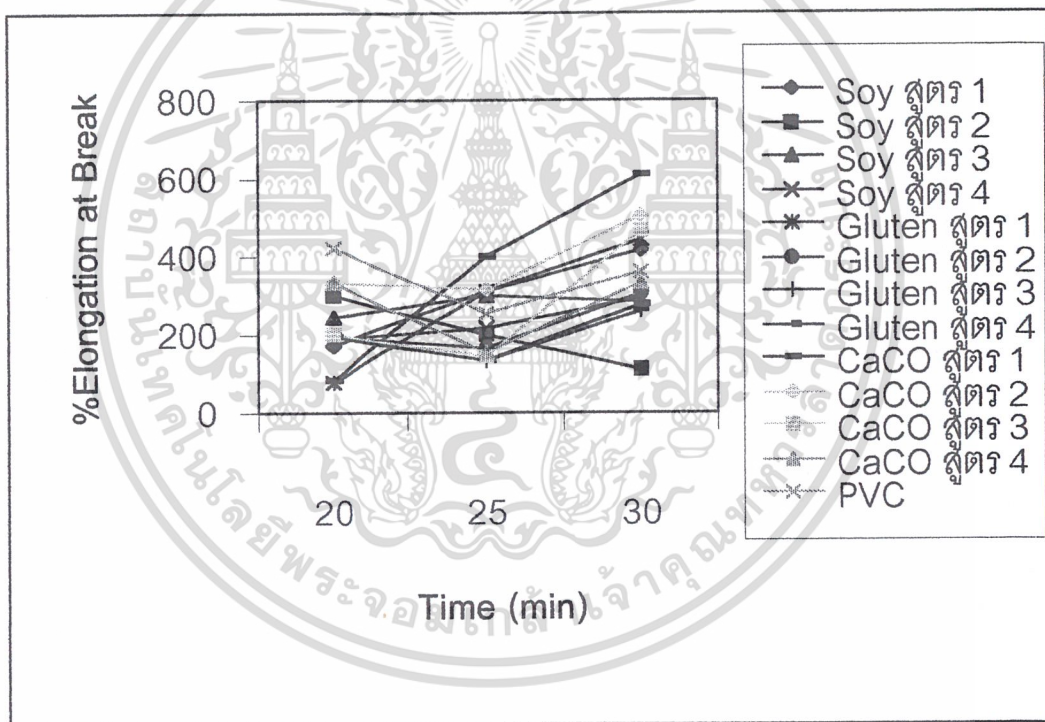


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซีที่อัตราส่วนต่างๆ (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและไม่ใช้สารตัวเติม)

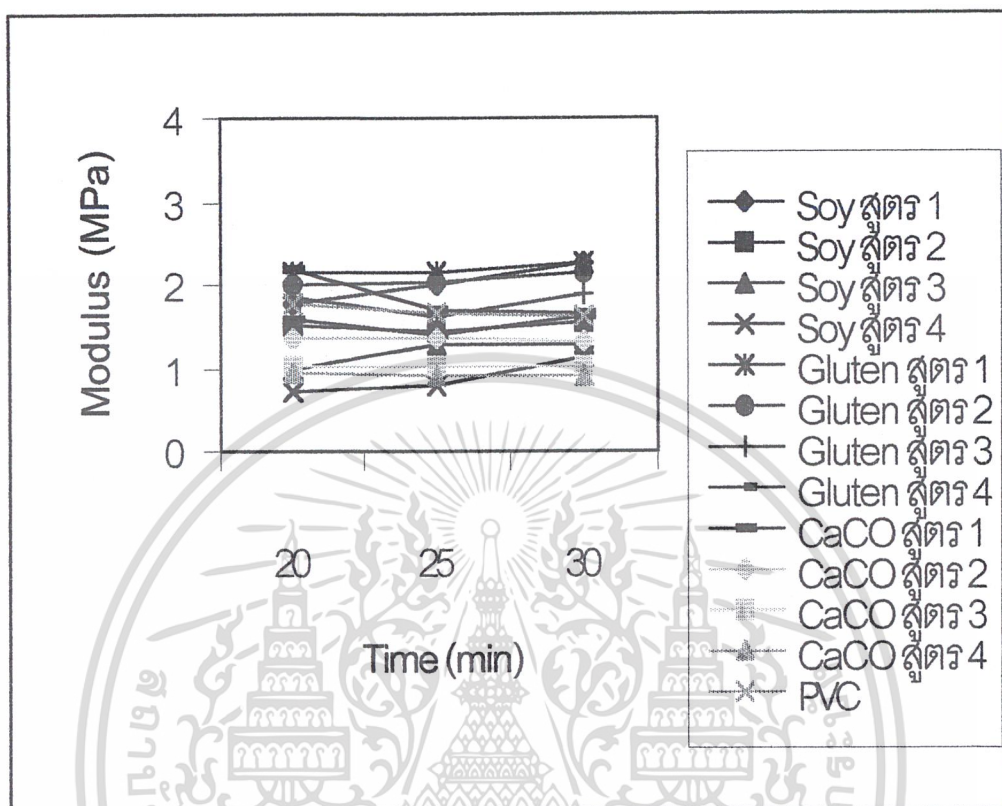
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า เมื่อเวลาในการหล่อเพิ่มขึ้น ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่ค่ามอดุลัส จะมีค่าลดลง

จากผลของค่าการดึงยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัสและความแข็ง พบว่า ที่เวลาเดียวกัน (30 นาที) ปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดลดลงในแนวโน้มเดียวกับค่ามอดุลัสและความแข็ง เนื่องจากการที่สารตัวเติมซึ่งเข้ามาขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์มีจำนวนมากขึ้น และช่องว่างของการยึดติดระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์มากขึ้นด้วย ทำให้เมื่อได้รับแรงดึง ค่ามอดุลัสและค่าการดึงยืด ณ จุดขาดน้อย และเมื่อเวลาในการหล่อเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารตัวเติม และผงพีวีซี ดีขึ้น เป็นผลให้มีช่องว่างในการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติมน้อยลง ทำให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาด สูงขึ้น

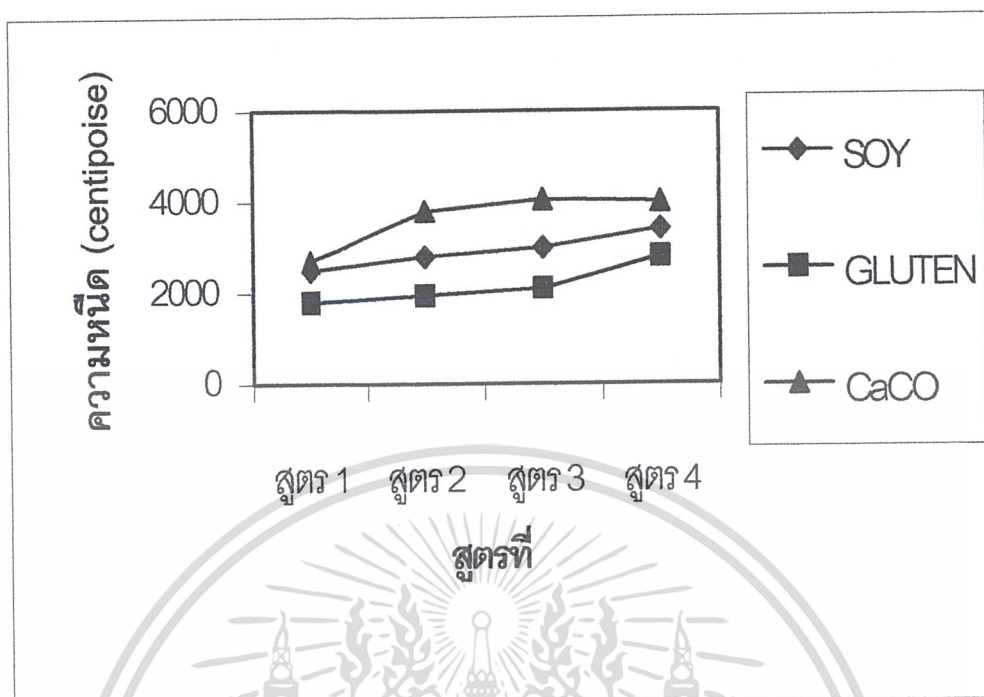


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับเวลาที่ใช้หล่อ เรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและไม่ใช้สารตัวเติม)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและไม่ใช้สารตัวเติม)

จากรูปที่ 4.9 พบว่า สารตัวเติมแต่ละชนิด เมื่อผสมในเรซินพีวีซี ในปริมาณเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของพลาสติกไซลเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกไซลที่ไม่ใส่สารตัวเติม มีความหนืด 2,500 เซนติพอยส์



รูปที่ 4.9 ความหนักของพลาสติกโซล (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม)

เนื่องจากผลการทดลองในข้อ 3 พบว่า ที่เวลาเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสูตรที่ 1 มีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังนั้นจึงนำสูตร 1 มาศึกษาสมบัติเชิงกลที่เวลาที่มากกว่า 30 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการหล่อ

4. การศึกษาเวลาในการหล่อที่เหมาะสม

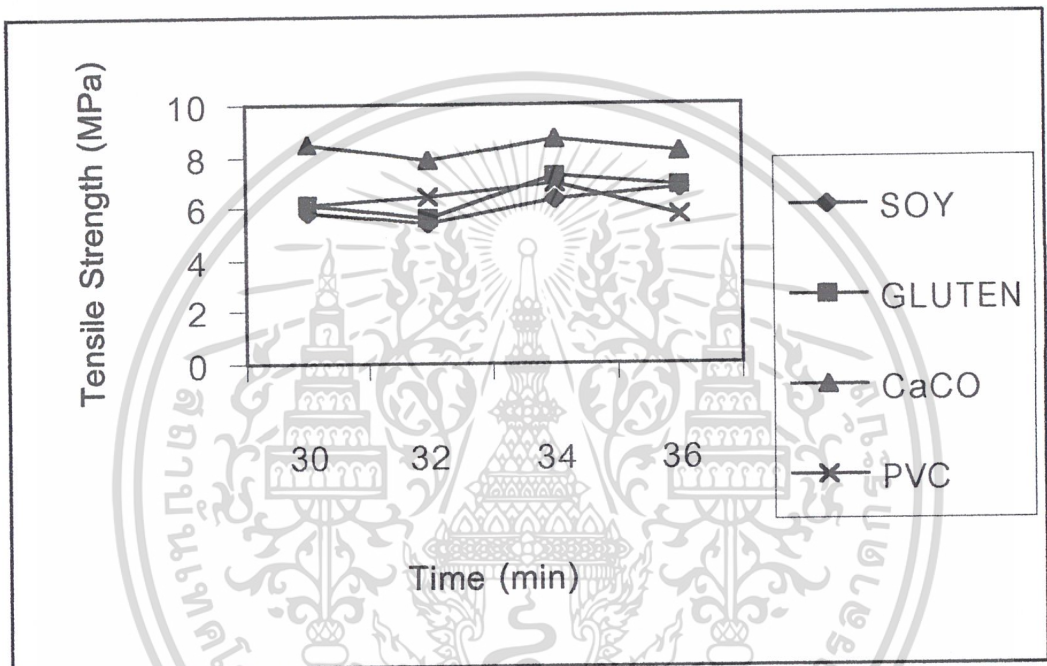
4.1 สมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.10 ถึง 4.14 จะเห็นว่าที่เวลา 32 นาที สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม มีค่าลดลง แต่ที่เวลามากกว่า 32 นาที สมบัติเชิงกลกลับมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อสังเกตสีของเรซินพีวีซีที่มีสารตัวเติม พบว่า ที่เวลามากกว่า 30 นาที ชิ้นงานมีสีเข้มขึ้น แสดงว่าที่เวลามากกว่า 30 นาที ชิ้นงานเกิดการเสียดคุณภาพ (Degrad) ของสารตัวเติม และการเสียดคุณภาพนี้เกิดเนื่องจาก HCl มีการหลุดออกไป จึงทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

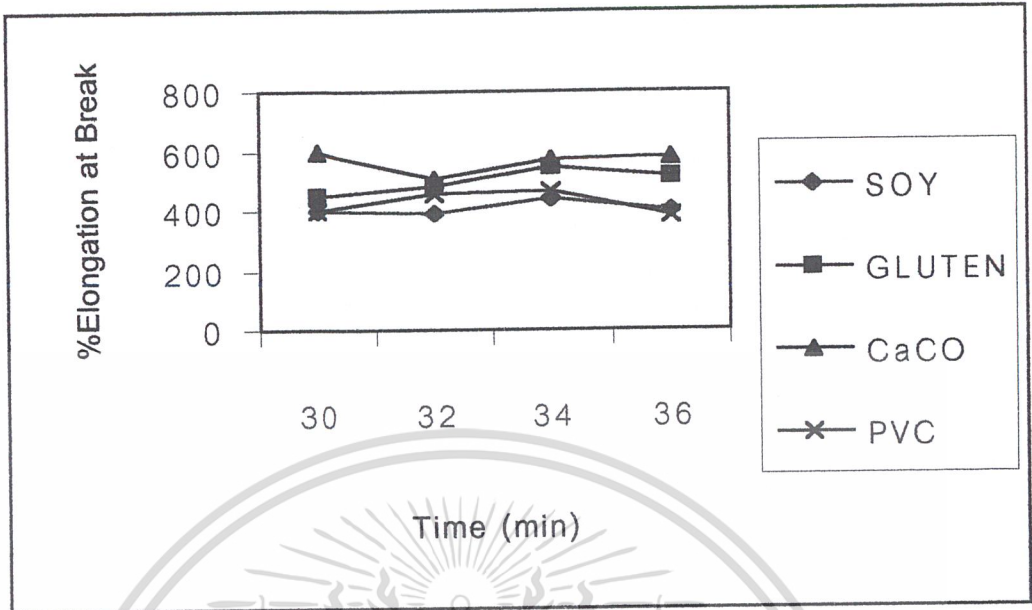
เรซินพีวีซีที่ไม่มีสารตัวเติม พบว่า ที่เวลามากกว่า 30 นาที สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น แต่ที่เวลา 34 นาที สมบัติเชิงกลโดยรวมกลับลดลง

เมื่อสังเกตสีของเรซินพีวีซีที่ไม่มีสารตัวเติม พบว่า ที่เวลามากกว่า 30 นาที ชิ้นงานมีสีเข้มขึ้น แสดงว่าที่เวลามากกว่า 30 นาที ชิ้นงานมีโอกาสเกิดการเสียดคุณภาพ (Degrade) ทำให้สมบัติโดยรวมเพิ่มขึ้น

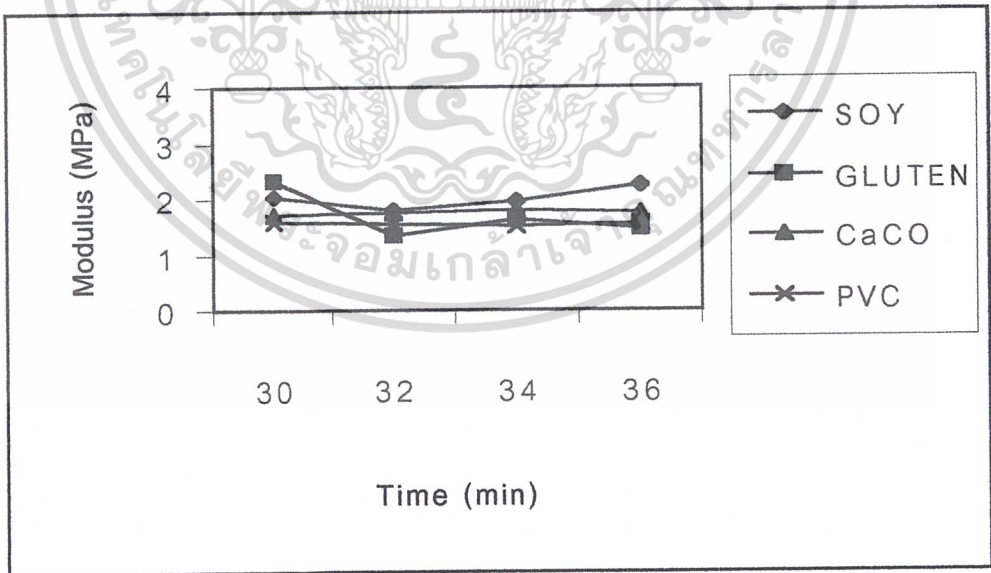


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

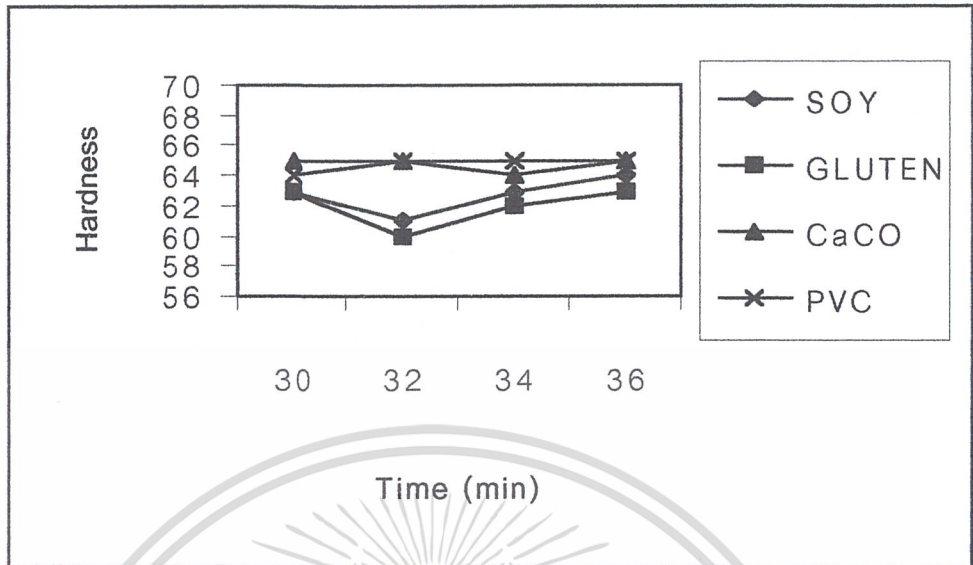


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)

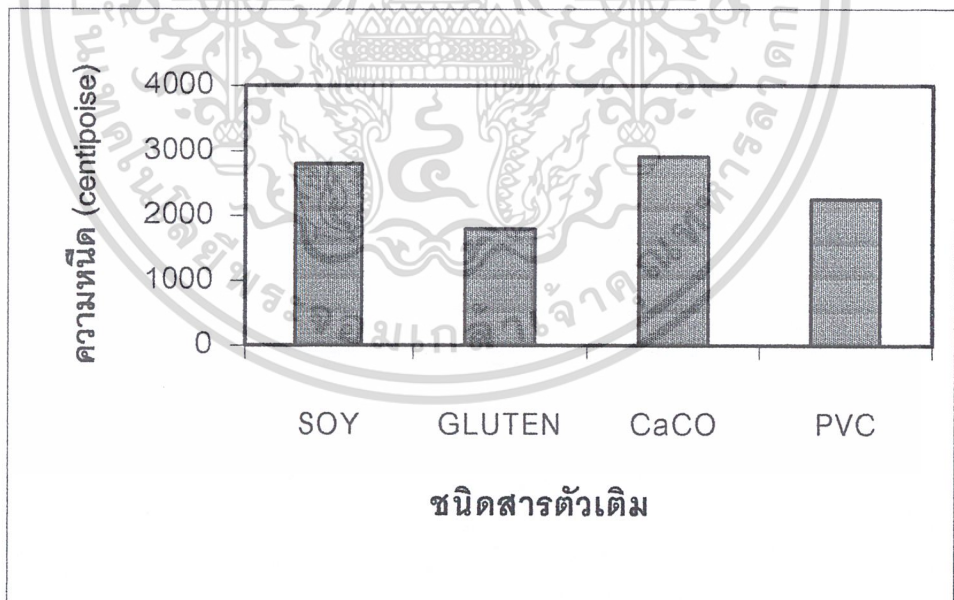


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาที่ใช้หล่อเรซินพีวีซี (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)



รูปที่ 4.14 ค่าความหนักของพลาสติกไซล (ใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และไม่ใช้สารตัวเติม ในสูตรที่1)

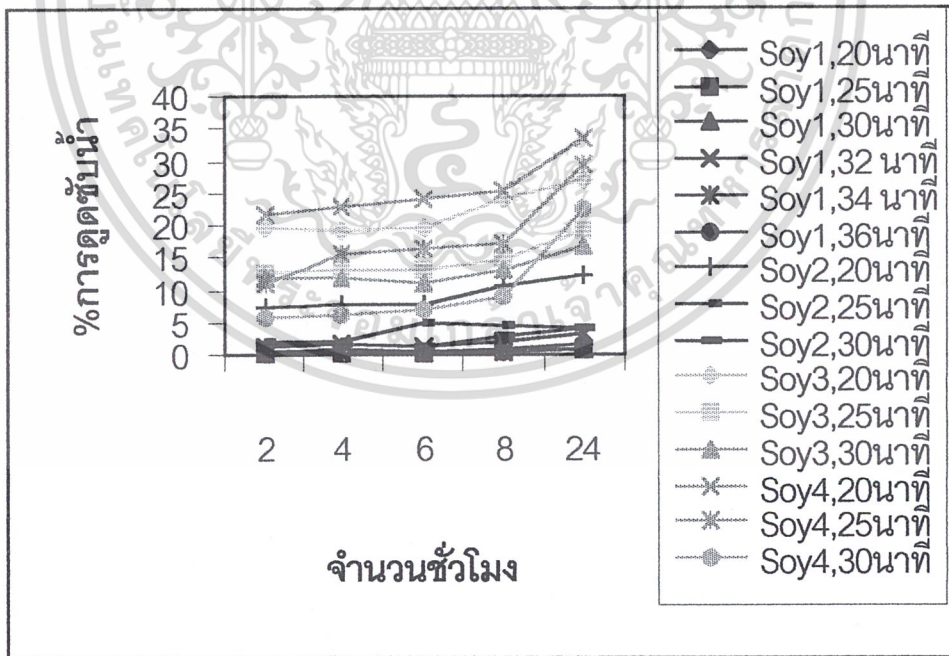
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า เรซินพีวีซีที่มีสารตัวเติมธรรมชาติ สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่า เรซินพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติม และที่ไม่มีสารตัวเติม เนื่องจากสารตัวเติมธรรมชาติมีหมู่เอไมด์ที่สามารถดูดซับน้ำได้

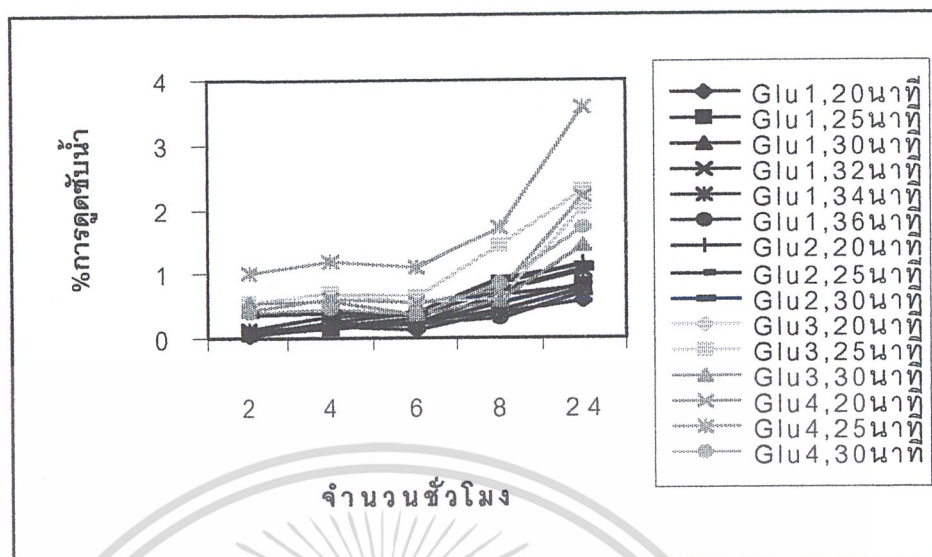
เมื่อพิจารณาปริมาณของสารตัวเติมธรรมชาติทั้งสองชนิด พบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาที่แช่ชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของชิ้นงานได้มากขึ้น รวมทั้งโปรตีนที่อยู่ในโครงสร้างดูดซับน้ำได้มากขึ้น

เมื่อเวลาในการหล่อชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลง เนื่องจากเวลาในการหล่อชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น ช่วยให้เกิดการแพร่กระจายของสารตัวเติมและผงพีวีซี ดีขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว เป็นผลให้ช่องว่างในการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติมน้อยลง การดูดซับน้ำจึงลดลง ในขณะที่เรซินพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและที่ไม่มีสารตัวเติม มีค่าการดูดซับน้ำคงที่ คือ ศูนย์



รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเรซินพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลือง ปริมาณต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



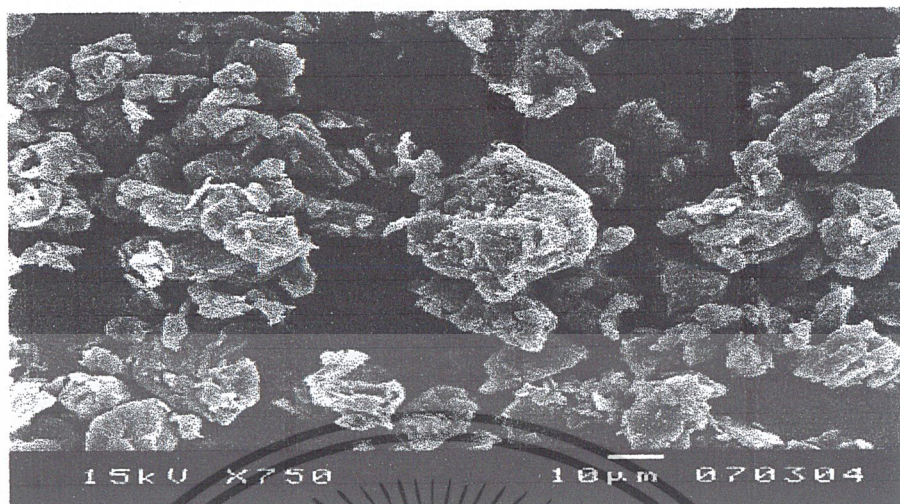
รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเรซินฟิวซีที่มีโปรตีนจากข้าวสาลี ปริมาณต่างกัน

6. การศึกษาสัณฐานวิทยา

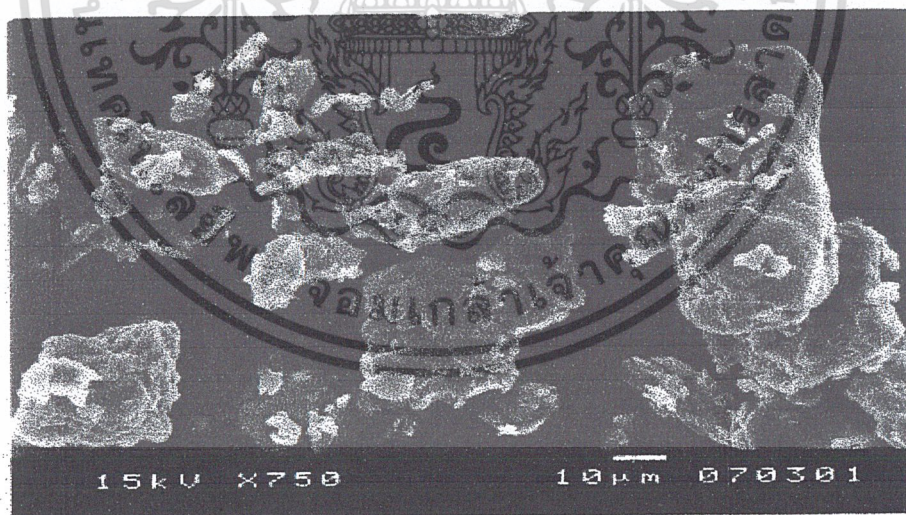
6.1 ลักษณะรูปร่างของสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.19 จะเห็นว่า ขนาดของโปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากข้าวสาลี มีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยสังเกตได้จากกำลังขยายที่ใช้ ซึ่งโปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากข้าวสาลี ใช้กำลังขยาย 750 เท่า แคลเซียมคาร์บอเนต ใช้กำลังขยาย 3500 เท่า

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่า เรซินฟิวซีมีการยึดเกาะมากกว่า โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากข้าวสาลี และแคลเซียมคาร์บอเนต

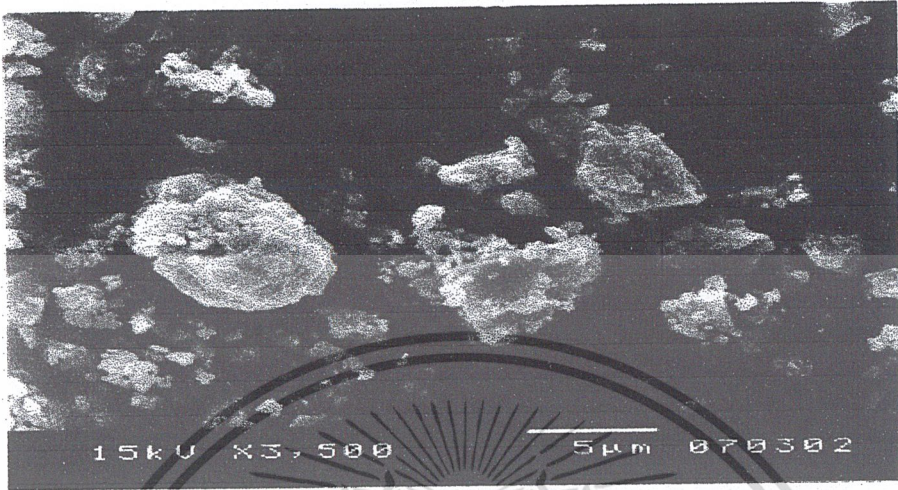


รูปที่ 4.17 รูปร่างลักษณะของโปรตีนจากถัวเหลือง โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

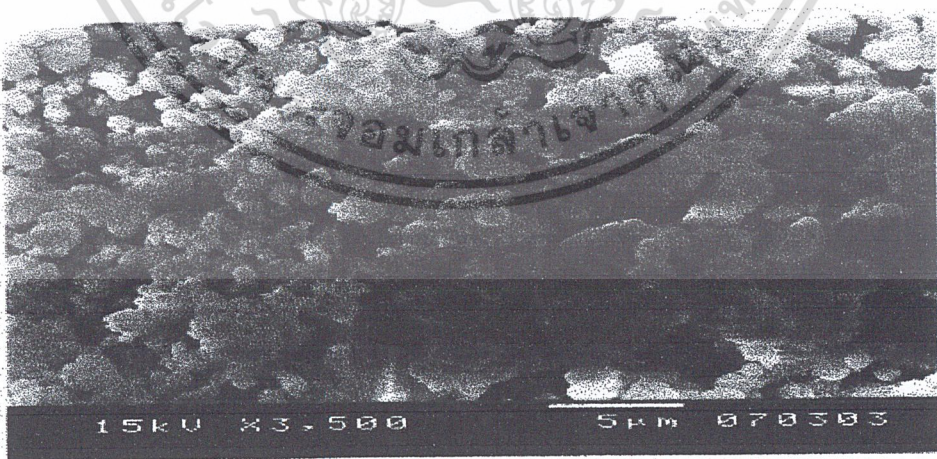


รูปที่ 4.18 รูปร่างลักษณะของโปรตีนจากข้าวสาลี โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 รูปร่างลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้กำลังขยาย 3,500 เท่า



รูปที่ 4.20 รูปร่างลักษณะของเรซินฟิวซี โดยใช้กำลังขยาย 3,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์เมื่อผสมกับสารตัวเติม

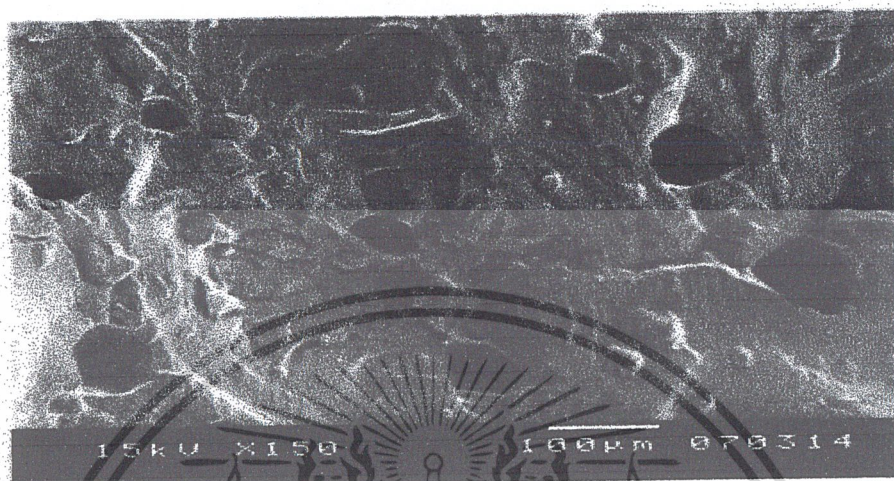
จากรูปที่ 4.21 4.22 และ 4.23 เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต โปรตีนจากข้าวสาลี และโปรตีนจากถั่วเหลือง เป็นสารตัวเติม ตามลำดับ จะเห็นว่าพื้นผิวของพีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารตัวเติม ความเป็นระเบียบในการยึดเกาะระหว่างสารเติมแต่งกับพอลิเมอร์มีมากกว่าพีวีซีที่มีโปรตีนจากข้าวสาลีและโปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นสารตัวเติม ส่งผลให้พีวีซีที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าและการดูดซับน้ำน้อย



รูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวของพีวีซี เมื่อผสมกับสารตัวเติม(แคลเซียมคาร์บอเนต)

โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ลักษณะพื้นผิวของไฟเบอร์ เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ (โปรตีนจากข้าวสาลี) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.23 ลักษณะพื้นผิวของไฟเบอร์ เมื่อผสมกับสารตัวเติมธรรมชาติ (โปรตีนจากถั่วเหลือง) โดยใช้กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

เนื่องจากโปรตีนสามารถย่อยสลายได้ในกระบวนการธรรมชาติ จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากดิน พบว่าจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินข้างปอดคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ดินชนิดที่ 3) และดินข้างสโมสรคณะเกษตร (ดินชนิดที่ 5) สามารถย่อยสลายพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากข้าวสาลีได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย (ตารางที่ 4.3) แต่ทั้งนี้ผลที่ได้จากเปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย จัดว่าน้อย อันเป็นผลเนื่องมาจาก เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายใช้เพียง 25 วัน และไม่ทราบชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาแยกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองและโปรตีนจากข้าวสาลี เป็นสารตัวเติม

ตัวอย่างดินชนิดที่	เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย	
	โปรตีนจากถั่วเหลือง	โปรตีนจากข้าวสาลี
1	1.59	1.65
2	1.95	1.52
3	1.97	1.70
4	1.20	1.04
5	1.81	1.86
6	1.85	1.61
7	0.82	1.62
8	1.76	1.82
9	1.68	1.82
10	1.75	1.62

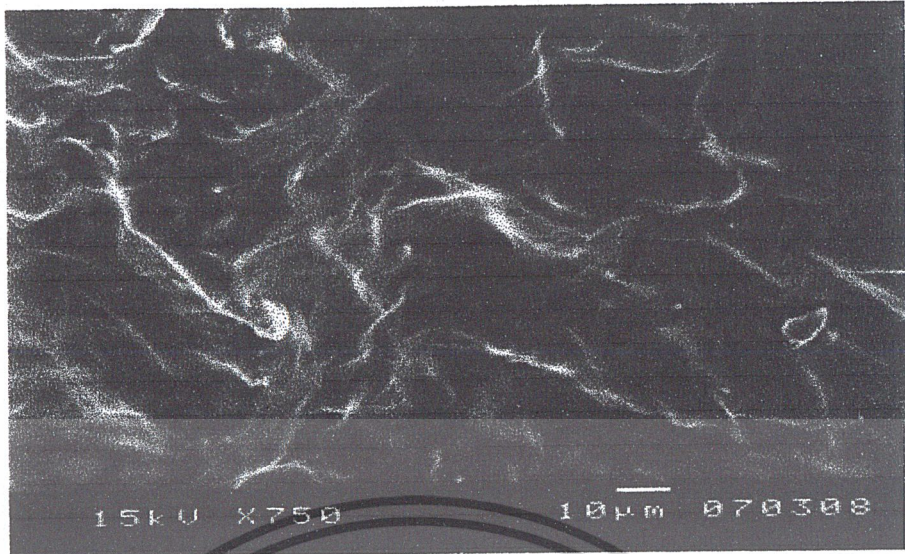
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่า ลักษณะพื้นผิวของพีวีซี ที่มีโปรตีนเป็นสารตัวเติม เมื่อไม่
ได้ทำการย่อยสลาย ขนาดอนุภาคของโปรตีนจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ แทรกตัวอยู่ในเมตริกซ์ของ
พีวีซีดีสเพอซัน (รูปที่ 4.24 และ 4.26) แต่เมื่อทำการย่อยสลาย ขนาดของอนุภาคโปรตีนจะแตก
ออกกลายเป็นผงเล็กๆ (รูปที่ 4.25 และ 4.27) รวมทั้งการกระจายตัวของอนุภาคโปรตีนทั้งสอง
ชนิด มีความเป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินได้ย่อยสลายโปรตีน
แล้วบางส่วน อย่างไรก็ตามการย่อยสลายจัดว่ายังไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของเชื้อจุลิน-
ทรีย์ และระยะเวลาในการย่อย ซึ่งจะต้องทำการศึกษาต่อไป

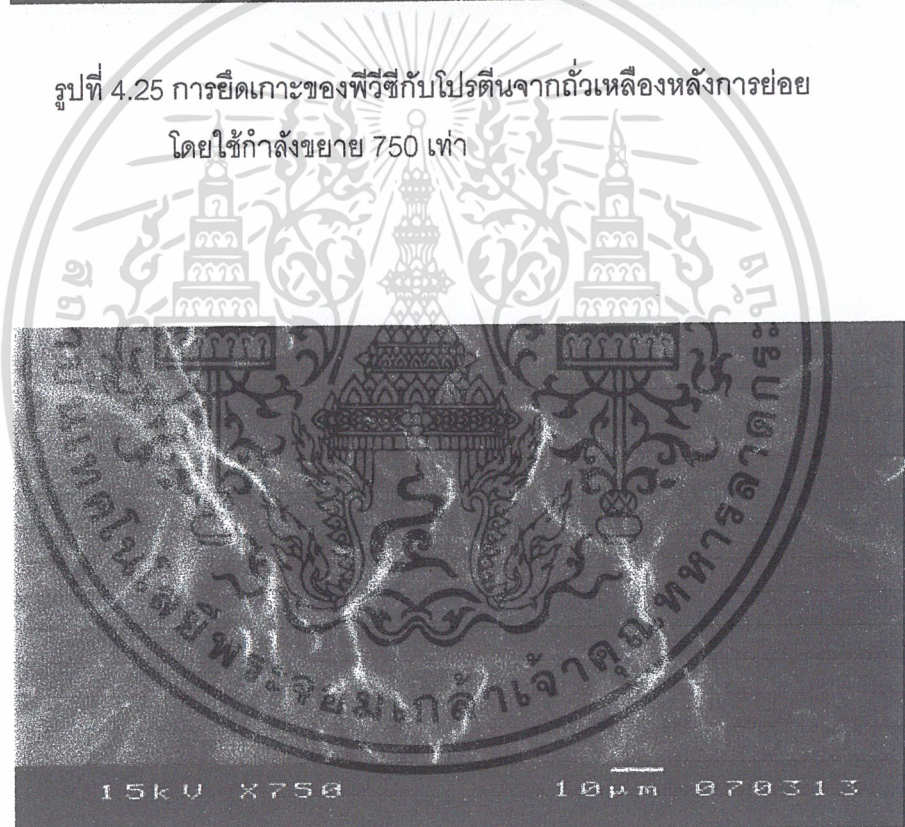


รูปที่ 4.24 การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยใช้กำลัง
ขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

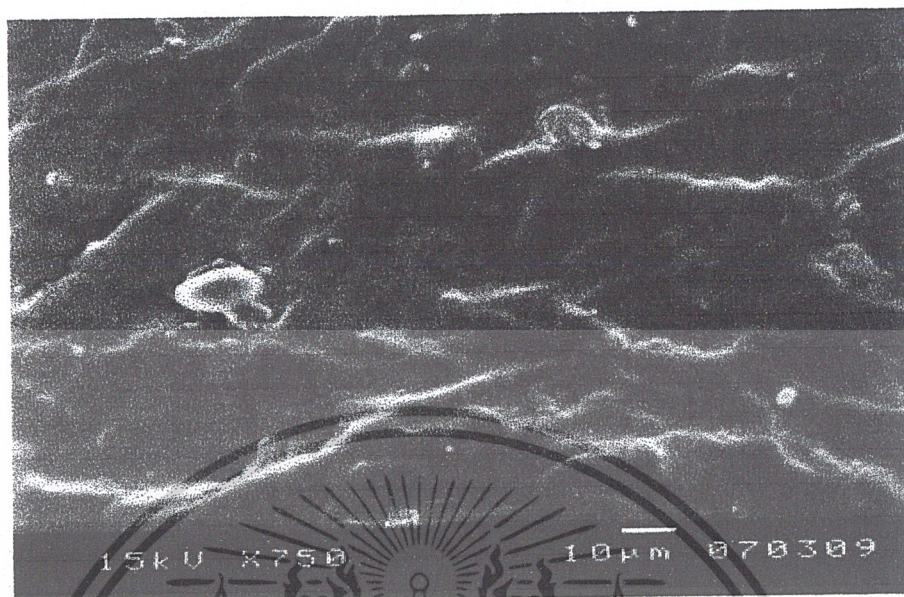


รูปที่ 4.25 การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากถั่วเหลืองหลังการย่อย
โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า



รูปที่ 4.26 การยึดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากข้าวสาลี โดยใช้กำลัง
ขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 การยี่ดเกาะของพีวีซีกับโปรตีนจากข้าวสาลีหลังการย่อย
โดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สามารถช่วยแก้ปัญหามลภาวะที่เกิดจากขยะพลาสติกชนิดต่างๆ จึงทำการศึกษาดูโดยการนำโปรตีนจากธรรมชาติมาผสมในโวนิลดีสเพอซันเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมแทนแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งพบว่า เรซินพีวีซีที่มีโปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนจากข้าวสาลี ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มให้สมบัติต่างๆ ดี คือ มีความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ใกล้เคียงกับเรซินพีวีซีที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม และที่ไม่ใส่สารตัวเติม รวมทั้งเรซินพีวีซีที่มีสารตัวเติมธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ และสามารถดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนสามารถดูดซับน้ำได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เรซินพีวีซีที่ใช้โปรตีนเป็นสารตัวเติม ไม่ควรเติมโปรตีนในปริมาณที่มากเกินไป 10% ของน้ำหนัก เพราะจะทำให้เรซินพีวีซีมีสมบัติเชิงกลลดลง และการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น
2. ควรศึกษาระยะเวลาและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย
3. พอลิเมอร์ที่ได้จากการทดลองนี้ เหมาะสำหรับการผลิตภาชนะสำหรับใส่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีความแข็งแรงดึง และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
4. ควรขยายเวลาศึกษาถึงสารตัวเติมธรรมชาติชนิดอื่น ที่สามารถหาง่าย ราคาถูก ผลิตได้จากธรรมชาติโดยผ่านขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และเมื่อผสมในพอลิเมอร์แล้วให้สมบัติเชิงกล และการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีขึ้น
5. ควรศึกษาเปรียบเทียบวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์เมื่อผสมสารตัวเติมธรรมชาติ ในวิธีการอื่นที่ไม่ต้องใช้ความร้อนสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (Denature) ของสารตัวเติมธรรมชาติ และศึกษาสมบัติเชิงกลพร้อมกับสมบัติการย่อยสลาย เพื่อศึกษาผลกระทบของการเสียสภาพธรรมชาติโปรตีน

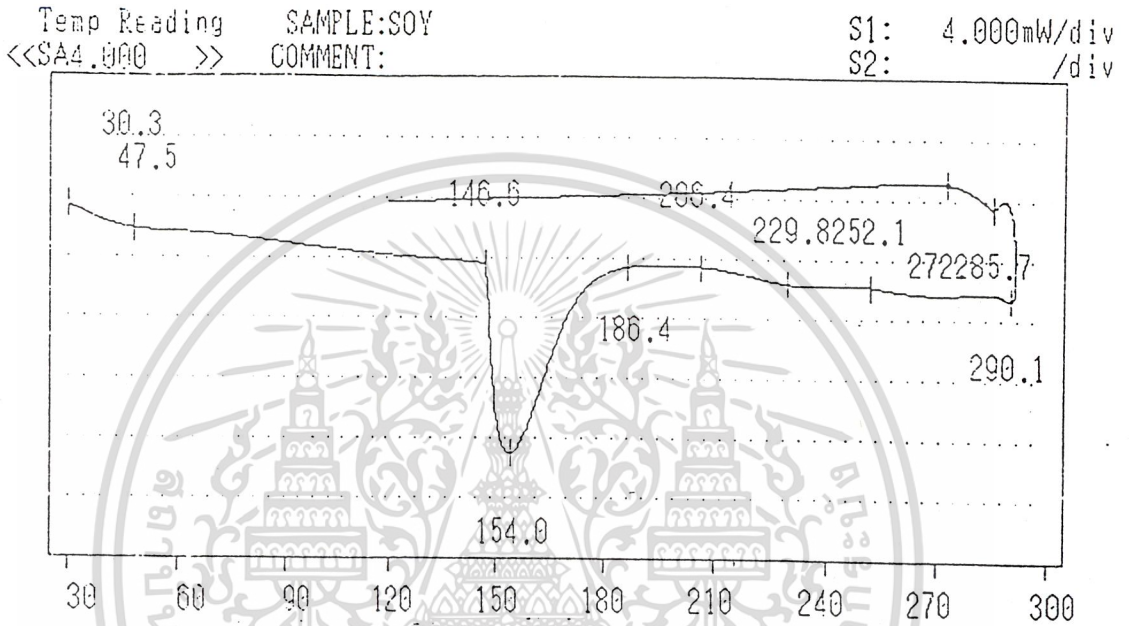


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

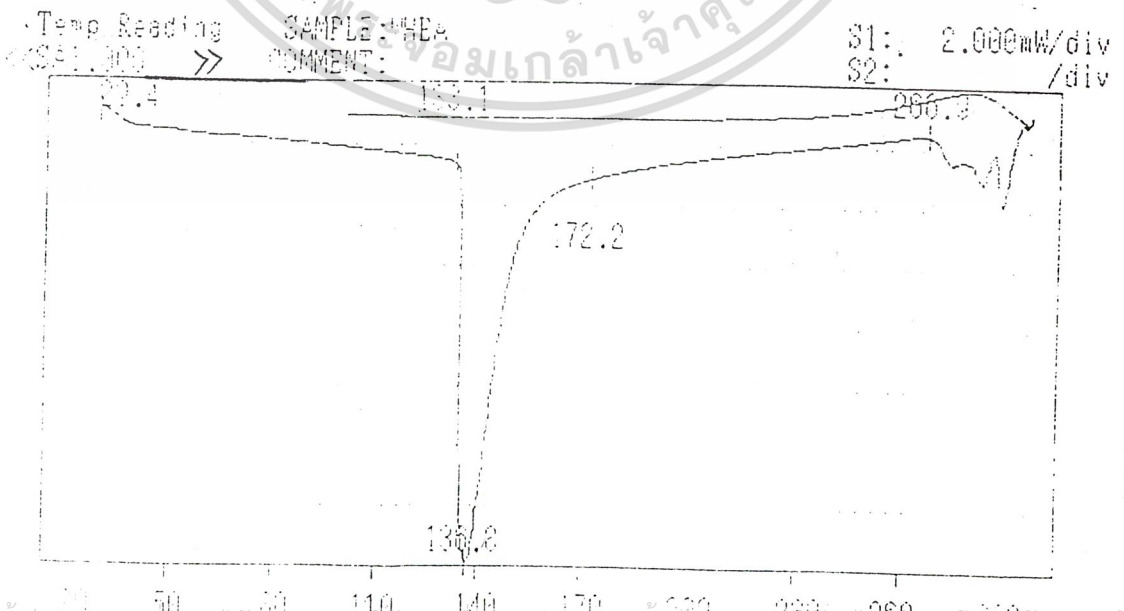
ภาคผนวก ก

เทอร์โมแกรมจากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์

1. โปรตีนจากถั่วเหลือง (Soy protein)



2. โปรตีนจากข้าวสาลี (Wheat gluten)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้ทำประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

ภาคผนวก ข

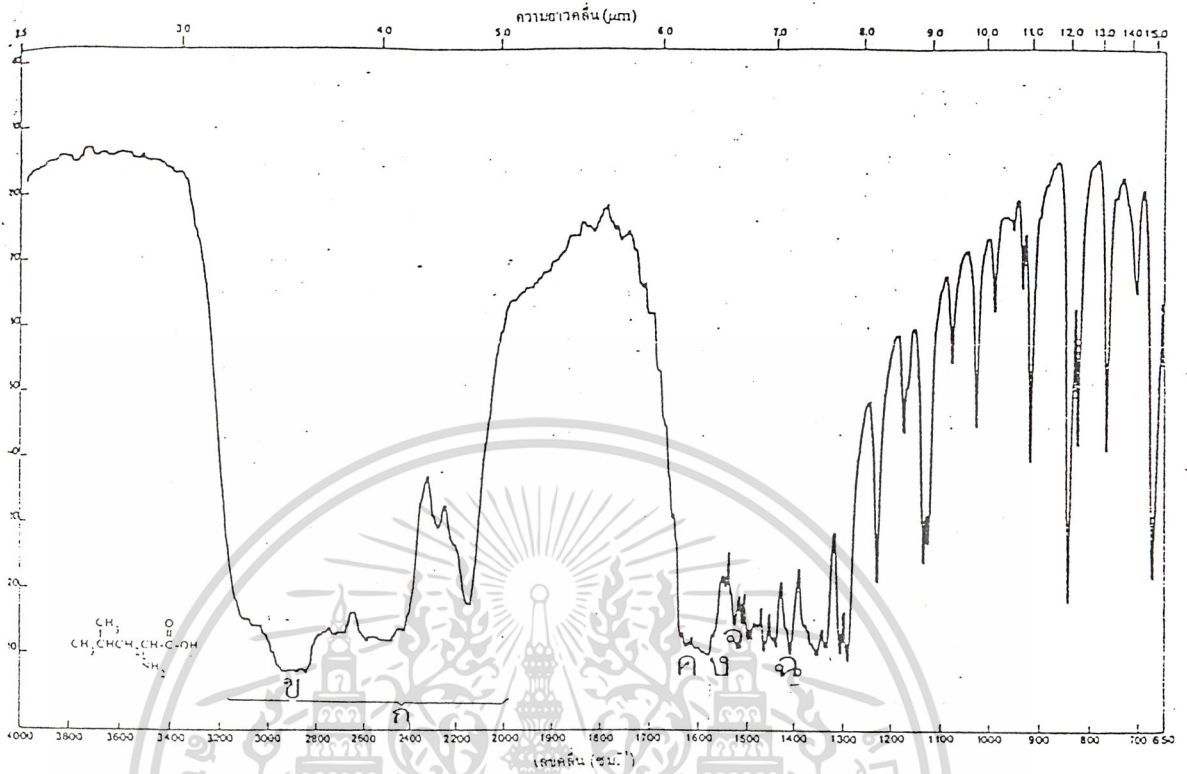
ความถี่ย่านรังสี IR

ตารางที่ 1 แสดงความถี่ย่านรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่

ความถี่ (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
810	R ₂ C=CHR (การงอออกนอกระนาบ)
1160	(CH ₃) ₂ CH
1250	CH ₂ หรือ CH ₃ หลายหมู่
1475 และ 1380	CH ₃
1475	CH ₂
2950	C-H, CH ₂ และ CH ₃
3050	=C-H
675-870 (ความเข้มสูง)	aromatic (การงอออกนอกระนาบของ C-H)
1667-2000(ความเข้มต่ำ)	aromatic ที่มีวง benzene
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-disubstituted)
810-840	มีหมู่แทนที่ 2 หมู่แบบพารา (p-disubstituted)
3200-3500	การยืด N-H การงอ N-H
650-900 (กว้าง)	1° amine
1590-1650	
1550-1650 (ความเข้มต่ำ)	2° amine การยืด C-N
1020-1220 (ความเข้มต่ำ)	aliphatic
1180-1360 (ความเข้มสูง)	aromatic
1250-1340	1° amine
1280-1350	2° amine
1310-1360	3° amine

* จาก วิชัย รุ่งตระกูล, โกศลย์ คุณสำราญ, พิเชษฐ วิริยะจิตรา, สุรัชย์ นิมจิรวัดมน และอภิชาติ สุขสำราญ หนังสือการประยุกต์สเปกโทรสโกปีในเคมีอินทรีย์ พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 72-73, 76-77 และ 102-103. ห.จ.ก. นำอักษรกรพิมพ์, กรุงเทพฯ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Leucine

- ก : N-H ของหมู่ NH_3^+ ยืดที่ $2000\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ ขยายขนาดกว้างขึ้นด้วยแบนด์รวมที่ 2140 cm^{-1} และแบนด์รวมกับไฮดรอกซิลอื่น ๆ
- ข : แอลิฟาติก C-H ยืด (ซ้อนทับ N-H ยืด) $2850\text{-}2960\text{ cm}^{-1}$
- ค : N-H ของหมู่ NH_3^+ งออย่างไม่มีสมมาตร 1610 cm^{-1}
- ง : C=O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ยืดอย่างไม่มีสมมาตร 1580 cm^{-1}
- จ : N-H ของหมู่ -NH_3^+ งออย่างมีสมมาตร 1505 cm^{-1}
- ฉ : C=O ของหมู่คาร์บอกซิเลต ยืดอย่างมีสมมาตร 1405 cm^{-1}

* จาก วิชัย รุ่งตระกูล, โกศลย์ คุณารามู, พิเชษฐ วิริยะจิตรา, สุรัชย์ นิมจิรวัดมัน และอภิชาติ สุขสำราญ หนังสือการประยุกต์สเปกโทรสโกปีในเคมีอินทรีย์ พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 109 ห.จ.ก. นำอักษรกรพิมพ์, กรุงเทพฯ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลแสดงสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ค.1 สมบัติเชิงกลของการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้

สูตรที่	เวลา (นาท)	Tensile Strength (MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
1	20	3.417	2.112	426.5	11.102	1.289	0.094	51	1400
	25	5.945	0.889	513.7	52.467	1.254	0.005	57	
	30	7.084	0.261	550.2	40.022	1.266	0.022	57	
2	20	1.709	0.231	85.4	13.111	2.189	0.318	58	2700
	25	6.575	0.564	401.7	60.033	1.712	0.140	57	
	30	8.320	0.450	610.1	14.248	1.669	0.218	59	
3	20	4.790	0.071	257.9	8.572	2.103	0.048	65	6100
	25	4.719	2.833	393.8	42.567	2.004	0.127	69	
	30	6.793	2.985	397.0	29.981	2.061	0.088	68	
4	20	2.297	1.786	438.5	47.610	1.189	0.102	57	2100
	25	4.937	0.020	503.9	11.771	1.173	0.031	58	
	30	3.623	0.082	373.9	12.710	1.170	0.038	59	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นสารตัวเติม

สูตรที่	เวลา (นาที)	Tensile Strength (MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
1	20	2.525	0.034	171.2	21.524	1.786	0.045	60	2500
	25	4.929	0.756	309.4	41.915	2.013	0.109	60	
	30	6.331	0.192	415.7	6.963	2.265	0.038	63	
2	20	2.453	1.334	229.0	57.457	1.520	0.085	47	2800
	25	2.282	0.231	200.8	27.106	1.441	0.042	54	
	30	1.437	0.414	112.2	42.275	1.533	0.129	53	
3	20	1.285	0.631	242.9	16.485	0.986	0.032	48	3000
	25	2.474	0.190	301.4	26.341	1.265	0.050	50	
	30	2.420	0.582	285.9	55.007	1.289	0.243	54	
4	20	1.051	0.095	189.1	4.858	0.732	0.057	44	3400
	25	0.916	0.470	216.2	66.185	0.775	0.075	46	
	30	1.974	0.133	297.1	14.318	1.126	0.136	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่ใช้โปรตีนจากข้าวสาลีเป็นสารตัวเติม

สูตรที่	เวลา (นาท)	Tensile Strength (MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
1	20	1.498	0.102	77.8	4.366	2.140	0.084	60	1800
	25	4.835	0.768	312.3	63.333	2.163	0.155	64	
	30	6.669	0.539	445.4	32.847	2.270	0.158	64	
2	20	2.518	1.149	191.7	11.377	2.006	0.132	59	1950
	25	2.612	0.211	166.4	13.592	2.031	0.077	60	
	30	2.684	2.104	305.2	5.798	2.161	0.088	62	
3	20	2.392	0.916	197.0	67.282	1.855	0.130	61	2100
	25	1.670	0.342	135.4	47.312	1.619	0.177	61	
	30	3.036	0.719	260.1	49.829	1.870	0.287	61	
4	20	2.103	0.558	196.7	54.320	1.595	0.180	59	2800
	25	1.341	0.537	131.9	60.253	1.395	0.215	58	
	30	2.431	0.302	275.9	58.477	1.625	0.123	59	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่ใช้โปรตีนจากแคลเซียม-คาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

สูตรที่	เวลา (นาที)	Tensile Strength (MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
1	20	1.709	0.231	85.4	13.111	2.189	0.318	63	2700
	25	6.575	0.564	401.7	60.033	1.712	0.140	64	
	30	8.320	0.450	610.1	14.248	1.669	0.218	64	
2	20	4.343	0.337	332.2	26.439	1.374	0.080	58	3800
	25	4.059	0.386	315.7	32.025	1.342	0.096	57	
	30	5.815	0.327	505.8	25.061	1.322	0.079	59	
3	20	2.099	0.608	199.4	53.688	1.029	0.097	55	4050
	25	1.387	0.060	144.9	7.587	1.025	0.028	56	
	30	2.974	1.549	464.3	21.708	1.002	0.060	63	
4	20	2.858	0.453	330.7	56.374	0.934	0.063	53	4000
	25	1.326	0.296	153.0	35.001	0.901	0.086	52	
	30	3.347	0.847	335.7	35.307	0.895	0.091	53	

ตารางที่ ค.5 สมบัติเชิงกลของเรซินพีวีซีที่ไม่ใส่สารตัวเติม

เวลา (นาที)	Tensile Strength (MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
20	6.718	0.044	423.8	25.904	1.774	0.223	64	2500
25	6.072	1.963	256.1	14.764	1.660	0.114	64	
30	6.378	0.943	361.6	18.129	1.605	0.138	64	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 สมบัติเชิงกลของการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของสูตรที่ดี (สูตรที่ 1)

ชนิดสาร ตัวเติม	เวลา (นาที)	Tensile Strength(MPa)	SD	% Elongation	SD	Modulus (MPa)	SD	Hardness	Viscosity (centipoise)
SOY PROTEIN	30	5.842	0.236	403.7	7.159	2.048	0.072	63	2800
	32	5.369	1.017	388.7	65.481	1.807	0.195	61	
	34	6.373	0.189	439.8	22.626	1.952	0.091	63	
	36	6.725	0.444	399.9	25.396	2.251	0.048	64	
WHEAT GLUTEN	30	6.142	0.481	452.4	30.230	2.315	0.094	63	1800
	32	5.643	0.396	485.2	55.529	1.343	0.214	60	
	34	7.218	0.465	543.4	40.424	1.631	0.150	62	
	36	6.843	0.655	510.8	20.275	1.469	0.315	63	
CaCO ₃	30	8.504	0.472	592.3	14.248	1.726	0.235	65	2900
	32	7.818	0.821	505.1	44.270	1.751	0.072	65	
	34	8.639	0.478	574.4	46.466	1.813	0.079	64	
	36	8.175	0.266	583.5	23.473	1.739	0.085	65	
ไมโครซิลิกา ตัวเติม	30	6.154	1.023	400.8	15.781	1.595	0.352	64	2250
	32	6.424	0.798	458.4	15.237	1.543	0.070	65	
	34	6.984	0.488	465.0	17.462	1.527	0.109	65	
	36	5.689	1.310	381.2	16.391	1.545	0.061	65	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของเรซินฟิวซีทีที่ผสม
สารตัวเติม SOY PROTEIN

สูตรที่	เวลา (นาที)	% การดูดซับน้ำ				
		2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	24 hr
1	20	0.5228	0.6612	0.3701	0.7423	1.4497
	25	0.2473	0.1847	0.2850	0.6132	0.8113
	30	0.3313	0.3023	0.1884	0.6547	0.9437
	32	1.0383	1.5173	1.4080	2.1379	3.1713
	34	0.1920	0.1678	0.1740	0.5281	0.8670
	36	0.1453	0.1707	0.1583	0.3810	0.7750
2	20	7.5471	7.8430	7.6472	10.4200	12.2714
	25	2.0497	1.9595	4.9990	4.3138	4.1897
	30	1.5047	1.4532	1.3660	3.0177	4.1743
3	20	19.7943	19.3083	19.4313	24.2050	27.1166
	25	12.5220	12.9664	13.1007	14.7851	19.3526
	30	11.6517	11.6340	11.1233	12.9079	16.8345
4	20	21.5143	22.8876	24.1347	25.3920	33.3095
	25	10.9623	15.5884	16.5273	17.1546	29.4759
	30	5.5210	5.9827	6.9102	9.0030	22.5836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ผลแสดงค่าปริมาณการดูดซับน้ำของเรซินฟิวซีที่ผสม
สารตัวเติม WHEAT GLUTEN

สูตรที่	เวลา (นาที)	% การดูดซับน้ำ				
		2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	24 hr
1	20	0.0310	0.1789	0.1161	0.3935	0.5904
	25	0.0678	0.2253	0.2222	0.5412	0.8130
	30	0.1037	0.1508	0.2465	0.6783	0.8011
	32	0.0920	0.2066	0.2471	0.4200	0.7519
	34	0.1217	0.3421	0.3722	0.7346	1.0413
	36	0.0730	0.1633	0.2184	0.3104	0.6925
2	20	0.1257	0.1703	0.2999	0.8526	1.1630
	25	0.0711	0.2355	0.3997	0.7546	1.0591
	30	0.3747	0.3939	0.3975	0.9114	1.1205
3	20	0.5458	0.7149	0.5612	0.6073	2.0020
	25	0.5613	0.7041	0.6348	1.4329	2.2750
	30	0.5467	0.5833	0.3776	0.5920	1.4498
4	20	0.4285	0.5960	0.5469	0.7344	2.1872
	25	0.9997	1.1761	1.1074	1.6960	3.5677
	30	0.3985	0.4532	0.3598	0.8514	1.7170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. B.Seymour, Additive in Introduction to Polymer Chemistry (Mcgraw-Hill Kogakusha), 254-255.
2. R.Gachter and H.Muller, Filler and Reinforcements in Plastics Additives Handbook, 2nd ed., 438.
3. ศ.ดร.มนตรี จุฬาวัดมนพ และคณะ. กรดอะมิโนและชีวโปรตีน ชีวเคมี., หน้า 107-115, 127-132. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2530.
4. สุันทนา ภิณูญาว์พันธ์. การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ชีวเคมี 1. พิมพ์ครั้งที่ 4, หน้า 103-104. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2530.
5. A.Gennadios ;T.H.Mchugh ;C.L.Weller and J.M.Krochta, Edible Coating and Films Based on Proteins in Edible Coating and Films to Improve Food Quality (J.M.Krochta ; E.A.Baldwin and M.O.Nisperos-Carriedo eds.), 202-262, 1994.
6. ทศนีย์ คำภูเวียง และนฤมล เปรมธีรวัฒน์ชัย. การศึกษาพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
7. Park and Hong. Encyclopedia of PVC second edition, Revised and expanded, volume 3, 1992.
8. ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
9. V.M.Ghorpade, A.Gennadios, M.A.Hanna, and C.L.Weller. Miscellaneous, 72(6), 559-563, 1995.
10. กัญญาวีร์ สุวรรณชัย, ภัทรภูมิ สุพรรณสมบุญรณ์ และสุภาณี ชนะวงศ์. พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอดิฟินส์ที่ใช้แล้วกับแป้งมันสำปะหลัง. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
11. ลักษณีย์ วงษ์กำภู และสาวิตรี พิเชษฐกิจจาวัดมน. การศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้โดยใช้สารตัวเติมธรรมชาติ. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
12. N.Tzankova Dintcheva, N.Jilov, and F.P.La Mantia , Recycling of Plastics from Packaging. *Polym.Degrad.and Stab.*, 57,191-203, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. D.Zchowska, D.Hlavata, R.Steller, W.Adamiak, and W.Meissner, Physical Structure of Polyolefin-starch Blends after Ageing. *Polym.Degrad and Stab.*, 64, 339-346, 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้