

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้จากอิโคเพลิกส์
และพอลิแลคติกแอซิดผสมแป้งดัดแปรเอสเทอร์



T107830



๒๗
ก ๑๖ ๓๓
๒๕๕๙
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107830
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b. 12212088
i.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study of Biodegradable Plastics from Blends of Ecoflex[®]
or Poly (lactic acid) and Ester-modified Starch**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science
(Industrial Chemistry)
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้จากอีโคเพล็กซ์และพอลิแลคติกแอซิดผสมแป้งดัดแปรเอสเทอร์
นักศึกษา นางสาวกรรณิการ์ ไพศรี
 นางสาวกิงกาญจน์ พิษณุลักษณะณ์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | | ลายมือชื่อ |
|-------------------|-------------------------|---|
| ประธานกรรมการ | ผศ.ดร.ภัทธวูธ มนต์วิเศษ |  |
| กรรมการ | คุณพิชัย ชูเอกวงค์ |  |
| กรรมการ | รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด |  |



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------------------|---|--|
| โครงการพิเศษ | การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้จากอีโคเฟล็กซ์และพอลิแลคติกแอซิดผสมแป้งดัดแปรเอสเทอร์ | |
| นักศึกษา | นางสาวกรรณิการ์ ไพรศรี | |
| | นางสาวกิงกาญจน์ พิษณุลักษณะณ์ | |
| ปริญญาตรี | วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม | |
| ปีการศึกษา | 2549 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและสมบัติต่างๆ ของพลาสติกย่อยสลายได้จากอีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex[®]) ผสมกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ (Ester Modified Starch, EMS) และพอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid); PLA) ผสมกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ ในอัตราส่วน 50:50 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ตั้งแต่ 0 -20 % โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์ผสมเตรียมได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกิ้ง (Two - roll mill) และขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด (Injection molding) อีโคเฟล็กซ์ใช้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ส่วน PLA ใช้กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG) โดยศึกษาปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลกับดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index; MFI) สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสม จากการทดลองพบว่า ค่า MFI, ค่ามอดุลัส, ค่าความแข็งกด และ Heat Deflection Temperature (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการใส่พลาสติกไซเซออร์ มีค่าสูงกว่าอีโคเฟล็กซ์และ PLA ที่ไม่มีการผสมแป้ง แต่ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์พบว่า ค่า MFI และ ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งกด และ ค่า HDT ลดลง สำหรับ PLA ที่ผสมกับแป้ง ดัดแปรเอสเทอร์ โดยใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ มีสมบัติที่ดีกว่าใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการเข้ากันได้กับ PLA ต่ำ แม้ว่าจะเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ดีของแป้ง ทำให้ PEG ช่วยปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ได้ดีกว่ากลีเซอรอล การดูดซับน้ำของอีโคเฟล็กซ์และ PLA ที่ไม่ได้ผสมแป้ง สามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ขณะที่พอลิเมอร์ผสมจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาสันฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าแป้งเป็นอนุภาคกระจายอย่างสม่ำเสมอใน Ecoflex[®] และ PLA ได้ และจากการทดสอบการย่อยสลายโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฝังดินของพอลิเมอร์ผสม พบว่า การใส่แป้งลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้ความสามารถในการย่อยสลายดีขึ้น โดยเฉพาะ PLA การเพิ่มปริมาณ พลาสติกไซเซออร์ช่วยเพิ่มความเร็วในการย่อยสลาย PLA / EMS แต่จะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อ Ecoflex® / EMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------------------|---|
| Special Project Title | Study of Biodegradable Plastics from Blends of Ecoflex [®] or Poly (lactic acid) and Ester-modified Starch |
| Name | Miss Kannika Praisri Miss Kingkarn Pitsanulak |
| Department | Chemistry |
| Program | Industrial Chemistry |
| Academic Year | 2006 |
| Special Project Advisor | Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud |

ABSTRACT

This research focused on preparation and characterization of biodegradable plastics made from blends of Ecoflex[®] and ester-modified starch (EMS) or poly (lactic acid) (PLA) and EMS. The content of plasticizer loading in the blends was varied from 0 – 20 wt%. The blends were prepared by using two-roll mill and injection molding techniques. Glycerol was used as a plasticizer for Ecoflex[®] whereas glycerol and PEG were used as plasticizers for PLA. The effects of plasticizer content on melt flow index (MFI), morphological, mechanical, physical, thermal and biodegradable properties of Ecoflex[®] or PLA / EMS blends (50:50 blend ratio) were investigated. It was found that MFI, modulus, hardness and heat deflection temperature (HDT) of the blends without plasticizer were higher than those of the neat Ecoflex[®] and PLA. Tensile strength, elongation at break and impact strength of the EMS filled plastics were lower than those of the virgins. As the plasticizer content in the blends was increased, MFI and impact strength were increased but tensile strength, elongation at break, modulus, hardness and HDT were decreased. For PLA / EMS blends using PEG plasticizer, all properties were observed to be better than those using glycerol as the plasticizer. In water absorption test, it was found that addition of EMS in the blends resulted in an increase in % water absorption and water absorption rate. From SEM micrographs, EMS, Ecoflex[®] and PLA were immiscible. Ecoflex[®] and PLA were clearly the continuous phase whereas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the EMS particles were dispersed uniformly. Biodegradability of the materials was tested by bury test in soil. It was confirmed that biodegradability of the Ecoflex[®] and PLA was improved by adding the EMS. In PLA / EMS, the plasticizer seemed to increase the rate of biodegradability, however, the plasticizer seemed to have a minor effect on biodegradability of the Ecoflex[®] / EMS.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด เป็นอย่างสูงสำหรับการเอาใจใส่ดูแล ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพิชัย ชูเอกวงษ์ และ บริษัท วัลย์ดีพาณิชย์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้สละเวลาในการให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ให้การสนับสนุนทางด้านทุนการวิจัย รวมทั้งกรุณาเป็นธุระในการจัดหา Ecoflex[®] และพอลิแลคติกแอซิด ให้อีกด้วย

ขอขอบคุณสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนแก่โครงการพิเศษนี้ ขอขอบคุณบริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์แบ่งตัดแปรเอสเทอร์

ขอขอบคุณ คุณสถาปัตยกรรม อารานิ และบริษัท METTLER TOLEDO Co., Ltd. ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกและให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือต่างๆ รวมทั้งการแก้ไขปัญหาตลอดการดำเนินงาน

ขอขอบคุณ พี่ภัทราพร สงวนสัตย์ และพี่นริศรา เทียมแท้ ที่ให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือต่างๆในการดำเนินงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งเป็นกำลังใจให้จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กรรณิการ์ ไพโรศรี

กิงกาญจน์ พิษณุลักษณะณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--------------------------------|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | III |
| กิตติกรรมประกาศ | V |
| สารบัญ | VI |
| สารบัญตาราง | IX |
| สารบัญรูป | X |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย | 3 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 5 |
| 2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ | 5 |
| 2.2 พอลิแลคติกแอซิด | 7 |
| 2.2.1 ลักษณะและสมบัติโดยทั่วไป | 7 |
| 2.2.2 กระบวนการผลิต PLA | 8 |
| 2.2.3 การนำไปใช้ | 13 |
| 2.3 อีโคเพล็กซ์ | 14 |
| 2.4 แป้ง | 15 |
| 2.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง | 16 |
| 2.4.2 แป้งมันสำปะหลัง | 18 |
| 2.4.3 แป้งดัดแปร | 20 |
| 2.4.4 การดัดแปรแป้งทางเคมี | 21 |
| 2.4.5 แป้งเอสเทอร์ | 22 |
| 2.4.6 แป้งอะซิเตต | 23 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.4.7 การนำไปใช้ | 24 |
| 2.5 การย่อยสลายของแป้ง | 25 |
| 2.5.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา | 25 |
| 2.5.2 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ | 26 |
| 2.6 พลาสติไซเซอร์ | 26 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 28 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย | 31 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 31 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 31 |
| 3.3 วิธีการทดลอง | 32 |
| 3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม | 32 |
| 3.3.2 การทดสอบสมบัติต่างๆ | 33 |
| 3.3.3 ปัจจัยที่ต้องการศึกษา | 35 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 36 |
| 4.1 ดัชนีการหลอมไหล | 36 |
| 4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา | 38 |
| 4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล | 43 |
| 4.3.1 ความแข็งแรงดึง | 43 |
| 4.3.2 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด | 45 |
| 4.3.3 มอดุลัส | 47 |
| 4.3.4 ความแข็งกด | 48 |
| 4.3.5 ความแข็งแรงกระแทก | 50 |
| 4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 4.5 สมบัติทางความร้อน | 53 |
| 4.5.1 Heat Deflection Temperature | 53 |
| 4.5.2 Differential Scanning Calorimetry | 55 |
| 4.6 ผลการทดสอบการฝังดิน | 57 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 64 |
| เอกสารอ้างอิง | 66 |
| ภาคผนวก | 69 |
| ภาคผนวก ก Datasheet แสดงสมบัติบางประการของอีโคเพล็กซ์ และพอลิแลคติกแอซิด | 70 |
| ภาคผนวก ข สภาวะที่ขึ้นรูป | 73 |
| ภาคผนวก ค ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล | 75 |
| ภาคผนวก ง สภาวะในการทดสอบการย่อยสลายในดิน | 77 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน | 18 |
| 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง | 18 |
| 3.1 สูตรผสมที่ใช้ในการทดลอง | 32 |
| 4.1 ค่า MFI ของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ | 37 |
| 4.2 ค่า MFI ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรที่ปริมาณต่างๆ | 37 |
| 4.3 ค่า HDT ของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ | 54 |
| 4.4 ค่า HDT ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรที่ปริมาณต่างๆ | 54 |
| 4.5 คุณหมุมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และองศาความเป็นผลึก (X_c) ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรที่ปริมาณต่างๆ | 55 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนภาพแสดงปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2536-2546 | 1 |
| 2.1 โครงสร้างของ PLA | 8 |
| 2.2 แผนภาพแสดงการผลิต LA | 9 |
| 2.3 กระบวนการราซีไมเซชันของ LA | 9 |
| 2.4 โครงสร้างของ LA ในรูปแบบต่างๆ | 10 |
| 2.5 สมดุลระหว่างปฏิกิริยาควบแน่นของ LA | 11 |
| 2.6 การตัดทอนสายโซ่ PLA อันเนื่องมาจากความร้อน | 11 |
| 2.7 แผนภาพแสดงกลไกปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของ LA | 12 |
| 2.8 แผนภาพแสดงวัฏจักรโดยย่อของพลาสติก PLA | 13 |
| 2.9 โครงสร้างของ Ecoflex [®] | 14 |
| 2.10 กราฟแสดงปริมาณการย่อยสลายของ Ecoflex [®] | 15 |
| 2.11 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส | 17 |
| 2.12 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน | 17 |
| 2.13 ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ | 23 |
| 2.14 ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับไวนิลอะซิเตต | 24 |
| 2.15 โครงสร้างของกลีเซอรอล | 27 |
| 2.16 โครงสร้างของ PEG | 28 |
| 4.1 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0-20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 1500X | 39 |
| 4.2 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0-20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200X | 40 |
| 4.3 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 10 และ 20 %, ปริมาณ PEG 5-20 % โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 1500X | 41 |
| 4.4 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 10 และ 20 %, ปริมาณ PEG 5-20 % โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200X | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล | 44 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์ | 44 |
| 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล | 46 |
| 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์ | 46 |
| 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล | 47 |
| 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์ | 48 |
| 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล | 49 |
| 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์ | 49 |
| 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล | 50 |
| 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์ | 51 |
| 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำสะสมของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex [®] / EMS (50:50) กับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น | 52 |
| 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำสะสมของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.17 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure Ecoflex [®] , Ecoflex [®] / EMS (50:50) 0% กลีเซอรอล ไม่ใส่สาร Antioxidant, 0% กลีเซอรอล ใส่สาร Antioxidant, 5%, 10%, 15% และ 20% กลีเซอรอล | 58 |
| 4.18 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure Ecoflex [®] , Ecoflex [®] / EMS (50:50) 0% กลีเซอรอล ไม่ใส่สาร Antioxidant, 0% กลีเซอรอล ใส่สาร Antioxidant, 5%, 10%, 15% และ 20% กลีเซอรอล (ต่อ) | 59 |
| 4.19 ภาพแสดงการย่อยสลายของ Ecoflex [®] ในสัปดาห์ที่ 6 ของการฝังดิน | 60 |
| 4.20 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure PLA, PLA / EMS (50:50) 10%, 20% กลีเซอรอล, 5%, 10%, 15% และ 20% PEG | 61 |
| 4.21 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure PLA, PLA / EMS (50:50) 10%, 20% กลีเซอรอล, 5%, 10%, 15% และ 20% PEG (ต่อ) | 62 |
| 4.22 ภาพแสดงการย่อยสลายของ PLA ในสัปดาห์ที่ 3 ของการฝังดิน | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

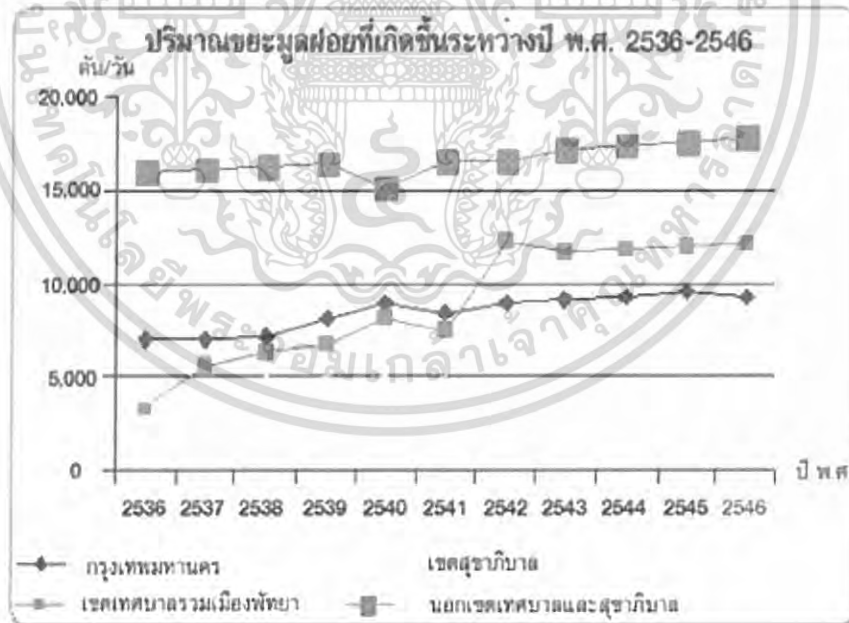
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มที่ปริมาณการใช้จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูกและมีสมบัติที่หลากหลาย สามารถดัดแปรให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภทได้ ดังนั้นจึงเกิดพลาสติกที่ใช้แล้วเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่เสื่อมสภาพหรือทำลายได้ยาก ทำให้ขยะพลาสติกสามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นเวลานาน เป็นภาระในการจัดการและกำจัดเป็นอย่างมาก

สำหรับประเทศไทย พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยร้อยละ 16 ของขยะในประเทศไทยเป็นขยะประเภทพลาสติก



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2536-2546 (ตัน/วัน) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดขยะโดยทั่วไป คือการฝังกลบ (Landfill) จากรายงานพบว่า ปริมาณขยะพลาสติกโดยรวมประมาณ 2.5 ล้านตันต่อปี นำไปทำการกำจัดโดยการฝังกลบถึง 1.3 ล้านตัน ส่วนที่เหลือนอกจากนั้นก็นำไปเผาทิ้ง และ นำกลับมาใช้ใหม่ [2]

ปัญหาที่พบจากการกำจัดโดยการฝังกลบคือ ขยะพลาสติกต้องใช้เนื้อที่ในการฝังกลบมาก ทำให้ขาดแคลนพื้นที่ และต้องใช้ต้นทุนสูง เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะเกิดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน ส่วนการกำจัดโดยนำไปเผาจำเป็นต้องมีการสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ทำให้มีต้นทุนสูง และอาจมีก๊าซพิษเกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นวิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่เหมาะสมที่สุด แต่บรรจุภัณฑ์บางประเภทไม่นิยมนำกลับมาใช้ใหม่เพราะวัสดุใหม่ เนื่องจากไม่คุ้มค่าในการลงทุน และอาจมีการปนเปื้อนสูง

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Degradable bioplastics) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกลงได้ เนื่องจากพลาสติกชีวภาพสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ และ มีเทน (Methane) ในระยะเวลาอันสั้น เพียงไม่กี่เดือน จนถึงประมาณสองปี เทียบกับการสลายตัวของพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ต้องใช้เวลาในการสลายตัวนานมาก (ประมาณ 500-1000 ปี) [3]

อีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex[®]) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์รวมกันของอะลิฟาติก พอลิเอสเทอร์ (Aliphatic polyester) ซึ่งมีสมบัติการย่อยสลายทางธรรมชาติกับอะโรมาติก พอลิเอสเทอร์ (Aromatic polyester) ซึ่งมีความแข็งแรงและทนความร้อน จึงมีสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน และเป็นพลาสติกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ [4]

พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid); PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์ได้จากการหมัก (Fermentation) วัสดุจำพวกแป้ง เช่น ข้าวโพดด้วยจุลินทรีย์เฉพาะ เพื่อให้ได้กรดแลคติก (Lactic acid) จากนั้นกรดแลคติกจะถูกเปลี่ยนเป็นแลคไทด์ (Lactide) แล้วทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ได้เป็น PLA ต่อไป [5]

ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้ใช้พลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ในหลายประเทศ เช่น ประเทศในแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา และในเอเชียอย่าง ญี่ปุ่น อย่างไรก็ตาม พลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ยังมีข้อจำกัดอยู่ คือมีราคาที่สูงกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป และมีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

แป้งเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีใช้ไม่หมดสิ้น (Renewable materials) สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีราคาถูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งมันสำปะหลังซึ่งประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกมากที่สุดในโลก งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งดัดแปรเอสเทอร์ (Ester Modified Starch, EMS) ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยเอสเทอร์มาใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) ผสมกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ Ecoflex[®] และพอลิแลคติกแอซิด เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการและลดต้นทุนทำให้ได้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีราคาถูกลง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมพลาสติกย่อยสลายได้จากอีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex[®]) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ผสมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเอสเทอร์ (EMS)
2. เพื่อศึกษาผลของพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่มีต่อสมบัติและกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม
3. เพื่อศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และความสามารถในการย่อยสลาย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเบื้องต้นเพื่อกำหนดสูตรผสมของวัตถุดิบต่างๆให้เหมาะสม
2. ศึกษาวิธีการผสมและกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
3. ศึกษาสมบัติต่างๆของชิ้นงานที่เตรียมได้ ได้แก่
 - สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (Elongation at break), โมดูลัส (Modulus), ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และความแข็งกด (Hardness)
 - สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption)
 - สมบัติทางความร้อนด้วย DSC, HDT
 - สัณฐานวิทยาด้วย SEM
 - ความสามารถในการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างอีโคเพล็กซ์กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ และ PLA กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์
2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเฉพาะในการใช้งานทางด้านเกษตรกรรม เช่น ผลิตเป็นกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกลไกทางชีวภาพ
3. สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบให้มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ในประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastics)

พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastics) คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดได้ โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกและการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ระบุชนิดและประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ เช่นเดียวกับ American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้ความหมายของพลาสติกย่อยสลายได้ ว่าเป็นพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เป็นผลให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท [4] ได้แก่

1. พลาสติกที่สลายตัวได้ด้วยแสง (Photodegradable plastics)

การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรงแตกหักง่ายภายใต้รังสียูวี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกหักของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียรจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบ กองปุ๋ยอินทรีย์หรือคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการพิมพ์ด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. พลาสติกที่สลายตัวได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidatively degradable plastics)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวีหรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide; ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เสถียร และเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

1. พลาสติกที่สลายตัวได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastics)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแวนไฮโดรด์ พอลิคาร์บอเนต พอลิเอไมด์ และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีความชื้นจากสภาพแวดล้อมและสารเคมีหรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic hydrolysis) และแบบใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic hydrolysis) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิดคือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkalide metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายในเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์เกิดแตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน น้ำ เกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีความหมายหรือคำจำกัดความตามมาตรฐาน DIN 103.2 ระบุว่า การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของวัสดุพลาสติก (Biodegradation of a plastic material) คือกระบวนการที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ วัสดุพลาสติกจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ สามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1. **Biodegradation** หรือการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีอันเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์สิ่งสำคัญ คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพควรเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ สะอาด ไม่เป็นพิษ ในเวลาและสภาวะที่กำหนด ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบขนาดเล็กที่มีความเสถียร และพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และ น้ำ

2. **Composting** หรือการคอมโพสท์ เป็นกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม พลาสติกจะเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารที่ลักษณะคล้ายฮิวมัส (Humus) หรือดินดำ นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแร่ธาตุต่างๆ เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ไม่เหลือเศษวัสดุขนาดใหญ่ตกค้าง และไม่เป็นพิษ สามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พลาสติกจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกย่อยสลายได้โดยการคอมโพสท์ (Compostable plastic) นั้น ต้องมีอัตราการย่อยสลายในคอมโพสท์ไม่ช้ากว่าเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ

3. **Hydro-biodegradation** เป็นการย่อยสลาย 2 ขั้นตอนโดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

4. **Photo-biodegradation** เป็นการย่อยสลาย 2 ขั้นตอนโดยผ่านปฏิกิริยาย่อยสลายโดยแสงก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

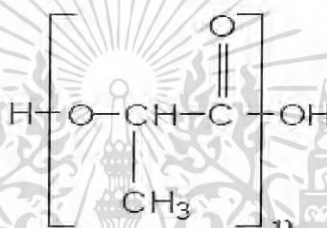
2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid); PLA)

2.2.1 ลักษณะและสมบัติโดยทั่วไป

พอลิแลคติกแอซิด (Poly (lactic acid); PLA) จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastic) ที่มีโครงสร้างแบบอะลิฟาติก พอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ทางชีวภาพ (Biodegradable) มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ $50-80^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ประมาณ $173-178^{\circ}\text{C}$ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLA เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่ายคล้ายพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) ส่วนใหญ่ เช่น กระบวนการหลอมปั่นเส้นใย (Melt spinning) กระบวนการอัดรีด (Extrusion) กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection) เป็นต้น มีสมบัติเชิงกลที่ดี กล่าวคือมีค่ามอดุลัส (Modulus) ความแข็ง (Stiffness) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง อย่างไรก็ตาม PLA ยังคงมีข้อจำกัดในบางการใช้งาน เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่เปราะ (Brittleness) และมีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ต่ำ ในกระบวนการผลิตจึงนิยมปรับปรุงสมบัติโดยผสมสารเสริมแรง และพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) เพื่อเพิ่มสมบัติการดึงยืด (Elongation) และการรับแรงกระแทก (Impact) ให้ดีขึ้น [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ PLA [5]

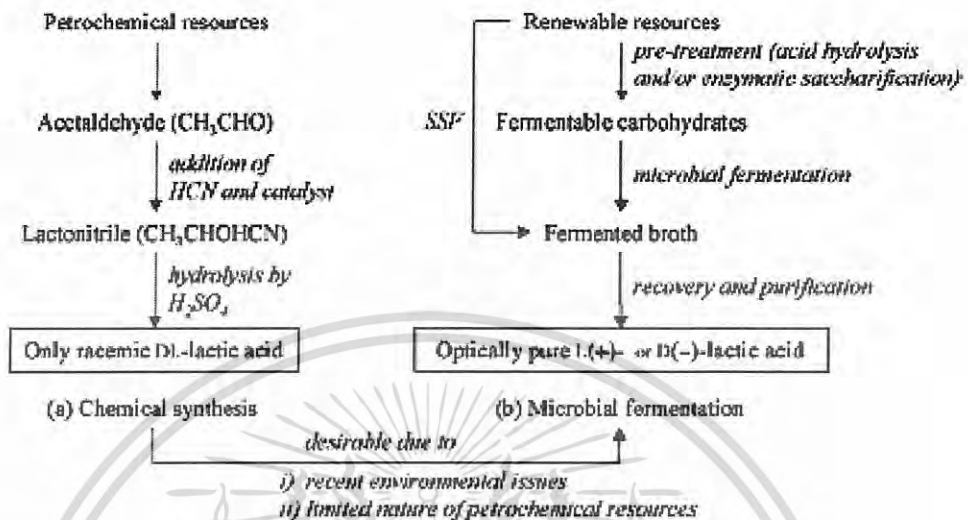
2.2.2 กระบวนการผลิต PLA

PLA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดยนักวิจัยชื่อ W.H. Carothers จากบริษัทดูปอนท์ (Dupont) สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1932 จากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันมีบริษัทที่ผลิตพอลิเมอร์ชนิดนี้ทางการค้าหลายบริษัท เช่น บริษัทเนเจอร์เวิร์ค (Nature work) บริษัทมิตซูชิ เคมีคอล (Mitsui Chemical) เป็นต้น

การผลิต PLA เริ่มต้นจากการสังเคราะห์สารตั้งต้นเพื่อใช้ในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ได้แก่ กรดแลคติก (Lactic acid; LA) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) จึงมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามาก สามารถละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ โดย LA สามารถสังเคราะห์ได้จากทั้งกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical synthesis) และกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ (Microbial fermentation) [7]

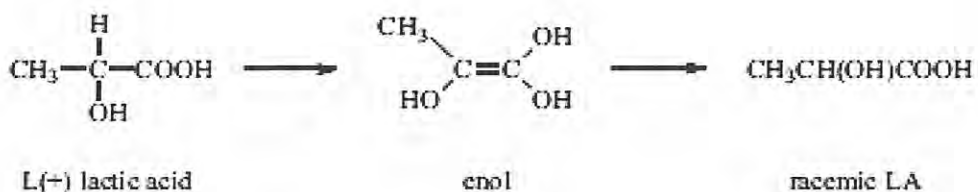
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระบวนการสังเคราะห์ LA [8, 9, 10]



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการผลิต LA [9]

ในกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี จะใช้สารตั้งต้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ได้แก่ อะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) โดยนำไปผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen cyanide) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเบส จะได้แลคโตไนไตรล์ (Lactonitrile) ออกมา จากนั้นไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ในสภาวะกรด จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดแลคติก ในรูปของผสมราซีมิก (Racemic mixture) กรดดีแอลแลคติก (DL-lactic acid) หรือ DLLA เนื่องจากในโครงสร้างของ DLLA จะมีคาร์บอนอะตอมชนิดไม่สมมาตร (Asymmetric carbon หรือ Chiral carbon atom) หมู่ทุกหมู่ที่จับคาร์บอนอะตอมนี้แตกต่างกัน อะตอมไฮโดรเจนที่ติดอยู่สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบอินอล (Enol) 6 นำไปสู่กระบวนการราซีไมเซชันด้วยตัวเอง (Autoracemization) เกิดเป็นของผสมราซีมิก ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ติดกับคาร์บอนอะตอมดังกล่าวสามารถเกิดการจัดเรียงตัวได้ทั้งทางขวา (D-form) และทางซ้าย (L-form)



รูปที่ 2.3 กระบวนการราซีไมเซชันของ LA [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ จะใช้วัตถุดิบทางเกษตรกรรมที่เป็นสารจำพวกแป้ง เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวสาลี ข้าวโพด ฯลฯ การเจริญเติบโตของพืชจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จากนั้นทำการบดย่อยวัตถุดิบเหล่านี้ให้เป็นแป้ง แล้วทำการย่อยโมเลกุลของแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลสในสภาวะกรด (Amylase) จนได้น้ำตาลกลูโคส (Glucose) แล้วทำการหมักกลูโคสที่ได้ด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นกรองแยก LA ออกจากของผสมที่ได้จากการหมัก จะได้ผลิตภัณฑ์ LA ในรูปของกรดแลคติก (LLA) หรือ กรดดีแลคติก (DLA) ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่เลือกใช้ ซึ่งมีหลากหลายชนิด เช่น แลคโตบาซิลลัส อะไมโลไวรัส (*Lactobacillus amylovirus*) เอนเทอโรคอคคัส เฟซาลิส อาร์ควายวัน (*Enterococcus faecalis RKY1*) เป็นต้น [7,10]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ LA ในรูปแบบต่างๆ [11]

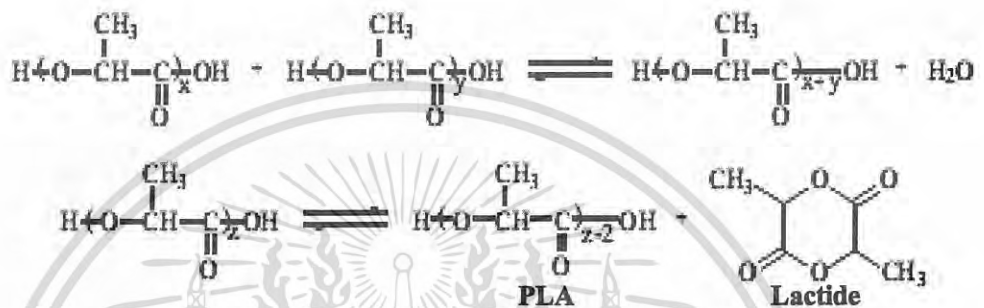
ทั้งนี้ DLA จะเป็นสารที่มีอันตรายต่อการสันดาปภายในร่างกายมนุษย์ อาจก่อให้เกิดภาวะเสียสมดุลของกรดและด่างในร่างกายและภาวะขาดแคลเซียมได้ ในขณะที่ของผสม DLLA เมื่อนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะได้ PLA ที่มีลักษณะขุ่น และมีความเป็นผลึกน้อยกว่า DLA หรือ LLA ในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้ LLA เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิต PLA เนื่องจากสามารถเตรียม PLA ที่มีคุณสมบัติโปร่งแสง มีจุดหลอมเหลวและความเป็นผลึกสูง และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายเหมาะแก่การนำไปใช้งาน [9]

2. กระบวนการสังเคราะห์ PLA

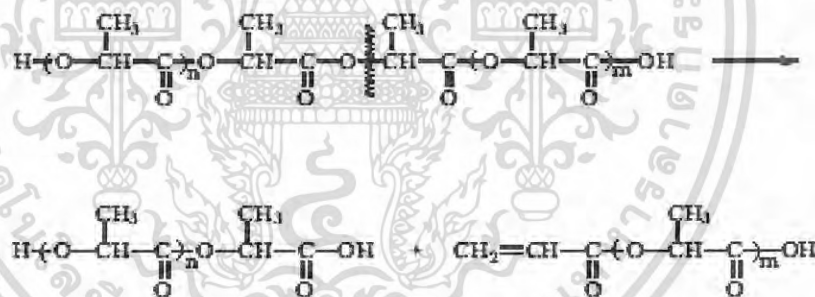
PLA สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของ LA ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) และกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (Ring-opening polymerization) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการควบแน่นมักใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization) และพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization) วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์จะเกิดการควบแน่นของวงแลคไทด์ (Lactide) แข่งขันกับ PLA และเกิดการสลายตัวของ PLA ได้ง่าย จึงผลิต PLA ได้ในปริมาณน้อย ส่วนวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายจะได้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเนื่องจากเกิดการถ่ายโอนสายโซ่โดยตัวทำละลาย



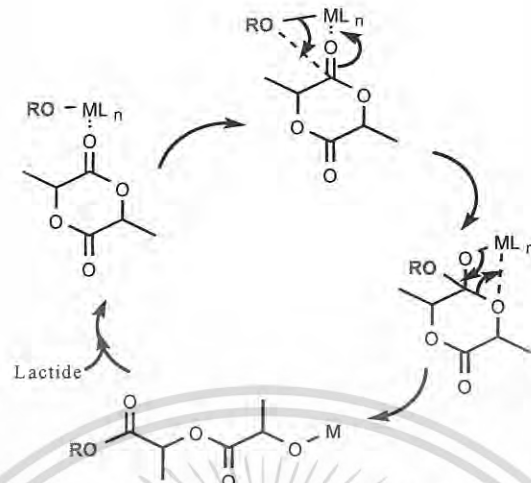
รูปที่ 2.5 สมดุลระหว่างปฏิกิริยาควบแน่นของ LA [8]



รูปที่ 2.6 การตัดทอนสายโซ่ PLA อันเนื่องมาจากความร้อน (Thermal break-up of PLA) [8]

ในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงโดยใช้แคตตาลิซิส ออกโตเอท (Stannous octoate) เป็นคะตะลิสต์ แต่ในห้วงปฏิบัติการทั่วไปจะนิยมใช้แคตตาลิซิส คลอไรด์ (Stannous chloride) หรือ อีกชื่อหนึ่งคือ ทิน ทุ คลอไรด์ (Tin (II) chloride) ซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ SnCl_2 วิธีการเปิดวงนี้จะช่วยให้ได้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีสมบัติเชิงกลที่ดี [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

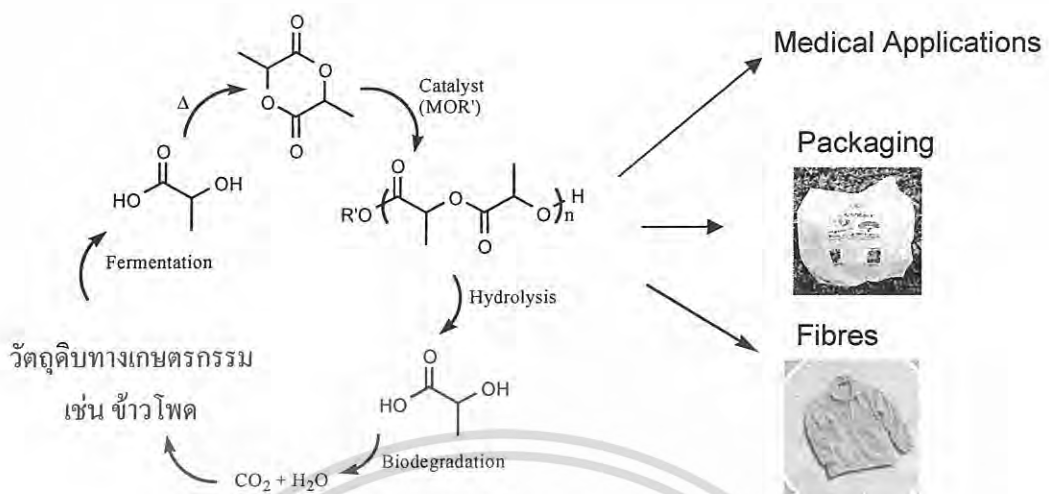


รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงกลไกปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของ LA

3. กระบวนการย่อยสลาย PLA

กระบวนการย่อยสลายของ PLA จะเกิดจากการไฮโดรไลซิสสายโซ่พอลิเมอร์กลับไปเป็น LA แล้วถูกสันดาปด้วยจุลินทรีย์กลายเป็นน้ำ (H_2O) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือก๊าซมีเทน (CH_4) ในกรณีที่จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศหายใจ (Anaerobic bacteria) ซึ่งสำหรับกระบวนการผลิต PLA โดยวิธีการหมัก ปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นนี้จะเท่ากับที่พืชใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงไม่เป็นการเพิ่มก๊าซ CO_2 แก่ชั้นบรรยากาศเหมือน PLA ที่สังเคราะห์จากวิธีทางเคมี โดยทั่วไปแล้ว PLA จะใช้เวลา 4 เดือนถึง 2 ปีในการสลายตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น โครงสร้างของวัสดุ น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ สภาพที่ใช้ในการขึ้นรูป ขนาดและรูปร่างของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงวัฏจักรโดยย่อของพลาสติก PLA [12]

2.2.3 การนำไปใช้

PLA มีศักยภาพในการนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ และผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอ (Non-woven) มีสมบัติการจับจีบและคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันด้วยความร้อน มีความทนทานต่อแสงยูวีทำให้สีของเส้นใยซีดจาง มีสมบัติติดไฟและการเกิดควันดำ เหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้าและงานตกแต่งผ้าคลุมพื่น ผ้าใบ

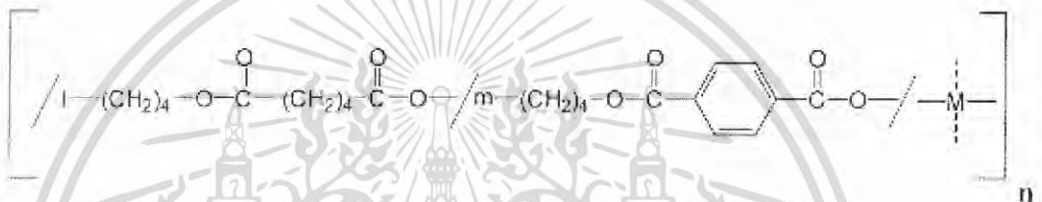
นอกจากนี้ PLA ยังเป็นวัสดุที่เข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี เหมาะสำหรับงานทางการแพทย์ โดยใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยตัวยาหรือสารสำคัญ และชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์สำหรับฝังลงในกระดูกหรือเนื้อเยื่อของผู้ป่วยรวมถึงไหมละลาย โดยสามารถควบคุมสมบัติเชิงกล สมบัติทางเภสัชกรรมและการสลายตัวโดยปรับส่วนผสมทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งระยะเวลาการย่อยสลายอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2-3 สัปดาห์ ไปจนถึง 2-3 ปี

ด้านบรรจุภัณฑ์ PLA ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับของใช้และอาหาร รวมถึงขวดสำหรับบรรจุน้ำดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex®)

อีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex®) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้วัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีผลิตโดยบริษัท BASF Corporation มีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติก – อะโรมาติก โคพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic – aromatic copolyesters) ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์รวมกันของอะลิฟาติก พอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) ที่มีสมบัติการย่อยสลายทางธรรมชาติกับอะโรมาติก พอลิเอสเตอร์ (Aromatic polyester) ซึ่งมีความแข็งแรงและทนความร้อน ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น ของ 1, 4-butanediol, adipic acid และ terephthalic acid [4]

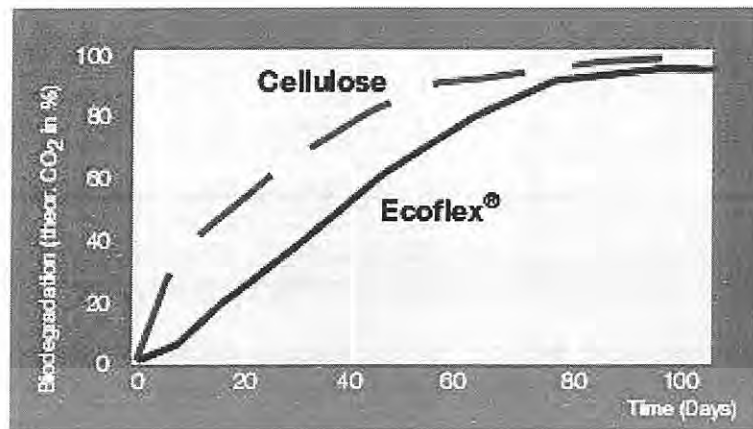


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ Ecoflex® (M คือ โมดูลาร์คอมโพเนนท์ (Modular components)) [13]

Ecoflex® เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีสมบัติเหมือนพลาสติกทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน โดยมี T_m ประมาณ 110-120°C มีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานในด้านต่างๆ เช่น มีความใส มีความต้านทานต่อไขมัน ความชื้น ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีความยืดหยุ่น มีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และ ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนสูง เหมาะสำหรับการใช้งานในรูปของฟิล์มยืด (Cling film) เป็นฟิล์มห่ออาหาร ผักผลไม้ ใช้ผลิตถุงหูหิ้ว (Shopping bag) นอกจากนี้ยังเหมาะกับการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและเครื่องดื่ม เช่น กล่องใส่อาหารจานด่วนหรือฟาสต์ฟู้ด ถาด จาน แก้วกาแฟ เป็นต้น โดย Ecoflex® สามารถนำมาผสมกับแป้งเพื่อลดต้นทุนได้

Ecoflex® สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ เป็นผลให้พลาสติกย่อยสลายได้จนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ภายในเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งอัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับความชื้น อุณหภูมิ พื้นที่ผิว และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงปริมาณการย่อยสลายของ Ecoflex® (%CO₂) [14]

จากมาตรฐาน European Standard EN 13432 ระบุว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของวัสดุไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) อย่างน้อย 90% ภายใน 180 วัน จากการทดสอบ พบว่า Ecoflex® เกิดการสลายตัวและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ CO₂ ได้มากกว่า 90% ในระยะเวลาเพียง 80 วันเท่านั้น [14] โดยกราฟแสดงการย่อยสลายของ Ecoflex® แสดงดังรูปที่ 2.10

2.4 แป้ง (Starch) [15 -18]

แป้งเป็นสารประเภทพอลิเมอร์ในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) มีขนาดโมเลกุลใหญ่ประกอบไปด้วยกลูโคสหลายหน่วยเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ในแป้งแปรผันตามชนิดของแป้ง โดยทั่วไปเกิดจากการต่อกันของกลูโคสประมาณ 500 – 2,000 หน่วย โดยแป้งเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนของพืชใช้เป็นแหล่งสะสมอาหาร เช่น เมล็ดและราก

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไป คือ แยกเมล็ดแป้งออกจากส่วนอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน และเกลือแร่ จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ด้วยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วอบให้แห้ง ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

แป้งเป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ ราคาถูก หาได้ง่าย สามารถขึ้นรูปได้ด้วยความร้อน มีเสถียรภาพทางความร้อน มีสมบัติสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมและวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายในหลายๆอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (Modified Starch)

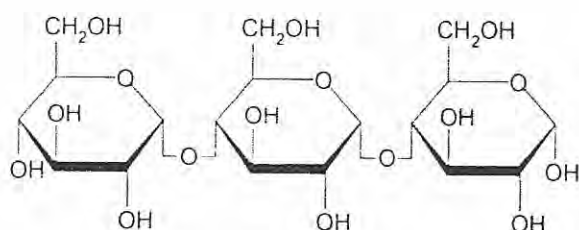
2.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคสิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า กลุ่มด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end group) ในธรรมชาติจะพบแป้งในลักษณะที่เป็นเม็ดแป้งขนาดเล็กมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยมีส่วนที่เป็นผลึกค่อนข้างสูงกว่าส่วนที่เป็นอสัณฐานอยู่มาก แป้งมีจุดหลอมเหลว (T_m) อยู่ในช่วง 160 – 200 °C แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) และ อะไมโลเพกติน (Amylopectin)

อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสายตรง ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200 – 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4-Glucosidic linkage ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงที่มีความยาวค่อนข้างมาก ในโมเลกุลของอะไมโลส มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy group, -OH) อยู่ในสายโซ่ จึงทำให้อะไมโลสมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากอะไมโลสมีรูปร่างเป็นเส้นตรง เคลื่อนไหวได้ง่าย เมื่อเติมน้ำลงไป อะไมโลสจะจับกับอะไมโลสตัวอื่นๆ เป็นสายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นโครงสร้างตาข่ายที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงและเกิดเป็นสารละลายขุ่นๆ อะไมโลสสามารถเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของอะไมโลสในแป้งได้ อะไมโลสบางส่วนจะอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึก โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง จะอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วน (Helix) หรือเกลียวที่คล้ายตัว (Interrupted helix) โดยแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 15 – 25 % มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.11

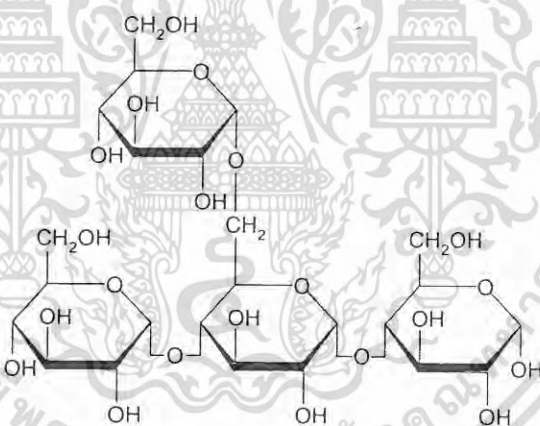
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส [15]

อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์โซ่กิ่งประกอบด้วยกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4-Glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์สายสั้นจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6-Glucosidic linkage มีองค์การเกิดพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 10 -60 หน่วย โดยโครงสร้างของแป้ง จะเป็นอะไมโลเพกตินประมาณ 75% มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน [15]

107830

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [15]

| สมบัติ | อะไมโลส | อะไมโลเพกติน |
|------------------------------|--|---|
| ลักษณะโครงสร้าง | สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง | สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นโซ่กิ่ง |
| พันธะที่จับ | α -1, 4- Glucosidic linkage | α -1, 4-Glucosidic linkage และ α -1, 6-Glucosidic linkage |
| ขนาด | 200-2,000 หน่วยกลูโคส | มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส |
| การละลาย | ละลายน้ำได้น้อยกว่า | ละลายน้ำได้ดีกว่า |
| การทำปฏิกิริยากับ ไอโอดีน | สีน้ำเงิน | สีม่วงแดง |
| การจับตัว | เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและเป็นแผ่นแข็ง | ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง |

2.4.2 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังผลิตได้จากหัวของต้นมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว แป้งมันสำปะหลังจะมีความบริสุทธิ์สูง โดยจะมีแป้งอยู่มากกว่า 95% และมีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยกว่า 1%

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [15]

| องค์ประกอบ | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|------------|-----------------|
| แป้ง | 87.00 |
| ความชื้น | 12.59 |
| ไขมัน | 0.10 |
| โปรตีน | 0.10 |
| เถ้า | 0.20 |
| ฟอสฟอรัส | 0.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมหรือรูปไข่ และอาจมีรอยบุ๋มที่ปลายด้านหนึ่งของเม็ด เม็ดแป้งส่วนใหญ่จะมีขนาดปานกลางอยู่ในช่วง 3 - 40 ไมครอน มีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 12 - 15 ไมครอน และมีปริมาณผลึกประมาณ 15 - 18 % และเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์จะเห็นลักษณะเป็นกากบาทสีดำ เรียกว่า Birefringence

แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำ 18 - 23 % และมีขนาดต่างๆกันโดยมีค่าองศาการพอลิเมอไรเซชันประมาณ 1100 - 3220 โครงสร้างของอะไมเลสจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นไซกิ่ง

ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวต่างกันแบ่งได้ 2 แบบ แบบแรก สายไซพอลิเมอร์ของอะไมโลสเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ และมีอะไมโลสบางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอกของอะไมโลเพกติน และยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับกันอย่างหนาแน่นและมีแรงยึดเหนี่ยวสูง บริเวณนี้เรียกว่า บริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline region) หรือ Micelles เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะ Birefringence ของเม็ดแป้ง Crystalline regions นี้มีความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สอง คือ โมเลกุลจะเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายไซพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงของโมเลกุลแบบนี้เรียกว่า บริเวณอสัณฐาน (Amorphous regions) เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดีและพองตัวได้ง่าย

สมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้ง เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อน พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวขึ้น เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสต่ำจึงมีการพองตัวที่ดีและมีค่าความสามารถในการละลายประมาณ 35% ที่อุณหภูมิ 95 °C ลักษณะการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่างๆ จะเป็นแบบขั้นต่อนเดียว (Single stage swelling) ระหว่างที่ให้ความร้อนกับเม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและเม็ดแป้งเริ่มดูดซึมน้ำจากภายนอกนั้น เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวพร้อมๆ กับที่เม็ดแป้งสูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ลักษณะเช่นนี้ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งเป็นแบบผันกลับไม่ได้ โดยทั่วไปเม็ดแป้งที่พองตัวเมื่อได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะเปลี่ยนไปอยู่ในลักษณะของแป้งเปียก (Paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อแป้งเปียกเย็นลงจะเกิดเป็นเจลขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลจะอยู่ในช่วง 58 - 70 °C แป้งเปียกที่เกิดขึ้นจะไม่คงตัวมากนักซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้แป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันสำปะหลัง จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปรแป้งเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งเปียก ทำให้เมื่อเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสตำแป้งมันสำปะหลังจึงเป็นแป้งที่เกิดการคืนตัวต่ำ และให้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใสไม่ทึบแสง

2.4.3 แป้งดัดแปร (Modified Starch)

แป้งมีสิ่งเจือปนอื่น เช่น โปรตีน ไขมัน เกลลิ่งแร่เล็กน้อย แต่เมื่อสิ่งเจือปนถูกขจัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (Starch) สตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยาต่างๆ มากมาย

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี การเกิดเจล การคืนตัวและการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็ง (Freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีสมบัติความเป็นกาวยเพิ่มขึ้น มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้น

เนื่องจากแป้งมีสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งในบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการนำแป้งมาปรับเปลี่ยนสมบัติบางอย่าง แป้งดัดแปรมีความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางกายภาพจากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งลักษณะเกณฑ์ซึ่งบ่งต่างๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภท จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่นๆ ต่ำ เหมาะต่อการนำมาทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอสังฐานของอะไมโลเพกทินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

2.4.4 การดัดแปรแป้งทางเคมี

ในการทำปฏิกิริยาเคมีกับแป้งโดยส่วนใหญ่แล้วจะทำในสภาพแขวนลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเป็นเจลหรือเจลาติไนเซชัน (45 - 50 °C) สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับแป้งบริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งโดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีของเม็ดแป้งขึ้นที่พื้นผิวบริเวณทั้งส่วนผลึกและภายในส่วนอสัณฐาน เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลสประมาณ 25% เมื่อทำปฏิกิริยาระหว่างเม็ดแป้งกับไอโอดีนที่มีน้ำเป็นตัวกลาง เม็ดแป้งจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินทันที แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเม็ดแป้งเข้ากับไอของไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งเท่านั้น ดังนั้นในการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งแห้ง สารเคมีจะไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับเม็ดแป้งที่ชุ่มน้ำหรือเม็ดแป้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่างเม็ดแป้งจะพองตัวและสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 1,000 ได้

ในระหว่างการดัดแปรแป้งทางเคมีจะหลีกเลี่ยงการเกิดเจลได้โดยการเติมโซเดียมซัลเฟตหรือโซเดียมคลอไรด์ลงในส่วนผสม การดัดแปรทางเคมีในระบบอุตสาหกรรมจะใช้สารเคมีในการทำปฏิกิริยาน้อย ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ทำในน้ำ ให้ค่าองศาการแทนที่ (Degree of Substitution; DS) ต่ำ ประมาณ 0.1 - 0.2 ใช้วิธีการดัดแปรหลายๆวิธีร่วมกัน ให้ได้ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สามารถปรับปรุงได้

การแทนที่ของหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งแสดงเป็นค่าองศาการแทนที่ คือ จำนวนหมู่ฟังก์ชันที่มาแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลต่อจำนวนหน่วยกลูโคส ในโมเลกุลกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ได้ 3 หมู่ คือ คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ค่าองศาการแทนที่จะบ่งบอกถึงจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่ถูกแทนที่เท่านั้น แต่ไม่ระบุถึงตำแหน่งที่ถูกแทนที่ การแสดงค่า DS จะเป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของทั้งโมเลกุล

$$DS = \frac{\text{โมลของหมู่ไฮดรอกซิลที่ถูกแทนที่โดยเฉลี่ย}}{\text{โมลของหมู่แอนไฮโดรกลูโคส}}$$

แป้งดัดแปรที่ได้จากการเกิดอนุพันธ์ แบ่งชนิดของปฏิกิริยาการดัดแปรออกเป็น 3 ชนิด คือ

- อีเทอร์ิฟิเคชัน (Etherification) เกิดการแทนที่ในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง โดยแขนของอีเทอร์ (R = -CH₃)
- เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Esterification) เกิดการแทนที่ในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง โดยแขนของเอสเทอร์ (R = -COCH₃)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเชื่อมโยง (Crosslinking) เกิดการแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1

ทั้งแป้งอีเทอร์และแป้งเอสเทอร์จัดเป็นแป้งที่ให้ความคงตัว (Stabilized starch) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเม็ดแป้งกับ Etherifying agent หรือ Esterifying agent ในสภาวะเบส โดยทั่วไปแป้งอีเทอร์และแป้งเอสเทอร์ที่ใช้ในทางการค้ามีระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.2 หมู่ฟังก์ชันต่างๆจะเข้าแทนที่ภายในกลูโคสที่หมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ส่วนใหญ่แป้งอะซิเตต ไฮดรอกซีอัลคิลสตาร์ช คาร์บอนซีเมทิลสตาร์ช และแคทไอออนิกสตาร์ช จะมีหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ส่วนหมู่แทนที่อื่นๆ จะเข้าแทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 สำหรับคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จะมีหมู่ฟังก์ชันเข้ามาแทนที่น้อยมาก

การแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชัน 1 หมู่ภายในโมเลกุลกลูโคสของแป้งอีเทอร์หรือแป้งเอสเทอร์ทำให้โมเลกุลอะไมโลสโครงสร้างของเม็ดแป้งดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้ยับยั้งการคืนตัวของเม็ดแป้งและทำให้มีความหนืดคงตัว แสดงลักษณะเป็นแป้งที่ให้ความคงตัว สำหรับการเข้าแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ของแป้งเชื่อมโยง มีจุดประสงค์เพื่อสร้างพันธะเชื่อมโยงข้ามระหว่างหมู่อะไมโลเพกทิน ทำให้อัตราการพองตัวของแป้งลดลง

แป้งอนุพันธ์จะมีสมบัติดังนี้

- 1) จะมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำกว่าแป้งดิบ
- 2) จะมีการพองตัว การละลายและความข้นมากกว่าแป้งดิบ
- 3) ความหนืดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการเข้าแทนที่ของสารให้อนุพันธ์และขนาดโมเลกุลของอนุพันธ์ ทั้งนี้จะไม่แปรผันทางเดียวกัน เช่นเพิ่มการแทนที่ระดับหนึ่ง แป้งอนุพันธ์ให้ความหนืดมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอีกระดับหนึ่ง อาจจะทำให้ความหนืดน้อยลง เป็นต้น
- 4) จะให้สมบัติเป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizing agent) เช่น ทนต่อการคืนตัวหลังแช่แข็ง (Freeze-thaw) เป็นต้น

2.4.5 แป้งเอสเทอร์

แป้งเอสเทอร์เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับหมู่เอสเทอร์ของสารเคมี แป้งเอสเทอร์ที่นิยมใช้ในทางการค้า ได้แก่ แป้งอะซิเตตและแป้งฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ แป้งดัดแปรทั้งสองชนิดมีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบ และรักษาความหนืดไว้ได้ดี เมื่อเกิดเป็นเจลจะมีความใส มีความอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวต่อสภาวะการแช่แข็งและการละลาย เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง นอกจากนี้ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสมบัติในการเป็นสารช่วยแตกตัวในการผลิตยาเม็ด หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แบ่งเอสเทอร์มีดังนี้ อะซิเตต (Acetate) เบนโซเอต (Benzoate) ฟอสเฟต (Phosphate) ซัคซิเนต (Succinate) มาลิเนต (Malinate) เป็นต้น

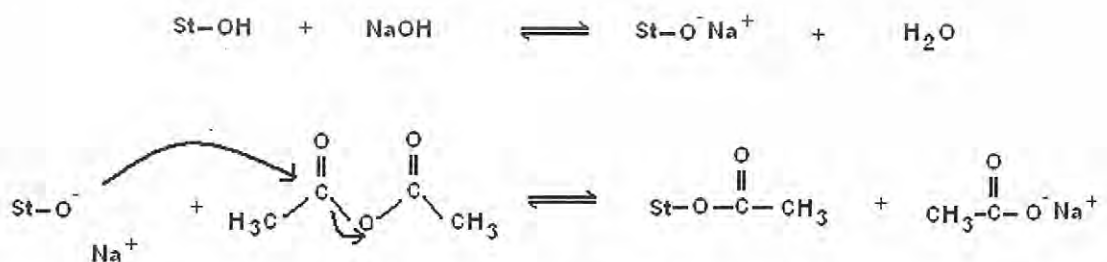
ในการผลิตแบ่งเอสเทอร์สามารถแบ่งตามระดับการทำปฏิกิริยาออกเป็น 3 ชนิด คือ

- 1) การทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.2 นิยมทำกันโดยทั่วไป
- 2) การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่สูงประมาณ 3 ใช้ไพริดีน (Pyridine) เป็นตัวทำละลาย
- 3) การทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ให้ระดับการแทนที่ปานกลาง ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย

2.4.6 แบ่งอะซิเตต

แบ่งอะซิเตตเป็นแบ่งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาอะซิทิเลชัน (Acetylation) ระหว่างแบ่งกับสารเคมีที่มีหมู่อะซิติก เช่น อะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) หรือกรดอะซิติก (Acetic acid) หมู่อะซิติกที่เข้าแทนที่หมู่อะซิติกในโมเลกุลของแบ่งจะยับยั้งการรวมตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ทำให้แบ่งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดแบ่งเปียกและทำให้เย็นลง แบ่งดัดแปรชนิดนี้ใช้เป็นสารคงตัวและสารให้ความข้น (Thickener) ในอุตสาหกรรมอาหาร

ปฏิกิริยาอะซิทิเลชันเกิดขึ้นระหว่างเม็ดแบ่งหรือแบ่งที่ผ่านการเกิดเจลแล้วกับสารเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการควบคุม pH ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เป็นปฏิกิริยาระหว่างแบ่งกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ และรูปที่ 2.14 เป็นปฏิกิริยาระหว่างแบ่งกับไวนิลอะซิเตต



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาระหว่างแบ่งกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับไวนิลอะซิเตต [15]

การผลิตแป้งอะซิเตตโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ระดับการแทนที่ต่ำ เดิมอะซิติกแอนไฮไดรด์ หรือไวนิลอะซิเตตอย่างช้าๆลงในสารแขวนลอยของแป้ง ความเข้มข้นของแป้งที่ผสมกับน้ำอยู่ในช่วง 30 - 55 % ขึ้นอยู่กับเทคนิคของการผสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงที่สุดในด้านของผลผลิต (Yield) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 25 - 30 °C และควบคุม pH ให้อยู่ที่ 7 - 11 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 % หลังจากนั้นใช้กรดเจือจางปรับให้สารแขวนลอยมี pH 5.5 - 6.5 กรอง ล้างเกลือและผลพลอยได้ (By product) ออก ทำให้แห้ง จะได้แป้งอะซิเตตที่มีหมู่อะซิติกไม่เกิน 5% มีระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.2

การผลิตแป้งอะซิเตตโดยไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ระดับการแทนที่สูง แป้งทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์โดยใช้ไพรีดีนเป็นตัวทำละลาย สามารถผลิตแป้งอะซิเตตที่มีระดับการแทนที่ 3 ได้ แต่สำหรับการผลิตทางการค้าโดยใช้สารละลายชนิดนี้ยังมีปัญหาเนื่องจากไพรีดีนมีราคาแพง มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ล้างออกจากผลิตภัณฑ์ได้ยากและมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูง

การผลิตแป้งอะซิเตตโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ระดับการแทนที่ปานกลาง แป้งอะซิเตตที่มีระดับการแทนที่ปานกลางสามารถย่อยได้ทางชีวภาพ มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก ในการผลิตปรับปรุงสมบัติของแป้งด้วยอะซิติกแอนไฮไดรด์ 40% จะควบคุม pH เท่ากับ 8 เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.4.7 การนำไปใช้

โครงสร้างของเม็ดแป้งดัดแปรเหมือนกันกับแป้งดิบ แป้งดัดแปรสามารถละลายได้มากขึ้น ถ้าระดับการแทนที่ของหมู่อะซิติกเพิ่มมากขึ้น มีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำลง มีอัตราการคืนตัวลดลง ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่เกิดการบีบตัวของน้ำออกมานอกเจล และทำให้สีของเม็ดแป้งไม่ขุ่น ฟิล์มจากแป้งอะซิเตตมีความใส มันเงา ยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มากและมีแนวโน้มจะแตกน้อยลง

ในอุตสาหกรรมอาหารใช้แป้งอะซิเตตเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็ง เนื่องจากมีสมบัติสามารถละลายน้ำได้มาก แป้งอะซิเตตที่ดัดแปรร่วมกับการเชื่อมโยงใช้เป็นสารเพิ่มความข้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อาหารแห้ง เบเกอรี่ อาหารเด็กอ่อน แป้งอะซิเตดที่ดัดแปรร่วมกับ แป้งพรีเจลาติโนซีใช้สำหรับผลิตน้ำเกรวี่ พุดดิ้ง โดยแป้งอะซิเตดที่ใช้กับอาหารต้องมีปริมาณ อะซิติกไม่เกิน 2.5 %ตามข้อกำหนดของ FDA (The Food and Drug Administration)

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และเนื่องจาก แป้งอะซิเตดที่สมบัติในการยึดติดกับเซลลูโลสได้ดีจึงนำมาใช้ในงานเคลือบกระดาษ ซึ่งทำให้ ประสิทธิภาพการพิมพ์ดีขึ้น

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้แป้งอะซิเตดเคลือบเส้นด้ายทำให้เส้นด้ายแข็งแรง ยืดหยุ่น ยึดเกาะกันได้ดีและแยกออกได้ง่าย เนื่องจากละลายน้ำได้ดี

2.5 การย่อยสลายของแป้ง

2.5.1 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือ ทางกายภาพ ทางเคมี และการก่อให้เกิดรอยดำ

1.การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage)

การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่น การกัดแทะของ เปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางโดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุร- ศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์ได้

2.การทำลายทางเคมี (Chemical damage)

การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการที่ เชื้อราเองเข้าทำลายวัสดุ โดยการปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น alfatoxin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือรอยดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3.การเกิดรอยดำ (Soiling)

ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเอง และ เชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยดำเช่นนี้ มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยดำ ของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหนังของแก้ว โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่ เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ จากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดย

ความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์สำคัญที่ใช้อัจฉินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาลมีดังนี้

- แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) เป็น endo-enzyme ซึ่งไฮโดรไลซ์พันธะ 1, 4 ไกลคอสิดิกของอะไมโลเพกติน

- กลูโคส-อะไมเลส (glucose-amylase) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1, 4 ไกลคอสิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ในโมเลกุลของแป้งซึ่งสามารถดึงหน่วยกลูโคสจากปลายไซนอกรีตวิซิง และสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,6 ไกลคอสิดิกของ อะไมโลเพกติน ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนแป้งและเดกตรินไปเป็นกลูโคส

- เบต้า-อะไมเลส (β -amylase) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1, 4 ไกลคอสิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้งให้ได้มอลโตสจากปลายไซนอกรีตวิซิง

2.5.2 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ (Enzymatical hydrolysis)

แป้งย่อยสลายได้โดยใช้เอนไซม์ เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลิตโดยผสมสารละลายแป้งกับเอนไซม์ นำไปเจลาตีไนเซชันโดยใช้ Direct system injection (jet - cooker) เมื่อเอนไซม์ย่อยถึงระดับที่ต้องการ หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยเพิ่มอุณหภูมิภายใน cooker ให้สูงขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของแป้งดัดแปรที่ได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้ง ได้แก่ น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโตส ไฮโคเลเดกซ์ตริน

2.6 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) [18]

พลาสติไซเซอร์ ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรืออีลาสโตเมอร์ แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนการใช้งาน และการยืดตัว แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในการสร้างพอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติไซเซอร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ทุติยภูมิ (Secondary covalent) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอ่อนลงเกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว อีกประเภทหนึ่งคือ พลาสติไซเซอร์ภายใน (Internal plasticizer) ซึ่งมักจะเป็น secondary หรือ tertiary monomer ที่เติมลงเพื่อเกิดโคพอลิเมอร์ไรเซชันกับพอลิเมอร์ตัวพื้นฐานในลักษณะของการเกิดแบบสุม (เพราะเติมระหว่างทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์) หรือเกิดปฏิกิริยาแบบ substitution บนสายโมเลกุลหลักแบบกราฟโคพอลิเมอร์ (เพราะเติมหลังจากทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์แล้ว)

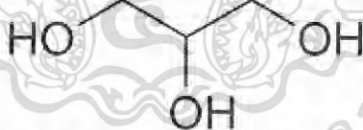
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของพลาสติกไซเซอรที่ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้ โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติกไซเซอรที่มีสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้ง พลาสติกที่ดีต้องมีลักษณะทางกายภาพที่ดี สามารถคงความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน

พลาสติกไซเซอรที่นำมาใช้กับพลาสติกจากแป้งมีหลายประเภท ได้แก่ มอนอ ไค และโพลิ - โกลแซ็กคาไรด์ พอลิแอลกอฮอล์และไขมันหรืออนุพันธ์ของไขมัน

พอลิแอล (Polyols) พอลิไฮดริคแอลกอฮอล์เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิแอลบางชนิดพบในน้ำผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (Hydrogenation) พอลิแอลมีสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับน้ำและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือ กลีเซอริน (Glycerin) เป็นพอลิแอลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด ผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง กลีเซอรอลมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของกลีเซอรอล

พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ เป็นของเหลวหรือของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล มีความหนาแน่น 1.1 - 1.2 g/cm³ เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) มีสูตรโมเลกุล $C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.16 ในการเรียกชื่อจะมีการระบุตัวเลขที่แสดงถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PEG เช่น PEG ที่มี $n = 80$ จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 3500 ดาลตัน จึงเรียกว่า PEG 3500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ PEG

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G.H. Yew และคณะ [3] ทำการศึกษาสมบัติและพฤติกรรมการย่อยสลายเนื่องจากการดูดซึมน้ำและการย่อยสลายโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ของพอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid) ; PLA) ที่ผสมแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนต่างๆ พบว่ามอดุลัส (Modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีค่าลดลง เนื่องจากอนุภาคของแป้งเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) กลายเป็นจุดรวมแรงเค้น (Stress concentrator) หลังจากการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่าสมบัติการดึงยึดของวัสดุมีค่าลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PLA เกิดการย่อยสลายบริเวณอินเทอร์เฟซ (Interface) ของ PLA และแป้ง และเกิดการหลุดออก (Leaching) ของอนุภาคแป้ง เมื่อทดสอบการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ พบว่าสมบัติการดึงยึดมีค่าลดลงอย่างมาก และพื้นผิวของวัสดุมีลักษณะเป็นหลุมกระจายอยู่ทั่ว

พรรวี สุมิตร [16] ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้ (Edible films) จากโคโคซานกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน 50:50 มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงสุด จากผลขององศาการแทนที่ของหมู่เอสเทอร์ในแป้งดัดแปร พบว่าแป้งดัดแปร DS 0.02 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแป้งดัดแปร DS 0.06 ส่วนผลของปริมาณกลีเซอรอลพบว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลปริมาณ 5 % ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น จะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลง

กิตติวุฒิ ธนรัตน์พัฒนกิจ และคณะ [18] ทำการศึกษาการขึ้นรูปพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว ด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติก-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติไซเซอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล เปอร์เซ็นต์การยึดและปริมาณการดูดซึมความชื้นของ ชีงงานมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงกระแทกและความแข็งกดมีค่าลดลง

Tianyi Ke และ Xiuzhi Sun [19] ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ PLA ผสมแป้ง ข้าวโพด และ PLA ผสมแป้งข้าวสาลี ในอัตราส่วนต่างๆ โดยพบว่าทั้งแป้งข้าวโพดและแป้งข้าว สาลีไม่สามารถผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับ PLA ได้ การผสมแป้งไม่ทำให้พฤติกรรมทางความร้อน ของ PLA เกิดการเปลี่ยนแปลง และไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นผลึกของ PLA มากนัก ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งมากขึ้น ในขณะที่มอดุลัสมี ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งจนถึง 70 % และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณแป้งมากกว่า 60% PLA จะ เปลี่ยนจากวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) เป็นวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase)

E.M. Nakamura และคณะ [20] ทำการศึกษาผลของการผสมแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้ง Native, Adipate, Acetylated (RD125) และแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ในอัตราส่วน 95/5, 90/10 และ 80/20 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าแป้งทุกชนิดให้ผลไปในทางเดียวกัน คือเมื่อเพิ่ม ปริมาณแป้ง ความแข็งแรงดึง, เปอร์เซ็นต์การยึดและมอดุลัสจะมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับ LDPE บริสุทธิ์ ยกเว้นที่ 20%โดยน้ำหนัก มีค่ามอดุลัสสูงกว่า LDPE บริสุทธิ์ โดยการผสมแป้งมัน สำปะหลังให้ค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่น และจากการทดสอบการย่อยสลายใน Activated sludge พบว่าพอลิเมอร์ LDPE ผสม แป้งมันสำปะหลัง เกิดการย่อยสลายได้มากที่สุด

R.L. Shogren และคณะ [21] ทำการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุประกอบ ระหว่างแป้งข้าวโพด, พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และ พอลิไฮดรอกซีเอสเตอร์อีเทอร์ (Poly(hydroxyester-ether; PHEE)) ด้วยการนำชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลไปฝังดินเป็นเวลา 1 ปี พบว่าอัตราการลดลงของน้ำหนักชิ้นงาน เป็นดังนี้ PLAบริสุทธิ์ < แป้ง/PLA < แป้ง/PHEE/PLA โดย PLA มีการสลายตัวช้ามากในสภาวะแวดล้อมปกติซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส เมื่อผสมแป้งและ PHEE ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้อัตราการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานเพิ่มขึ้น โดยมีเพียงแป้งเท่านั้นที่เกิดการสลายตัว PHEE เป็นสารที่ช่วยลดความเหนียวของสารที่หลอมเหลว ทำให้สามารถขึ้นรูปสูตรที่มีแป้งถึง 70 % ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป

Li Chen และคณะ [22] ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม พอลิแลคติกแอซิด (Poly(L-lactide); PLLA) กับแป้ง ในอัตราส่วน 50:50 โดยมี พอลิแลคติกแอซิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ ของแป้ง (Poly (L-lactide)-g-starch copolymer) เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) พบว่าการ ใช้สารช่วยผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติในการต่อต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะแวดล้อม ทั้งสารละลายกรด เบสและน้ำ ที่ดีขึ้น เนื่องจากทำให้พอลิเมอร์ผสมมีองค์ประกอบ เป็นผลึกมากขึ้น และช่วยเสริมการยึดเกาะระหว่างเม็ดแป้งและ PLLA เมทริกซ์ให้ดีขึ้น

Park และคณะ [23] ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ต่อฟิล์มเมทิล-เซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โดยใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด ได้แก่พอลิเอ-ทิลีนไกลคอล พรอพิลีนไกลคอล และกลีเซอริน ที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17, 0.33, 0.50 และ 0.66 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซออร์ต่อกรัมเซลลูโลส และควบคุมความหนาของฟิล์ม พบว่าเมื่อใช้ ความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มทั้งสองชนิดจะลดลง แต่ การยึดตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่น ของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซออร์อีก 2 ชนิด สมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจน เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ โดยในกรณีของกลีเซอรอลค่าการซึมผ่านของ ไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่า 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซออร์ ต่อกรัมเซลลูโลส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Ecoflex[®] (เกรด F)* บริษัท BASF Corporation Co., Ltd.
2. Poly (lactic acid) (เกรด 4042 D)* บริษัท Naturework Co.,Ltd
3. แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดเอสเตอร์ องศาการแทนที่ (Degree of substitution; DS 0.02) บริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd.
4. กลีเซอรอล (เกรดวิเคราะห์) บริษัท ITALMA Co., Ltd.
5. พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG - 400) บริษัท ITALMA Co., Ltd.
6. Phenolic antioxidant (Anox[®] 20) บริษัท วัลย์ดีพัฒนาทรัพยากร จำกัด
7. Phosphite antioxidant (Alkanox[®] 24) บริษัท วัลย์ดีพัฒนาทรัพยากร จำกัด

หมายเหตุ * Datasheet ของ Ecoflex[®] และ Poly (lactic acid) แสดงในภาคผนวก ก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
2. ตู้อบ
3. เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)
4. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด
5. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two - roll mill) รุ่น LRM 110 บริษัท Lab Tech Engineering Co., Ltd.
6. เครื่องบดเม็ดพลาสติก (Grinder) บริษัท Bosco engineering Co., Ltd.
7. เครื่องวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Indexer) รุ่น CEAST 6542.550
8. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) รุ่น TTI – 220/80 HITECH (Cosmo).
9. เครื่องทดสอบบอบเนกประสงค์ (Universal testing machine) รุ่น LR5K: Lloyd Instrument Ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact tester) รุ่น Yasuda, 7697 00
11. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) Shore D รุ่น Yasuda 7689
12. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JEOL JSM 62
13. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC (Differential Scanning Calorimeter) (METTLER TOLEDO Co., Ltd)
14. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน HDT (Heat Deflection Temperature) รุ่น WALLACE
15. Hygrometer
16. เครื่องวัดพีเอช

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

- 1) อบ Ecoflex[®] พอลิแลคติกแอซิดและแป้งดัดแปรเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่
- 2) ผสม Ecoflex[®] กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ในอัตราส่วน 50:50 (โดยน้ำหนัก) โดยเตรียม สูตรผสมกลีเซอรอล 0, 5, 10, 15 และ 20% ดังตารางที่ 3.1 ตามลำดับ โดยกลีเซอรอล, Antioxidants - Anox[®] 20 และ Antioxidants - Alkanox[®] 24 มีปริมาณสารเป็นส่วนในร้อยละของ Ecoflex[®]/EMS (Part per hundred polymer; php)

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมที่ใช้ในการทดลอง

| สาร | ปริมาณสาร |
|--|------------------|
| Ecoflex [®] /EMS | 50:50 |
| Glycerol | 0, 5, 10, 15, 20 |
| Antioxidants - Anox [®] 20 | 0.05 |
| Antioxidants - Alkanox [®] 24 | 0.05 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของ PLA ทำการผสมกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ในอัตราส่วน 50:50 โดยเตรียมสูตรผสมกลีเซอรอล 0, 10, 20% และสูตรผสม PEG 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทุกสูตร ใช้ Antioxidants - Anox[®] 20 และ Antioxidants - Alkanox[®] 24 อย่างละ 0.05 php

3) ทำการผสมสารแต่ละสูตรให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมชนิดสองลูกกิ้ง (Two - roll mill) โดยในกรณีของ Ecoflex[®] ใช้อุณหภูมิของลูกกิ้งหน้าและหลังเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ส่วน PLA ใช้อุณหภูมิของลูกกิ้งหน้าและหลังเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส

4) นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก (Grinder)

5) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น

6) นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมใส่ลงส่วนป้อนสาร (Hopper) ของเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วทำการปรับอุณหภูมิและความดัน ตามความเหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่สุด สภาวะการฉีดแสดงได้ดังภาคผนวก ข

3.3.2 การทดสอบสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1. การวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index; MFI)

ทำการวัดความสามารถในการไหลของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Melt Flow Indexer โดยใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส, น้ำหนัก 2.16 กิโลกรัม รายงานผลในหน่วย กรัม/10 นาที

2. ศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

แช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการหักอย่างรวดเร็ว ทำการเคลือบผิวที่จะศึกษาด้วยทองแล้วนำไปส่องดูผิวบริเวณที่เกิดการแตกหัก (Fractured surface) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

3. ศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

3.1) การทดสอบแรงดึง (Tensile tests)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal tensile tester วัดค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส ตามมาตรฐาน ASTM D638 ใช้ชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้นต่อสูตร สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------------------------|--------------------|
| ความเร็วดึง (Crosshead speed) | 5 มิลลิเมตรต่อนาที |
| ระยะห่างของชิ้นงาน (Gauge length) | 25 มิลลิเมตร |
| น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell) | 5 kN |

3.2) การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact test)

ทดสอบด้วยเครื่อง Izod impact tester ตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยใช้ชิ้นงานที่มีรอยบาก (Notch) ลึก 0.1 นิ้ว ทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อสูตร

3.3) การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

ทดสอบหาค่าความแข็งกด ตามมาตรฐาน ASTM D785 โดยใช้มาตรฐานแบบ Shore D ลักษณะของชิ้นงานที่นำมาทำการทดสอบต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า ¼ นิ้ว กดเป็นเวลา 5 วินาที จึงสามารถอ่านค่าได้ โดยทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อสูตร

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

ศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570-81 นำชิ้นงานที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 20 วัน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกๆ 2 วัน ปริมาณการดูดซึมความน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100 \quad (4.1)$$

M_t คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น ณ เวลา (t) ใดๆ

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ

W_w คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่น้ำ

5. ศึกษาสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

5.1) Heat Deflection Temperature (HDT)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D648 โดยใช้แรง 0.46 MPa กดลงตรงกลางของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้วยเทคนิคการทดสอบการโค้งงอสามจุด (Three-point bending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

test) ให้ความร้อนด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึง 200 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำมันซิลิโคนเป็นตัวกลาง

5.2) Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ซึ่งนำน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิกรัมให้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter โดยให้ความร้อนด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึง 200 องศาเซลเซียส จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิห้อง และให้ความร้อนครั้งที่ 2 ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนมีอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส ค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity; X_c) ของ PLA สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

$$X_c (\%) = \Delta H_m \times 100 / (93 \times X_{PLA}) \quad (4.2)$$

ΔH_m คือ ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของการหลอมเหลวพอลิเมอร์ผสม

ค่า 93 J/g คือ ค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลว PLA ที่มีความเป็นผลึก 100% [19]

X_{PLA} คือ อัตราส่วนของ PLA ในพอลิเมอร์ผสม ($X_{PLA} = 0.5$)

6. ทดสอบการฝังดิน (Burial Test)

เป็นการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสม โดยการนำชิ้นงานตัวอย่างฝังในดินลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และขุดขึ้นมาเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกอาทิตย์ โดยมีการบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของดินทุกๆ 3 วัน

3.3.3 ปัจจัยที่ต้องการศึกษา

- 1) ศึกษาผลของการผสม Ecoflex[®] และพอลิแลคติกแอซิดกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ที่อัตราส่วน 50:50 (โดยน้ำหนัก)
- 2) ศึกษาผลของปริมาณและชนิดของพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Ecoflex[®] และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ (EMS) ในอัตราส่วน 50:50 โดยศึกษาผลของชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ กลีเซอรอล และ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่มีผลต่อกระบวนการขึ้นรูป และสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่สามารถขึ้นรูปได้

ค่าดัชนีการหลอมไหล (MFI) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการไหลของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อกระบวนการขึ้นรูปอย่างมาก โดยค่า MFI ควรมีค่าที่เหมาะสมสามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้อย่างสมบูรณ์

สมบัติเชิงกลที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าความแข็งกด ควรมีค่าสูง เพื่อให้สามารถทนต่อแรงกระทำที่อาจเกิดขึ้นจากการนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิจุดอ่อนตัว ค่า T_g และค่า T_m ก็เป็นปัจจัยสำคัญในการนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งาน ซึ่งควรนำไปใช้ในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1 ดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index; MFI)

เมื่อทำการผสมแป้งดัดแปรเอสเทอร์ลงใน Ecoflex[®] และ PLA ในอัตราส่วน 50:50 พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีค่าดัชนีการหลอมไหล (MFI) มากกว่า Ecoflex[®] และ PLA ที่ไม่ได้ใส่แป้ง เนื่องจากแป้งมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก จากการศึกษาลักษณะด้วย SEM พบว่ามีขนาดประมาณ 5 – 10 μm มีความนิ่ม คาดว่าเม็ดแป้งจะช่วยหล่อลื่นวัสดุผสมให้ไหลผ่านหัวดายขณะทดสอบ MFI ได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ค่า MFI ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่า Ecoflex[®] และ PLA ที่ไม่ได้ใส่แป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่า MFI ของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS (50:50) กับกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | MFI (g/ 10 min) |
|---|-----------------|
| Ecoflex [®] | 3.9 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 0% Plasticizer | 5.1 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 5% Glycerol | 6.5 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 10% Glycerol | 8.2 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 15% Glycerol | 10.8 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 20% Glycerol | 11.6 |

ตารางที่ 4.2 ค่า MFI ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | MFI (g/ 10 min) |
|----------------------------------|-----------------|
| PLA | 6.4 |
| PLA / EMS (50:50) 0% Plasticizer | 7.5 |
| PLA / EMS (50:50) 5% PEG | 9.1 |
| PLA / EMS (50:50) 10% PEG | 16.9 |
| PLA / EMS (50:50) 15% PEG | 23.4 |
| PLA / EMS (50:50) 20% PEG | 32.1 |
| PLA / EMS (50:50) 10% Glycerol | 8.1 |
| PLA / EMS (50:50) 20% Glycerol | 14.0 |

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า สูตรที่มีการเติมกลีเซอรอลมีค่า MFI มากกว่าสูตรที่ไม่ได้เติม และค่า MFI จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอรของระบบได้เข้าไปหล่อลื่นระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ความแรงของพันธะไฮโดรเจนที่มีจึงลดลง สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่าย พอลิเมอร์ผสมจึงมีความสามารถในการไหลได้มากขึ้น

ในกรณีของ PLA พบว่า สูตรที่ไม่มีการใส่พลาสติกไซเซอร วัสดุมีสมบัติการไหลที่ต่ำมาก ทำให้ยากต่อการขึ้นรูป แม้สูตรที่ใช้กลีเซอรอลถึง 20 wt.% ขึ้นงานที่ได้ก็ยังคงมีความแข็งและเปราะ

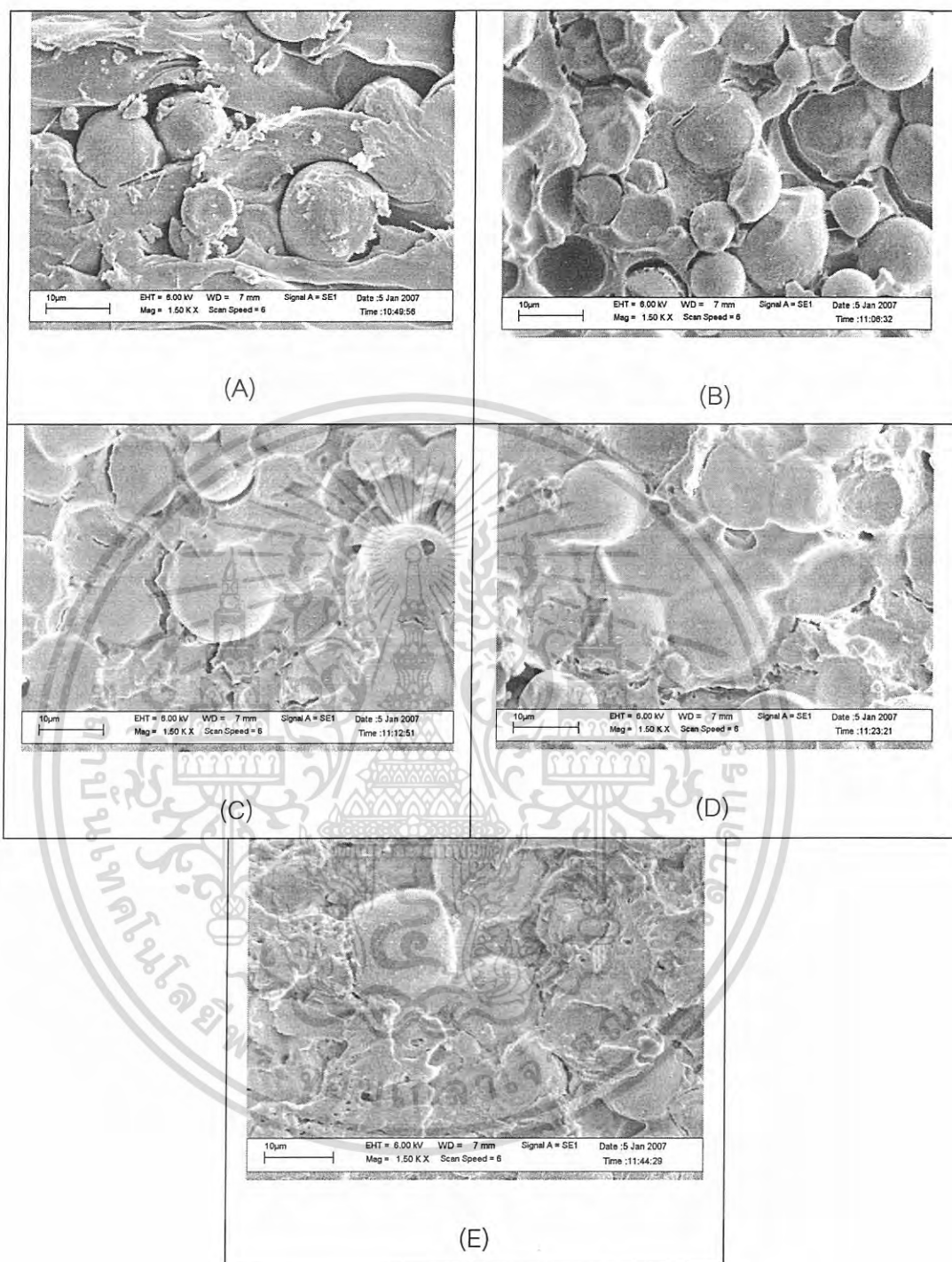
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่มาก จึงได้ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) เป็นพลาสติกไซเซอรแทน ซึ่งพบว่า ในปริมาณพลาสติกไซเซอรที่เท่ากัน สูตรที่ใช้ PEG จะมีค่า MFI มากกว่าสูตรที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก PEG มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่ากลีเซอรอล จึงเข้าไปแทรกและทำให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่มีมากขึ้น ความแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์จึงน้อยกว่า จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า PEG เป็นพลาสติกไซเซอรที่ดีของ PLA [25]

4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

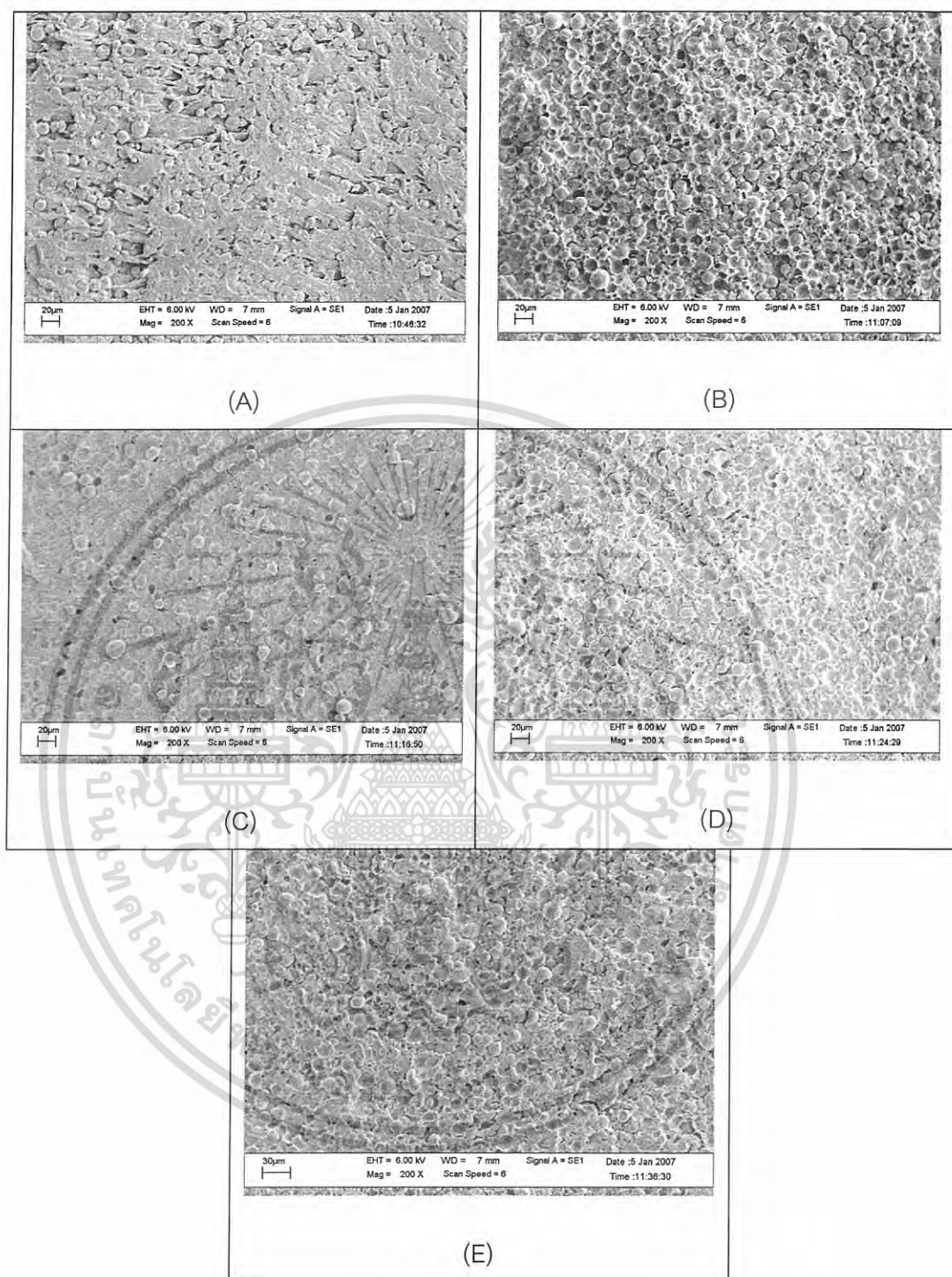
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS และ PLA / EMS ด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 4.1 - 4.4 พบว่า Ecoflex[®] กับแป้ง และ PLA กับแป้ง ไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible) โดยแป้งมีขนาดอนุภาคประมาณ 5-10 μm มีลักษณะเป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) กระจายตัวอย่างสม่ำเสมออยู่ใน Ecoflex[®] และ PLA ซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) จากรูป SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า พบว่า การกระจายของอนุภาคแป้งในพอลิเมอร์ผสม ทั้งสูตรที่ไม่ได้ใส่พลาสติกไซเซอร และสูตรที่ใส่พลาสติกไซเซอร ในทุกอัตราส่วน มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่า การใช้พลาสติกไซเซอรไม่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคแป้งในพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน Ecoflex[®] : EMS และ PLA : EMS เท่ากับ 50:50 และจากรูปร่างพบอีกว่า มีช่องว่างเล็กน้อยแทรกอยู่ตามเนื้อพอลิเมอร์ผสม โดยช่องว่างเหล่านี้อาจเกิดจากความชื้นที่ถูก Ecoflex[®] , PLA และแป้งดูดซับไว้ โดยเฉพาะแป้ง ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ เป็น Hydrophilic polymer [3, 19] เนื่องจากโมเลกุลของแป้ง มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy group, -OH) อยู่ในสายโซ่ แป้งจึงสามารถดูดความชื้นจากสภาวะแวดล้อมได้ดี ดังนั้นเมื่อทำการฉีดขึ้นรูป ซึ่งมีการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ความชื้นที่ถูกดูดซับไว้ จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ทำให้เกิดฟองอากาศแทรกอยู่ตามเนื้อของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



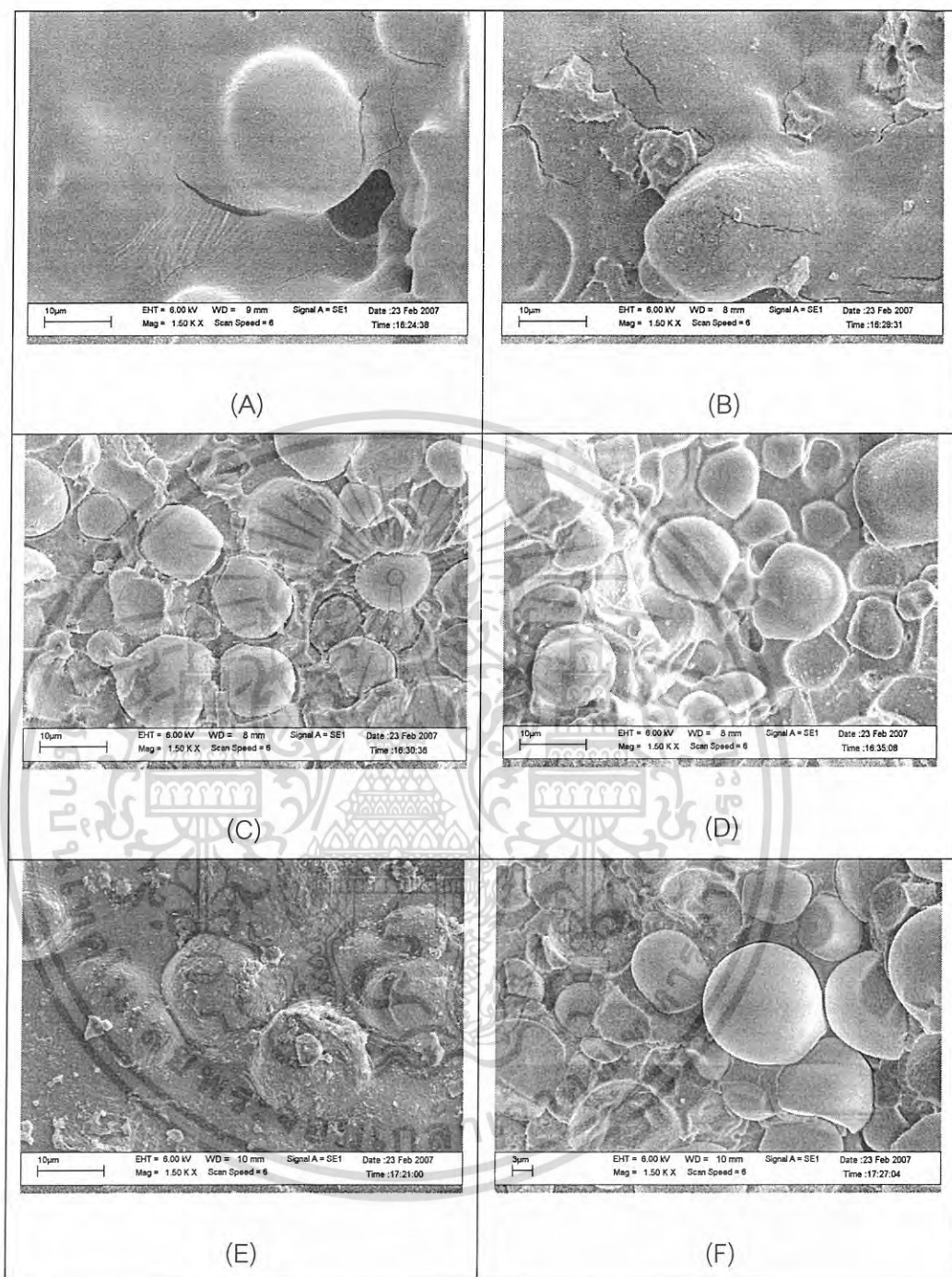
รูปที่ 4.1 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0-20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 1500X (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15% และ (E) 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



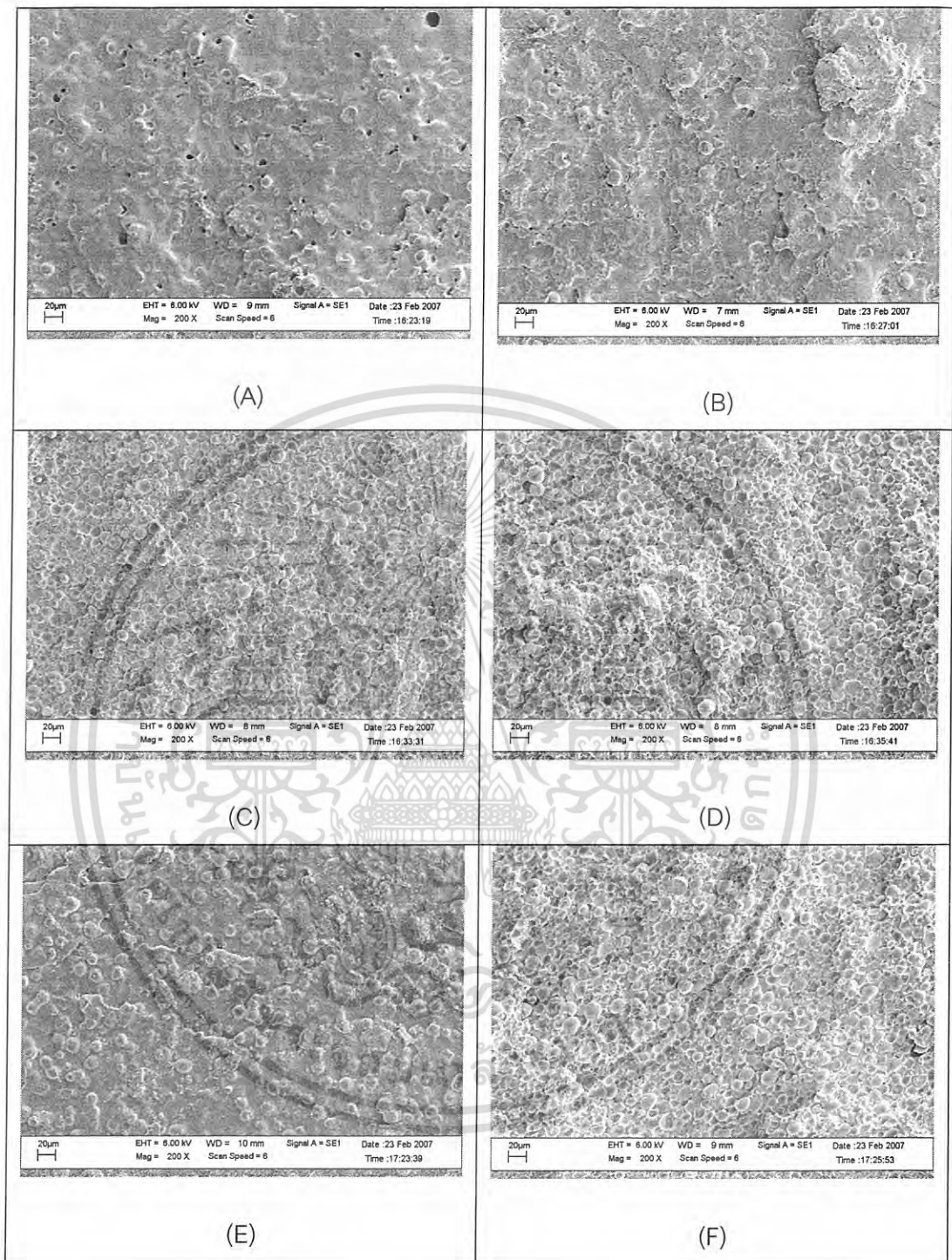
รูปที่ 4.2 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex® / EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0-20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200X (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15% และ (E) 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ กลีเซอรอล 10 และ 20 %, ปริมาณ PEG 5-20 % โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 1500X (A) 10% และ (B) 20% กลีเซอรอล, (C) 5%, (D) 10%, (E) 15% และ (F) 20% PEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/EMS อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ กลีเซอรอล 10 และ 20 %,ปริมาณ PEG 5-20 %โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 200X (A) 10% และ (B) 20% กลีเซอรอล, (C) 5%, (D) 10%, (E) 15% และ (F) 20% PEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกล ได้ใช้เครื่อง Universal Testing Machine เพื่อทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Ecoflex[®] และ PLA กับแป้งคัดแปรเฮลเทอริในอัตราส่วน 50:50 โดยใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดและปริมาณที่ต่างกัน แต่เนื่องจาก พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA / EMS สูตรที่ไม่มีการใส่พลาสติกไซเซออร์ นั้นไม่สามารถขึ้นรูปได้ จึงไม่สามารถแสดงสมบัติเชิงกลต่างๆได้

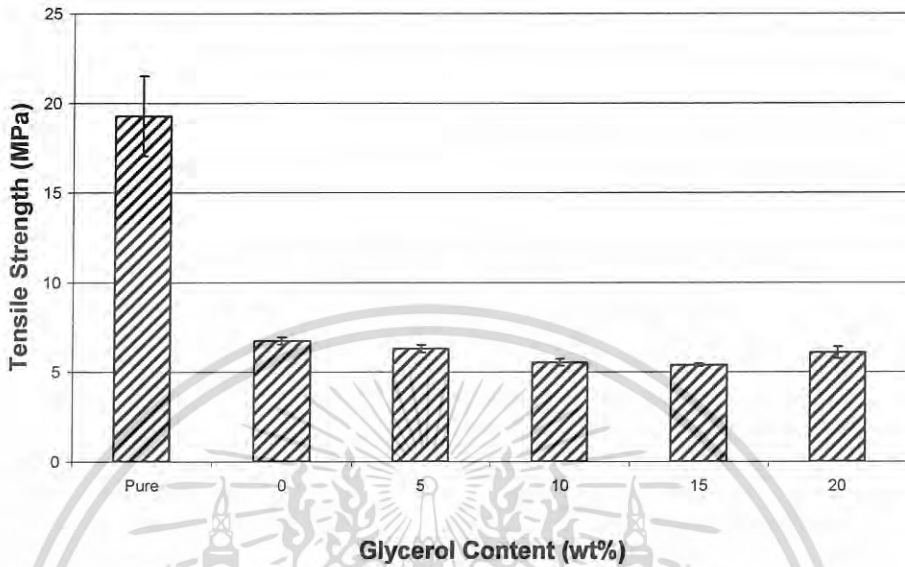
4.3.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า เมื่อมีการผสมแป้งคัดแปรเฮลเทอริลงในพอลิเมอร์ ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง เนื่องจากอนุภาคแป้งจะแทรกตัวอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ จึงเป็นวัฏภาคต่อเนื่องน้อยลง และเมื่อมีการใส่พลาสติกไซเซออร์ ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์มีขนาดเล็ก จึงสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ได้ดีทั้งใน Ecoflex[®] และ PLA ทำให้ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างพอลิเมอร์และแป้งลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์มากขึ้น ระยะห่างระหว่างสายโซ่จะยิ่งมากขึ้น เมื่อมีการให้แรงดึง สายโซ่ของพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ผ่านกันและหลุดออกจากกันได้ง่ายขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงลดลง

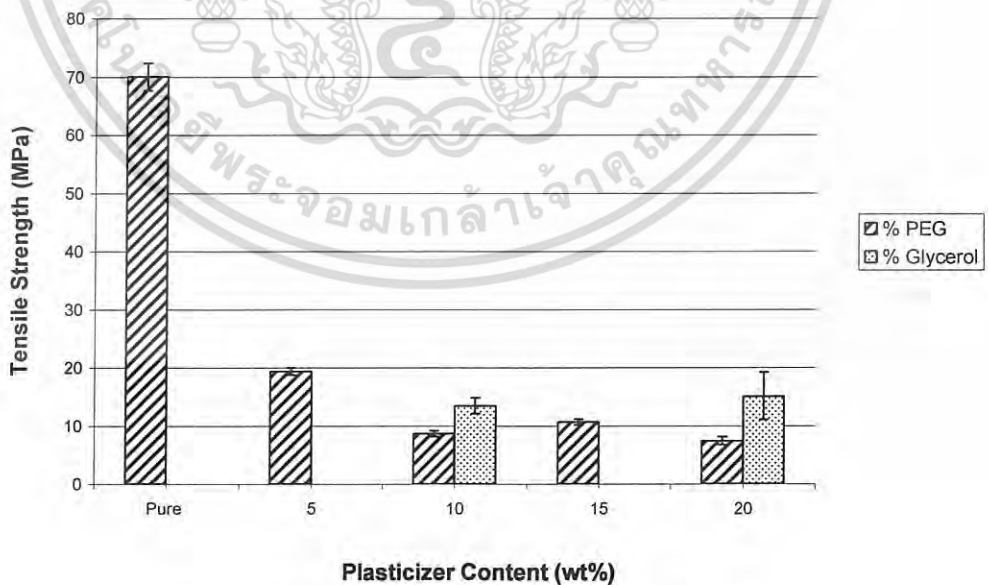
ในกรณีของ PLA พบว่า การใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่น้อยกว่าการใช้กลีเซอรอลเล็กน้อย เนื่องจาก PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ดีของ PLA มีความสามารถในการเข้ากันกับ PLA ได้ดีกว่ากลีเซอรอล จึงสามารถแทรกตัวระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ได้มากกว่า ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์จึงน้อยกว่า จึงช่วยหลบลื่นสายโซ่ให้เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงใช้แรงในการทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ออกจากกันน้อยลง

นอกจากนี้ ค่าความแข็งแรงดึงที่ลดลงอาจเนื่องมาจากฟองอากาศที่เป็นรอยตำหนิในชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งอาจเกิดจากความชื้นในวัสดุผสม ที่เกิดการระเหยขณะขึ้นรูป เกิดเป็นฟองอากาศถูกกักขังอยู่ในชิ้นงาน โดยดูได้จากผลการศึกษาด้านฐานวิทยา (SEM) รูปที่ 4.1 – 4.4 ซึ่งฟองอากาศนี้ เป็นจุดริเริ่มของการเสียหาย และจะมีผลต่อการทดสอบสมบัติ ณ จุดเสียหาย เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) โดยปริมาณและขนาดของรอยตำหนิ (Defects or Flaws) จะมีผลอย่างมากต่อการเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex® / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์

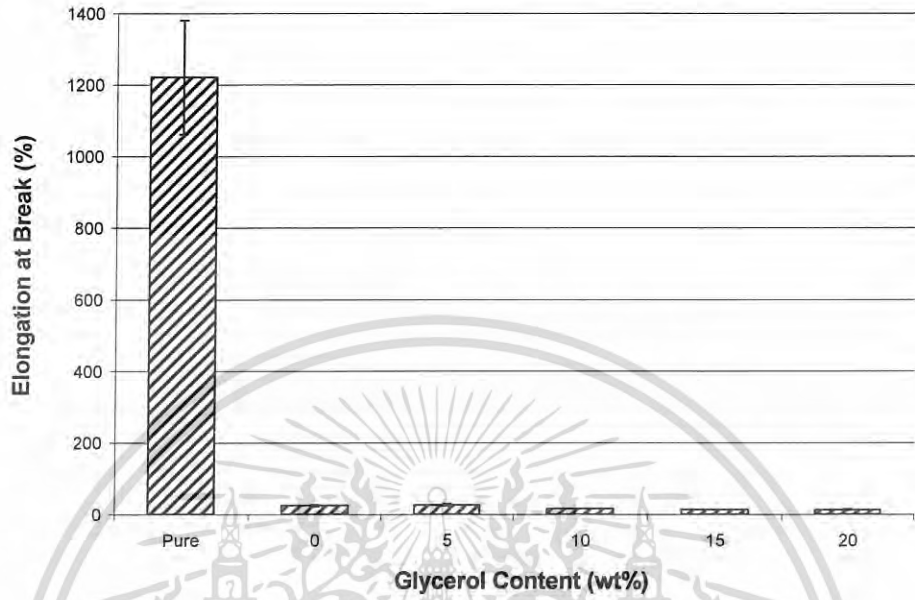
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break)

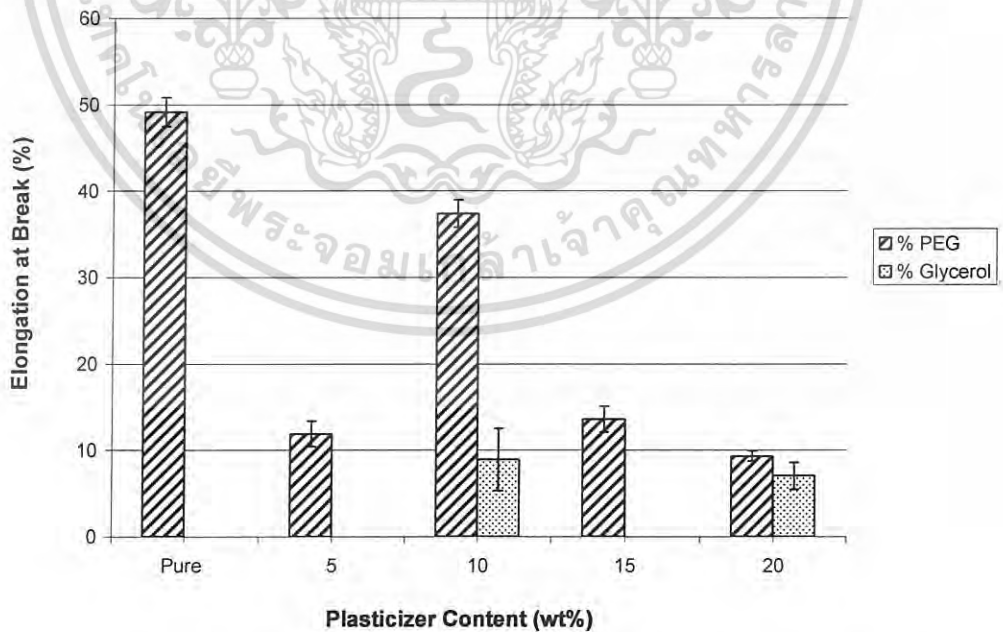
จากรูปที่ 4.7 - 4.8 พบว่า เมื่อมีการผสมแป้งดัดแปรเอสเทอร์ลงไปในพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด คือ Ecoflex[®] และ PLA จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก เนื่องจากอนุภาคแป้งจะไปแทรกอยู่ระหว่างภูมิภาคต่อเนื่องของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ทำให้ภูมิภาคต่อเนื่องลดลง เกิดเป็นรอยต่อระหว่างภูมิภาคขึ้น ซึ่งดูได้จากรูปที่ 4.1 - 4.4 เมื่อทำการดึงยึดจึงเกิดรอยขาดบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างภูมิภาค เมื่อทำการดึงยึดจึงขาดง่าย

จาก SEM รูปที่ 4.1 - 4.2 พบว่า ทุกสูตรของ Ecoflex[®] ที่มีการผสมแป้งดัดแปรนั้นมีช่องว่างเกิดขึ้นอยู่ในชิ้นงานตัวอย่าง โดยช่องว่างนี้อาจเกิดจากความขึ้นที่อนุภาคแป้งในพอลิเมอร์ผสมดูดซับเอาไวกจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ความชื้นจึงระเหยออกไปกลายเป็นช่องว่างอยู่ในชิ้นงาน เมื่อให้แรงดึงยึด บริเวณที่เป็นช่องว่างจะขยายออกจนชิ้นงานขาดในที่สุด โดยปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มากนัก

ในกรณีของ PLA จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อมีการใส่พลาสติกไซเซอร์ PEG ปริมาณ 10% PEG โดยน้ำหนัก จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาจาก SEM รูปที่ 4.3 - 4.4 จะเห็นได้ว่า ภายในชิ้นงานตัวอย่างของ PLA / EMS 10 wt.% PEG จะมีช่องว่างภายในชิ้นงานน้อย และรอยต่อระหว่างภูมิภาคมีขนาดเล็ก จึงทำให้ดึงยึดได้มาก ในขณะที่สูตรที่มีการเติม 5 wt.% PEG พบว่า ในชิ้นงานจะมีช่องว่างจำนวนมาก ซึ่งอาจเกิดจากไอน้ำที่แป้งดูดซับเอาไวก ส่วนสูตร 15 และ 20 wt. % PEG อาจเกิดจากการใส่ PEG ที่มากเกินไป เมื่อดึงยึด แป้งจึงเกิดการลื่นไหลได้ง่าย ทำให้ชิ้นงานขาดได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex® / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร์

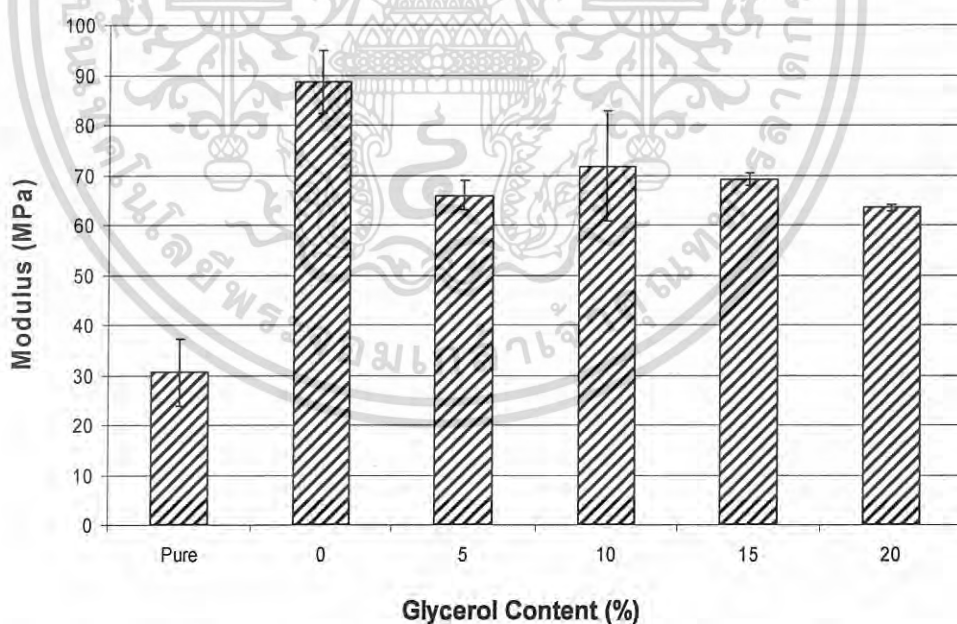
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 มอดุลัส (Modulus)

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า Ecoflex[®] และ PLA ที่ผสมกับแป้งดัดแปร มีค่ามอดุลัสสูงกว่า Ecoflex[®] และ PLA ที่ไม่ได้ผสมแป้ง เนื่องจากแป้งจะเข้าไปเพิ่มความแข็งให้กับพอลิเมอร์ผสมให้มากขึ้น

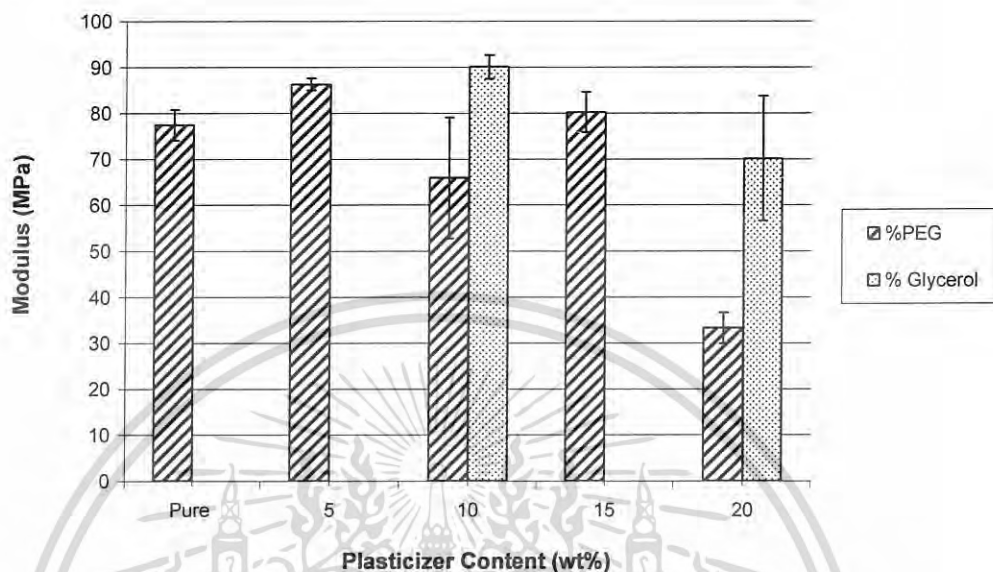
เมื่อปริมาณพลาสติกไฮเซอร်เพิ่มขึ้น ทั้งกรณีของ Ecoflex[®] และ PLA ที่ผสมแป้งดัดแปร พบว่า ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพลาสติกไฮเซอร်มีขนาดโมเลกุลที่เล็ก จึงสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น ค่ามอดุลัสจึงลดลง เนื่องจากพลาสติกไฮเซอร်จะช่วยเพิ่มความอ่อนตัวให้กับพอลิเมอร์ผสม ค่ามอดุลัสจึงลดลง

โดย PLA ผสมแป้งดัดแปรที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไฮเซอร် มีค่ามอดุลัสต่ำกว่า PLA ผสมแป้งดัดแปรที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอร် เนื่องจาก PEG มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ากลีเซอรอล เมื่อแทรกตัวระหว่างสายโซ่แล้ว จะทำให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่มีมากกว่า ความแรงของพันธะไฮโดรเจนจึงลดลง ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ผ่านกันและหลุดออกจากกันได้ง่ายกว่า



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับ ปริมาณพลาสติกไซเซอร์

จากค่าความแข็งแรงดึง, เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของพอลิเมอร์ พบว่าการผสมแป้งลงใน Ecoflex[®] และ PLA มีผลทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งและเปราะเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสามารถในการรับแรงได้น้อยลง นั่นคือ พอลิเมอร์มีความแข็งแรงลดลง และเมื่อมีการใส่พลาสติกไซเซอร์ลงไป พบว่า ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์ในปริมาณที่มากขึ้น

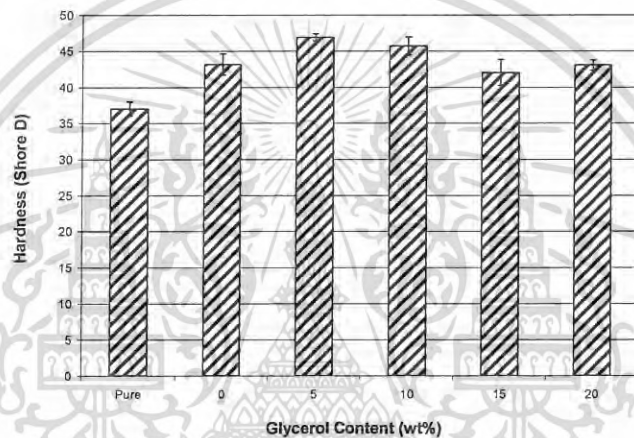
4.3.4 ความแข็งกด (Hardness)

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่า เมื่อมีการผสมแป้งดัดแปรกับพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ทั้ง Ecoflex[®] และ PLA จะทำให้ค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การใส่แป้งเป็นการเพิ่มความแข็งและความเปราะให้กับพอลิเมอร์ [16, 24]

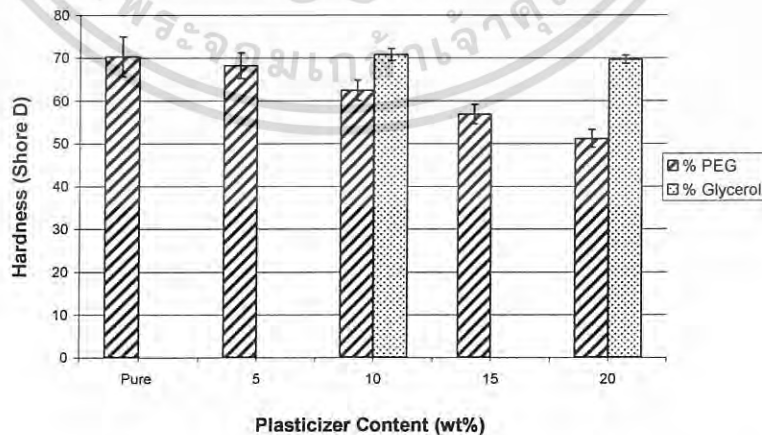
กรณีของ Ecoflex[®] เมื่อเติมกลีเซอรอลไม่ว่าจะปริมาณเท่าใด ค่าความแข็งกดจะไม่มีแตกต่างกันมากนัก โดยเมื่อพิจารณาจาก SEM รูปที่ 4.1 – 4.2 จะเห็นได้ว่า ทุกสูตรนั้นแป้งมีการกระจายตัวที่ดี ไม่เกิดเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาค เมื่อกดด้วย Shore D แล้ว ค่าความแข็งกดจึงใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของ PLA ผสมแป้งดัดแปร เมื่อใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่า ค่าความแข็งกดยจะค่อยๆลดลง เมื่อปริมาณของ PEG เพิ่มขึ้น เนื่องจาก PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เมื่อแทรกตัวระหว่างสายโซ่แล้วจะไปลดความแข็งและความเปราะของพอลิเมอร์ผสมได้ ค่าความแข็งกดยจึงลดลง ส่วน PLA ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์นั้น พบว่า พอลิเมอร์ผสม PLA / EMS มีค่าความแข็งกดยใกล้เคียงกันทั้ง 10 และ 20 wt.% และใกล้เคียงกับค่าความแข็งกดยของ PLA ที่ไม่ได้ใส่แป้ง เนื่องจาก กลีเซอรอลไม่ได้เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ดีของ PLA จึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในสายโซ่ได้นัก ทำให้พอลิเมอร์ผสมของ PLA / EMS ยังคงมีความแข็งและเปราะอยู่



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดยของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex® / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล



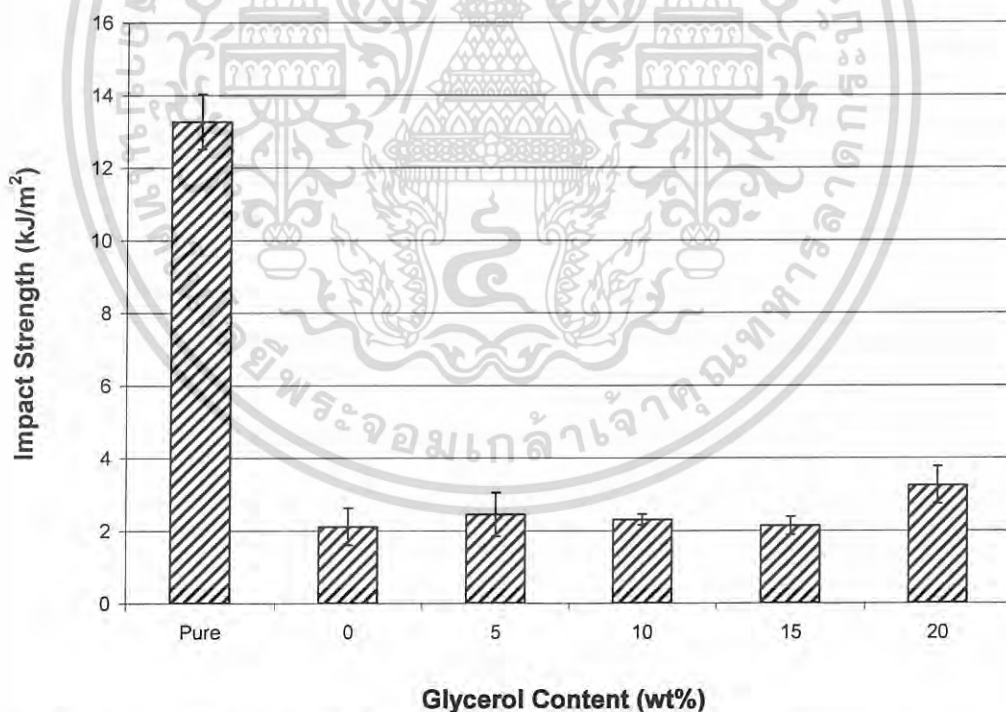
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดยของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)

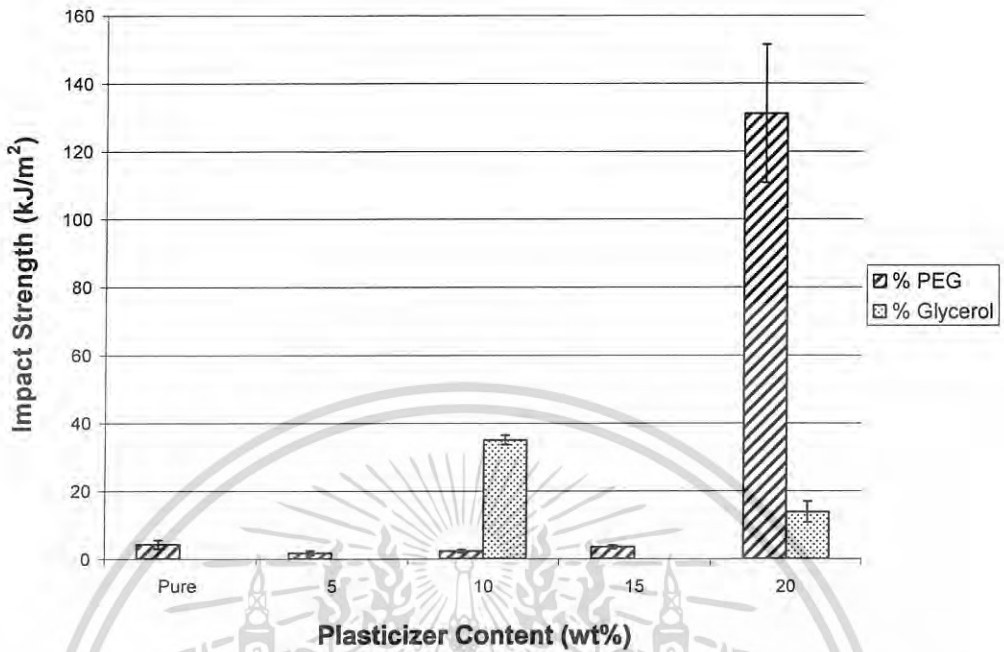
จากรูปที่ 4.13 พบว่า Ecoflex[®] ที่ไม่ได้ผสมแป้งดัดแปร จะมีค่าความแข็งแรงกระแทกมากที่สุด และจะลดลงเมื่อมีการผสมแป้งดัดแปร เนื่องจากแป้งจะเพิ่มความแข็งและความเปราะให้กับพอลิเมอร์ จึงรับแรงได้น้อยลง แต่เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลลงไป กลีเซอรอลจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งน้อยลง จึงรับแรงได้เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.14 พบว่า PLA ที่มีการเติม PEG ลงไป 20 wt% มีค่าความแข็งแรงกระแทกมากที่สุด เนื่องจาก โดยธรรมชาติของ PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเปราะ จึงรับแรงกระแทกได้น้อย เมื่อมีการผสมแป้งดัดแปรลงไป PLA จะยิ่งเป็นการเพิ่มความเปราะมากขึ้น จึงเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปเพื่อลดความเปราะของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจาก PEG เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีของ PLA จึงเกิด Plasticizing effect ช่วยให้วัสดุมีความเปราะน้อยลง จึงรับแรงกระแทกได้มากขึ้น ส่วนการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์นั้น กลีเซอรอลนั้นเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ไม่ดีของ PLA จึงไม่สามารถลดความเปราะได้ ทำให้พอลิเมอร์ผสมยังมีความเปราะอยู่มาก จึงรับแรงได้น้อย



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS (50:50) กับปริมาณกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับปริมาณพลาสติกไซเซอร

4.4 ผลการศึกษสมบัติทางกายภาพ

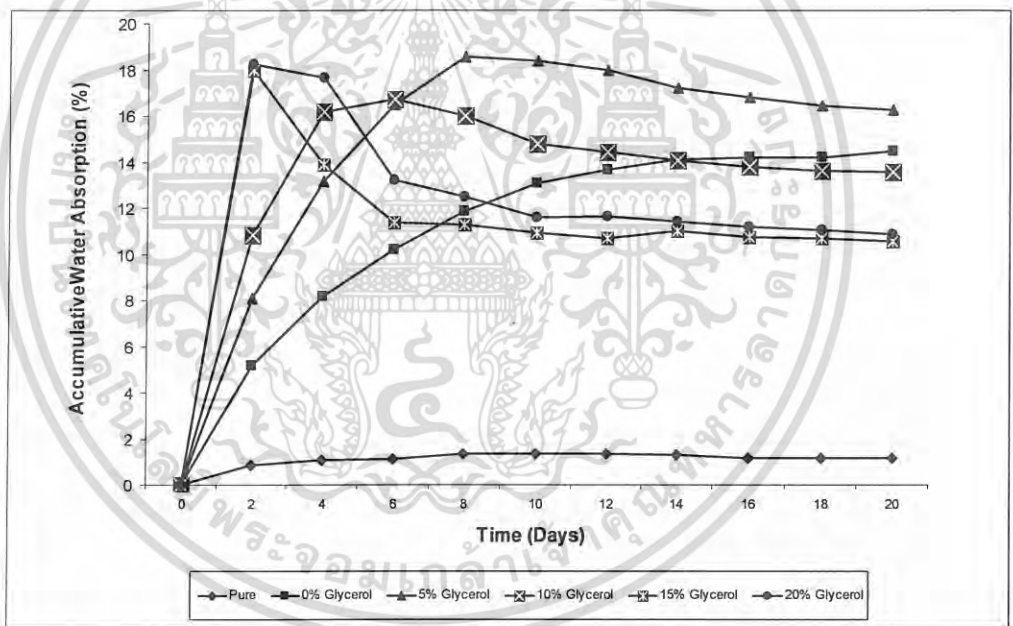
การศึกษปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption)

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Ecoflex[®] และ PLA กับแปดดัดแปรเอสเทอร์กับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น พบว่า Ecoflex[®] และ PLA มีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างต่ำ และมีการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในขณะที่ชิ้นงานที่เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Ecoflex[®] และ PLA กับแปดดัดแปรเอสเทอร์ ในทุกอัตราส่วน พลาสติกไซเซอรมีค่าการดูดซับที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก Ecoflex[®] และ PLA เป็น Hydrophobic polymer ซึ่งมีสมบัติต้านทานต่อน้ำ ส่วนแปดมีสมบัติชอบน้ำ เป็น Hydrophilic polymer ดังนั้นการผสมแปดเข้าไปใน Ecoflex[®] และ PLA จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมดูดน้ำได้มากขึ้น

ในช่วงวันแรกๆ ของการแช่น้ำ พบว่าชิ้นงานสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากอนุภาคแปดสามารถดูดน้ำ เกิดการบวมตัว (Swell) ของเม็ดแปด และช่องว่างต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับอนุภาคแปดจะเริ่มเกิดการอิมมิดีไปด้วยน้ำจึงไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก ยกเว้นสูตรผสมระหว่าง Ecoflex[®] กับแปดดัดแปรเอสเทอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

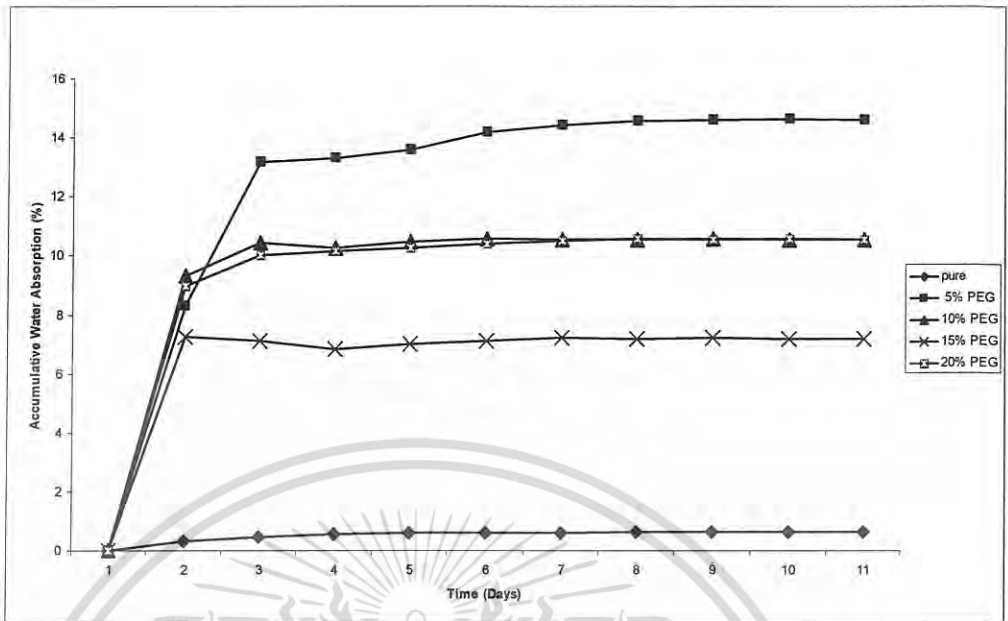
ที่ใส่กลีเซอรอล 15 และ 20 wt.% ที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสะสมลดต่ำลงหลังจากผ่านการแช่ น้ำเป็นเวลา 2 วัน อาจเกิดจากการหลุดออกของอนุภาคแป้งที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการใส่พลาสติกไฮเซอริ์ในปริมาณมากทำให้ความแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์กับแป้ง ลดลงอย่างมาก และจากการที่ Ecoflex[®] มีโครงสร้างที่นิ่มและยืดหยุ่นอยู่แล้ว จึงทำให้อนุภาคแป้ง หลุดออกได้ง่ายยิ่งขึ้น

หมายเหตุ ; ไม่สามารถรายงานผลการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับแป้งดัดแปร เอสเทอร์ ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอริ์ 10 และ 20 wt. % ได้ เนื่องจากชิ้นงานเกิดการปริออก เมื่อแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 1 วัน จึงไม่สามารถบันทึกน้ำหนักของน้ำที่เกิดจากการดูดซับของชิ้นงาน อย่างแท้จริงได้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำสะสมของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS (50:50) กับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำสะสมของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น

4.5 สมบัติทางความร้อน

4.5.1 Heat Deflection Temperature (HDT)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อมีการผสมแข็งดัดแปรลงใน Ecoflex® จะทำให้ค่า HDT เพิ่มขึ้น เนื่องจาก แข็งจะทำให้ Ecoflex® มีความแข็งและความเปราะเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อที่จะทำให้สายโซ่เกิดการเคลื่อนที่ได้ เมื่อมีการเติมกลีเซอรอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ลงใน Ecoflex® ที่ผสมแข็งดัดแปร จะทำให้ค่า HDT ลดลง เนื่องจาก กลีเซอรอลจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้มีระยะห่างระหว่างสายโซ่มากขึ้น เมื่อมีการให้ความร้อน จึงใช้อุณหภูมิต่ำลงในการทำให้สายโซ่เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้น เมื่อใช้กลีเซอรอลในปริมาณมากขึ้น ค่า HDT จึงต่ำลง

ในกรณีของ PLA เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปสูตรผสม PLA / EMS (50:50) ไม่ใส่พลาสติกไซเซอร์ได้ จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า การผสมแข็งลงใน PLA จะทำให้ค่า HDT เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ Ecoflex® หรือไม่ อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.4 พบว่า สูตรผสม PLA / EMS (50:50) ที่มีการใส่พลาสติกไซเซอร์ ทั้ง PEG และกลีเซอรอล มีค่า HDT ต่ำกว่า PLA ที่ไม่ได้ผสมแข็ง และเมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์ในปริมาณมากขึ้น ค่า HDT จะยิ่งลดลง เนื่องจาก พลาสติกไซเซอร์จะทำให้สายโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ PLA มีระยะห่างระหว่างกันมากขึ้น สายโซ่จึงสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ ต่ำลง โดยค่า HDT ของ PLA / EMS สูตรที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซอรอล มีค่าต่ำกว่าค่า HDT ของ สูตรที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอล เนื่องจาก PEG มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่ากลีเซอรอล จึงทำ ให้มีระยะห่างระหว่างสายโซ่ได้มากกว่า จึงใช้ความร้อนน้อยกว่า ในการทำให้สายโซ่เกิดการ เคลื่อนที่

ตารางที่ 4.3 ค่า HDT ของพอลิเมอร์ผสม Ecoflex[®] / EMS (50:50) กับกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | HDT (°C) |
|---|----------|
| Ecoflex [®] | 70.8 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 0% Plasticizer | 75.3 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 10% Glycerol | 73.0 |
| Ecoflex [®] / EMS (50:50) 20% Glycerol | 52 |

ตารางที่ 4.4 ค่า HDT ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | HDT (°C) |
|--------------------------------|----------|
| PLA | 67.5 |
| PLA / EMS (50:50) 10% PEG | 55.8 |
| PLA / EMS (50:50) 20% PEG | 50.0 |
| PLA / EMS (50:50) 10% Glycerol | 62.0 |
| PLA / EMS (50:50) 20% Glycerol | 62.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ในการศึกษาความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม วิธีที่เป็นที่นิยม คือ การหาค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสม ถ้าพอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ (Miscible) ค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าเดียว และจะอยู่ระหว่างค่า T_g ของพอลิเมอร์แต่ละตัว ถ้าพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถเข้ากันได้ (Immiscible) ค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมจะมี 2 ค่า เป็นค่า T_g ของพอลิเมอร์แต่ละตัว ถ้าค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมมี 2 ค่า แต่ค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเข้าใกล้กัน (Shift) จัดเป็นพอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (Partial miscible)

จากการทดสอบ ไม่สามารถหาค่า T_g ของ Ecoflex[®] ได้ แม้จะใช้อุณหภูมิเริ่มต้นถึง -40°C แล้วก็ตาม จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า Ecoflex[®] และแป้งผสมเข้ากันได้ดีหรือไม่ ส่วน PLA และแป้งมี T_g ประมาณ 60°C [16] จึงไม่สามารถระบุได้ว่า PLA และแป้งผสมเข้ากันได้หรือไม่ เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และองค์ประกอบเป็นผลึก (X_c) ของพอลิเมอร์ผสม PLA / EMS (50:50) กับพลาสติกไซเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | T_g ($^{\circ}\text{C}$) | X_c (%) |
|----------------------------------|------------------------------|-----------|
| PLA | 60.72 | 13.62 |
| PLA / EMS (50:50) 0% Plasticizer | 61.06 | 6.69 |
| PLA / EMS (50:50) 10% PEG | 50.22 | 1.25 |
| PLA / EMS (50:50) 10% Glycerol | 63.45 | 1.18 |

จากตารางที่ 4.5 พบว่าการผสมแป้งดัดแปรลงใน PLA ไม่ทำให้ T_g เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับ PLA ที่ไม่ได้ผสมแป้ง เนื่องจากทั้ง PLA และแป้งมี T_g ที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 60°C และเมื่อมีการใส่พลาสติกไซเซอรอล พบว่า พอลิเมอร์ผสม สูตรที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซอรอล มี T_g ต่ำลง เนื่องจาก PEG เป็นพลาสติกไซเซอรอลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เมื่อแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ จะทำให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่มีมากขึ้น ความแรงของพันธะไฮโดรเจนที่มีจึงลดลง สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น T_g จึงลดลง ส่วนสูตรที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรอล พบว่า T_g มีค่าไม่ต่างจากสูตรที่ไม่ใส่พลาสติกไซเซอรอลมากนัก เนื่องจากกลีเซอรอลมีขนาดโมเลกุลที่เล็ก เมื่อเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่ จึงไม่ทำให้สายโซ่ในสวนอัสัณฐาน ซึ่งมีระยะห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกันมากในระดับหนึ่งอยู่แล้วเพิ่มขึ้นอีก จึงไม่ส่งผลให้ค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เหมือนกับการที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์

เนื่องจากไม่ทราบค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลว Ecoflex[®] ที่มีความเป็นผลึก 100% จึงไม่สามารถคำนวณหาค่าองศาความเป็นผลึกของ Ecoflex[®] ได้ ส่วนกรณีของ PLA พบว่าสูตรที่มีการผสมแป้งตัดแปร PLA จะมีค่าองศาความเป็นผลึกลดลง ทั้งนี้เป็นผลจากการที่อนุภาคแป้งเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันอย่างเป็นระเบียบได้น้อยลง ความเป็นผลึกจึงลดลง และเมื่อมีการเติมพลาสติกไซเซออร์ลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่าทั้ง PEG และกลีเซอรอล มีผลทำให้ PLA มีค่าองศาความเป็นผลึกลดลง เนื่องจากโมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์จะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ เกิดการขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่เช่นเดียวกันกับอนุภาคแป้ง ค่าองศาความเป็นผลึกนี้ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิง คือ เมื่อค่าองศาความเป็นผลึกลดลง เป็นผลให้สมบัติเชิงกลลดลงด้วย ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดสอบการฝังดิน (Burial Test)

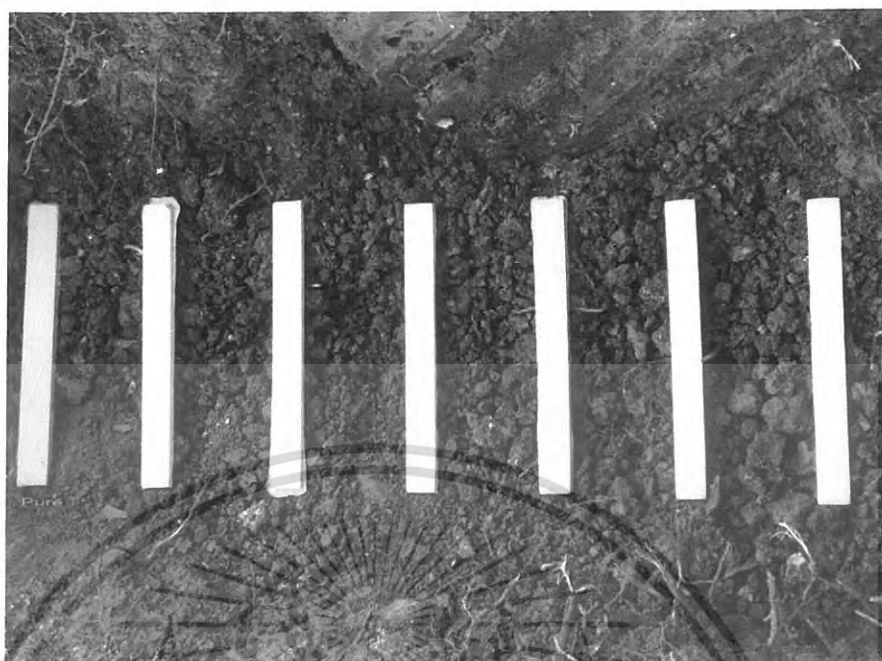
การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์หรือพลาสติกใดๆ มีมาตรฐานของการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไปมีหลายมาตรฐาน เช่น DIN V 54900 EN 13432 ASTM 6400 รวมถึง ASTM D 5338 แต่เนื่องจากในการทดสอบมาตรฐานข้างต้นนั้น ต้องเสียเวลาในการเตรียมค่อนข้างนานและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่สภาวะเดียวกันในระดับเบื้องต้น โดยมีการบันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน แสดงดังภาคผนวก ง

ในกรณีของ Ecoflex[®] ผลการทดสอบการฝังดิน แสดงดังรูปที่ 4.17 - 4.19 โดยพบว่า หลังจากฝังดินเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชิ้นงานตัวอย่างทุกสูตรเกิดการย่อยสลายเล็กน้อย ในสัปดาห์ที่ 2 - 6 มีการย่อยสลายเพิ่มขึ้นอีก ชิ้นงานเกิดจุดดำมากขึ้น และนิ่มขึ้น โดยที่ทั้งชิ้นงานของ Ecoflex[®] สูตรที่ไม่ได้ผสมแป้ง และ สูตรที่ผสมแป้ง 50:50 wt% ทุกอัตราส่วนกลีเซอรอล เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต่างกันมากนัก

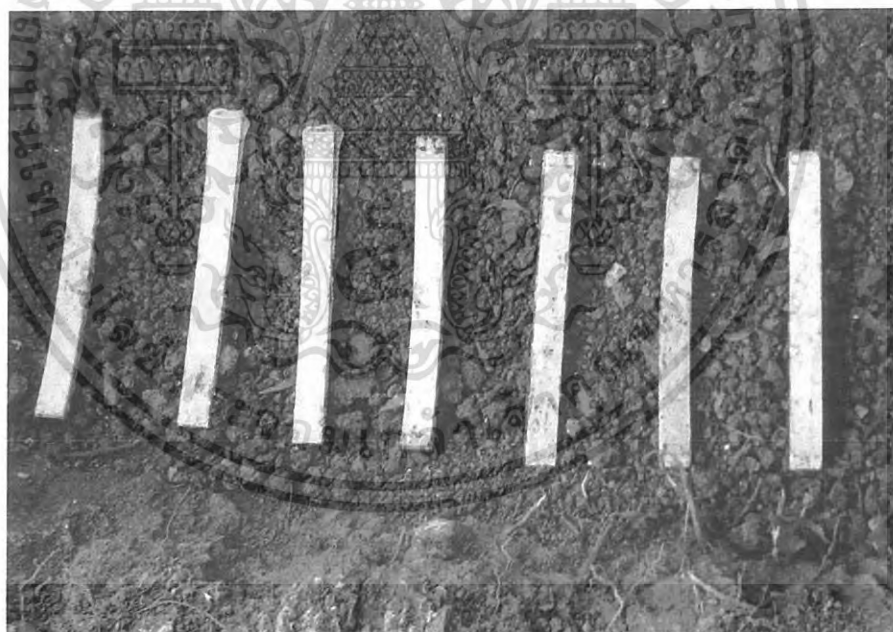
รูปแสดงการย่อยสลายของ PLA แสดงดังรูปที่ 4.20 - 4.22 โดยพบว่า หลังจากฝังดินเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชิ้นงานตัวอย่าง PLA ที่ไม่ได้ผสมแป้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนสูตรที่ผสมแป้ง 50:50 wt% และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ทั้ง 10 และ 20 wt% มีการย่อยสลายไปมาก สูตรที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์ทุกสูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ชิ้นงานตัวอย่าง PLA ยังมีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการ ในขณะที่สูตรที่ใช้กลีเซอรอล ทั้ง 2 สูตร มีการย่อยสลายมากขึ้น ส่วนสูตรที่ใช้ PEG ทุกสูตร เกิดจุดดำมากขึ้นและนิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลจากการใส่พลาสติกไซเซออร์ พบว่าสูตรที่ใช้กลีเซอรอลมีการย่อยสลายเกิดขึ้นมากกว่าสูตรที่ใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซออร์อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่โครงสร้างของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า PEG จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่า จึงเกิดการไฮโดรไลซิสสายโซ่ได้เร็วกว่า และมากกว่า ชิ้นงานจึงเกิดการย่อยสลายมากกว่าในเวลาเท่ากัน

การที่ Ecoflex[®] สามารถเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่า PLA โดย Ecoflex[®] มีการย่อยสลายเกิดขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกของการฝัง ในขณะที่ PLA ไม่เกิดการย่อยสลายแม้ทำการฝังถึง 3 อาทิตย์ เนื่องจากสายโซ่ของ Ecoflex[®] มีโครงสร้างที่เกาะกะมากกว่า จึงมีความเป็นผลึกน้อยกว่า PLA โมเลกุลของน้ำจึงสามารถแทรกเข้าไปได้มากกว่า เกิดการไฮโดรไลซิสสายโซ่ได้มากกว่าจึงเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่า PLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



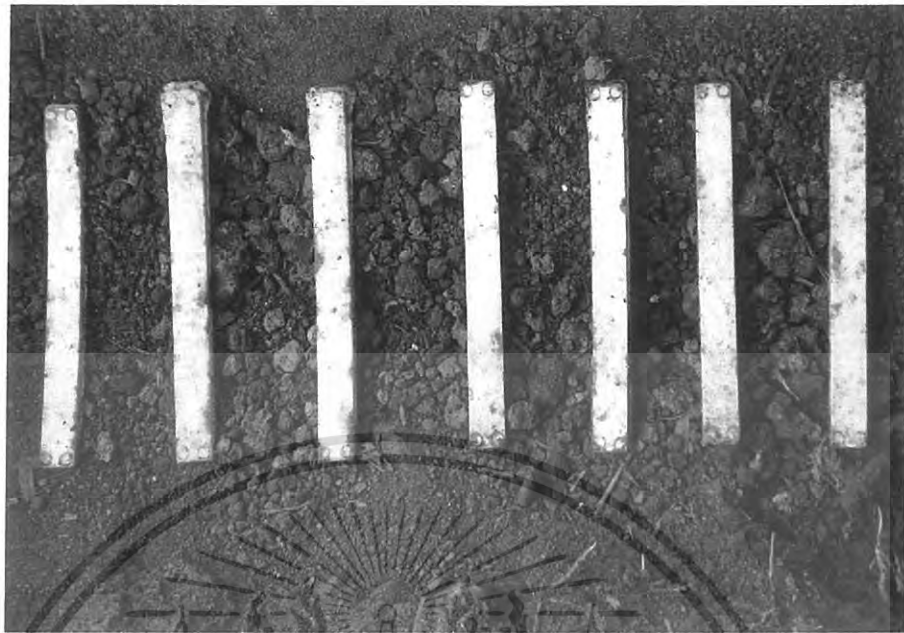
(A) เริ่มฝัง



(B) สัปดาห์ที่ 2

รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure Ecoflex[®], Ecoflex[®]/ EMS (50:50) 0% กลีเซอรอล ไม่ใส่สาร Antioxidant, 0% กลีเซอรอล ใส่สาร Antioxidant, 5%, 10%, 15% และ 20% กลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



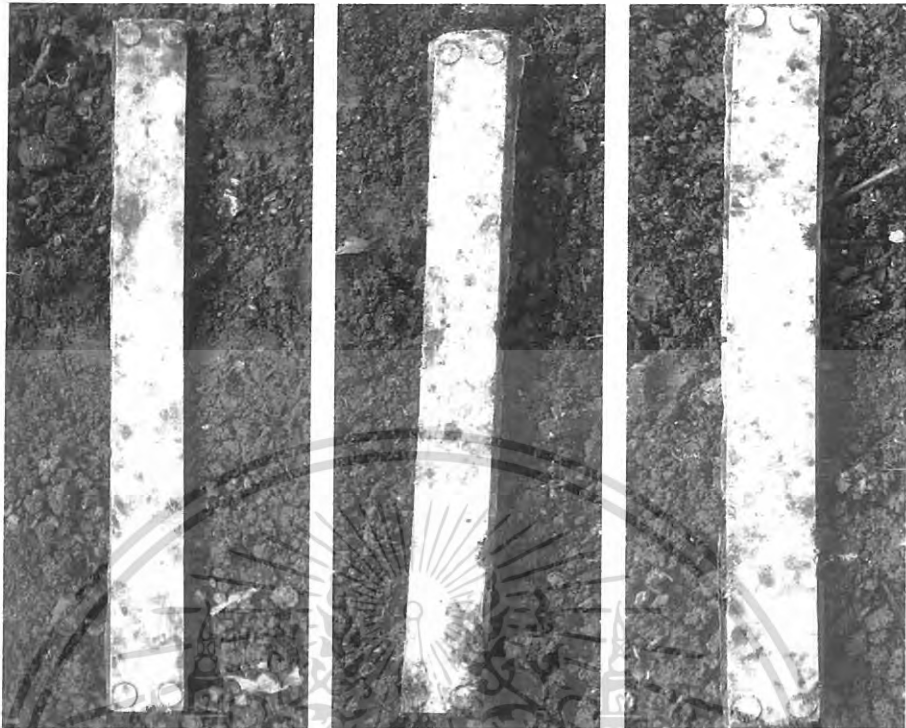
(C) สัปดาห์ที่ 4



(D) สัปดาห์ที่ 6

รูปที่ 4.18 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure Ecoflex[®], Ecoflex[®]/ EMS (50:50) 0%กลีเซอรอล ไม่ใส่ Antioxidant, 0%กลีเซอรอล ใสสาร Antioxidant, 5%, 10%, 15% และ 20%กลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

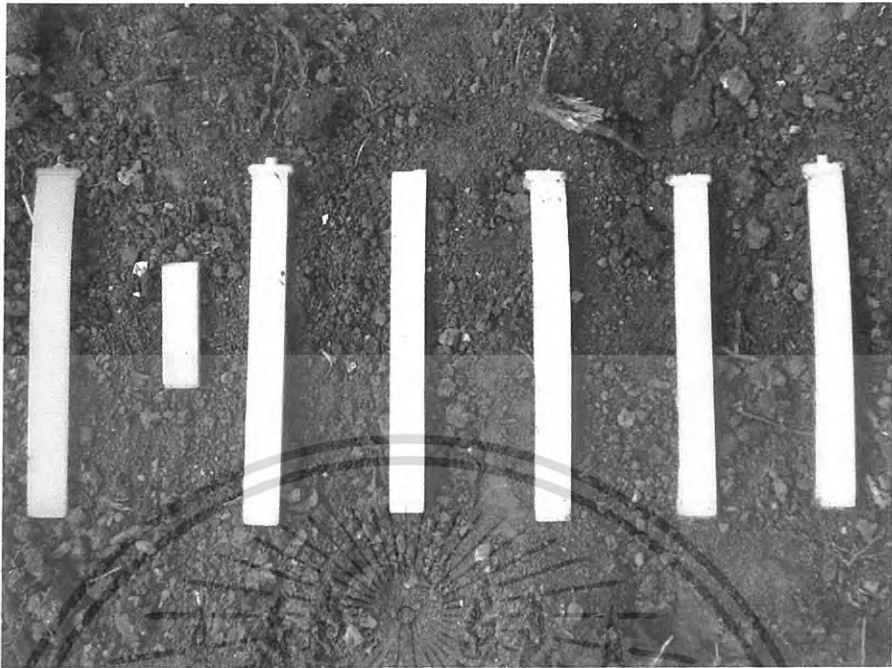


(A) (B) (C)

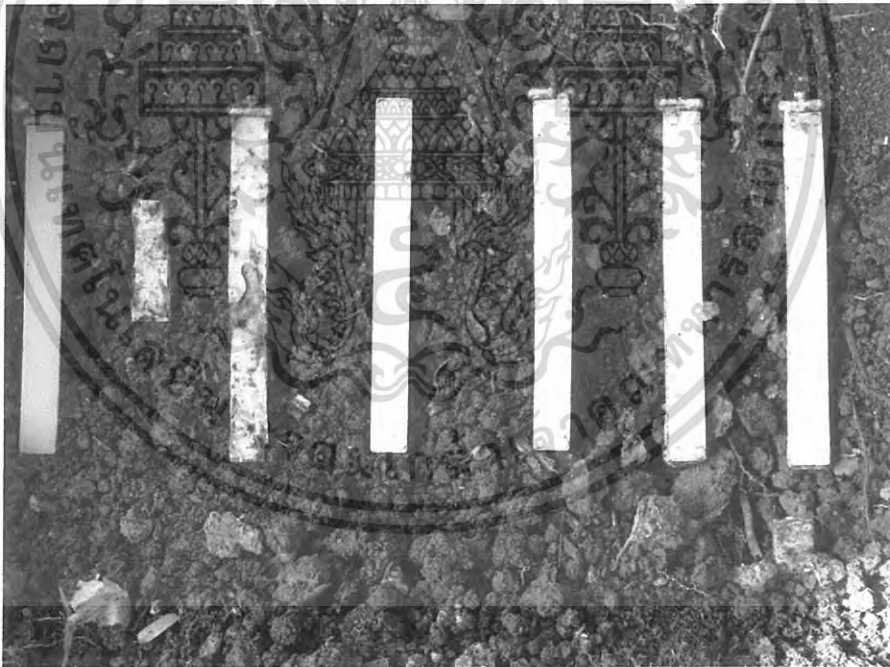
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงการย่อยสลายของ Ecoflex[®] ในสัปดาห์ที่ 6 ของการฝังดิน

(A) Pure Ecoflex[®], (B) Ecoflex[®] / EMS (50:50) 0% กัดเซาะลด, (C) Ecoflex[®] / EMS (50:50) 20% กัดเซาะลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



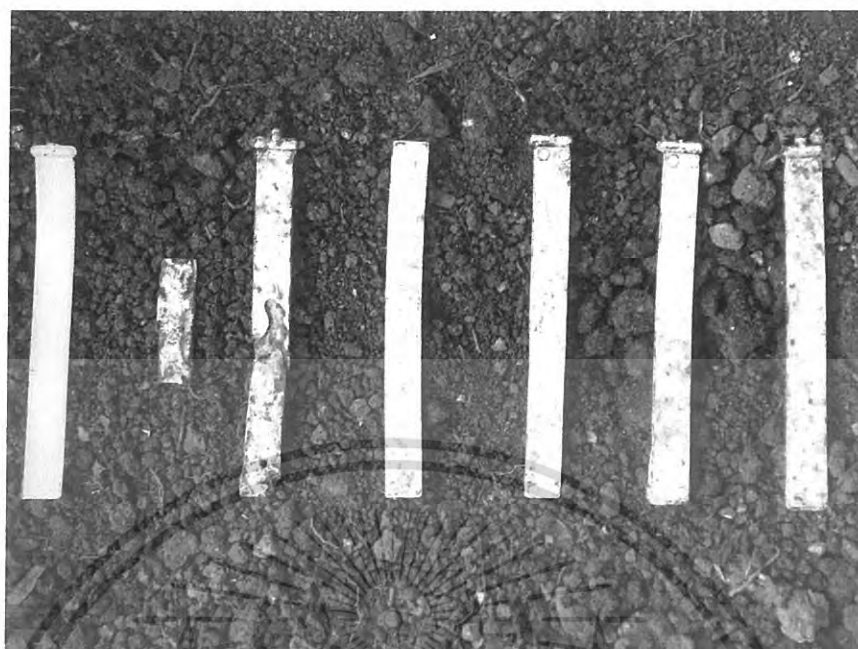
(A) เร็มฝัง



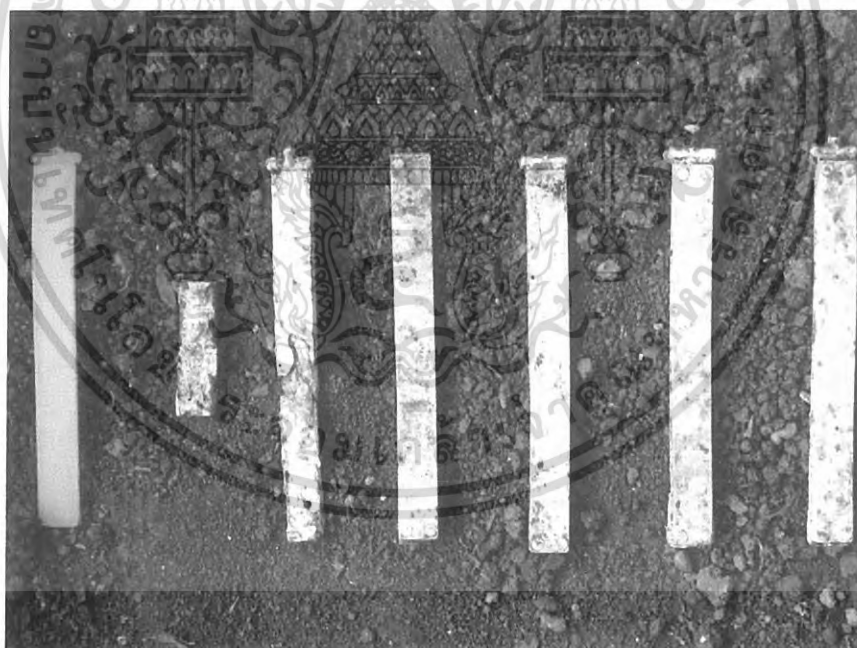
(B) สัปดาห์ที่ 1

รูปที่ 4.20 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure PLA, PLA / EMS (50:50) 10%, 20% กลีเซอรอล, 5%, 10%, 15% และ 20% PEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(C) สัปดาห์ที่ 2



(D) สัปดาห์ที่ 3

รูปที่ 4.21 ภาพแสดงการย่อยสลายของพอลิเมอร์ เรียงจากซ้ายไปขวา: Pure PLA, PLA / EMS (50:50) 10%, 20% กลีเซอรอล, 5%, 10%, 15% และ 20% PEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

(B)

(C)

รูปที่ 4.22 ภาพแสดงการย่อยสลายของ PLA ในสัปดาห์ที่ 3 ของการฝังดิน (A) Pure PLA, (B) PLA / EMS (50:50) 20% กลีเซอรอล, (C) PLA / EMS (50:50) 20% PEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง อีโคเฟล็กซ์ (Ecoflex[®]) และ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ (EMS) ในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ กลีเซอรอล และ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่มีต่อกระบวนการขึ้นรูป และสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่สามารถขึ้นรูปได้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ค่า MFI, มอดุลัส, ความแข็งกด และ Heat Deflection Temperature (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการใส่พลาสติกไซเซอร์ มีค่าสูงกว่าอีโคเฟล็กซ์และ PLA ที่ไม่มีการผสมแป้ง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึง, เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าต่ำกว่า
- เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ค่า MFI และค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง, เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด, มอดุลัส, ความแข็งกด และ HDT มีค่าลดลง
- อีโคเฟล็กซ์และ PLA ที่ไม่ได้ผสมแป้ง มีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นได้อย่างช้าๆ ขณะที่พอลิเมอร์ผสมจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว
- จากการศึกษาด้วย SEM พบว่าแป้งเป็นอนุภาคกระจายอย่างสม่ำเสมอใน Ecoflex[®] และ PLA
- จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า การใส่แป้งลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้ความสามารถในการย่อยสลายดีขึ้นโดยเฉพาะ PLA การเพิ่มพลาสติกไซเซอร์จะช่วยเพิ่มความเร็วในการย่อยสลาย PLA / EMS แต่จะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่ออีโคเฟล็กซ์
- PLA ที่ผสมกับแป้งดัดแปรเอสเทอร์ โดยใช้ PEG เป็นพลาสติกไซเซอร์ มีสมบัติที่ดีกว่าใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการเข้ากันได้กับ PLA ต่ำ แม้ว่าจะเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีของแป้ง ทำให้ PEG ช่วยปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ได้ดีกว่ากลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบสมบัติทางความร้อน นอกจาก DSC แล้ว ควรใช้เทคนิคอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ร่วมด้วย
2. ศึกษาเทคนิคการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การเป่าฟิล์ม
3. การทดสอบการย่อยสลาย ควรใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5338-98 ซึ่งสามารถบอกอัตราการย่อยสลายได้
4. ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จริง เช่น กระจ่างเพาะชำ กระจ่างต้นไม้ ฯลฯ และทดลองใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. [http:// www.sea-uema.ait.ac.th/Download/ARL/PolicyDialog/Book/book-policy_dialog.pdf](http://www.sea-uema.ait.ac.th/Download/ARL/PolicyDialog/Book/book-policy_dialog.pdf) -
2. http://www.forest.go.th/biocom/garbage_source.html
3. G.H. Yew, A.M. Mohd Yusof, Z.A. Mohd Ishak, U.S. Ishiaku, "Water absorption and enzymatic degradation of poly(lactic acid)/rice starch composites." Polym. Degrad. Stab. 2005, 90, 488-500.
4. ธนาวดี ลี้จากภัย, "พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม", ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2549, กรุงเทพฯ.
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid
6. Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, "Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly (lactic acid) (PLA) composites: A comparative study." Compos. Sci. Technol. 2006, 66, 1813-1824.
7. <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=277>
8. Slawomir Dutkiewicz, Daniela Grochowska – Lapienis, "Synthesis of the poly (L (+) lactic acid) by polycondensation method in solution", Fibres and Textile in Eastern Europe., October/December, 2003, 11(4), 66 -70.
9. Wee Y. J., Kim J. N., Ryu H. W., "Biotechnological production of lactic acid and its recent application", Food Technol. 2006, 163 -177.
10. Hurok Oh, Yoong – Jung Wee, Jong – Sen Yun, "Lactic acid production from agricultural resource as cheap raw material", Bioresource Technol. 2005, 96, 1492 – 1498.
11. Niju Narayanan, Padip K. Roychoudhurg, Aradhana Srivastava, "L (+) Lactic acid fermentation and its product polymerization", Biol. Int. 2005, 1(2).
12. <http://www.chemsoc.org/pdf/gcn/charlottewilliams2004.ppt>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. U. Witt, T. Einig, M. Yamamoto, I. Kleeberg, W.-D. Deckwer, R.-J.Muller, "Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates." *Chemosphere* 2001, 44, 289-299.
14. <http://www.basf.de/ecoflex>
15. กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, "เทคโนโลยีของแป้ง", มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546, กรุงเทพฯ.
16. พรวิ สุมิตร, "การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้จากไคโตซานกับแป้งดัดแปร เอสเทอร์," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547, กรุงเทพฯ.
17. จำปูน ปรีดีเวช, วิศมนิ สุพรรวารี, วิสมล ปาจารย์รัตน์, การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, โครงการพิเศษ, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538, กรุงเทพฯ.
18. กิตติวุฒิ ธนรัตน์พัฒนกิจ, พชร เทียมธาดา, ราชวัลลภ แจ่มมงคล, การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป, โครงการพิเศษ, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547, กรุงเทพฯ.
19. Tianyi Ke and Xiuzhi Sun, "Physical properties of poly (lactic acid) and starch composites with various blending ratios." *Cereal Chem* 2000, 77(6), 761-768.
20. E.M.Nakamura, L.Cordi, G.S.G.Almeida, N.Duran, L.H.I.Mei, "Study and development of LDPE/starch partially biodegradable compounds." *J. Mater. Process Technol.* 2005, 162-163, 236-241.
21. R.L. Shogren, W.M. Doane, D. Garlotta, J.W. Lawton, J.L. Willett, "Biodegradation of starch/poly(lactic acid)/ poly (hydroxyester-ether) composite bars in soil." *Polym. Degrad. Stab.* 2003, 79, 405-411.
22. Li Chen, Xueyu Qiu, Zhigang Xie, Zhongkui Hong, Jingru Sun, Xuesi Chen, Xiabin Jing, "Poly(L-lactide)/starch blends compatibilized with poly(L-lactide)-g-starch copolymer." *Carbohydr. Polym.*, 2006, [In press].
23. H.J.Park, C.L. Weller, P.J. Vergano, "Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films", *J. Food Sci.* 58 (1993), 1361-1364.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. Michel A. Huneault, Hongbo Li, "Morphology and properties of compatibilized polylactide/thermoplastic starch blends", Polymer.2007, 48,270-280
25. Z. Kulinski, E. Piorkowska, "Crystallization, structure and properties of plasticized poly(L-lactide)", Polymer.2005, 46, 10290-10300.



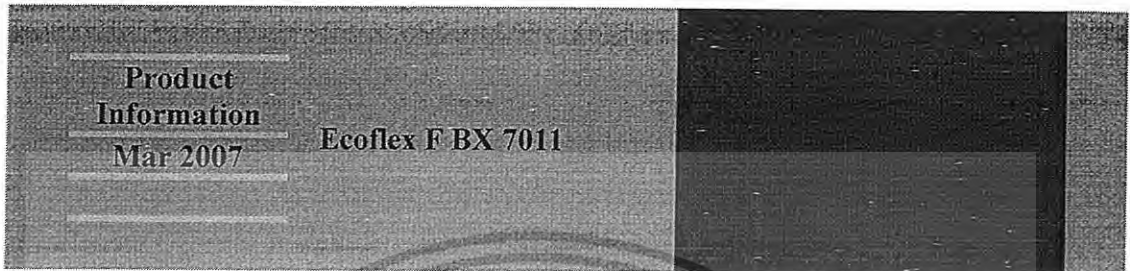
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 Datasheet แสดงสมบัติบางประการของอิโคเฟล็กซ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้



[Email PDF Datasheet](#) | [Print/Save Version](#)

Product Description

A flexible plastic designed for film extrusion and extrusion coating. Ecoflex® F BX 7011 comes closer than any other biodegradable plastic to the processing properties of LDPE and LLDPE. Blown film extrusion is a particular area where Ecoflex® F shows well-balanced processing properties, and the resin can also be used in extrusion coating applications. Ecoflex F requires no predrying prior to extrusion. Antiblock and Slip additives are recommended and are available from BASF.

Applications

Ecoflex® F BX 7011 can be used for applications such as compost bags, trash bags, carrier bags, bags for fruits and vegetables, general packaging films, agricultural films, and laminating films for trays made from natural materials.

| PHYSICAL | Test Method | Property Value |
|---|-------------|----------------|
| Mass Density | ISO 1183 | 1.25 to 1.27 |
| Melt Flow Rate (190 °C, 2.16 Kg), g/10min. | ISO 1133 | 2.7 to 4.9 |
| Melt Volume Rate (190 °C, 2.16 Kg), ml/10min. | ISO 1133 | 2.5 to 4.5 |
| MECHANICAL | Test Method | Property Value |
| ISO Hardness, Shore D | ISO 868 | 32 |
| THERMAL | Test Method | Property Value |
| Melting Point, °C(°F) | DSC | 110 to 120 |
| Vicat (A/50), °C | ISO 306 | 80 |
| PROPERTIES FOR BLOWN FILM, 50 µm | Test Method | Property Value |
| Light Transmittance, % | D-1003 | 82 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|-----------|-------|
| Tensile Strength, N/mm ² | ISO 527 | 34 |
| Ultimate Strength, N/mm ² | ISO 527 | 34 |
| Failure Energy (Dyna-Test), J/mm | DIN 53373 | 24 |
| Ultimate Elongation (MD), % | ISO 527 | 560 |
| Ultimate Elongation (TD), % | ISO 527 | 700 |
| Oxygen Permeation Rate, cc/(m ² d*bar) | DIN 53380 | 1,600 |
| Water Permeation Rate, g/(m ² *d) | DIN 53122 | 140 |
| Note | | |

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

BASF Corporation
Styrenics
100 Campus Drive
Florham Park, New Jersey
07932

General Information: InfoPoint: 1-800-238-4075
eMail: basf_infopoint@basf.com
Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 Datasheet แสดงสมบัติบางประการของ PLA ที่ใช้ในการวิจัยนี้

Prospector powered by AIDES

Combined Data Sheet

Wednesday, October 18, 2006

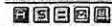
NatureWorks® 4042D

NatureWorks® LLC - Polylactic Acid

Unit System: **English**

Actions

Legend (Open)



General Information

Product Description

Nature Works PLA polymer 4042D can be converted in to a biaxially oriented film with use temperatures up to 265°F (130°C). This film has excellent twist and deadfold. These properties make 4042D film an ideal candidate for candy twistwrap and other packaging applications. Additional properties include advantageous barrier to flavor and grease and superior oil resistance.

General

| | |
|--------------------------|---|
| Material Status | <ul style="list-style-type: none"> Commercial: Active |
| Availability | <ul style="list-style-type: none"> Europe North America |
| Test Standards Available | <ul style="list-style-type: none"> ASTM |
| Features | <ul style="list-style-type: none"> Biodegradable General Purpose Machinable Oil Resistant |
| Uses | <ul style="list-style-type: none"> Film, Bi-axially Oriented Packaging Wrap, Food |
| Forms | <ul style="list-style-type: none"> Pellets |
| Processing Method | <ul style="list-style-type: none"> Extrusion |

ASTM and ISO Properties¹

| Physical | Nominal Value | Unit | Test Method |
|--|---------------|----------------------------|-------------|
| Density | 1.25 | g/cm ³ | ASTM D1505 |
| Films | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Secant Modulus MD ² | 480000 | psi | ASTM D682 |
| Secant Modulus TD ² | 580000 | psi | ASTM D682 |
| Tensile Strength @ Brk MD ² | 16000 | psi | ASTM D682 |
| Tensile Strength @ Brk TD ² | 21000 | psi | ASTM D682 |
| Elongation @ Break MD ² | 160 | % | ASTM D682 |
| Elongation @ Break TD ² | 100 | % | ASTM D682 |
| Elmendorf Tear Str MD ² | 15 | gm | ASTM D1922 |
| Elmendorf Tear Str TD ² | 13 | gm | ASTM D1922 |
| Water Vapor Transmission | 21 | g/100 in ² /day | ASTM E96 |
| Optical | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Gloss (20°, 1.00 mil) | 90 | | ASTM D2457 |
| Haze (1.00 mil) | 2.1 | % | ASTM D1003 |

Additional Properties

Spencer Impact: 2.5 joules
 Transmission Rate-oxygen, ASTM D1434: 550 ccml/m²/dy atm
 Transmission Rate-carbon dioxide, ASTM D1434: 3000 ccml/m²/dy atm
 Glass Transition Temperature, ASTM D3418: 126°F
 Melting Point, ASTM D1003: 275°F

Processing Information

| Extrusion | Nominal Value | Unit |
|------------------------|---------------|------|
| Drying Temperature | 175 | °F |
| Drying Time | 4.0 | hr |
| Suggested Max Moisture | 0.025 | % |
| Adapter Temperature | 380 | °F |
| Melt Temperature | 390 | °F |
| Die Temperature | 380 | °F |

Extrusion Notes

Feed Throat: 70°F
 Feed Temperature: 330°F
 Compression Section: 350°F
 Metering Section: 380°F
 Screw Speed: 20-100 rpm
 MD Draw Temp: 140-160°F
 TD Draw Temp: 160-175°F
 Heat Set Oven: 250-265°F
 Screw L/D ratio: 24:1 to 30:1
 Compression Ratio: 2.5:1 to 4:1

Notes

¹ Typical properties; these are not to be construed as specifications.

² 1.00 mil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข 1 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding

| Description | Value (Unit) | Description | Value (Unit) |
|--------------------|--------------|-------------------|--------------|
| PRESSURE | (Bar) | TIME | (Sec) |
| DIE CLS | 55 | DIE CLS / OPN | 50 |
| CLS LOW | 55 | SID COR ACT | 50 |
| CLS HI | 55 | 1ST STG INJ | 20 |
| DIE OPN | 44 | 2ND STG INJ | 10 |
| 1ST INJ | XX* | 3RD STG INJ | 0 |
| 2ND INJ | XX* | EJE FWD DLY | 0 |
| 3RD INJ | XX* | MELTING DLY | 0 |
| MELTING | 50 | EJE BKD DLY | 0 |
| DECOMP | 55 | MELTING | 200 |
| PLUNGER | 40 | DECOMPRS | 0 |
| EJECTOR | 40 | COOLING | 250 |
| SCW - IN | 35 | EJECTOR COUNT | 175 |
| DIE ADJ | 60 | SCW FWD | 0 |
| CURRENT | | SCW BWD 1 | 0 |
| TEMPERATURE | (°C) | SCW BWD 2 | 0 |
| NOZZLE | 180 | ALARM TIME | 500 |
| ZONE 1 | 175 | FLOW SPEED | (RPM) |
| ZONE 2 | 170 | RAPID CLS | 50 |
| ZONE 3 | 155 | HIGH CLS | 55 |
| ZONE 4 | 155 | CLAMPING | 50 |
| ZONE 5 | 150 | DIE OPN SLW 1 | 10 |
| ZONE 6 | 150 | | |

* เป็นความดันที่ปรับให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปพอลิเมอร์แต่ละสูตร แสดงดังตารางที่ ข 2
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Description | Value (Unit) |
|-------------------|--------------|
| FLOW SPEED | (RPM) |
| RAPID OPN SPD | 40 |
| DIE OPN SLW 2 | 30 |
| PLUNGER | 40 |
| DIE ADJ | 40 |
| 1ST STG INJ | 50 |
| 2ND STG INJ | 50 |

| Description | Value (Unit) |
|-------------------|--------------|
| FLOW SPEED | (RPM) |
| 3RD STG INJ | 50 |
| MELTING | 50 |
| DECOMP | 50 |
| EJECTOR | 40 |
| SCREW - IN | 0 |
| DIE CHANGE | 10 |

ตารางที่ ข 2 ความดันของหน่วย Injection ที่ปรับจนได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

| อัตราส่วนผสม | Pressure (Bar) | | |
|---------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | 1ST INJ | 2ND INJ | 3RD INJ |
| Ecoflex® | 56 | 55 | 55 |
| Ecoflex® / EMS (50:50) 0% Plasticizer | 76 | 74 | 74 |
| Ecoflex® / EMS (50:50) 5% Glycerol | 74 | 72 | 72 |
| Ecoflex® / EMS (50:50) 10% Glycerol | 76 | 74 | 74 |
| Ecoflex® / EMS (50:50) 15% Glycerol | 57 | 55 | 55 |
| Ecoflex® / EMS (50:50) 20% Glycerol | 56 | 54 | 54 |
| PLA | 59 | 57 | 57 |
| PLA / EMS (50:50) 0% Plasticizer | - | - | - |
| PLA / EMS (50:50) 5% PEG | 52 | 50 | 50 |
| PLA / EMS (50:50) 10% PEG | 48 | 46 | 46 |
| PLA / EMS (50:50) 15% PEG | 42 | 40 | 40 |
| PLA / EMS (50:50) 20% PEG | 40 | 38 | 38 |
| PLA / EMS (50:50) 10% Glycerol | 67 | 65 | 65 |
| PLA / EMS (50:50) 20% Glycerol | 63 | 61 | 61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Ecoflex[®] กับ แป้งดัดแปร
เอสเทอร์ในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก โดยใช้กลีเซอรอลที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | ผลการทดสอบ | | | | | |
|--|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|---|
| | MFI (g/10min) | ความแข็งแรง ดึง (MPa) | เปอร์เซ็นต์ การยืด ณ จุดขาด (%) | มอดุลัส (MPa) | ความแข็งกด (Shore D) | ความแข็งแรง กระแทก (kJ/m ²) |
| Ecoflex [®] | 3.9 | 19.29 | 1221.67 | 30.54 | 37.03 | 13.27 |
| Ecoflex [®] / EMS | 5.1 | 6.73 | 25.18 | 88.63 | 43.19 | 2.11 |
| Ecoflex [®] / EMS / 5% Glycerol | 6.5 | 6.29 | 26.44 | 65.92 | 46.95 | 2.45 |
| Ecoflex [®] / EMS / 10% Glycerol | 8.2 | 5.55 | 17.04 | 71.70 | 45.75 | 2.31 |
| Ecoflex [®] / EMS / 15% Glycerol | 10.8 | 5.39 | 13.53 | 69.06 | 42.05 | 2.14 |
| Ecoflex [®] / EMS / 20% Glycerol | 11.6 | 6.09 | 13.05 | 63.43 | 43.06 | 3.25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับแป้งดัดแปรเอสเทอร์
ในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ที่ปริมาณต่างๆ

| อัตราส่วนผสม | ผลการทดสอบ | | | | | |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|---|
| | MFI (g/10min) | ความแข็งแรง ดึง (MPa) | เปอร์เซ็นต์ การยืด ณ จุดขาด (%) | มอดุลัส (MPa) | ความแข็งกด (Shore D) | ความแข็งแรง กระแทก (kJ/m ²) |
| PLA | 6.4 | 70.03 | 49.17 | 77.44 | 70.35 | 4.33 |
| PLA / EMS | 7.5 | - | - | - | - | - |
| PLA / EMS / 5% PEG | 9.1 | 19.39 | 11.88 | 86.29 | 68.21 | 1.86 |
| PLA / EMS / 10% PEG | 16.9 | 8.67 | 37.40 | 65.95 | 62.44 | 2.40 |
| PLA / EMS / 15% PEG | 23.4 | 10.70 | 13.60 | 80.22 | 56.84 | 3.58 |
| PLA / EMS / 20% PEG | 32.1 | 7.43 | 9.34 | 33.30 | 51.16 | 131.11 |
| PLA / EMS / 10% Glycerol | 8.1 | 13.49 | 8.92 | 90.12 | 70.77 | 35.06 |
| PLA / EMS / 20% Glycerol | 14.0 | 15.10 | 7.05 | 70.19 | 69.62 | 13.89 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง 1 สภาวะในการทดสอบการย่อยสลายในดิน

| วันที่ | อุณหภูมิเฉลี่ย (°C) | ความชื้น (%) | pH |
|--------|---------------------|--------------|------|
| 1 | 27.33 | 93.5 | 6.75 |
| 3 | 28.67 | 91.5 | 6.75 |
| 6 | 27.67 | 92.0 | 6.75 |
| 9 | 29.00 | 90.5 | 6.75 |
| 12 | 29.33 | 88.5 | 6.75 |
| 15 | 28.67 | 87.5 | 6.75 |
| 18 | 29.67 | 88.5 | 6.75 |
| 21 | 30.67 | 89.0 | 6.75 |
| 24 | 30.67 | 87.5 | 6.75 |
| 27 | 30.33 | 86.0 | 6.75 |
| 30 | 32.67 | 87.5 | 6.75 |
| 33 | 33.67 | 85.0 | 6.75 |
| 36 | 32.33 | 86.5 | 6.75 |
| 39 | 31.33 | 87.5 | 6.75 |
| 42 | 33.00 | 89.5 | 6.75 |

หมายเหตุ: PLA เริ่มฝังตั้งแต่วันที่ 21 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้