

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์ที่ใช้แล้วกับ
แป้งมันสำปะหลัง



นางสาวกัญญาวีร์ สุวรรณชัย
นายภัทรภูมิ สุพรรณสมบุรณ์
นางสาวสุภาณี ชนะวงศ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 37655
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

Polymer Blends of Recycle Polyolefins and Cassava Starch

Miss Khanyavee Suwannachai
Mr. Pattharaphum Supannasomboon
Miss Supanee Chanawong

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
1999

หัวข้อโครงการพิเศษ

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์ที่ใช้แล้วกับแป้งมัน
สำหรับ

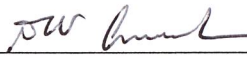
นักศึกษา

นางสาวกัญญาวีร์ สุวรรณชัย
นายภัทรภูมิ สุพรรณสมบูรณ์
นางสาวสุภาณี ชนะวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

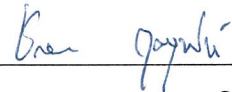
ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

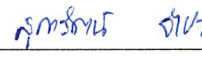

(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการโครงการพิเศษ


(ดร. ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์)

ประธานกรรมการ


(ดร. สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ


(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์ที่ใช้แล้วกับแป้งมันสำปะหลัง
ผู้ทำการวิจัย	นางสาวกัญญาวีร์ สุวรรณชัย นายภัทรภูมิ สุพรรณสมบูรณ์ นางสาวสุภาณี ชนะวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ(Biodegradable polymer) โดยนำแป้งมันสำปะหลังปริมาณต่างกันมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราส่วนเท่ากัน พอลิเมอร์ผสมที่ใช้จะนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง กรดสเตียริกและน้ำมันแร่ในเครื่องผสมแห่งที่มีความเร็วรอบในการผสม 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งอยู่แล้วไปผสมในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่มีอุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการผสม 10 นาที นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปฉีดขึ้นรูปในสถานะที่มีอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยาและการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีความแข็ง ความโค้งงอและดูดซึมน้ำได้มากขึ้น แต่อุณหภูมิการหลอมผลึก พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกมีแนวโน้มลดลง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมสามารถแทรกตัวได้ในวัฏภาคของพอลิเมอร์ ทำให้จุลินทรีย์ในธรรมชาติสามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากปริมาณขยะพลาสติกลงได้

Special Project Title Polymer Blends of Recycle Polyolefins and Cassava Starch
Name Miss Khanyavee Suwannachai
 Mr. Pattharapum Supannasomboon
 Miss Supanee Chanawong
Special Project Advisor Asst.Prof. Somsak Woramongkolchai
Department Chemistry
Academic Year 1999

Abstract

This research aims to study the biodegradable polymer by using different amount of cassava starch as an filler in the polymer blend between low density polyethylene, high density polyethylene and polypropylene at the same ratio. Polymer blends were mixed with cassava starch, stearic acid and mineral oil in intensive mixer with the speed of 2500 rpm for 2 minutes and then the mixed polymer blends was processed with two-roll mill at 185 °C for ten minutes. The polymer blends was shaped by injection molding with the optimum temperature and pressure. The mechanical , thermal, water absorption , morphology properties and decomposition by biological process were investigated.

It was found that polymer blends showed greater hardness , flexural , and water absorption , but melt crystallization temperature, crystallization temperature and heat of fusion were decreased. The morphology evidences indicated that the starch as a filler could well penetrate into polymer phase , and polymer blends was easy digestion by natural microorganism. This research should be the way to reduce the problem of wasted plastics.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์วรมงคลชัย อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษเป็นอย่างสูง
ที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและเอาใจใส่ดูแลการทำงานของผู้วิจัยจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วง
ไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ วิณา ชูโชติ อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้คำ
ปรึกษาในส่วนของกายวิภาคศาสตร์ของสัตว์ปีกของผู้วิจัยจนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วย
ดี

ขอขอบพระคุณ ดร. สุภรัตน์ จำปา และ ดร. ชลลดา ฤทธิวิทย์ อาจารย์คณะกรรมการ
รวมทั้ง อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง
ต่างๆ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่สถานปฏิบัติการโรงฝึกงานพอลิเมอร์ภาควิชา
เคมี และคุณชลอ ศรีคงแก้ว ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณภาควิชาเคมี ที่ได้ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้มาศึกษา ณ สถานที่แห่งนี้ ได้พบกับ
สิ่งดีต่างๆมากมายไม่มีวันลืม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่เคารพอย่างสูง ที่คอยเป็นกำลังใจและคอย
สนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอดขอบคุณพี่น้องๆและเพื่อนๆภาควิชาเคมีทุกคนสำหรับ
คำแนะนำและกำลังใจที่แสนดี

กัญญาวีร์ สุวรรณชัย

ภัทรภูมิ สุพรรณสมบูรณ์

สุภาณี ชนะวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 ที่มาของโครงการวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง	4
2.2 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง	4
2.3 คุณสมบัติของแป้งและการนำไปประยุกต์ในด้านต่างๆ	7
2.4 เสถียรภาพของพลาสติก	7
2.5 พอลิโอลิฟินส์	
2.5.1 พอลิเอทิลีน	13
2.5.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	14
2.5.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	15
2.5.4 พอลิพรอพิลีน	17
2.6 งานวิจัยที่ผ่านมา	19
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน	22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน	22
3.3 วิธีการทดลอง	23
3.4 การทดสอบ	25

บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	28
4.2 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	33
4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	34
4.4 การศึกษาสมบัติการไหล	35
4.5 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ	36
4.6 การศึกษาพื้นฐานวิทยา	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของอะไมโลส	5
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	6
รูปที่ 2.3 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	13
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่างๆ	13
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะ Unit Cell ของพอลิเอทิลีน	14
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างต่างๆ ทางเคมีของพอลิพรอพิลีน	17
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน	18
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของซินดีโอแทคติกพอลิพรอพิลีน	18
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน	18
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	28
รูปที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	29
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	30
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	31
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความยืดหยุ่นของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	32
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	33
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนืดของพอลิเมอรัสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม	35
รูปที่ 4.8 แสดงผลการย่อยสลายของพอลิเมอรัสมกับแบ่งเมื่อไม่ได้ใส่เชื้อแบคทีเรีย	37
รูปที่ 4.9 แสดงผลการย่อยสลายของพอลิเมอรัสมกับแบ่งเมื่อทำการใส่เชื้อแบคทีเรีย	37
รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1000 เท่าแสดงความสามารถในย่อยสลายของพอลิเมอรัสมกับแบ่งในอัตราส่วน 60:40 ที่ไม่ได้ใส่เชื้อแบคทีเรีย	38

- รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงความสามารถใน
ย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมกับแป้งในอัตราส่วน 60:40 ที่ใส่
เชื้อแบคทีเรีย 38
- รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 2000 เท่า แสดงการแตกของเม็ด
แป้งในพอลิเมอร์ผสมที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ 39
- รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า แสดงลักษณะพื้นที่ผิว
ของพอลิเมอร์ผสม 40
- รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า แสดงลักษณะของเม็ดแป้ง 40
- รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของ
พอลิเมอร์ผสมกับแป้งในอัตราส่วน 60:40 41
- รูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงความสามารถในการ
เข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมกับแป้งในอัตราส่วน 60:40 41

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีแป้ง เป็นสารตัวเติม	34
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็น สารตัวเติม	34
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม	36

ภาคผนวก

หน้า

แบบฟอร์มบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูป

45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

พลาสติก เป็นวัสดุที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ในชีวิตประจำวัน ได้มีการนำมาใช้ผลิตภาชนะ เครื่องใช้สอย บรรจุภัณฑ์ต่างๆ อุปกรณ์เครื่องเขียน และในทางอุตสาหกรรม ได้มีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้สามารถใช้แทนโลหะและไม้ ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมเครื่องจักร การใช้พลาสติกมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มตามปริมาณการใช้เช่นกัน

วิธีการบำบัดขยะพลาสติกเหล่านี้ มีหลายวิธีได้แก่⁶

1. การเผา เป็นวิธีการที่ง่ายไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่มีข้อเสียคือการปล่อยก๊าซพิษสู่บรรยากาศ
2. การฝังดิน มีข้อจำกัด คือขยะพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้ในดิน
3. การทำให้ขยะพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และทางแสง
4. การนำกลับมาใช้ใหม่

การนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการลดปริมาณขยะพลาสติก ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

1. Primary recycling เป็นการนำพลาสติกเสียในโรงงาน (Scrap) ที่เกิดจากส่วนที่เกินแม่พิมพ์กลับมาใช้ใหม่
2. Secondary recycling นำพลาสติกเสียที่ผ่านการใช้งานจากครัวเรือนกลับมาใช้ในรูปแบบใหม่
3. Tertiary recycling เป็นการให้ความร้อนแก่พลาสติก แล้วทำให้พลาสติกสลายตัว ทำให้ได้พลังงานออกมา แล้วนำไปใช้
4. Quaternary recycling นำพลาสติกไปเผาในที่ที่จำกัดปริมาณออกซิเจน (Incineration) เพื่อให้ได้พลังงานออกมา แล้วนำไปใช้

ปัจจุบัน วิธีการแก้ไขปัญหามลพิษจากขยะพลาสติกแนวทางหนึ่งที่ได้ผลดี คือการทำให้พลาสติกสามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม

1.2 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากประเทศไทย เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังแหล่งใหญ่ที่สุดในโลก มีการปลูกกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณของมันสำปะหลังมีเกินความต้องการ จึงมีการวิจัยเพื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์มากขึ้น ทั้งนี้เป็นการเพิ่มคุณค่าของแป้งมันสำปะหลัง และเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเมื่อนำไปผสมในพลาสติกแล้ว จะทำให้ขยะพลาสติกเหล่านี้สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ จึงเป็นการลดปริมาณขยะพลาสติกได้อีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงกระบวนการ การนำมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์ที่ใช้แล้วในรูปที่สามารถย่อยสลายได้บางส่วน
2. ศึกษาถึงสมบัติทางกล ทางการไหล ทางความร้อน ทางสัญญาณวิทยา การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม
3. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ ของพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของพอลิโอฟีนส์ และแป้งในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด และทำการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้พอลิเมอร์ผสม มีสมบัติที่ดี การผสมจะทำในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง จากนั้นทำการเติมสารเติมแต่ง และสารช่วยผสมช่วยให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น แล้วทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการไหล สัญญาณวิทยา สมบัติการดูดซับน้ำ และการย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. เตรียมพอลิเมอร์
 - พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เตรียมจากขวดน้ำชุ่น
 - พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้เม็ดพลาสติกจากบริษัท TPI
 - พอลิพรอพิลีน (PP) ใช้เม็ดพลาสติกจากบริษัท TPI
 - พอลิเมอร์ผสม เตรียมจากการนำ HDPE LDPE PP และสารช่วยผสม พอลิบอนด์ 3150 มาผสมกันโดยใช้ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
2. นำพอลิโอฟีนส์ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ผสมกับ น้ำมันแร่ และกรดสเดียริกผสมลงในเครื่องผสมด้วยความเร็วสูง เป็นเวลานาน 2 นาที

3. เติมแป้งมันสำปะหลังตามอัตราส่วน ลงในเครื่องผสมความเร็วสูง ทำการผสมในเครื่องผสมด้วยความเร็วสูง เป็นเวลานาน 2 นาที
4. ผสมพอลิเมอร์ผสมกับแป้ง โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
5. นำพอลิเมอร์ผสมไปบดตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก
6. นำพอลิเมอร์คอมพอสิตไปขึ้นรูปเป็นคัมเบลล์ และ ชิ้นงานที่มีรอยบาก ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก
7. ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ฐานฐานวิทยา การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์
8. สรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมให้สามารถนำไปใช้งานได้
2. สามารถทราบถึงปริมาณสารเติมแต่งที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ดี
3. ทราบถึงผลของปริมาณ แป้งมันสำปะหลัง ที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม
4. ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากขยะ
5. เพิ่มคุณค่าของมันสำปะหลัง ที่มีมากเกินความต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง¹

แป้ง (starch) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิดมีขนาดโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส จัดเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloid) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น

เม็ดแป้งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดหรือแหล่งของพืชมีทั้งแบบทรงกลม รูปไข่ และหลายเหลี่ยม แป้งมันสำปะหลังมีเม็ดแป้งที่มีลักษณะทรงกลมหรือกลมและปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัด เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5-35 ไมครอน

การผลิตแป้งมันสำปะหลัง ใช้วิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง คือ หัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงส่งเข้าเครื่องจักรในแต่ละชุดติดต่อกันไปเรื่อยๆ โดยในการผ่านเครื่องจักรแต่ละชุดวัตถุดิบก็จะถูกแปรสภาพไปเรื่อยๆ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการทำความสะอาดหัวมัน การสับและการไม่หัวมัน การแยกโปรตีนและพวกริโบสหรือเมือก การแยกกากมัน การแยกโปรตีน ขึ้นหลังการสลัดน้ำให้แห้ง และขั้นตอนสุดท้ายคือการเป่าให้แห้ง แล้วทำให้เย็นจากนั้นค่อยบรรจุใส่ถุง

สมบัติของแป้งสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ

1. starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก starch ออกมาได้

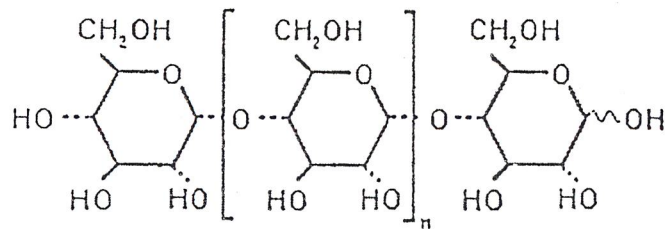
2. flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วยจึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก starch

2.2 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง²

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) หรือ หน่วยกลูโคไพราโนซิล (glucopyranosyl unit) ซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์เชื่อมโยงระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่ง กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคส เรียกว่าพันธะกลูโคไซด์ (glycoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์แบบควบแน่นขึ้น

ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิดคือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ เป็นโฮโมพอลิเมอร์คือมีกลูโคสเป็นโมโนเมอร์เหมือนกัน

อะไมโลส (amylose) กลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นเส้นตรง (linear polymer) ด้วยพันธะ แอลฟา-1,4 จำนวนประมาณ 200-2000 หน่วย โดยแบ่งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ 25 เปอร์เซ็นต์มีสูตรโครงสร้างดังนี้

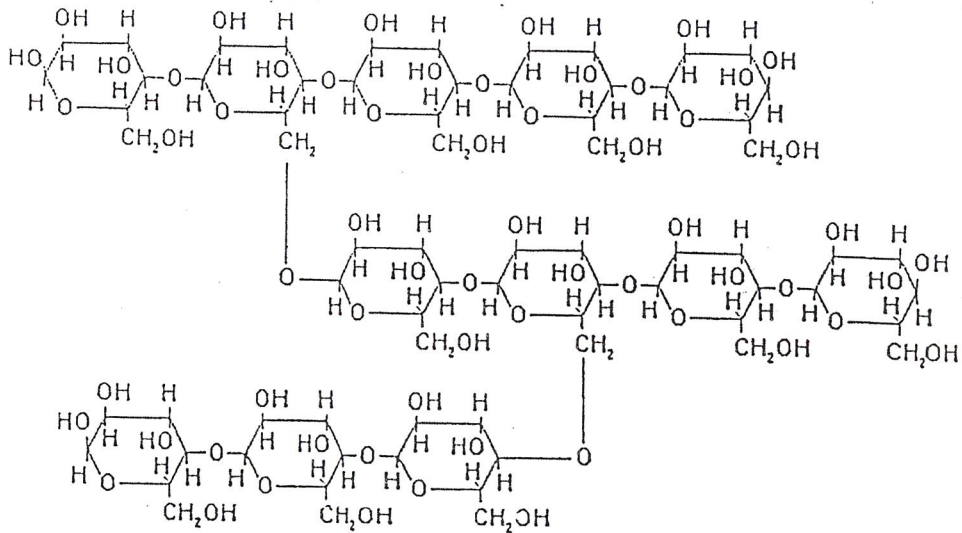


รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของอะไมโลส¹

อะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซีปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเพราะโมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีหมู่ไฮดรอกซีจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกันและใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างตาข่ายขึ้น ทำให้อะไมโลสมีสมบัติไฮโดรฟิลิก ลดน้อยลง และสารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

ในสารละลายเจือจาง จะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูงๆผลของความเกะกะ (steric hindrance) จะขัดขวางการรวมตัว แต่จะมีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนโดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรงเรียกปรากฏการณ์ยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส ว่า "รีโทรเกรเดชัน" (retrogradation)

อะไมโลเพกติน (amylopectin) กลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นโซ่แขนงที่ทุกๆ 20-30 หน่วยของพันธะแอลฟา-1,4 แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 แอลฟา-1,6 โดยโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพกติน คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ของแป้ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้ คือ



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน¹

จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลสและโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์สาขาทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการจัดเรียงตัวให้ใกล้กันของสายโซ่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส และมีความเสถียรของการเป็นเจล

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกตินและอะไมโลสอยู่ขนานติดกัน มีโอกาสที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงร่างผลึก (micellar crystallites) ซึ่งจะเป็นตัวยึดให้แป้งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบฟริงเจนซ์ (bifringence) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross)

ส่วนของแป้งที่เื้อ้อำนวยต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือ โครงสร้างที่เป็นสายตรง จุลินทรีย์ จะย่อยสลาย โดยใช้เอนไซม์เบตาอะไมเลสทำลาย เฉพาะพันธะแอลฟา 1,4 glycosidic linkage ไม่สามารถทำลายได้ ดังนั้นการย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลเพคติน ให้เป็นสายสั้นที่เรียกว่า เดกซ์ตริน (dextrin)

2.3 สมบัติของแป้ง³

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสม และใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างมากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น การที่สามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความข้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดเป็นฟิล์ม นอกจากนี้แป้งยังมีราคาถูก และหาได้ง่าย

การนำแป้งไปประยุกต์ในด้านต่างๆ⁴

แป้งสามารถใช้ผสมในพลาสติก เช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ โนโพรเม ยูรีเทนชนิดแข็ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนกับกรดอะคริลิก และพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูงเพื่อให้มีสมบัติในการสลายตัวทางชีวภาพ ได้มีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาใช้ในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของดิน ลดการชะล้างของสารอาหาร ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเมล็ดและเพิ่มผลผลิตของพืชผล ไม่เพียงแต่แป้งสามารถผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือเป็นสารเสริมแรงโดยแป้งจะทำปฏิกิริยากับไฮโซยานेटได้ ทำให้ราคาต่ำ ปรับปรุงความต้านทานต่อตัวทำลายและความแข็งแรง

2.4 เสถียรภาพของพลาสติก⁵

การที่พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เป็นเพราะข้อดีของพลาสติกข้อหนึ่ง คือ พลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน ไม่ผุกร่อนเหมือนโลหะ และด้วยข้อดีนี้เองที่ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป พลาสติกที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

- พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
- พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (aliphatic polyester) พอลิเอไมด์และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างของ

พอลิเมอร์ดังกล่าว เช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด (polyglycolic acid) และพอลิคาร์โพลิแลกโตน (polycaprolactone) เป็นต้น

2.4.1 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (biodegradable plastics)
2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (photodegradable plastics)
3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (biodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติกอันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น

การวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกประเภทนี้ สามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวทางใหญ่ๆ คือ

1.1 การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (modified natural polymer)

เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ มาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน พลาสติกชนิดนี้มีประโยชน์มากสามารถใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับยึดอวัยวะที่เป็นกระดูกในร่างกายนมนุษย์ ในกรณีที่กระดูกเกิดชำรุดหรือแตกหัก และเมื่อครบกำหนดพลาสติกดังกล่าวก็จะสลายตัวไปโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย สามารถใช้ทำเป็นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆ และใช้ทำขวด

1.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพจากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีการสังเคราะห์ที่เป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์เท่านั้น เช่น พอลิคาร์โพลิแลกโตน (polycaprolactone) เรียกย่อว่า พีซีแอล (PCL) และพอลิไกลคอลิกแอซิด (polyglycolic acid) เป็นต้น

1.3 การศึกษาการนำสารเติมแต่งเติมลงในพลาสติก เพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

วิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทำการศึกษากันมาก ได้แก่ แป้ง

การเติมแป้งเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่นจะทำให้พลาสติกประเภทนี้ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเฉพาะส่วนที่เป็นแป้ง ทำให้เหลือโครงสร้างของพลาสติกในรูปแบบ

โครงสร้างแบบรูพรุน (porous structure) ต่อมาก็กลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

การเติมแป้งผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท เช่น กรดไขมัน (fatty acid) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งตัว เช่น อัลคีนิล เอสเทอร์ (alkenyl ester) หรือไขมันธรรมชาติ (natural fats) พลาสติกชนิดนี้มีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก จุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแป้งจนหมดเหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ง่ายต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นที่สอง เกล็ดของโลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ด้วยตนเอง (autooxidation) สารเติมแต่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วยตนเอง เช่น กรดไขมันจะเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ หรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ขึ้นเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ และเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้ โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

นอกจากการนำแป้งมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกแล้ว ยังมีการศึกษาใช้สารตัวเติมอีกหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ และสามารถผสมเข้ากันได้กับพลาสติก เช่น การนำพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ของแป้งกับพอลิอะคริลาไมด์ หรือพอลิเมทิลเมทาอะคริเลท มาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง

เป็นพลาสติกสามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสงซึ่งพลาสติกชนิดนี้ จะมีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้โดนแสงอาทิตย์ พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสลายและค่อยๆ สลายตัวไป

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่นๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด ซึ่งจะยกตัวอย่างเพียงบางชนิดเท่านั้น เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในแต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (azoaromatic) และหมู่คีโต (keto group) ที่ไวต่อ

แสงในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (azo) จะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากการเลิกใช้งานแล้ว พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อมทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลายและเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป

2.4.2 การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ

การสลายตัวได้ในทางชีวภาพของพลาสติกมี 3 ลักษณะคือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่นๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุน และต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ต่อไป

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือ จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลคไทน์ และพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรทาคีเรท เป็นต้น

2.4.2.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมีและก่อให้เกิดรอยดำ

1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage) การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่น การกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์

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

3. การเกิดรอยดำ (Soiling) ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยดำดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ด้วยเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยดำดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่นแบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยดำดำของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหนังของแก้วโดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ

จากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาล

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

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

เบต้า-อะไมโลส เอนไซม์สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซ่ นันรีดิวซึ่ง

2.4.3 ข้อบกพร่องของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ¹

พลาสติกชนิดนี้มีข้อดีอยู่มากมาย แต่ก็มีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เพิ่มต้นทุนการผลิต

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ โดยการเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิตเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพมีราคาแพงขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อผู้บริโภค

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวเพียงบางส่วน

อาจก่อให้เกิดปัญหาเมื่อพลาสติกชนิดนี้ถูกทิ้งลงบนพื้นดิน และตามถนนหนทางต่าง ๆ ในที่สาธารณะเป็น ระยะเวลาานาน พลาสติกดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายขึ้นเป็นบางส่วน โดยการสลายตัวเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ พลาสติกดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นรูพรุนบ้าง และเป็นผงละเอียดบ้างทำให้เกิดเป็นภาพที่ไม่สวยงามต่อผู้พบเห็น และยากต่อการตามเก็บทำลายเป็นอย่างยิ่ง

2. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการสลายตัวของพลาสติก

การสลายตัวของพลาสติกโดยจุลินทรีย์ จะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารมัธยันต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ถึงแม้จะค่อนข้างแน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่จะให้ความมั่นใจได้อย่างไรว่า สารมัธยันต์ที่อยู่ในธรรมชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารอื่นที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงยิ่งกว่าพลาสติกที่ใช้โดยทั่วไป

4. ระยะเวลาในการสลายตัว

เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของพลาสติกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์พลาสติก ดังนั้นหากนำพลาสติกดังกล่าวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาหลายๆ จะทำให้การสลายตัวของพลาสติกใช้เวลายาวนาน

5. อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการทิ้งขยะกันอย่างมีระมัดระวัง

การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ อาจช่วยส่งผลให้ผู้บริโภคคิดอยู่เสมอว่าพลาสติกชนิดนี้สามารถสลายตัวได้ ดังนั้นจะทิ้งที่ใดก็ได้เหมือนกัน ก็จะทำให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะพลาสติกอาจจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

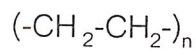
6. เป็นการลำบากที่จะทำการคัดแยกพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้กับพลาสติกที่ใช้ทั่วไปออกจากกัน เพราะกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกัน ดังนั้นการนำพลาสติกชนิดนี้มาใช้งาน จะต้องมีการทำเครื่องหมายให้เห็นได้อย่างเด่นชัดเพื่อความสะดวกในการคัดแยกพลาสติก และเพื่อเป็นการบอกให้ผู้บริโภคทราบว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดใดใช้พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

2.5 พอลิโอเลฟินส์ (polyolefins)

พอลิโอเลฟิน หมายถึง พอลิเมอร์ที่ได้จากอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่ 1 คู่ ใน 1 โมเลกุล ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน เป็นต้น

2.5.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene)⁶

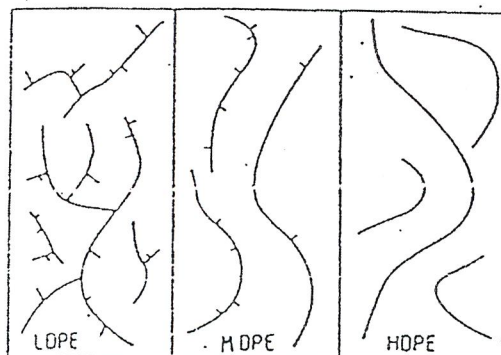
พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์พวกเทอร์โมพลาสติก ซึ่งสามารถหลอมเหลวแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน มอนอเมอร์ของเอทิลีน ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) พอลิเมอร์ชนิดนี้เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว (addition polymerization) โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน⁶

โดยสามารถแบ่งพอลิเอทิลีนได้เป็น 3 ประเภท

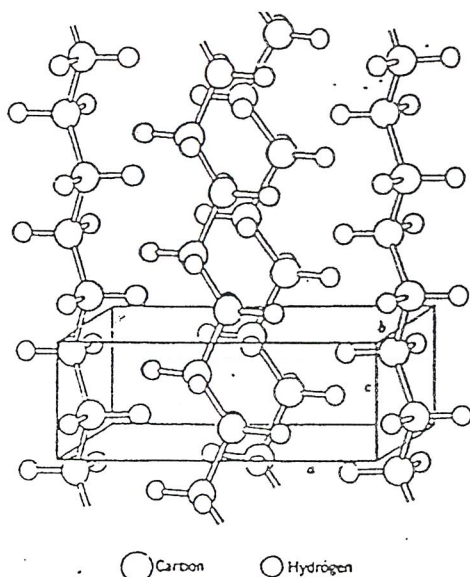
1. LDPE (Low-Density Polyethylene)
2. MDPE (Medium-Density Polyethylene)
3. HDPE (High-Density Polyethylene)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่างๆ

ปกติความแข็งแรงของพอลิเอทิลีนมาจากส่วนที่เป็นผลึก ความยืดหยุ่นและความยืดตัวมาจากส่วนที่เป็นอสัณฐาน ซึ่งมักจะพบทั้งส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึกจะอยู่รวมกันค่า T_g จะมีผลทางกายภาพน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่า T_m ซึ่งค่า T_m ของพอลิเอทิลีนมีค่า 108-130 °C

พอลิเอทิลีนมีรูปร่างโมเลกุลเป็นแบบ planar zigzag ทำให้มีการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลได้ดี เกิดเป็นส่วนที่เป็นระเบียบมากและอัดแน่น โดยส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเอทิลีนนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ unit cell ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบใน 3 มิติ และสามารถจัดแสดงโครงสร้างหลักได้ โดยที่ unit cell ในพอลิเอทิลีนเป็นแบบ orthorhombic unit cell มี $a = 0.74 \text{ nm}$ $b = 0.49 \text{ nm}$ $c = 0.25 \text{ nm}$ และ $\alpha = \beta = \gamma = 90$



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะ หน่วยเซลล์ ของพอลิเอทิลีน⁶

2.5.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)⁷

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขาโซ่ (branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ $-\text{CH}_2-$ ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียก พอลิเอทิลีนชนิดความดันสูงเพราะในกระบวนการผลิตต้องใช้ความดันสูงมาก พอลิเมอร์นี้มีการเตรียมครั้งแรกในปี ค.ศ. 1933 โดยเฟาเซตต์และยิบสัน (fawcett and gibson) ในประเทศอังกฤษ

2.5.2.1 การเตรียมวัตถุดิบหรือมอนอเมอร์

เอทิลีนมอนอเมอร์และโวนิลมอนอเมอร์อื่น ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เกือบทั้งหมดมาจากน้ำมันดิบ หรือปิโตรเลียม (petroleum) และ ก๊าซธรรมชาติ (natural gas) ซึ่งในน้ำมันดิบส่วนมากจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบอิมิตัว ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงนำเอาไฮโดรคาร์บอนแบบอิมิตัวมาผ่านกระบวนการ *การแตกสลายโมเลกุล (catalytic cracking)* เพื่อดึงเอาไฮโดรเจนออกมาเกิดความไม่อิมิตัวในโมเลกุล โดยใช้ตัวเร่งคือ ซิลิกาและอะลูมินา ที่อุณหภูมิ 450-550 องศาเซลเซียส

2.5.2.2 พอลิเมอไรเซชันที่ความดันสูง

เป็นการเตรียมพอลิเอทิลีนโดยใช้ความดันสูง 1000-3000 atm อุณหภูมิ 80-300 องศาเซลเซียสให้เกิดปฏิกิริยาเป็นแบบอนุกรมอิสระ

2.5.2.3 สมบัติและการนำไฟฟ้า

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนจะแตกต่างกันไปบ้างขึ้นกับปริมาณสาขาใช้ถ้าโมเลกุลมีสาขาใช้มาก พอลิเมอร์จะมีความเป็นผลึกต่ำ เพราะโอกาสที่อะตอมจะจัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบมีน้อยกว่า สมบัติทางกายภาพเช่นความหนาแน่น จุดหลอมตัว และความแข็งต่ำลงด้วย ความหนาแน่นต่ำนี้ทำให้การแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นต่อพอลิเมอร์สูง การเตรียมโดยใช้ความดันสูงจะมีความเป็นผลึกปานกลาง มีจุดหลอมเหลว (T_m) ประมาณ 115 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.91-0.94 g/cm³ ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรลิเนตไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน ไซลีน นอกจากนี้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก เชื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และสามารถทนกรดและเบสได้

2.5.2.4 การนำไปใช้งาน

เกือบครึ่งของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มักจะนำไปเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ทำถุงใส่ของพลาสติก ผ้ากันน้ำ และ ผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น

2.5.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ⁷

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรง เพราะมีโครงสร้างที่เป็นสาขาใช้น้อยมาก หรืออาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความดันต่ำ ซึ่งในการเตรียมใช้ความดันต่ำมากเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ มีการผลิตขึ้นในการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ.1955

2.5.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

ปฏิกิริยา *พอลิเมอไรเซชัน* ที่สำคัญได้แก่

กระบวนการซีเกอร์ (Ziegler process) กระบวนการนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของซีเกอร์-แนตตา (Ziegler – Natta catalyst) ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ ไททาเนียมเตตระคลอไรด์- อะลูมิเนียมอัลคิล ($TiCl_4-R_3Al$) ณ ความดันสูงกว่าบรรยากาศเพียงเล็กน้อย และอุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส ในตัวกลางเฉื่อยเช่น น้ำมันดีเซล เฮปเทน หรือโทลูอีน เนื่องจากพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวกลางที่เฉื่อย ดังนั้นเมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์แล้ว จะตกตะกอนออกมาหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสิ้นสุดลง ตัวเร่งซีเกอร์-แนตตาจะถูกทำลายโดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอลหรือโพรพานอล สารทั้งหมดที่เกิดขึ้นสามารถถูกกำจัดออกไปด้วยกรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ แล้วนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปเซนตริฟิว (centrifuge) แล้วทำให้แห้ง พอลิเมอร์ที่ได้แตกต่างจากพอลิเมอร์ที่เตรียมจากกระบวนการใช้ความดันสูง คือ มีสาขาไซ่ อยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การศึกษาโครงสร้างโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีพบว่า มีหมู่เอทิลเพียง 5-7 หมู่ต่อคาร์บอนอะตอม 1000 อะตอม และไม่ปรากฏสาขาไซ่ที่เป็นหมู่บิวทิล (C_4H_9)

กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process) กระบวนการนี้ใช้โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ที่มีตัวพุงเช่นซิลิกาหรืออะลูมินาเป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อยเช่นไซโคลเฮกเซนสภาวะของปฏิกิริยาอยู่ระหว่างกลางของ กระบวนการใช้ความดันสูงที่ใช้เตรียม พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและ กระบวนการซีเกอร์ ความดันที่ใช้ทั่วไป 30-40 บรรยากาศและอุณหภูมิ 90-160 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนที่ได้ มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์ การศึกษาโดยใช้อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ไม่ปรากฏหมู่เอทิลหรือบิวทิลเป็นสาขาไซ่และมีหมู่เมทิล (CH_3) เพียง 3 หมู่ต่อคาร์บอนอะตอม 1000 อะตอม

กระบวนการสแตนดาร์ด ออยล์ (Standard Oil process) กระบวนการนี้คล้ายกับ กระบวนการฟิลลิปส์มาก ตัวเร่งที่ใช้ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะเช่นโมลิบดินัมไตรออกไซด์ (MoO_3) บนตัวพุง อะลูมินา (Al_2O_3) หรือไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ความดัน 40-100 บรรยากาศ และอุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ที่ได้จะมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์คล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์

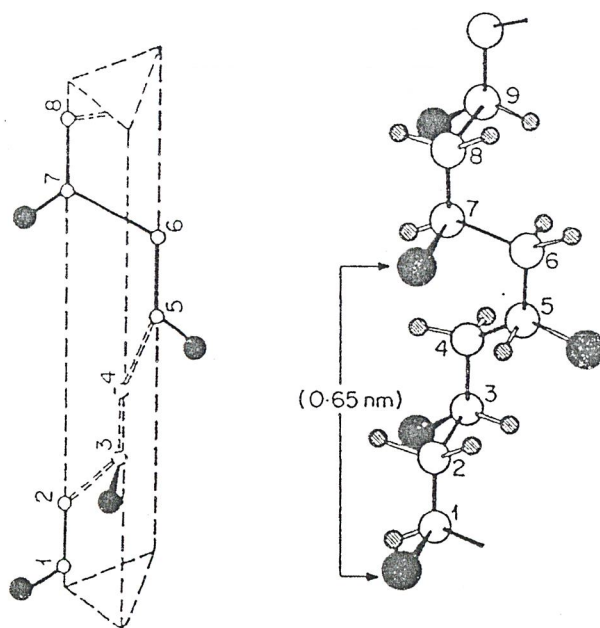
2.5.3.2 สมบัติและการนำไปใช้

เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ได้มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบตลอด ไซ่พอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมากจึงเป็นเหตุให้พอลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูง ความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวจะสูง

ด้วย โดยส่วนใหญ่มักจะนำพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงมาผลิตขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุอื่นๆ เช่น ภาชนะบรรจุกรดและเบส เคมีภัณฑ์ สารละลาย และยังมีบางส่วนที่เหลือใช้ทำเป็นฟิล์มเพื่อห่อหุ้มอาหาร

2.5.4 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ⁶

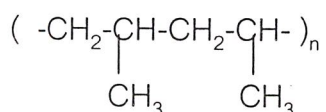
ในการเตรียมพอลิเมอร์ตัวอื่นขึ้นมาแทนพอลิเอทิลีน หรือพอลิโพลิฟินส์ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงได้มีการพัฒนาจนสามารถสังเคราะห์พอลิพรอพิลีนได้ในปี ค.ศ. 1954 แนพตาได้นำตัวเร่งที่ซีเกอร์ค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน โดยปรับปรุงรูปแบบของตัวเร่งและได้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไป ซึ่งมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและแข็งแรงกว่า โครงสร้างทางเคมีโดยส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล(Methyl group) เกาะบนโซ่หลักโมเลกุล (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน⁶

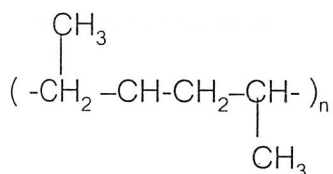
พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลทำให้การตกผลึกดีที่สุดสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ heterogenous ของ Titanium (III) chloride กับตัวเร่งร่วมกับสารประกอบ organoaluminium เช่น diethylaluminium chloride (รูปที่ 2.7)



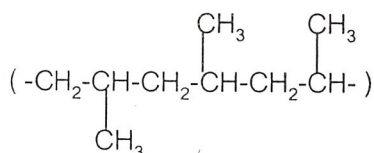
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน⁶

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลสลับกันบนโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบ ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง มีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน⁶

3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด สังเคราะห์จากกรดลิทมิส และสารประกอบ organometallic เกิดเป็นโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน⁶

2.5.4.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน

1. ความหนาแน่นประมาณ 0.9 กรัม/ลบ.ซม
2. มีน้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลาง 150-170 องศาเซลเซียส
3. ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
4. มีความทนทานกรดและเบส เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี
5. มีความเป็นผลึกสูงทำให้คุณสมบัติเชิงกลดี

2.5.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

1. อุปกรณ์ภายในบ้าน
2. ชิ้นส่วนต่างภายในรถยนต์
3. ใช้ในรูปเส้นใยหรือฟิล์ม

พอลิเมอร์หลักที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ พอลิโพลิฟินส์ (PO) เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและด้วยเหตุที่พลาสติกทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงได้มีการเลือกใช้สารผสมที่เหมาะสมกับระบบดังกล่าวช่วยในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ Polybond 3150 ซึ่งเป็น Maleic anhydride modified homopolymer polypropylene มีอัตราการหลอมเหลว เท่ากับ 50 กรัมต่อ 10 นาที มีความหนาแน่นที่ 23 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และจุดหลอมเหลวเท่ากับ 157 องศาเซลเซียส

2.6 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มี นักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาการนำผลิตภัณฑ์แบ่งที่ได้จากพีชธรรมชาติ มาผสมในวิธีต่างๆ

Mostafa, M.KH. และคณะ¹ ทำกราฟที่โคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก บนแบ่งโดยใช้ โฟแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวริเริ่ม พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของตัวริเริ่ม 0.1 นอร์มอล จะ

ให้เปอร์เซ็นต์กราฟท์สูงสุด โดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะคริลิก เป็น 200 เปอร์เซ็นต์โดยโมลของแป้ง ใช้เวลา 180 นาที และทำที่ 60 องศาเซลเซียส

Famta, G.F. และคณะ¹ ทำการเตรียมแป้งกราฟท์พอลิสไตรีน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้ง สไตรีน น้ำ และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็น 100:50:25:1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่า กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้มีความเปราะ และมีเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดต่ำ

Jian – Ping Gao , Ru – Chuan Tian และคณะ⁸ ทำกราฟท์เมทิลเมทาอะคริเลทกับแป้งที่สกัดได้จากต้นพุทธรักษา โดยใช้แมงกานีสไพโรฟอสเฟตเป็นตัวริเริ่ม ในการทดลองจะศึกษาเปอร์เซ็นต์ของกราฟท์ ประสิทธิภาพของกราฟท์และอัตราการกราฟท์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารริเริ่มเป็น 3.0×10^{-3} mol/l จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกราฟท์ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นจนมากกว่า 3.0×10^{-3} จะทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟท์ต่ำลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจนถึง 0.3 mol/l จะทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟท์สูงสุด แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของแป้งขึ้นอีกจะทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟท์ลดลงและนอกจากความเข้มข้นจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟท์และอัตราการกราฟท์แล้วอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองยังมีผลต่อค่าที่ศึกษา คือ เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิการทดลองจาก 20 เป็น 50 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพการกราฟท์ อัตราการกราฟท์ และเปอร์เซ็นต์การกราฟท์มีค่ามากขึ้น

กาญจนกร เกศางาม และวิมลมาศ เมืองแก่น¹ ทำการศึกษาถึงเทคนิคกระบวนการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์สไตรีนและบิวทิลอะคริเลต ใช้โพแทสเซียมซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ในการทำปฏิกิริยาใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณความชื้น และการดูดซับน้ำ มีค่าสูงขึ้น สมบัติทางความร้อนได้แก่ อุณหภูมิเสียรูป มีค่าลดลง สมบัติทางกล ได้แก่ ค่ามอดูลัส ความแข็งหักงอ และค่าความแข็งหักงอ และค่าความแข็งมีค่าลดลง

N.Tzankova Dintcheva และคณะ⁸ ทำการทดลองนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำชนิดเส้น พบว่าคุณสมบัติเชิงกลและการไหลของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการและเครื่องมือ โดยกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงและเวลาที่อยู่ในเครื่องมือนาน จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดและความสามารถในการไหลลดลง แต่เมื่อเติมสารตัวเติมเช่น สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารตัวเติมที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาและสารปรับปรุงการกระแทก จะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

D.Zuchowska, D.Hlavatac และคณะ⁹ ทำการทดลองนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหรือพอลิพรอพิลีนมาผสมกับแป้งในอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก นำพอลิเมอร์ผสมมาทดสอบฝังดิน 4 เดือนและจากนั้นนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% โดยน้ำหนักนาน 5 วัน พบว่าแป้งในพอลิเมอร์ผสมสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในดิน สมบัติเชิงกลลดลงและน้ำหนักลดลง

R.Chandra and Renu Rustgi¹⁰ ทำการทดลองนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกราฟท์กับมาเลอิกแอนไฮไดร่า (MA-g-LLPE) มาผสมกับแป้งข้าวโพดในอัตรา 10-60% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจะลดลง การดูดซับน้ำมากขึ้น ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เมื่อปริมาณแป้งที่ใช้เต็มปริมาณมากขึ้น

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. ขวดน้ำขุน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) บริษัท TPI
2. เม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) บริษัท TPI
3. เม็ดพลาสติก พอลิพรอพิลีน (PP) บริษัท TPI
4. แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร
5. กรดสเตียริก Intra Enterprise Ltd. Part.
6. น้ำมันแร่ บริษัท ICI เกรดอุตสาหกรรม
7. สารช่วยผสม พอลิบอนด์ 3150 (PP-g-MA) บริษัท Uniroyal TOA

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mills ; LAB TECH ENGINEERING COMPANY LTD.)
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder ; Axon ab. Plasma skiner)
3. เครื่องผสมแห่งความเร็วสูง (High speed mixer ; LAB TECH ENGINEERING COMPANY LTD.)
4. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) " Cosmo " รุ่น TTI 220/80: บริษัท ประทานเจริญ จำกัด
5. เครื่องตัดชิ้นงาน CEAST6052
6. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม WINDAP: LLOYD INSTRUMENTS LTD.
7. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC): Shimadzu Co., LTD.
8. เครื่องทดสอบสมบัติการไหล (Capillary rheometer ; บริษัท ROSAND)
9. เครื่องทดสอบการกระแทก (Izod impact tester, Yasuda รุ่น 7697 Yasuda Seiki Seisakusho)
10. เครื่องวัดความแข็ง แบบชอว์ดี (Hardness tester, shore D, Yasuda รุ่น 7689 ; Matsuzawa DXT)

11. เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น SEM JSM-6400 Scanning Microscopy: ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. ชุดเครื่องแก้ว เช่น ขวดวัดปริมาตร ปีกเกอร์ ปิเปต แท่งแก้วคนสาร หลอดทดลอง จานเพาะเลี้ยงเชื้อ

12. ถาดอะลูมิเนียม

13. ตู้อบแบบร้อนยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UM400

14. เครื่องชั่ง

15. ไมโครมิเตอร์

16. เวอร์เนีย

17. หม้อความดัน (Autoclave ; HARIYAMA MANUFACTURI CORPORATION)

18. ตู้ป่มเชื้อ (Incubater ; บริษัท memmert)

3.3 วิธีการทดลอง

1. การเตรียม HDPE

1.1 นำขวดน้ำชุ่น มาตัดฉลากออก

1.2 ล้างด้วยน้ำที่มีสารซักล้าง แล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำ

1.3 ตากให้แห้ง

1.4 เข้าเครื่องบดตัดพลาสติก

2. การเตรียม พอลิเมอร์ผสม

2.1 ชั่ง HPDE LDPE และ PP ในอัตราส่วน 1:1:1

2.2 นำ HDPE LDPE และ PP มาผสมกับสารช่วยผสมพอลิบอนด์ 3150 แล้วนำเข้าเครื่อง อัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้สภาวะดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม ตั้งแต่โซน 1-4 คือ 140,150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส

- ความเร็วรอบในการผสม 80 รอบ/นาที

2.3 นำพลาสติกที่ผ่านการผสม แล้วเข้าเครื่องตัดเป็นเม็ดพลาสติก

3. การเตรียมแป้งผสมพอลิโอฟีนส์

3.1 ชั่งแป้งมันสำปะหลัง ให้มีน้ำหนักตามอัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1

3.2 เติมพอลิโอฟีนส์ น้ำมันแร่ และกรดสเตียริก ตามอัตราส่วนลงในเครื่องผสม

ความเร็วสูง ทำการผสมในเครื่องผสมด้วยความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที

3.3 เติมแป้งมันสำปะหลังตามอัตราส่วน ลงในเครื่องผสมความเร็วสูง ทำการผสมในเครื่องผสมด้วยความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที

3.4 ผสมพอลิโอดีฟินส์ที่ผสมด้วยแป้งแล้วโดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

3.5 เปิดเครื่อง two-rolls mill แล้ว ตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 185 องศาเซลเซียส และลูกกลิ้งหลัง 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.5.1 นำพอลิเมอร์ผสม ที่ผสมแป้งแล้วจากข้อ 3.3 มาผสมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 10 นาที

3.5.2 นำพอลิเมอร์ผสม เข้าเครื่องบดตัดพอลิเมอร์ ให้มีขนาดเล็ก ๆ

4. การฉีดขึ้นรูป

4.1 นำพอลิเมอร์ ผสมจากข้อ 3.5 มาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกในแม่พิมพ์รูปดัมเบลล์ และ รูปชิ้นงานที่มีรอยบาก

4.2 ปรับอุณหภูมิ และความดัน ที่เหมาะสมกับการฉีด โดยสภาวะที่ใช้แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของพอลิโอดีฟินส์ แป้ง กรดสเตียริก และน้ำมันแร่

พอลิโอดีฟินส์	แป้งมันสำปะหลัง	กรดสเตียริก	น้ำมันแร่
100	0	2	5
90	10	2	5
85	15	2	5
80	20	2	5
75	25	2	5
70	30	2	5
65	35	2	5
60	40	2	5
55	45	2	5
50	50	2	5

3.4 การทดสอบ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

1. สมบัติของแรงดึง (Tensile Properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลและโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 638 เตรียมชิ้นงานในการฉีดยีนรูป ใช้ชิ้นงาน 6 ชิ้นมาทดสอบ สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ

Load cell	30	กิโลนิวตัน
Test speed	50	มิลลิเมตรต่อนาที
Grammage	1.0	กรัมต่อตารางเมตร
Cell class	0.5	
Guage length	80	มิลลิเมตร

2. ความแข็งแรงกระแทก

ทำการทดสอบใช้เครื่อง Yazuda 199311 ตาม ASTM D 256 Method a (Izod type) เตรียมชิ้นงาน ที่มีรอยบาก โดยวิธีการฉีดยีนรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น

3. สมบัติความโค้งงอ (Flexural Properties)

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลและโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 790 เตรียมชิ้นงานในรูปดัมเบลล์ จำนวน 6 ชิ้น สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ

Load cell	30	กิโลนิวตัน
Test speed	20	มิลลิเมตรต่อนาที
Grammage	1.0	กรัมต่อตารางเมตร
Cell class	0.5	
Span	50	มิลลิเมตร
Guage length	80	มิลลิเมตร

4. ค่าความแข็ง (Handness)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Handness Tester) แบบซอร์ D ตามมาตรฐาน ASTM D785 ทดสอบ 3 ครั้ง ต่อหนึ่งตัวอย่าง

3.4.2 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorption)

1. นำชิ้นงานขนาด กว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 3.1 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนัก ก่อนการดูดซับน้ำ
2. นำชิ้นงานมาแช่ใน ที่อุณหภูมิห้อง
3. หลังจากนั้น 1 วัน นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับ เช่นนี้ทุกวันเป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันไป
4. หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับทุกๆ 5 วัน จนครบ 1 เดือน
6. นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\% \text{ absorption} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \right)$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

Differential scanning calorimeter (DSC)

นำพลาสติกใส่ pan จำนวน 5-10 mg ทราบปริมาณสารที่แน่นอน ให้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ศึกษาอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหา Heat of crystallization (ΔH_c) และ Heat of melting (ΔH_m) ต่อน้ำหนักสารตัวอย่างดังนี้

$$\Delta H = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}}$$

3.4.4 สมบัติการไหล

ใช้เครื่อง capillary rheometer ทดสอบโดยใช้หัวดายน์ที่มีความยาว 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

3.4.5 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

1. นำตัวอย่างดิน 1 กรัม มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อให้มีความเข้มข้น 1×10^{-4} และ 1×10^{-5} กรัมต่อมิลลิลิตร
2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ลิตร ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- yeast extract	250	มิลลิกรัม
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10	มิลลิกรัม
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200	มิลลิกรัม
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1000	มิลลิกรัม
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	20	มิลลิกรัม
- NaCl	100	มิลลิกรัม
- $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5	มิลลิกรัม
- Na_2WO_4	0.5	มิลลิกรัม
- MgSO_4	0.5	มิลลิกรัม
3. นำตัวอย่างดินที่เจือจางด้วยน้ำแล้วมาเกลี่ยให้ทั่วทั้งจานอาหารเลี้ยงเชื้อ
4. นำชิ้นงานที่ตัดขนาด กว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 0.2 เซนติเมตรล้างให้สะอาดอบให้แห้ง นำไป Autoclave ไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
5. สังเกตผลทุกๆ 2 วันเป็นเวลาครบ 2 สัปดาห์หรือจนกว่าจะไม่พบจุลินทรีย์ที่เจริญขึ้นมาใหม่บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.4.6 สัณฐานวิทยา (Morphology)

Scanning Electron Microscope (SEM)

ทำการศึกษาโดยใช้ SEM JSM-6400 ศึกษาจากภาพตัดขวางลักษณะของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักโดยการกระแทก เตรียมตัวอย่างโดยนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการแตกหักมาเคลือบด้วยทองคำ

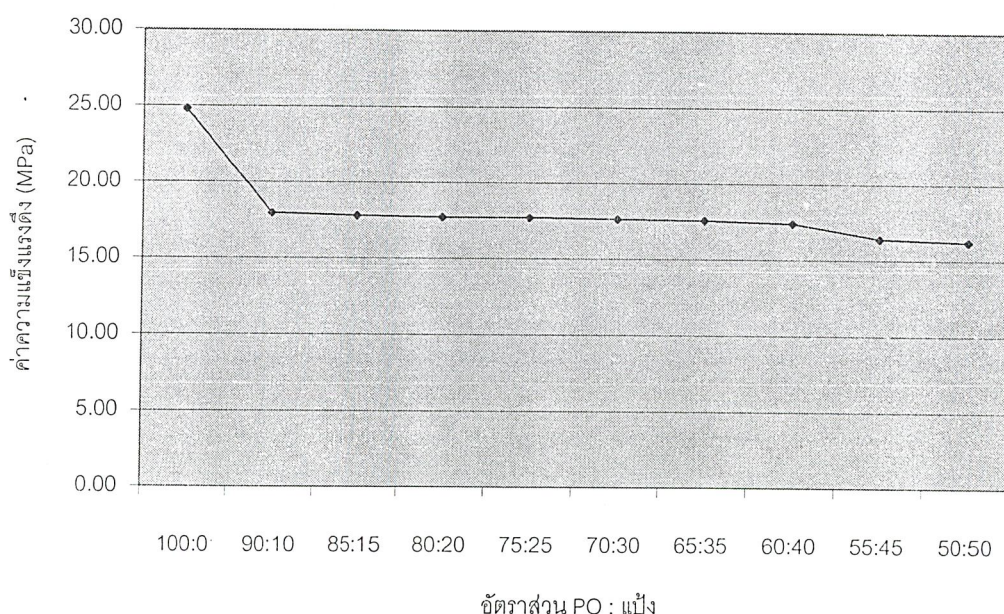
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

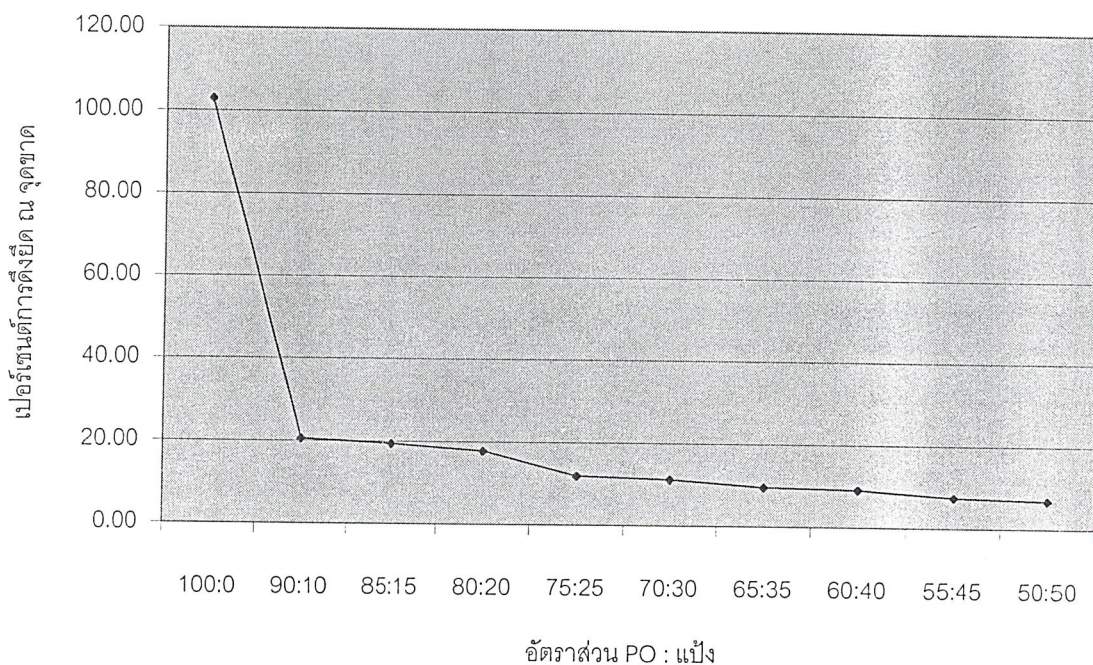
จากรูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมจะลดลงเมื่อปริมาณ ของแป้งที่ใช้ ผสมมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคแป้งจะเข้าไปแทรกในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ภูมิภาค คือ ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์กับส่วนที่เป็นแป้ง เมื่อมีการให้แรงกับพอลิเมอร์ผสมส่วนที่เป็นพอลิเมอร์จะทำหน้าที่รับแรงแต่แป้งเป็นแค่สารเพิ่มเนื้อไม่สามารถรับแรงได้ดังนั้นปริมาณแป้งมากขึ้นความสามารถในการรับแรงของพอลิเมอร์ผสมจะลดลง



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม

2. การยืดออก ณ จุดขาด (% Elongation at Break)

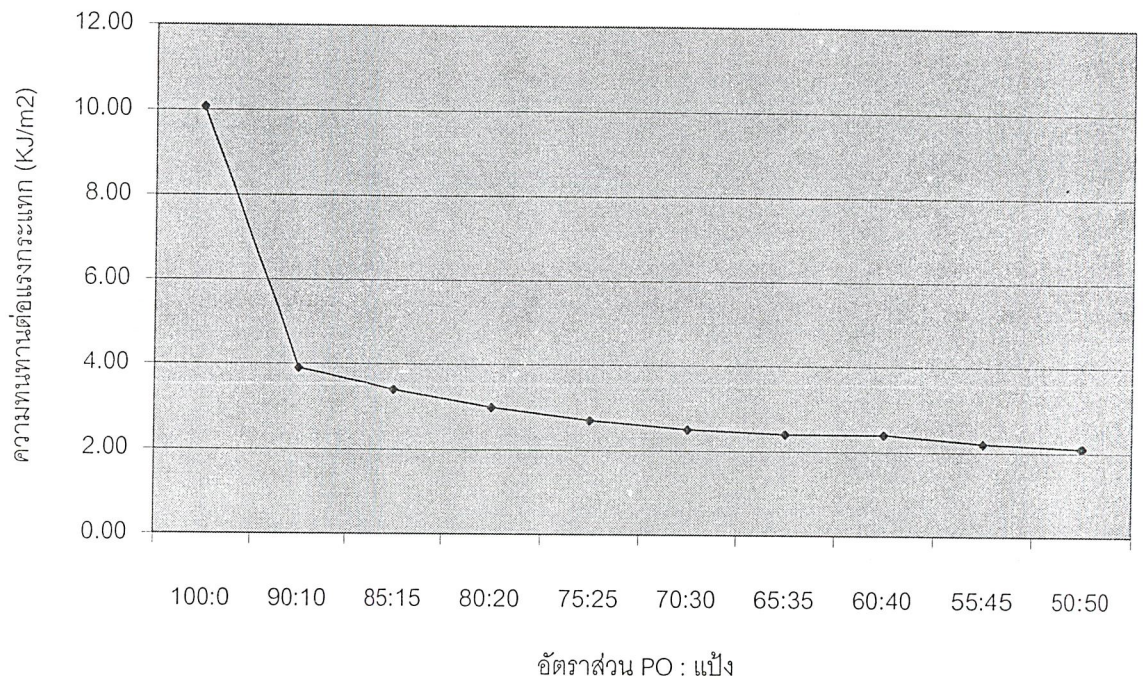
จากรูปที่ 4.2 ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณแป้งที่ใช้ผสมมีมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของแป้งจะขัดขวางการเกี่ยวพันของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นลดลง เมื่อให้แรงดึงพอลิเมอร์ผสมจะยืดออกได้น้อยลง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงจึงมีค่าลดลง



รูปที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แป้งเป็นสารตัวเติม

3. ค่าความแข็งแรงกระแทก (Izod Impact)

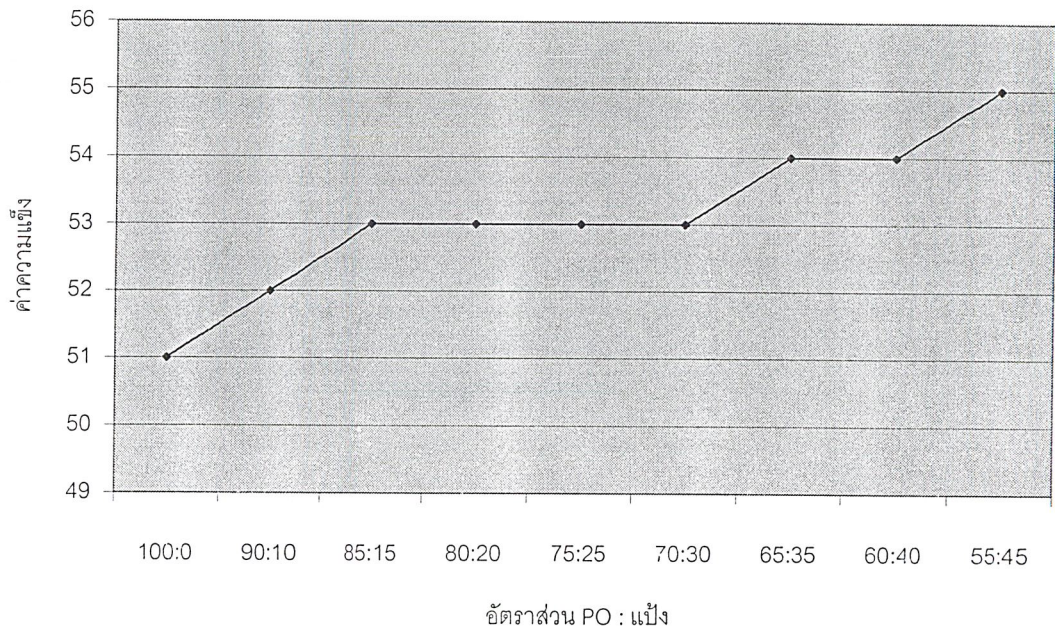
จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่แบ่งเป็นสารตัวเติมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณแบ่งที่ใช้เติมมากขึ้น เนื่องจากแบ่งจะทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมแข็งเปราะมากขึ้นและทำให้การเกี่ยวพันของสายโซ่ลดลง เมื่อได้รับแรงกระแทกสายโซ่พอลิเมอร์จะส่งผ่านแรงตึงกันได้น้อยลง เกิดการแตกหักได้ง่าย ดังนั้นเมื่อปริมาณแบ่งเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจึงมีค่าลดลง



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม

4. ความแข็ง (Hardness)

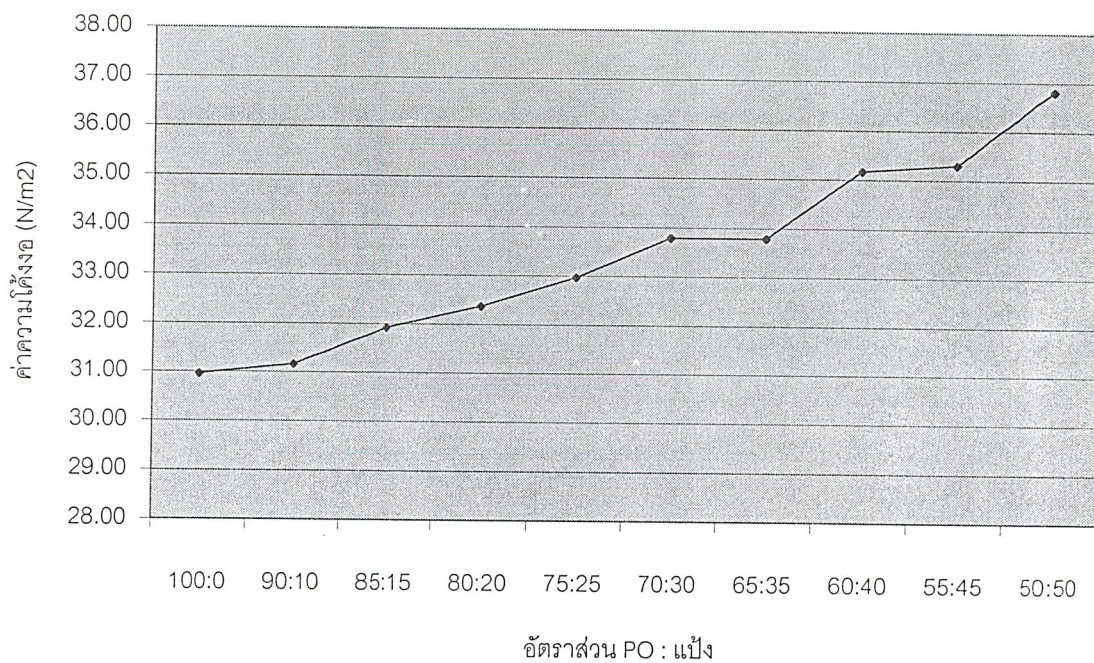
จากรูปที่ 4.4 ค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแป้งที่ใช้เติมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการตกผลึกได้มากขึ้น ผลึกที่ได้มีขนาดเล็กและปริมาณมาก ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักที่กดทับที่ผิวของชิ้นงานได้มากขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่าความแข็งจึงมากขึ้น



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่แป้งเป็นสารตัวเติม

5. ค่าความโค้งงอ (Flexural)

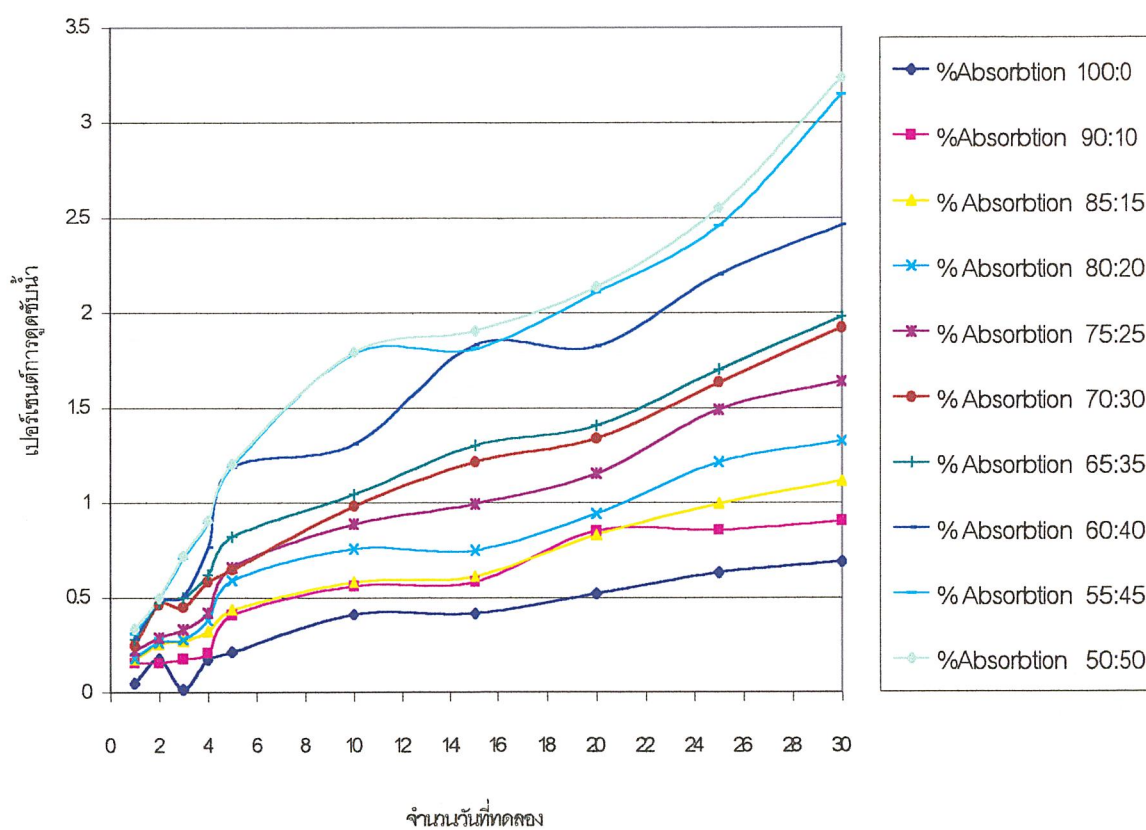
จากรูปที่ 4.5 ค่าความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งที่ใช้เติมมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากแป้งทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งมากขึ้น ในการทดสอบการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมจึงใช้แรงเพิ่มขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานโค้งงอ



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม

4.2 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

จากรูปที่ 4.6 พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้ง เป็นสารตัวเติมสามารถดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งที่ใช้ผสมมากขึ้น เนื่องจากแป้งเป็นเซลลูโลสที่มีโครงสร้างของอะไมโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีสามารถดูดซับน้ำได้ ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งมากขึ้น พอลิเมอร์ผสมจะสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น



รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม

4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย DSC

จากการพิจารณาค่าอุณหภูมิการหลอมผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และพลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของพอลิเมอร์โบลนด์ที่ใช้แบ่งเป็นสารตัวเติม พบว่ามีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมแบ่ง เนื่องจากทั้งแบ่งและพอลิเมอร์ในพอลิเมอร์ผสมจะรบกวนระบบการตกผลึกซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นค่าอุณหภูมิการหลอมผลึกและค่าพลังงานในการหลอมผลึกจะลดลง

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม

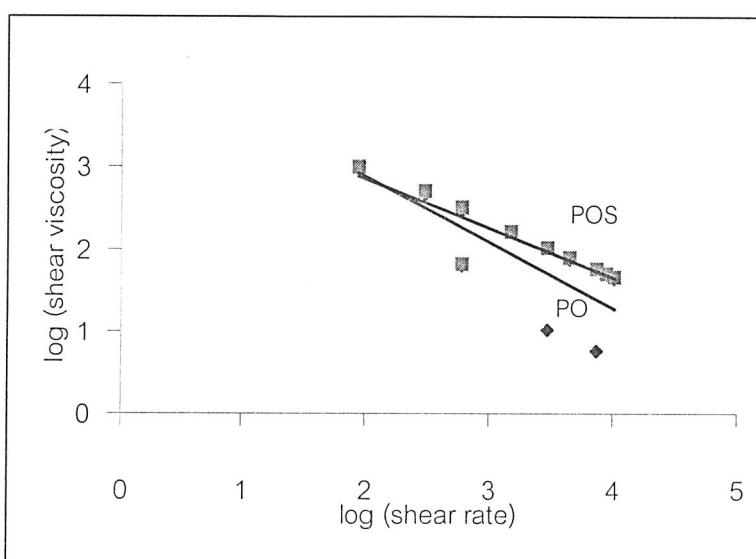
สมบัติต่างๆ	LDPE	HDPE	PP
อุณหภูมิการหลอมเหลว (Tm)	121.6	149.1	176
ความร้อนในการหลอมผลึก	-14.5	-123.4	-35.7

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม

สมบัติต่างๆ	LDPE	HDPE	PP
อุณหภูมิการหลอมเหลว (Tm)	111.9	137.3	170
ความร้อนในการหลอมผลึก	-2.2	-109.5	-32

4.4 การศึกษาสมบัติการไหล

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แป้งเป็นสารตัวเติมพบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้นมากกว่า พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมแป้ง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของแป้งจะทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น เกิดความหนืดมาก



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แป้งเป็นสารตัวเติม

4.5 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

เนื่องจากแป้งสามารถย่อยสลายได้ในกระบวนการธรรมชาติ จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมสามารถย่อยสลายได้มากกว่าโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน และจากการทดลองดินใกล้กับกองขยะที่มีความชื้นสูงและบริเวณที่สัมผัสกับอุณหภูมิสูงจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการย่อยสลาย

ชนิดและ ความเข้มข้นของดิน	วันที่ 6		วันที่ 8		วันที่ 10		วันที่ 12		วันที่ 14		วันที่ 16		วันที่ 18	
	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}
1	+	+	+	+	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
2	+	+	+	+	++	++	+++	++	++	++	++	++	++	++
3	0	0	0	0	+	0	+	0	+	+	+	+	+	+
4	0	0	0	0	+	+	++	++	++	++	++	+++	+++	+++
5	0	0	0	0	+	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

หมายเหตุ

- 0 = ไม่มีเชื้อราขึ้นเลย
 + = มีเชื้อราขึ้นน้อย
 ++ = มีเชื้อราขึ้นปานกลาง
 +++ = มีเชื้อราขึ้นมาก

ดินชนิดที่ 1 นำมาจากท้องร่องคณะเกษตร

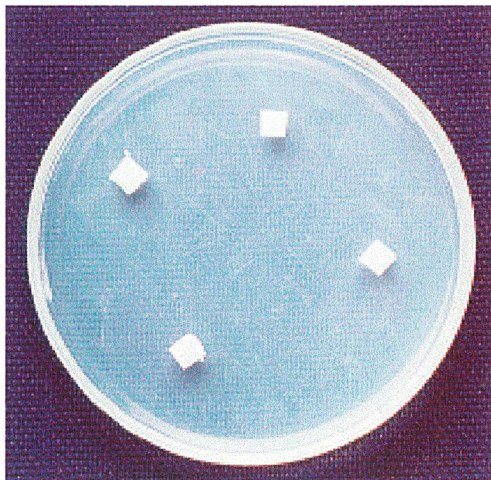
ดินชนิดที่ 2 นำมาจากกองขยะข้างโรงอาหารคณะเกษตร

ดินชนิดที่ 3 นำมาจากข้าง shop พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

ดินชนิดที่ 4 นำมาจากสระน้ำหลังโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

ดินชนิดที่ 5 นำมาจากกองขยะข้างถนน จังหวัดสมุทรปราการ

จากรูป 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงบนพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติม ทำให้เกิดเชื้อราขึ้นที่ชิ้นงานดังรูป

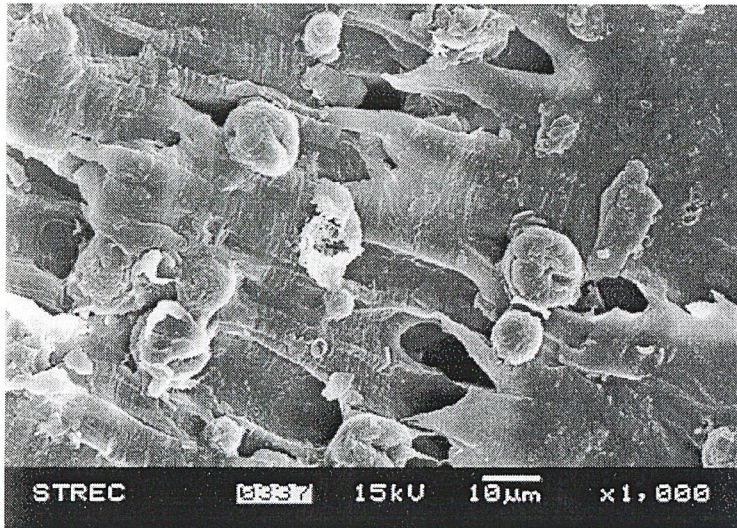


รูปที่ 4.8 แสดงผลการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมกับแบ่งในอัตราส่วน 60 : 40 เมื่อไม่ได้ใส่เชื้อแบคทีเรีย

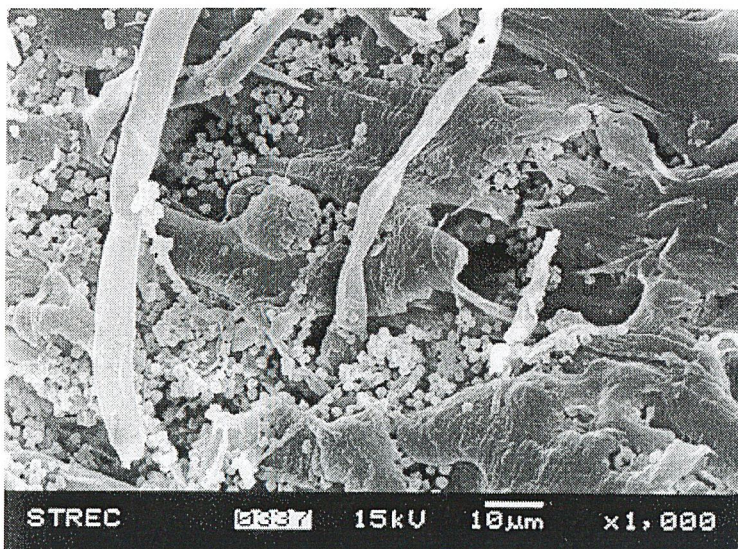


รูปที่ 4.9 แสดงผลการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมกับแบ่งในอัตราส่วน 60:40 เมื่อมีการใส่เชื้อแบคทีเรีย

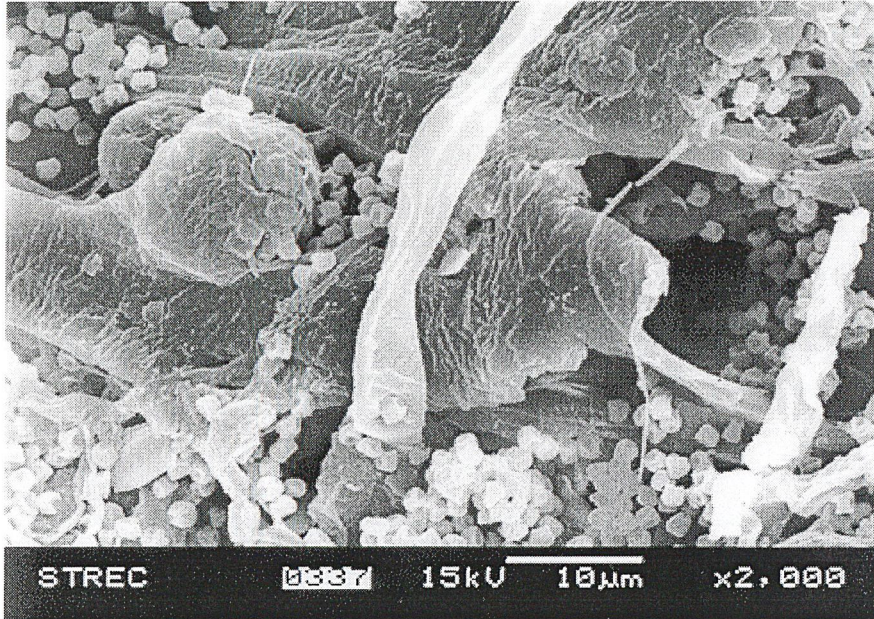
จากรูป ที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าลักษณะพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติมเมื่อไม่ได้ใส่เชื้อจุลินทรีย์ เม็ดแบ่งจะมีรูปร่างทรงกลมแต่เมื่อเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปเม็ดแบ่งจะถูกละลาย ทำให้เม็ดแบ่งเกิดการแตกออกกลายเป็นผงเล็กๆ



รูปที่ 4.10 ภาพ SEM กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติมเมื่อไม่ได้ใส่เชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4.11 ภาพ SEM กำลังขยาย 1000 เท่าแสดงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่งเป็นสารตัวเติมเมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

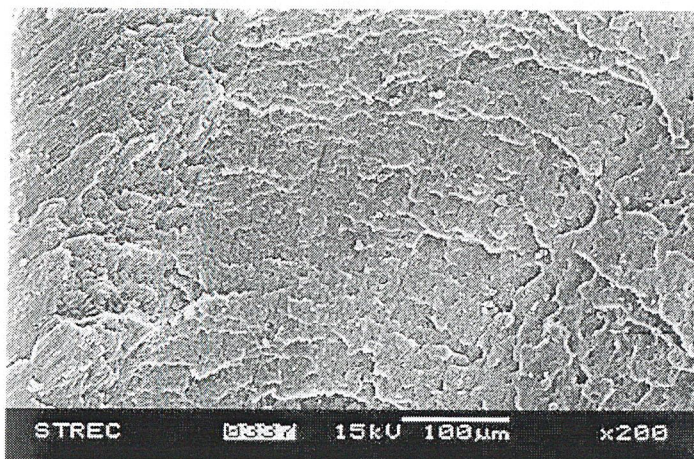


รูปที่ 4.12 ภาพ SEM กำลังขยาย 2000 เท่าแสดงการแตกของเม็ดแป้ง
ในพอลิเมอร์ผสมเมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

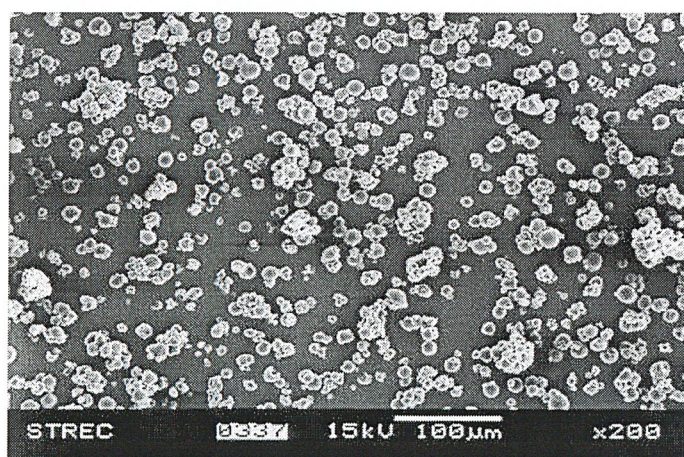
4.6 การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิโอดิฟีนส์และลักษณะพื้นผิวของเม็ดแป้ง จะเห็นว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมแป้งจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเม็ดแป้งมีรูปร่างเป็นทรงกลม

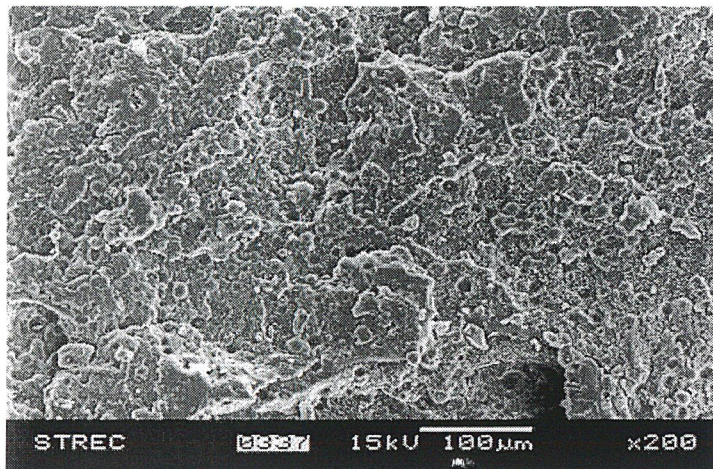


รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่าแสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม

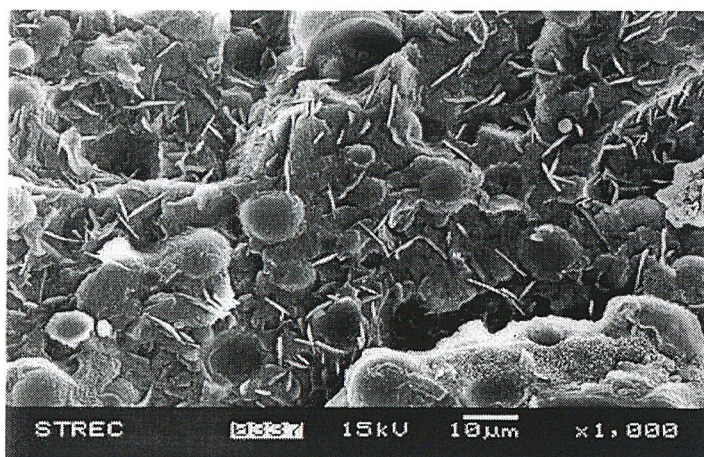


รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่าแสดงลักษณะของเม็ดแป้ง

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เป็นลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมพบว่า แป้งจะกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสมแต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวแสดงถึงความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสมกับแป้ง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูงไม่เกิดพันธะกับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว



รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า แสดงลักษณะของพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แป้งเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 40% ของน้ำหนักรวม



รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงความไม่สามารถเข้ากันได้ของวัฏภาคทั้งสอง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการทำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน โดยใช้แป้งเป็นสารตัวเติมพร้อมทั้งเติมพอลิ บอนด์ 3150 (PP-g-MA) เพื่อให้แป้งสามารถผสมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นนำ พอลิเมอร์ผสมไปทำการศึกษสมบัติเชิงกล สมบัติความร้อน สมบัติการไหล การดูดซับน้ำ สัณฐานวิทยา และการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากการทดสอบสมบัติต่างๆสามารถสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 40% จะมีแนวโน้มสมบัติต่างๆดี กล่าวคือพอลิเมอร์ผสมมีความแข็ง และ ความโค้งงอเพิ่มขึ้นและสามารถย่อยสลายได้ด้วย จุลินทรีย์ในธรรมชาติและจากการทดสอบสมบัติต่างๆพบว่าแป้งมีผลต่อพอลิเมอร์ผสมดังนี้

1. แป้งทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมแข็งแรงขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง
2. แป้งทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเป็นของแข็งเปราะ เนื่องจากแป้งมีสมบัติความมีขั้วสูงซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ ส่วนของมาลิกอิกแอนไฮไดรด์ที่อยู่ใน สารช่วยผสมพอลิบอนด์ 3150 จึงทำให้ความโค้งงอมากขึ้น
3. แป้งจะเข้าไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ผสม ทำให้เกิดผลึกลดลง ดังนั้นอุณหภูมิในการตกผลึก อุณหภูมิในการหลอมผลึกและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก จึงมีค่าลดลง
4. แป้งมีองค์ประกอบหลักคือ อะไมโลสและอะไมโลพิกตินซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮ-ดรอกซี มีสมบัติสามารถดูดซับน้ำได้ ส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น
5. แป้งทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าอนุภาคของแป้งไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ยากขึ้น ความเหนียวมากขึ้น
6. แป้งสามารถย่อยสลายได้ในกระบวนการทางชีวภาพ ดังนั้นการนำแป้งมาผสมในพอลิเมอร์ผสมจะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสม นั้นสามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้

5.2. ข้อเสนอแนะ

1. พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ แบ่งเป็นสารตัวเติม ไม่ควรเติมแบ่งในปริมาณที่มากเกินไป 40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักรวม เพราะปริมาณแบ่งที่มากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลลดลง และมีการดูดซึบน้ำมากขึ้นทำให้ชิ้นงานเกิดการบวมตัว
2. พอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการทดลองนี้ เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์สำนักงาน เนื่องจากมีความแข็งแรงเหนียวและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
3. การพัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์เบลนด์ที่ใช้แบ่งเป็นสารตัวเติมอาจทำได้โดย
 - เพิ่มปริมาณสารช่วยผสมพอลิบอนด์ 3150
 - ศึกษาผลของสารเติมแต่งเช่น กรดสเตียริก น้ำมันแร่
 - ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง LDPE: HDPE : PP

เอกสารอ้างอิง

1. กาญจนากร เกศางาม, วิมลมาศ เมืองแก่น. *การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง*. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
2. Wurzburg, O.B. *Modified Starch : Properties and Uses*. 1987, 150-162.
3. Chinnaswamy, R. and Hanna M.R., *Starch/Starke*. 1991, 43, 396-400.
4. Kerr, Emerson, R.W., *Chemistry and Industry of Starch*. 1995, 3-17.
5. ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล *ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์*. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2537, หน้า 16-21
6. รศ. ปรีชา พหลเทพ. *โพลีเมอร์*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2530, 310-320.
7. ดร. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. *เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน*. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2537, 308-320.
8. Jian-Ping Gao, Ru-Chuan Tian, Jiu Gao Yu, and Meng-Lin Duan, "Graft Copolymerization of Methyl Methacrylate onto Canna starch Using Manganic Pyrophosphate as an Initiator" *Polym. Sci.* 3 1994 1091-1102.
9. Tzankova Dintcheva, N., Jilov, N., and La Mantia F.P., "Recycling of plastics from packaging" *Polym. Degrad. And Stab.* 1997, 57, 191-203.
10. Zuchowska, D., Hlavata, D., Steller, R., Adamiak, W, and Meissner, W., "Physical structure of polyolefin – starch blends after ageing" *Polym. Degrad. And Stab.* 1999, 64, 339-346.
11. Chandra, R, and Rustgi Renu., "Biodegradation of maleated liner low –density polyethylene and starch blends" *Polym. Degrad. And Stab.* 1997, 56, 185-202.
12. Ming Lui, Rongshi Cheng, Jingjia Wu, and Cheng Ma " Graft Copolymerization of Methyl Acrylate onto Potato starch Initiator by Ceric Ammonium Nitrat" *Polym. Sci.* 31 1999 3181-3186.
13. Henderson, A.L, Rudin, A., *J. Appl Polym Sci.* 1982, 27, 4115-4135.

ภาคผนวก

แบบฟอร์มบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูป

รายละเอียดของวัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ เป้ง,LDPE, HDPE, PP วันที่ทำการทดลอง 13 มกราคม 2543

บริษัทผู้ผลิต TPI

รหัสประจำตัวของวัสดุที่ใช้ JJ4324

สีของวัสดุ ขุ่นใส

ลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการ รูปdumbell และ Izod Impact

สถานะการอบแห้งวัสดุ

เวลาที่ใช้ออบ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 85 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของกระบอกใส่สกรู

บริเวณหัวฉีด 170 องศาเซลเซียส บริเวณตรงกลาง 160 องศาเซลเซียส

บริเวณท้าย 150 องศาเซลเซียส

ความดัน

ชั้นที่ 1 (ชั้นการกระตุ้น) 70 ton ชั้นที่ 2 (ชั้นการย่ำ) 65 ton ชั้นที่ 3 60 ton

เวลาของวงจรการทำงาน

การฉีด 5 sec ชั้นที่ 2 3 sec เวลาที่ปิดตัวยึดแม่พิมพ์ 10 sec

รวมเวลาทั้งหมดของวงจรการทำงาน 90 sec

บันทึกรายละเอียดอื่นๆ

น้ำหนักของชิ้นงานที่ได้ 15.3 g น้ำหนักของทางวิ่งและทางฉีด 5.4 g

จำนวนชิ้นงานที่ได้ 24 ชิ้น/ชั่วโมง

บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักร WELLTEC.INDUS.TRIAL EQUIPMENT LTD.