

สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสม
กับแป้งภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต



นายสุธรรม เออร์กษ์โอฬาร
นางสาวเสาวนีย์ ดุสยวรรณท์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหม.....
เลขทะเบียน 40068
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

.b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Properties and Morphology of
HDPE/Starch Ultraviolet



Mr.Sutham Uerak-Olan

Miss Savanee Dulyavoranan

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment
Of the Requirement of the Degree of Bachelor of
Science Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

สมบัติเชิงกลและสัจฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับแป้งภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต


นักศึกษา

นายสุธรรม เอื้อรักษ์โอฬาร
นางสาวเสาวนีย์ คุลขจรนันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ดร. พิชณี เจริญยิ่ง)

ประธานกรรมการ



(ดร. จุฑารัตน์ สิริชัยสิทธิ์)

กรรมการ



(ผศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับแป้งภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต
นักศึกษา	นายสุธรรม เอื้อรักษโอฟาร์ นางสาวเสาวนีย์ ดุลยวรรณันท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยคุภกิจสินธ์
ภาควิชา	เคมี สาขา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายโดยแสงอัลตราไวโอเล็ต และทางชีวภาพ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ใช้แป้งเป็นสารตัวเติม และใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารช่วยการกระจายตัว โดยให้ปริมาณน้ำมัน 0%, 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักของแป้ง ทำการผสมแป้งกับน้ำมันในเครื่องผสมความเร็วสูง จากนั้นนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดรีดร้อน นำมาฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต 8 สัปดาห์ จากนั้นนำไปฝังดิน 8 สัปดาห์ และทดสอบสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยาและการย่อยสลายทางชีวภาพ

พบว่าพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต เกิดการสลายตัวเร็วกว่า และสมบัติเชิงกลต่ำกว่าตัวอย่างพอลิเอทิลีนที่ไม่มีสารตัวเติม จากการศึกษาพบว่าแป้งสามารถแทรกตัวได้ในวัฏภาคของพอลิเมอร์ ทำให้จุลินทรีย์ในธรรมชาติสามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากปริมาณขยะพลาสติกลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Mechanical Properties and Morphology of HDPE/Starch under Ultraviolet

Name Mr. Sutham Uerak-Olan
Miss Savanee Dulyavoranan

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin

Department Chemistry

Academic Year 2000

Abstract

This research aims to study the photodegradation by using cassava starch as a filler and soy bean oil as a plasticizer. Difference amount of soy bean oil 0% ,10% ,20% ,and 30% w/w of starch were mixed with HDPE in high speed mixer and followed by two-roll mill . The polymer composites were shape by compression molding. Mechanical, Chemical, and Morphology properties of sample before and after treatment were then investigated.

It has been found that HDPE composites show faster degradation rate and lower mechanical properties than HDPE. The morphology evidence indicated that the starch in the matrix of composites was easily digested by natural microorganism . This research should be the way to reduce the problem of wasted plastics.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยคุงกิจสินธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและดูแลเอาใจใส่ดูแลการทำงานของผู้วิจัยจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร. พัทธนี เจริญยิ่ง และ ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ อาจารย์คณะกรรมกรรวมทั้งอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนโครงการนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สถานปฏิบัติการโรงฝึกงานพอลิเมอร์ภาควิชาเคมีที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือที่ผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึงที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

นายสุธรรม เออร์กะโฮฟาร

นางสาวเสาวนีย์ ดุลยวรรณท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พอลิเอทิลีน	5
2.2 แป้ง	8
2.3 น้ำมัน	12
2.4 เสถียรภาพของพลาสติก	19
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา	33
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	35
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	35
3.2 อุปกรณ์	35
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ	35
3.4 วิธีการทดลอง	36
3.5 การทดลองสมบัติ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา	40
4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่คาร์บอนิลโดยเทคนิค FT-IR	49
4.3 การศึกษาปริมาณโครงสร้างผลึกโดยเทคนิค XRD	53
4.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล	57
4.5 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
5.1 ผลสรุปที่ได้จากการวิจัย	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ Unit cell ของพอลิเอทิลีน	5
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส	9
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	10
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดน้ำมัน	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดไขมัน	15
รูปที่ 4.1 รูปลักษณะของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองถ่ายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 2400 เท่า	40
รูปที่ 4.2 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า	41
รูปที่ 4.3 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ที่ผสมแป้ง 30% ที่ไม่ได้รับการฉาย แสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลัง ขยาย 200 เท่า	42
รูปที่ 4.4 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 10% ที่ ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ กวาดกำลังขยาย 200 เท่า	43
รูปที่ 4.5 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ กวาดกำลังขยาย 200 เท่า	44
รูปที่ 4.6 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 30% ที่ ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ กวาดกำลังขยาย 200 เท่า	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า	46
รูปที่ 4.8 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์ถ่ายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า	47
รูปที่ 4.9 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์ถ่ายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 2000 เท่า	48
รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณหมู่คาร์บอนิลของตัวอย่าง HDPE,S0%,S10%,S20% และ S30% ที่เวลาต่างๆ	50
รูปที่ 4.11 รูปแสดงค่า Carbonyl Index (C.I.) ที่เพิ่มขึ้นของชิ้นงานตัวอย่างวัดที่ 1730 cm^{-1} ที่เวลาการฉายแสง UV ต่างๆกัน	51
รูปที่ 4.12 รูปแสดงค่า Carbonyl Index (C.I.) ที่เพิ่มขึ้นของชิ้นงานตัวอย่างวัดที่ 1730 cm^{-1} (1) S10%, (2) S20% และ (3)S30% ที่เวลาการฉายแสง UV ต่างๆกัน	52
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง S20% ก่อนการฉายแสง UV	53
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง S20% ที่ฉายแสง UV 8 สัปดาห์	54
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง S20% ที่ผ่านการฉายแสง UV 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

- รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับร้อยละของ
น้ำมันถั่วเหลืองในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ต่างๆกัน 57
- รูปที่ 4.17 แสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดกับร้อยละของน้ำมันถั่วเหลือง
ในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ต่างๆกัน 58
- รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของชิ้นงานกับร้อยละของ
น้ำมันถั่วเหลืองในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ต่างๆกัน 59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของ Fatty acid	13
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการบริโภคตาม มาตรฐานอุตสาหกรรม	18
ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง	19
ตารางที่ 2.4 แสดงพลังงานรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆต่อพันธะเคมีใน พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	26
ตารางที่ 2.5 แสดงความยาวคลื่นสูงสุดของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ส่งผล ต่อพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	26
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรผสมที่ใช้ในการวิจัย	36
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการย่อยสลายทางชีวภาพ	60
ภาคผนวก	
ตารางที่ 1 ข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงของค่า Carbonyl Index	64
ตารางที่ 2 ข้อมูลแสดงปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ที่ผ่าน การฉายแสง UV จากเทคนิค XRD	65
ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ผ่านการฉาย แสง UV ที่เวลาต่างๆ	66
ตารางที่ 4 ข้อมูลสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสง UV 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์	67
ตารางที่ 5 แสดงปริมาณความชื้นในดินที่ใช้ในการย่อยสลายทางชีวภาพ	68
ตารางที่ 6 แสดงค่าความเป็นกรด-เบส ของดินที่ใช้ในการทดลอง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการนำพลาสติกมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ มีมากขึ้น โดยพอลิเอทิลีนได้รับความสนใจมาก เนื่องจาก การขึ้นรูปง่าย ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ทนต่อสารเคมีและสภาพแวดล้อม บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นนี้ ส่วนมากนำมาใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งเช่น พลาสติกที่ใช้ทางการเกษตร บรรจุภัณฑ์ต่างๆ ขวดใส่น้ำดื่ม ส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกมากขึ้น ก่อให้เกิดมลพิษเป็นอย่างมาก ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด คือการทำให้พลาสติกสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยมีการเติมสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติซึ่ง แป้งมันสำปะหลังเป็นที่นิยมเนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตมันสำปะหลังที่ใหญ่ซึ่งมีอยู่ในปริมาณ มาก ราคาถูก และใช้สารช่วยการกระจายตัวจำพวกน้ำมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวเช่น น้ำมันพืช จะช่วยการ กระจายตัวของแป้งในพลาสติก

การย่อยสลายทางแสงเป็นกระบวนการสำคัญในการย่อยสลายพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์จะดูด กลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมแล้ว เกิดอนุมูลอิสระขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงหรือการสลายตัวของโมเลกุลของสายโซ่ โดยการย่อยสลาย ขึ้นกับธรรมชาติของพลาสติกและสารเติมแต่งเช่น สารต่อต้านออกซิเดชัน สารช่วยการกระจายตัว และสี เป็นต้น⁽¹⁾

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายทางแสงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ใช้แป้ง มันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมและใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็น สารช่วยการกระจายตัว

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันทั่วโลกมีการตื่นตัวเป็นอย่างมากเกี่ยวกับปัญหาที่มาจากขยะพลาสติก ที่เป็นผลจากการใช้ผลิตภัณฑ์จากพลาสติก ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการย่อยสลายทางแสงของพลาสติกโดยเน้นพลาสติกที่ใช้ทางการเกษตรได้แก่ พลาสติกที่ใช้คลุมดิน ถุงพลาสติกสำหรับเพาะชำต้นกล้า เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนมากจะใช้งานเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง โดยมากจะทิ้งตามผิวดินทำให้เกิดมลพิษทางดินซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมความต้องการใช้พลาสติกทางการเกษตรกรรมจึงมีในปริมาณมากการกำจัดขยะเหล่านี้วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการทำให้พลาสติกสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและทางแสง ด้านการย่อยสลายทางชีวภาพจะเป็นการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติกอันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น ในส่วนของการย่อยสลายทางแสง พลาสติกจะต้องมีหมู่คาร์บอนิล เปอร์ออกไซด์ พันธะคู่ เป็นต้นซึ่งจะเป็นตัวเร่งในการย่อยสลายโดยจะเป็นตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดการย่อยสลายของพลาสติกได้

ราคาของพลาสติกที่ใช้มีผลต่อการเลือกใช้เป็นวัสดุทางการเกษตรเพื่อที่จะลดราคาวัสดุ ดังนั้นในส่วนของการผลิตได้มีการเติมสารเติมแต่งต่างๆเข้าไปเพื่อลดปริมาณพลาสติกที่ใช้และการเลือกสารตัวเติมนี้ต้องมีคุณสมบัติสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติสารเติมแต่งที่ได้รับความนิยมมากคือ แبنซ์มันสำปะหลัง เนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่ จึงมีราคาถูกและมีในปริมาณมากนอกจากนี้แล้วสารเติมแต่งบางประเภทเช่น กรดไขมัน และเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งกรดไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง (Autooxidation) เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยการกระจายตัวต่อกระบวนการย่อยสลายทางแสง
2. ศึกษาผลของสารช่วยการกระจายตัวต่อกระบวนการย่อยสลายทางแสงของพอลิเมอร์
3. ศึกษาสมบัติเชิงกล ทางความร้อน และทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการย่อยสลายทางแสงและทางชีวภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีแบริ่งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมและใช้สารช่วยกระจายตัวคือ น้ำมันพืชในปริมาณต่างๆกัน ทำการผสมสูตรแล้วนำมาขึ้นรูปขึ้นงานที่มีความหนา 0.2-0.3 มิลลิเมตรนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล และ สัณฐานวิทยา เมื่อทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตทุกๆ 2 สัปดาห์จนครบ 8 สัปดาห์จากนั้นนำมาฝังดินต่อเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ใช้เม็ดพลาสติกจากบริษัท TPI
2. เตรียมแบริ่งมันสำปะหลัง ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
3. นำแบริ่งมาผสมกับสารช่วยการกระจายตัวตามอัตราส่วนในเครื่องผสมความเร็วสูง
4. ผสมพอลิเมอร์กับแบริ่งโดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
5. นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องไม้ตัดเม็ดพลาสติก
6. นำพอลิเมอร์ไปขึ้นรูปโดยการอัดร้อนให้ชิ้นงานมีความหนา 0.2-0.3 มิลลิเมตร
7. นำชิ้นงานมาฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต แล้วเก็บชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ทุกๆ 2 สัปดาห์จนครบ 8 สัปดาห์
8. นำชิ้นงานที่ได้ฝังในฝังดินต่อเพื่อย่อยสลายทางชีวภาพเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทดสอบสมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา
9. สรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอิทธิพลของสารช่วยการกระจายตัวต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ภายหลังจากการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
2. ทราบถึงผลของแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ต่อสมบัติของพอลิเมอร์
3. เป็นข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มาจากขยะพลาสติก
4. นำแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ผลิตได้อย่างมากมายในประเทศไทยและมีราคาถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม



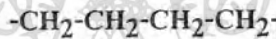
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

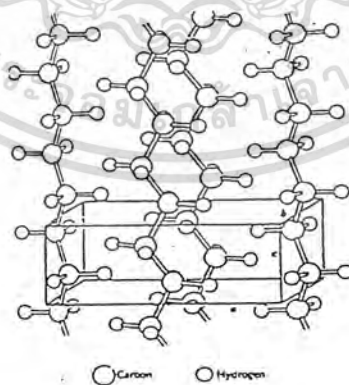
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)^[1]

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์พวกวกเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ โഴโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจน เกิดจากมอนอเมอร์ของเอทิลีนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 28 เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว (Addition polymerization) ได้พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15,400 เป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวมีโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน^[1]



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ Unit cell ของพอลิเอทิลีน^[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนเกิดจากพอลิเมอร์ไซโซของเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีลักษณะเป็นไขจนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเป็นผลึกสูง ซึ่งพอลิเอทิลีนทั่ว ๆ ไปมีคุณสมบัติดังนี้

ความถ่วงจำเพาะ	0.94-0.97
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก	80-95
อุณหภูมิของการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	127-135
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa^a)	21-38
ค่าความแข็งแรง (GPa^b)	0.41-1.24
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	20-130
ค่าความแข็งแรงกระแทก (มีรอยบาก) (Jm^{-1}) ^c	27-1068
อุณหภูมิเบี่ยงเบนเมื่อได้รับความร้อน ($^{\circ}\text{C}$, at 455 kPa)	60-88

หมายเหตุ

^aTo convert MPa to psi. Multiply by 145

^bTo convert GPa to psi. Multiply by 1.45×10^5

^cTo convert Jm^{-1} to lbf in.^{-1} divide by 53.38

พอลิเอทิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามความหนาแน่นได้ดังนี้

LDPE โครงสร้างมีโซกิ่งสาขายาว มีความหนาแน่นต่ำ ($0.91-0.92 \text{ g/cm}^3$)

HDPE มีโซกิ่งสาขาน้อยแต่มีความเป็นผลึก และความหนาแน่นสูงกว่าพวก LDPE

($0.941-0.965 \text{ g/cm}^3$) HDPE เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือ ขึ้นรูปได้ง่าย ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ทนต่อสารเคมีและสภาวะแวดล้อม

LLDPE มีโซกิ่งแต่น้อยและสั้น ๆ ความหนาแน่น ($0.916-0.930 \text{ g/cm}^3$) เกิดจากพอลิเอทิลีนทำปฏิกิริยากับแอลฟาโอเลฟินมอนอเมอร์

UHMWPE น้ำหนักโมเลกุลสูงมากจึงมักเกิดลักษณะเกาะเกี่ยวพันกัน (entanglement) มีจุดหลอมเหลว 130°C พอลิเมอร์ไม่หลอมแต่มีลักษณะคล้ายยางมากกว่าของเหลว ซึ่งทำให้ทำการขึ้นรูปได้ยาก

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)^[2]

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรง เพราะมีโครงสร้างที่เป็นโซ่สาขาน้อยมากหรืออาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความดันต่ำ ซึ่งในการเตรียมใช้ความดันต่ำมากเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีการผลิตขึ้นในการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1955

การเตรียมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงปฏิกิริยา พอลิเมอร์ไรเซชัน ที่สำคัญได้แก่

กระบวนการซีเกอร์ (Ziegler process) กระบวนการนี้ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของ ซีเกอร์เนตตา (Ziegler-Natta catalyst) ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ ไททาเนียมเตตระคลอไรด์-อะลูมิเนียมอัลคิล ($\text{TiCl}_4\text{-R}_3\text{Al}$) ณ ความดันสูงกว่าบรรยากาศเพียงเล็กน้อย และอุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียสในตัวกลางเฉื่อยเช่น น้ำมันดีเซล เฮปเทน หรือโทลูอีน เนื่องจากพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวกลางที่เฉื่อย ดังนั้นเมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์แล้ว จะตกตะกอนออกมาหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์สิ้นสุดลง ตัวเร่งซีเกอร์-เนตตาจะถูกทำลายโดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอลหรือโพรพานอล สารทั้งหมดที่เกิดขึ้นสามารถถูกกำจัดออกไปด้วยกรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ แล้วนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปเซนตริฟิว (centrifuge) แล้วทำให้แห้ง พอลิเมอร์ที่ได้แตกต่างจากพอลิเมอร์ที่เตรียมจากกระบวนการใช้ความดันสูง คือ มีสาขาโซ่ อยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การศึกษาโครงสร้างโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีพบว่า มีหมู่เอทิลเพียง 5-7 หมู่ต่อคาร์บอนอะตอม 1000 อะตอม และไม่ปรากฏสาขาโซ่ที่เป็นหมู่บิวทิล (C_4H_9)

กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process) กระบวนการนี้ใช้โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ที่มีตัวพวยเช่นซิติกาหรืออะลูมินาเป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อยเช่นไซโคลเฮกเซน สภาวะของปฏิกิริยาอยู่ระหว่างกลางของ กระบวนการใช้ความดันสูงที่ใช้เตรียม พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและกระบวนการซีเกอร์ ความดันที่ใช้ทั่วไป 30-40 บรรยากาศและอุณหภูมิ 90-160 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนที่ได้ มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์ การศึกษาโดยใช้อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ไม่ปรากฏหมู่เอทิลหรือบิวทิลเป็นสาขาโซ่และมีหมู่เมทิล (CH_3) เพียง 3 หมู่ต่อคาร์บอนอะตอม 1000 อะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสแตนดาร์ด ออย์(Standard Oil process) กระบวนการนี้คล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์มาก ตัวเร่งที่ใช้ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะเช่น โมลิบดีนัมไดออกไซด์ (MoO_3) บนตัวพองอะลูมินา (Al_2O_3) หรือไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ความดัน 40-100 บรรยากาศและอุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ที่ได้จะมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์คล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์

สมบัติและการนำไปใช้

เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ได้มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบตลอดโซ่พอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมากจึงเป็นเหตุให้พอลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูง ความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวจะสูงด้วย โดยส่วนใหญ่ มักจะนำพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงมาผลิตขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุอื่นๆ เช่น ภาชนะบรรจุกรดและเบส เคมีภัณฑ์ สารละลาย และยังมีบางส่วนที่เหลือใช้ทำเป็นฟิล์มเพื่อห่อหุ้มอาหาร

2.2 แป้ง(Starch)^[2]

แป้ง (starch) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) มีอยู่ในพืชทุกชนิดมีขนาดโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคสจัดเรียงตัวต่อกันจัดเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloid) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดหรือแหล่งของพืชมีทั้งแบบทรงกลม รูปไข่ และหลายเหลี่ยม แป้งมันสำปะหลังมีเม็ดแป้งที่มีลักษณะทรงกลมหรือกลมและปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัด เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5-35 ไมครอน

การผลิตแป้งมันสำปะหลัง ใช้วิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง คือ หัวมันสำปะหลังจะถูกกล่าเสียดส่งเข้าเครื่องจักรในแต่ละชุดติดต่อกันไปเรื่อย ๆ โดยในการผ่านเครื่องจักรแต่ละชุดวัตถุดิบก็จะถูกแปรสภาพไปเรื่อย ๆ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการทำความสะอาดหัวมัน การสับและการม่หัวมัน การแยกโปรตีนและพวกน้ำยางหรือเมือก การแยกกากมัน การแยกโปรตีน ขึ้นหลังการสกัดน้ำให้แห้ง และขั้นตอนสุดท้ายคือการเป่าให้แห้ง แล้วทำให้เย็นจากนั้นค่อยบรรจุใส่ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

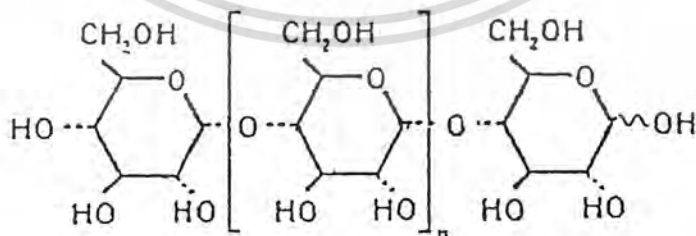
สมบัติของแป้งสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ

1. **Starch** ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก starch ออกมาได้
2. **Flour** ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วยจึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก starch

องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) หรือหน่วยกลูโคไพราโนซิด (glucopyranosyl unit) ซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์เชื่อมโยระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่ง กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยระหว่างหน่วยกลูโคส เรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ (glycoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แบบควบแน่นภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิดคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ เป็นโฮโมพอลิเมอร์คือ มีกลูโคสเป็น โมโนเมอร์เหมือนกัน

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

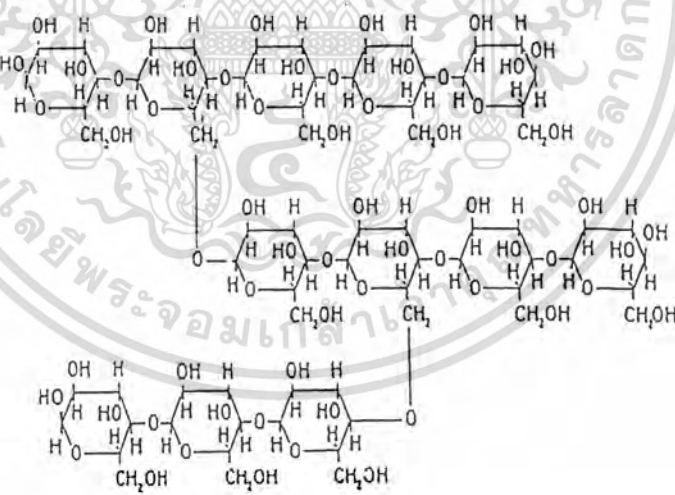


รูปที่ 2.3 แสดงสูตร โครงสร้างของอะไมโลส^[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเพราะโมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกันและใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างตาข่ายขึ้น ทำให้สมบัติชอบน้ำลดน้อยลง และสารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น ในสารละลายเจือจาง จะเกิดการรวมตัวของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูง ๆ ผลของความเกะกะ (steric hindrance) จะขัดขวางการรวมตัว แต่จะมีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรงเรียกปรากฏการณ์ยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสว่า “รีโทรเกรเดชัน” (retrogradation)

อะไมโลเพกติน (amylopectin) กลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นโซ่แขนงที่ทุก ๆ 20-30 หน่วยของพันธะแอลฟา-1,4 แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 แอลฟา-1,6 โครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพกติน คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ของแป้ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้ คือ



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน^[3]

จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลสและโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์สาขาทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการจัดเรียงตัวให้ใกล้กันของสายโซ่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส และมีความเสถียรของการเป็นเจล สายโซ่หลักของอะไมโลเพกตินและอะไมโลสอยู่ขนานติดกันมีโอกาสที่จะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ทำให้เกิดกลุ่มของโครงสร้างผลึก (micellar crystallites) ซึ่งจะเป็ นตัวชี้คให้แป้งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบฟรินเจนซ์ (birefringence) ซึ่งสามารถแสดงให้ทราบได้โดยการ เกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross)

การที่แป้งมีลักษณะไบฟรินเจนซ์ นั้นหมายความว่า เม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอยู่อย่าง เป็นระเบียบภายใน โดยปราศจากการเกี่ยวของ โครงสร้างหลักแต่อย่างใด เม็ดแป้งแสดงสมบัติแอนไอโซ ทโรปิก (anisotropic properties) ซึ่งสมบัติเช่นนี้ เกิดขึ้นในเม็ดแป้งที่มีความแตกต่างกันของปริมาณอะไม โลสอยู่มาก ส่วนของแป้งที่เอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือ โครงสร้างที่เป็นสายตรง จุลินท รีย์จะย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เบตาอะไมเลสทำลาย เฉพาะพันธะแอลฟา 1,4 glycosidic linkage ไม่ สามารถทำลายได้ ดังนั้นการย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลเพกทิน ให้เป็นสายสั้นที่เรียก ว่า เดกซ์ตริน (dextrin)

สมบัติของแป้ง

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสม และใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่าง มากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น การที่สามารถนำ แป้งไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความข้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึด ติด และการเกิดเป็นฟิล์ม นอกจากนี้แป้งยังมีราคาถูก และหาได้ง่าย

การนำแป้งไปประยุกต์ในด้านต่างๆ

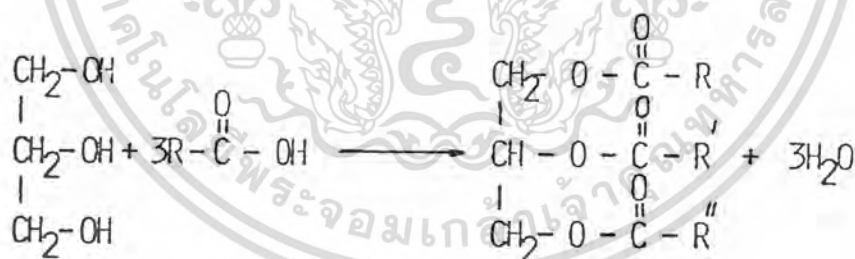
แป้งสามารถใช้ผสมในพลาสติก เช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ ในโพรพอรีเทน ชนิดแข็ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนกับกรดอะคริลิก และพอลิเอทิลีน ความหนา แน่นสูงเพื่อให้มีสมบัติในการสลายตัวทางชีวภาพ ได้มีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้ในการควบคุม ความชื้นและอุณหภูมิของดิน ลดการชะล้างของสารอาหาร ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเมล็ดและเพิ่มผล ผลิตของพืชผล ไม่เพียงแต่แป้งสามารถผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ในการใช้ เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือเป็นสารเสริมแรง

2.3 น้ำมัน^[4]

น้ำมันสามารถแยกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามแหล่งกำเนิด คือน้ำมันพืช (vegetable oil) น้ำมันสัตว์ (animal oil) และน้ำมันแร่ (mineral oil) น้ำมันในกลุ่มที่ 1 และ 2 ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ในรูปของ glyceride จึงมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งผิดกับกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบจึงเรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะใน 2 กลุ่มแรก

น้ำมัน

ไขมันที่มีสะสมในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในมนุษย์และสัตว์จะถูกสร้างขึ้นทางขบวนการทางชีวเคมี จากสารพลังงานที่ได้รับเข้าไปคือกลูโคส สารแหล่งพลังงาน เช่น คาร์โบไฮเดรตและกลูโคสที่มีมากเกินไป ความจำเป็นหรือมากเกินไปที่ร่างกายจะใช้ก็จะถูกนำไปเก็บสะสมในในตับ (กรณีของคนและสัตว์) และในเซลล์ของพืช ได้เป็น กรดไขมัน แต่สารประกอบนี้มักจะอยู่ในรูปของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า glyceride จัดเป็นสารประกอบประเภท เอสเทอร์ ที่เกิดจากกลีเซอรอล (มีหมู่ OH 3 หมู่) กับกรดไขมันอิสระ 3 โมเลกุล



กลีเซอรอล กรดไขมัน

ไขมันหรือน้ำมัน

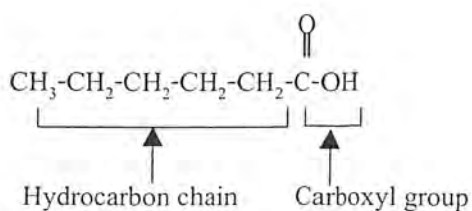
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดน้ำมัน^[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ fatty acid^[4]

จำนวน Carbon atom	สูตรโครงสร้าง	ชื่อสามัญ ของกรด ไขมัน	จุดหลอม เหลว (°C)
<u>Saturated</u>			
4	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Butyric	-8
12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Lauric	44.2
14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Myristic	54.4
16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Palmitic	62
18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Steric	69.0
20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Arachidic	75.4
24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	Lignoceric	84.2
<u>Unsaturated</u>			
16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Palmitoleic	-0.5
18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Oleic	14
18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Linoleic	-6
18	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Linolenic	-12

กรดไขมัน^[5] คือกรดคาร์บอกซิลิกที่ได้จากการไฮโดรลิซิส ไขมันหรือน้ำมัน มีลักษณะแข็งเส้นและมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ เช่น 14, 16 และ 18 ภายในโมเลกุลจะมีพันธะคู่ผสมกับพันธะเดี่ยว หรือพันธะเดี่ยวทั้งหมดก็ได้ ตัวอย่างเช่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

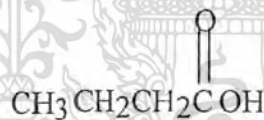
ความยาวของโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเครื่องชี้ให้ทราบว่าไขมันชนิดใดมีลักษณะเป็นของเหลวหรือของแข็งที่อุณหภูมิปกติ (ambient temperature) กล่าวคือไขมันที่เกิดจากกรดไขมันที่ประกอบด้วยโมเลกุลสั้นจะมีสภาพเป็นของเหลว ส่วนไขมันที่เกิดจากกรดไขมันที่ประกอบด้วยโมเลกุลยาวจะมีสภาพเป็นไขมันแข็ง

แบ่งกรดไขมันตามจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 12
2. กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีคาร์บอนอะตอมระหว่าง 12-18
3. กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 20

ประเภทของกรดไขมันจำแนกตามความอิ่มตัวของกรดไขมัน (degree of saturation) ได้ 2 ประเภท คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) หมายถึงกรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มที่แล้วไม่สามารถที่จะรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีกจะไม่มีพันธะคู่ (double bond) มีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n}O_2$ (เมื่อ $n=2,4,6,8,\dots$) เช่นกรดบิวทีริก (butyric acid) มีสูตรโครงสร้างคือ

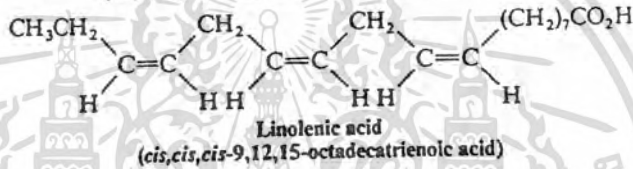
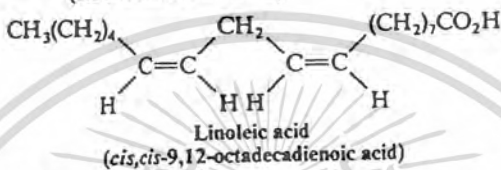
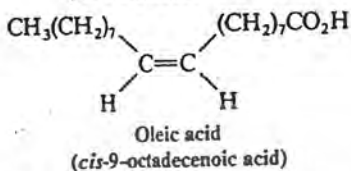
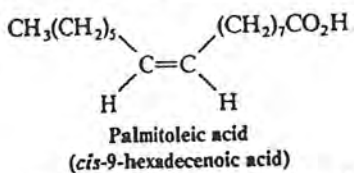


2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) หมายถึงกรดไขมันที่คาร์บอนอะตอมในโมเลกุลมีไฮโดรเจนจับเกาะไม่เต็มที่สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

2.1 กลุ่มที่มีหนึ่งพันธะคู่ในโมเลกุลมีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n-2}O_2$ เช่น กรดโอเลอิก

2.2 กลุ่มที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งในโมเลกุล เป็นพวกที่ไม่อิ่มตัวสูง เช่น กรดไลโนเลอิก, กรดไลโนเลนิกและกรดอราซิโคนิก

Unsaturated Carboxylic Acids

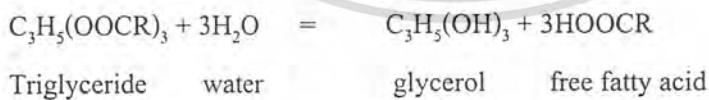


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดไขมัน^[6]

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน^[4]

1. Hydrolysis

เมื่อทิ้งไขมันหรือน้ำมันไว้ในอากาศอาจจะเกิดปฏิกิริยากับความชื้น กลายเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมันอิสระ หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแตกตัวของน้ำมัน ดังสมการ



แต่ปฏิกิริยานี้จะเกิดสมดุล ถ้าหากว่าไม่มีน้ำมากเกินไปหรือไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิหรือสิ่งเร่งเร้าอื่น ๆ

2. Oxidation

อากาศสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (Rancidity) กรดไขมันที่มี พันธะคู่มากในโมเลกุลก็ยิ่งมีการเปลี่ยนสภาพเร็วขึ้น ดังนั้น น้ำมันที่ใช้บริโภคซึ่งมี linoleic มากจึงมีความสำคัญ เพราะอาจจะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้มากกับออกซิเจน ทำให้ตำแหน่งของ พันธะคู่ในโมเลกุลเปลี่ยนไป และในที่สุดก็เกิดเป็นสารประกอบอื่น ๆ เช่น peroxides, aldehydes, ketones และกรดต่าง ๆ อาจจำเป็นต้องเพิ่มสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา (Antioxidant) ทั้งนี้เพื่อรักษาให้น้ำมันมีคุณภาพดีได้นาน ๆ เมื่อขบวนการออกซิเดชันดำเนินต่อไปจนถึงที่สุดคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันนั้นก็เปลี่ยนไป เช่น ค่าไอโอดีน (Iodine number) ลดลง การเกิดสบู่ (Saponification) และอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง นั่นคือน้ำมันนั้นหมดสภาพและไม่เหมาะที่จะใช้บริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรมใด ๆ

3. Hydrogenation

ในสภาพที่เหมาะสมและมีสารเร่ง (Catalyst) บางชนิด กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจนบริเวณพันธะคู่ในโมเลกุลทำให้กรดไขมันนั้นเปลี่ยนเป็นชนิดอิ่มตัวดังนี้



ขบวนการนี้จะทำให้น้ำมันที่เป็นของเหลวเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งหรือเรียกว่า Plastic fat

4. Halogenation

ที่ตำแหน่งพันธะคู่สามารถถูกแทนที่โดยธาตุคลอรีน โบรมีน หรือไอโอดีน คุณสมบัติของน้ำมันที่กล่าวถึงค่าไอโอดีน (Iodine value) บอกถึงปริมาณของตำแหน่งพันธะคู่ที่ธาตุไอโอดีนจะเข้าไปแทนที่ ดังนั้นค่าไอโอดีนจึงหมายถึงปริมาณเป็นกรัมของไอโอดีนที่เข้าร่วมกับน้ำมัน 100 กรัม น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูง แสดงถึงความไม่อิ่มตัวมากกว่าน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำ

5. Saponification

Saponification number บอกถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารประกอบที่ให้ไขมันชนิดนั้น ส่วนค่า saponification equivalent ของไขมันหรือสารประกอบ ester อื่น ๆ หมายถึงปริมาณของไขมันหรือสารนั้นเป็นกรัมที่ทำปฏิกิริยาพอลิกับโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล (หรือ 56.104 กรัม) แต่ถ้าหากเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกันระหว่างค่าชนิดนี้กับกรดไขมัน ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นสารประกอบมีฤทธิ์เป็นกลางก็จะเรียกค่านี้ว่า neutralization equivalent ซึ่งจะเป็นค่าเดียวกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันนั้น

6. Esterification และ Interesterification

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเป็นปฏิกิริยาผันกลับของไฮโดรไลซิส โดยใช้แอลกอฮอล์หรือกลีเซอรอลพร้อมสารเร่ง ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระได้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ ส่วนอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันหมายถึงขบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างสารประกอบกลีเซอไรด์หรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน อิมตัวกับกรดไขมันหรือกับแอลกอฮอล์หรือเอสเทอร์อื่น ๆ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสลับเปลี่ยนตำแหน่งของกรดไขมันใน โมเลกุลขึ้น

2.3.1 ไขมันถั่วเหลือง^[5]

ถั่วเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine Max (L) Merrill* อยู่ในตระกูล Leguminosac, Subfamily papilionoideae เป็นพืชพื้นเมืองในแถบเอเชีย สีของเปลือกมีอยู่ด้วยกันหลายสี เช่น สีเหลือง ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไป สีดำใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช ถั่วเหลืองของไทยจะมีไขมันอยู่ราว 16-18% ปริมาณของกรดไขมันที่พบในถั่วเหลืองจะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิมตัวและไม่อิมตัวในอัตราส่วนที่ค่อนข้างคงที่คือประมาณ 15 ต่อ 85

การผลิตน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อการบริโภคจำเป็นต้องให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภคทั้งนี้ได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพและคุณลักษณะของน้ำมันถั่วเหลือง

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการบริโภคตามมาตรฐานอุตสาหกรรม^[4]

รายการ	คุณลักษณะ	ความต้องการ
1	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density) 20 ⁰ C/20 ⁰ C	0.919-0.925
2	ดัชนีหักเห (Refractive index) ที่ 40 ⁰ C	1.466-1.470
3	ค่าสaponification (Saponification value) มิลลิกรัม โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม	189-195
4	ค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (Iodine value wijs)	120-143
5	สารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponifiable matter) กรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม	<15
6	ค่าของกรด (acid value) มิลลิกรัม โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม	<0.6
7	ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม	<10
8	น้ำมันและสิ่งระเหยได้ (Water and volatile matter) ที่ 150 ⁰ C ร้อยละโดยน้ำหนัก	<0.2
9	สารที่ไม่ละลายในน้ำมัน (Insoluble impurities) ร้อยละโดยน้ำหนัก	<0.05
10	ปริมาณสบู่ (Soap content) ร้อยละ โดยน้ำหนัก	<0.005
11	สารหนู มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม	<0.1
12	เหล็ก มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม	<2.5
13	ทองแดง มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม	<0.1
14	ตะกั่ว มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม	<0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง^[6]

Average Composition of fatty acid (mol%)	Soybean
<u>Saturated</u>	
C ₄ Butyric acid	-
C ₆ Caproic acid	-
C ₈ Caprylic acid	-
C ₁₀ Capric acid	-
C ₁₂ Lauric acid	-
C ₁₄ Myristic acid	1-2
C ₁₆ Palmitic acid	6-10
C ₁₈ Stearic acid	2-4
<u>Unsaturated</u>	
C ₁₆ Palmitoleic acid	-
C ₁₈ Oleic acid	20-30
C ₁₈ Linoleic acid	50-58
C ₁₈ Linolenic acid	5-10

2.4 เสถียรภาพของพลาสติก^[7]

การที่พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เป็นเพราะข้อดีของพลาสติกข้อหนึ่ง คือ พลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน ไม่ผุกร่อนเหมือนโลหะ และด้วยข้อดีนี้เองที่ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป พลาสติกที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

- พลาสติกที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
- พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่

ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถเอกลำนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (aliphatic polyester) พอลิเอไมด์และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างของพอลิเมอร์ดังกล่าว เช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด (polyglycolic acid) และพอลิคาร์โพรแลคโตน (polycaprolactone) เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาว่า เหตุใดพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อดังต่อไปนี้

1. พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้จากน้ำมันปิโตรเลียมและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเมื่อโซโมเลกุลมีขนาดยาวมาก ๆ ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จากการค้นคว้าวิจัยของบริษัทยูเนียนคาร์ไบด์ (Union Carbide) โดยการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 123,000 และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมาเรื่อย ๆ พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ และพอลิเอทิลีนจะสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200
2. พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ ลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกทำให้มีขนาดเล็กลงโดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลง และการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (biodegradable plastics)
2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (photodegradable plastics)
3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของพลาสติกอันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น

2.4.1.1 การวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกที่สลายตัวทางชีวภาพ

สามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวทาง คือ

1. การปรับปรุงพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (modified natural polymer) เป็นการนำเอาพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ มาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน พลาสติกชนิดนี้มีประโยชน์มากสามารถใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับยึดอวัยวะที่เป็นกระดูกในร่างกายของมนุษย์ ในกรณีที่กระดูกเกิดชำรุดหรือแตกหักและเมื่อครบกำหนดพลาสติกดังกล่าวก็จะสลายตัวไปโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย สามารถใช้ทำเป็นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และใช้ทำขวด

2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีโครงสร้าง ที่เป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์เท่านั้น เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน (polycaprolactone) เรียกย่อว่า พีซีแอล (PCL) และพอลิไกลคอลิกแอซิด (polyglycolic acid) เป็นต้น

3. การศึกษาการนำสารเติมแต่งเติมลงในพลาสติก เพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพวิธีการนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีที่กล่าวมาแล้วโดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ สารเติมแต่งที่ได้รับความสนใจทำการศึกษากันมาก ได้แก่ แป้ง การเติมแป้งเพียงอย่างเดียวลงในพลาสติกโดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่นจะทำให้พลาสติกประเภทนี้ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเฉพาะส่วนที่เป็นแป้ง ทำให้เหลือโครงสร้างของพลาสติกในรูปโครงสร้างแบบรูพรุน (porous structure) ต่อมาก็กลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

การเติมแป้งผสมกับสารเติมแต่งบางประเภท เช่น กรดไขมัน (fatty acid) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะมีพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งตัว เช่น อัลคีนิลเอสเทอร์ (alkenyl ester) หรือไขมันธรรมชาติ (natural fats) พลาสติกชนิดนี้มีการสลายตัวเกิดขึ้น 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนคือ ขั้นตอนแรก จุลินทรีย์จะเข้าไปทำการย่อยสลายแป้งจนหมดเหลือไว้เฉพาะเนื้อพลาสติกที่ง่ายต่อการทำลายและมีพื้นที่ผิวมาก ขั้นที่สอง เกลือของโลหะในดินหรือน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับพลาสติกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ด้วยตนเอง (autooxidation) สารเติมแต่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วยตนเอง เช่น กรดไขมันจะเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ หรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ขึ้น เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์และเป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงจนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงพอที่จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนให้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การสลายตัวได้ในทางชีวภาพของพลาสติกมี 3 ลักษณะคือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่น ๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุน และต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด
2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยตนเอง ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อเพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ต่อไป
3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือ จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรง เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตนและพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรท อากีเรท เป็นต้น

2.4.1.2 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมีและก่อให้เกิดรอยดำ

1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage) การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่น การกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบาง ๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์
2. การทำลายทางเคมี (Chemical damage) การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น Alfatoin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือรอยด่างดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3. การเกิดรอยด่าง (Soiling) ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ด้วยเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ตั้งแต่โปร่งแสงจนทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่นแบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้าหรือผิวหนังของแก้วโดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะจากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่าง ๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

2.4.1.3 เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาล

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

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

เบตา-อะไมเลส เอนไซม์สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซ่ นันรีดิวซิ่ง

2.4.1.4 ข้อบกพร่องของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

พลาสติกชนิดนี้มีข้อดีอยู่มากมาย แต่ก็มีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไปสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เพิ่มต้นทุนการผลิต เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เลย การเพิ่มขึ้นตอนในกระบวนการผลิตเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพมีราคาแพงขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวเพียงบางส่วน อาจก่อให้เกิดปัญหาเมื่อพลาสติกชนิดนี้ถูกทิ้งลงบนพื้นดิน และตามถนนหนทางต่าง ๆ ในที่สาธารณะเป็น ระยะเวลาานพลาสติกดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายขึ้นเป็นบางส่วน โดยการสลายตัวเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ พลาสติกดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นรูพรุนบ้าง และเป็นผงละเอียดบ้างทำให้เกิดเป็นภาพที่ไม่สวยงามต่อผู้พบเห็น และยากต่อการตามเก็บทำลายเป็นอย่างยิ่ง

3. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการสลายตัวของพลาสติก การสลายตัวของพลาสติกโดยจุลินทรีย์ จะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีและเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เป็นสารมัธยันต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ถึงแม้จะค่อนข้างแน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่จะให้ความมั่นใจได้อย่างไรว่า สารมัธยันต์ที่อยู่ในธรรมชาติจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารอื่นที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงยิ่งกว่าพลาสติกที่ใช้โดยทั่วไป

4. ระยะเวลาในการสลายตัว เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของพลาสติกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์พลาสติกดังนั้นหากนำพลาสติกดังกล่าวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาหนา ๆ จะทำให้การสลายตัวของพลาสติกใช้เวลายาวนาน

5. อาจจะเป็นการส่งเสริมให้มีการทิ้งขยะกันอย่างไม่มีระมัดระวัง การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้อาจช่วยส่งผลให้ผู้บริโภคคิดอยู่เสมอว่าพลาสติกชนิดนี้สามารถสลายตัวได้ ดังนั้นจะทิ้งที่ใดก็ได้เหมือนกัน ก็จะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะพลาสติกอาจจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

6. เป็นการลำบากที่จะทำการคัดแยกพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้กับพลาสติกที่ใช้ทั่วไปออกจากกัน เพราะกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันดังนั้นการนำพลาสติกชนิดนี้มาใช้งาน จะต้องมีการทำเครื่องหมายให้เห็น ได้อย่างเด่นชัดเพื่อความสะดวกในการคัดแยกพลาสติก และเพื่อเป็นการบอกให้ผู้บริโภคทราบว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดใดใช้พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ

2.4.2 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสงซึ่งพลาสติกชนิดนี้ จะมีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้มันโดนแสงอาทิตย์ พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสภาพและค่อย ๆ สลายตัวไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 กระบวนการย่อยสลายทางแสง(Photooxidation)¹⁹⁾

ปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสงเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลง โดยการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมและทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นแล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะหรือเกิดการย่อยสลาย

กลไกการย่อยสลายโดยแสงของพอลิเมอร์

แสงที่ตกกระทบบนพอลิเมอร์ จะถูกดูดกลืนและสะท้อนที่ผิวพอลิเมอร์แสงที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสง(Photochemical)ตามกฎของ Stark-Einstein โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนแสง 1 ควอนตัม เพื่อให้ขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้าด้วยพลังงาน

$$E = h\nu$$

การเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสงจะต้องมีการดูดกลืนแสงก่อนเสมอ พอลิเมอร์ที่มีพันธะอิมตัวเช่น C-C, C-H, C-Cl และ O-H จะไม่ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต แต่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ที่สามารถดูดกลืนแสงได้(Chromophors)เช่น หมู่คาร์บอนิล, พันธะคู่หรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตหรือสารปนเปื้อนเช่นพวกสารเติมแต่งหรือพวกโลหะที่เป็นส่วนผสมของพอลิเมอร์ จะเป็นตัวริเริ่มให้เกิดปฏิกิริยากระบวนการย่อยสลายโดยเมื่อเกิดการดูดกลืนโฟตอนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นภายในโมเลกุลขึ้นกับกระบวนการทางฟิสิกส์ของการดูดกลืนแสง พลังงานรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆที่มีผลต่างพลังงานพันธะในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆดังตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงพลังงานรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆต่อพันธะเคมีในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ^[9]

Polymer	Bonds Present	Absorption(max)
Polyolefins	C-C , C-H	140 nm.($\sigma \rightarrow \sigma^*$)
Poly(vinylhalides)	C-halogen, C-C, C-H	190 nm. ($n \rightarrow \sigma^*$)
Poly(vinylalcohol)	C-C, C-H, C-O, O-H	200 nm.($n \rightarrow \sigma^*$)
Polybutadiene	C-C, C-H, C=C	220 nm.($\pi \rightarrow \pi^*$)
Polystyrene	C-C, C-H, C=C	230-280 nm.($\pi \rightarrow \pi^*$)
Aliphatic Polyamides	C-C, C-H, N-H, C=O, C-N	220 nm. ($n \rightarrow \pi^*$)

ตารางที่ 2.5 แสดงความยาวคลื่นสูงสุดของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ส่งผลกระทบต่อพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ^[9]

Polymer	Wavelengths (nm.)
Polycarbonate	290 , 345
Polyethylene	300
Polypropylene	310
Polystyrene	318
Polyester resin	325
PVC/Polyvinylacetate	327 , 364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

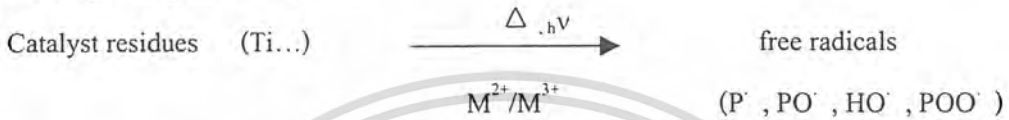
กลไกการย่อยสลายโดยแสง⁽²⁾

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจากการริเริ่มด้วยสิ่งเจือปนมีดังนี้

Chain initiation

Hydroperoxides POOH

Carbonyl compounds >C=O



Charge-transfer complex



Chain branching



Chain termination



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับแสงและความร้อน

พอลิโพลิฟินโดยทั่ว ๆ ไป เมื่อได้รับแสงหรือความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 2 แบบ คือ

1. เกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) หรือ พันธะเชื่อมโยง (Cross-linking)

1.1 การตัดสายโซ่ (Chain scission) การตัดสายโซ่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุล โดยจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง กลไกการตัดสายโซ่ มี 2 แบบดังนี้

- Oxidative scission เป็นการตัดสายโซ่โดยตรงที่ตำแหน่ง β ของหมู่ peroxy radicals กลไกนี้จะใช้พลังงานกระตุ้นต่ำ และอนุมูลมีปานกลาง หรือ ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณ oxygen มาก
- Thermal scission เป็นการตัดสายโซ่ที่ตำแหน่ง β ของ alkyl radical secondary alkyl radical ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็น vinyl group และ alkyl radical กลไกนี้ไม่ต้องการ oxygen แต่จะใช้พลังงานกระตุ้นสูงกว่า oxidative scission

1.2 การเชื่อมโยงสายโซ่(Chain cross-linking) การเชื่อมโยงสายโซ่ จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น โดยกลไกนี้เกิดจากการรวมตัวกันของ alkyl radical ที่อนุมูลมีต่ำ ๆ พอลิโพลิฟิน จะเกิดการเชื่อมโยง แต่เมื่ออนุมูลมีสูงขึ้น จะเกิดการแตกสายโซ่

2. เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง และโดยความร้อน

โดยจะทำให้เกิด หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล หรือ เปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์และจะส่งผลให้เกิดการแข่งขันระหว่างการเกิดพันธะเชื่อมโยงหรือเกิดการขาดของสายโซ่แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์

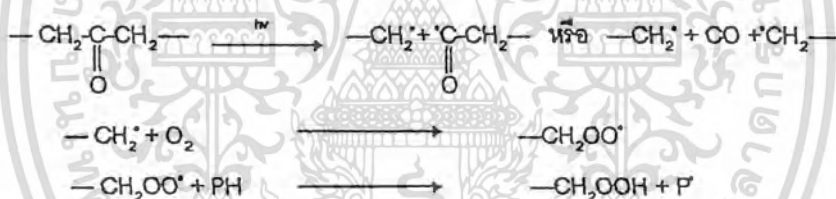
การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การยืดที่จุดขาด (Elongation) และความทนทานต่อการกระแทก (Impact strength) ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่ผิวของพอลิเมอร์จะเกิดรอยร้าวเนื่องจากผลของแสงอัลตราไวโอเล็ต

2.4.2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาขั้น Initiation และ Propagation ใน พอลิโพลิฟินเนื่องจาก chromophore ประเภทต่าง ๆ

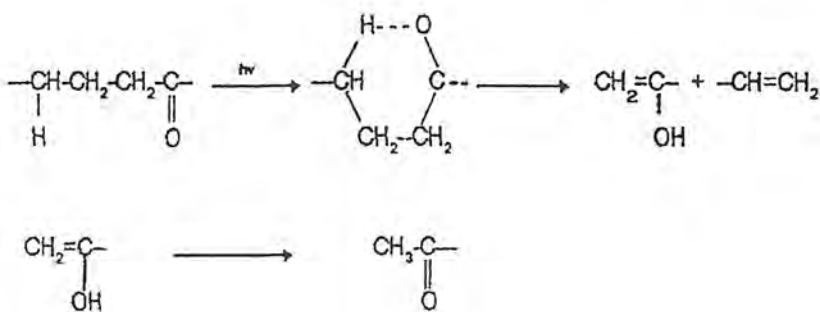
-โดยหมู่คาร์บอนิล

Aliphatic lactone และ aldehyde สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตย่านใกล้ (Near UV) ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 280-300 นาโนเมตร และเกิดการกระตุ้นด้วยหมู่คาร์บอนิลจาก $n-\pi$ โดยเชื่อว่าผลของการริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง จะเกิด 2 กระบวนการหลัก คือ

Norrish type I เมื่อหมู่คาร์บอนิล ดูดกลืนแสงจะสลายตัวให้หมู่คาร์บอนมอนอกไซด์ และให้อนุมูลอิสระออกมาดังสมการ ซึ่งอนุมูลอิสระที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัว (Recombination) หรือ การถ่ายโอนสายโซ่ (Disproportion) ก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนจึงเป็นตัวที่ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ไม่ตึก

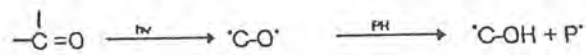


Norrish type II จะเกิดลักษณะนี้เมื่อแกมมาคาร์บอนอะตอม (γ - carbon) มีไฮโดรเจนอะตอมอย่างน้อย 1 ตัว เมื่อหมู่คาร์บอนิล ดูดกลืนแสงจะมีการจัดรูปเป็นรูปวงหกเหลี่ยม (six-membered cycle) ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นหมู่ โอลิฟินิค (Olefinic) และอินอลิค (Enolic) อย่างละ 1 หมู่



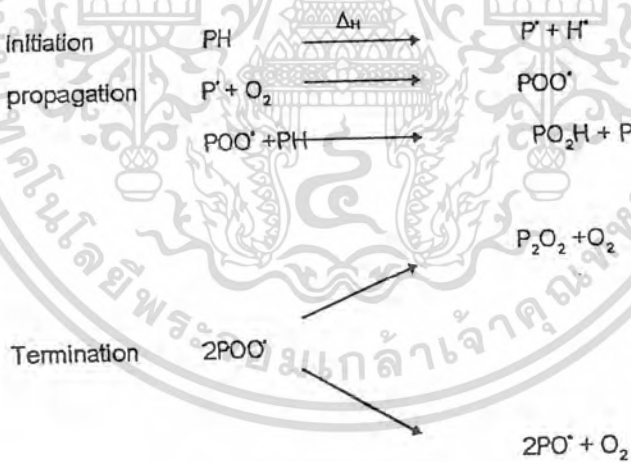
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขบวนการแบบ Norrish type II จะไม่ได้ ผลิตพันธ์เป็นอนุมูลอิสระแต่จะได้หมู่คาร์บอนิล ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาให้อนุมูลอิสระต่อได้ ดังสมการ



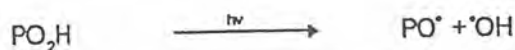
-โดยหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์(Hydroperoxide)

หมู่อัลลิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Allyl hydroperoxide) จะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตย่านไกล (Far ultraviolet) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 200 นาโนเมตร ต่อเนื่องโดยหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการสังเคราะห์และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีกลไกดังนี้



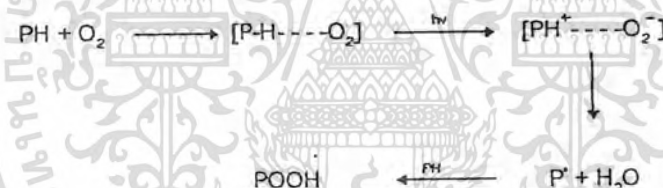
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยแสง หมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะให้อนุมูลอิสระของอัลคอกซี (Alkoxy) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ไปริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงต่อไป



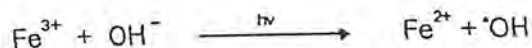
-โดย Oxygen-Polymer Charge transfer Complex

พอลิเมอร์และก๊าซออกซิเจนสามารถที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ในลักษณะถ่ายโอนประจุ (Charge transfer) จะเกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ



-โดยสิ่งเจือปนโลหะ (Metallic impurity)

พอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยใช้คะตะลิสต์ Zeigler Natta จะมีโลหะทรานซิชันหลงเหลืออยู่ ซึ่งยากที่จะทำการกำจัดออก เช่น Fe, Al, Ti ซึ่งสิ่งเจือปนโลหะเหล่านี้ สามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงในพอลิโอเลฟิน ได้ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในแต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (azoaromatic) และหมู่คีโต (keton group) ที่ไวต่อแสงในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (azo) จะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากการเลิกใช้งานแล้ว พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อมทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลายและเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจ ในการศึกษาพอลิเมอร์ที่มีการนำสารตัวเติมมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยศึกษาผลจากแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อการย่อยสลายของพลาสติก ซึ่งเป็นแนวทางที่จะลดปัญหาขยะพลาสติกที่มีในปริมาณที่มากขึ้น

Piyush B. Shah, S.Bandopadhyay & Jayesh R. Bellare^[10] ได้ทำการศึกษากการย่อยสลายของแป้งที่เป็นตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทำการอบแป้งข้าวโพดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นจาก 12.5% ให้เหลืออยู่ประมาณ 1% นำมาผสมกับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง นำมาผลิตชิ้นงานหนา 650 μm . นำชิ้นงานทดสอบโดยเอนไซม์ α -amylase และ ทดสอบการสลายตัวโดยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และนำไปตากแสงอัลตราไวโอเล็ต ผลการทดลองจาก SEM เอนไซม์ α -amylase ทำปฏิกิริยากับแป้งบริเวณผิวชิ้นงานเกิดรอยแยก และเกิดรูเนื่องจากเม็ดแป้งถูกย่อยทำให้มีพื้นผิวของพลาสติกมากขึ้น และผลของอัตราการเกิดออกซิเดชันทางความร้อน 15-20 % จะมีหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการตัดโซ่โมเลกุลโดยแสงอัลตราไวโอเล็ต

Ann-Christine Albertson, Camilla Barenstedt, and Sigbitt Karlsson^[11] ศึกษาการใช้ตัวช่วยเสริมในการย่อยสลายทางธรรมชาติของพอลิเอทิลีนต่ออุณหภูมิและการเกิดออกซิเดชันโดยนำ LDPE ผสมแป้งข้าวโพด และผสมกับเม็ดสีเข้มขึ้น (master batch) ในอัตราส่วน 10 15 และ 20% ของแป้งข้าวโพด และมีการเติมสารช่วยให้เสถียรทางความร้อนจากนั้นทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และทดลองโดยให้ความร้อน 100 °C และ 60°C ทำการทดสอบผลโดย FTIR, SEM, DSC, GC-MS พบว่าพลาสติกที่ผลิตขึ้นสามารถย่อยสลายทางแสงได้ดี

วิโรจน์ จรัสชาญชัย และคณะ^[9] ได้ทำการศึกษาผลของรังควัตถุอินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงกับพอลิพรอพิลีน ชนิดไฮโมพอลิเมอร์ และพอลิพรอพิลีน-เอทิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม ในปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต แล้วนำมาทดสอบโดย FTIR, DSC, Polarized microscope, MFI, Tensile strength และค่าการยืด ณ จุดขาด หลังจากได้รับการฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองพบว่า พอลิพรอพิลีนชนิดไฮโมพอลิเมอร์มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าชนิดพอลิพรอพิลีน-เอทิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม ส่วนรงค์วัตตุ แคดเมียมเรด และทิทาเนียมไดออกไซด์ ช่วย
 หน่วยงานเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง โดยรงค์วัตตุแคดเมียมเรดมีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนรงค์วัตตุ
 อัลตรามาร์ีนบูลให้ผลในทางตรงกันข้าม

Hebe B. Greizerstein, Joseph A. Syracuse & Paul J. Kostyniak^[12] ได้ทำการศึกษาการย่อย
 สลายของถุงที่ทำมาจาก พอลิเอทิลีนที่ไ้แบ่งเป็นตัวเต็ม เพื่อศึกษาการย่อยสลายของถุงนี้ โดยใช้ชิ้นงาน
 หนา 2.1 mil (53.3 μ m.) ขนาดของแบ่ง 6.4 \pm 3.0 μ m. นำถุงนี้ไปฝังดินซึ่งครึ่งหนึ่งจะเฝือล่มาที่ผิวดิน และอีก
 ส่วนจะฝังดินลึก 2-3 ฟุต นำชิ้นงานมาทดสอบทุก ๆ 14, 28, 42 และ 48 วัน ทดสอบโดย Tensile strength,
 FTIR, UV-Vis spectroscopy, DSC, และ light microscopy จากผลการทดลองพบว่า ผิวดินของถุงจะเกิดการ
 ออกซิเดชัน สูญเสียแบ่ง อุณหภูมิหลอมเหลวจะลดลงและมีความเปราะเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ส่วนถุงที่
 ถูกฝังดิน จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงหลังจากวันที่ 14 และจะเกิด Oxidation ในวันที่ 24 และ 49 จาก
 ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเสียสภาพทางแสง สังเกตได้จากการเสียสภาพที่ผิวดินของถุง ส่วนการเสีย
 สภาพของถุงที่ฝังดินจะเกิดการเสียสภาพน้อยมาก ส่วนมากการเสียสภาพจะมาจากอุณหภูมิ, ความชื้น,
 และความลึกของการฝังดิน

D.Zuchowska, D.Hlavata, R.Steller, W.Adamiak, W.Meissner^[13] ทำการศึกษาโครงสร้างทางกาย
 ภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ผสมกับแบ่งโดยใช้แบ่ง 30% ผสมกับ โกลคอลล 40-50% โดย
 น้ำหนักเป็นสารช่วยการกระจายตัวของแบ่ง จากนั้นนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดย
 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิลูกกลิ้ง 135-150 $^{\circ}$ C แบ่งชิ้นงานเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งนำชิ้น
 งานไปฝังดิน ความสูงของดินเหนือและใต้ชิ้นงานเป็น 145 และ 25 มิลลิเมตรตามลำดับ เป็นเวลา 4 เดือน
 เมื่อครบกำหนดนำชิ้นงานขึ้นมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักห้
 น้ำหนักที่หายไป ชิ้นงานอีกส่วนทำการย่อยสลายทางเคมีโดย แช่ชิ้นงานในสารละลาย โซเดียมไฮดรอก
 ซิด 10% เป็นเวลา 5 วันที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่ฝังดินปริมาณแบ่งหายไป 75%
 จากเริ่มต้น ส่วนที่ย่อยสลายทางเคมีปริมาณแบ่งหายไปถึง 80-85% และจากการศึกษา WAXS การ
 ย่อยสลายในดินโครงสร้างผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในการย่อยสลายในสารเคมีมีปริมาณโครงสร้างผลึกมาก
 ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1 เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากบริษัท TPI
- 2 แป้งมันสำปะหลังตรา ส่ง กาญจนชูศักดิ์
- 3 น้ำมันถั่วเหลือง ครามรงค์
- 4 ดินจากสวนเกษตรที่มีการปลูกผักและเลี้ยงสัตว์

3.2 อุปกรณ์

- 1 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC: Shimadzu Co.,Ltd.
- 2 เครื่องไมตัดเม็ดพลาสติก
- 3 เครื่องตัดชิ้นงาน Tensile Bar
- 4 เครื่องอัดความร้อน
- 5 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)
- 6 ตู้อบ UV
- 7 หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต
- 8 เครื่องปั่นผสมชนิดความเร็วสูง
- 9 เครื่องบดผสมชนิด 2 ลูกกลิ้ง
- 10 เครื่องทดสอบเชิงกลด้วยคอมพิวเตอร์และ โปรแกรม WINDAP : LLOYD Instruments LTD
- 11 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1 เตรียมสารตัวเติม
- 2 เตรียมชิ้นงาน
- 3 ฉายแสง UV
- 4 ทดสอบสมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยาของชิ้นงานตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

นำแป้งมันสำปะหลังไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่ 120°C 6 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ จากนั้นนำไปอบที่ 120°C 6 ชั่วโมง ในระบบสูญญากาศปล่อยให้เย็นตัวในเคซิเคเตอร์

3.4.2 การเตรียมชิ้นงาน

นำแป้งและน้ำมันมาผสม โดยใช้ประมาณน้ำมัน 10%, 20% และ 30 % ทำในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง โดยในแต่ละสูตรใช้เวลาในการผสม 20 นาที แยกสารแต่ละสูตรไว้ ทำการผสมในเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง โดยให้อุณหภูมิของลูกกลิ้งหน้าและหลังเท่ากับ 180°C และ 170°C ตามลำดับใช้เวลาในการผสมไม่เกิน 10 นาที ใช้สูตรผสมดังตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรผสมที่ใช้ในการวิจัย

สูตร	HDPE	แป้ง	แป้ง+น้ำมันถั่วเหลือง		
			10%	20%	30%
1	100	-	-	-	-
2	70	30	-	-	-
3	70	-	30	-	-
4	70	-	-	30	-
5	70	-	-	-	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 วิธีการผสม

1. นำแป้งที่อบแล้วผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในเครื่องผสมความเร็วสูง
2. นำเม็ดพลาสติกใส่ลงในเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ทำการเปิดเครื่องร่อนกว่าเม็ดพลาสติกจะ หลอมและติดลูกกลิ้ง
3. ค่อย ๆ เทแป้งที่ผสมแล้วลงผสมกับพลาสติกที่หลอม แล้วทำการผสมต่อจนเสร็จ
4. ตัดพลาสติกที่ได้ออกเป็นเส้น แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
5. นำเส้นพลาสติกไปบดในเครื่อง โม่ตัดพลาสติก
6. เก็บเม็ดพลาสติกไว้

3.4.4 เครื่องอัดรีด

ซังพลาสติก 3 กรัมใส่ลงในแผ่นเหล็กประกบโดยไม่ใช้แม่แบบแผ่นกลางที่อุณหภูมิ 180°C โดยใช้เวลาในการ Preheat 5 นาที อัดรีด 8 นาที และหล่อเย็น 5 นาที นำชิ้นงานที่ได้ไปตัดเป็นรูปคัมเบล เพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

3.4.5 การฉายรังสี UV

นำชิ้นงานพลาสติกที่เตรียมไว้ไปฉายแสงในตู้ฉายรังสี UV และทำการกลับชิ้นงานทุกๆ 2 วัน นำชิ้นงานออกมาทดสอบหลังจากฉายรังสี ทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 8 สัปดาห์

3.4.6 การย่อยสลายทางชีวภาพ

นำชิ้นงานที่ได้รับการฉายแสง UV 8 สัปดาห์ ฝังดิน ใช้ความสูงของดินใต้ชิ้นงานและเหนือชิ้นงานเป็น 25 และ 145 มิลลิเมตร โดยแบ่งการทดลองเป็น สองชุดคือ ชุดดินที่รดน้ำทุกวัน โดยให้มีความชื้นเป็น 3 เท่า ของดินอีกชุดหนึ่ง

3.5 ทดสอบสมบัติเชิงกล,เคมีและสัณฐานวิทยา

3.5.1 ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล

ใช้ชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้นงานต่อ 1 การทดสอบ สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Load cell	3000.0 N
Test speed	200.0 mm/min
Grammage	1.0 g/m ²
Cell class	0.5
Gauge Length	2.5 cm.
ศึกษาสมบัติดังนี้	
Tensile strength (MPa)	
% Elongation at break (%)	
Toughness	

3.5.2. การหาปริมาณ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเทคนิค FTIR

- ทำการวัดในช่วงเลขคลื่น 400-4000 cm⁻¹ โดยเปรียบเทียบความเข้มของหมู่คาร์บอนิล (1640-1780 cm⁻¹) ทั้งก่อนและหลังการฉายแสง UV และทำการคำนวณหาค่า Carbonyl Index (C.I.) จาก

$$C.I. = [\log (100/\%T)]/d*100$$

เมื่อ %T = เปอร์เซนต์การส่องผ่าน

d = ความหนาของชิ้นงาน (μm)

1.5.3. การหาปริมาณโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

- ใช้ค่ามุม 2θ ในช่วง

Start	15	degree
Stop	30	degree
Step side	0.05	
Time/stop	1	sec
Divergent slit	0.5	degree
Antiscatt	0.5	degree
Detector slit	out	
Generator	65 kv. 35 mA.	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

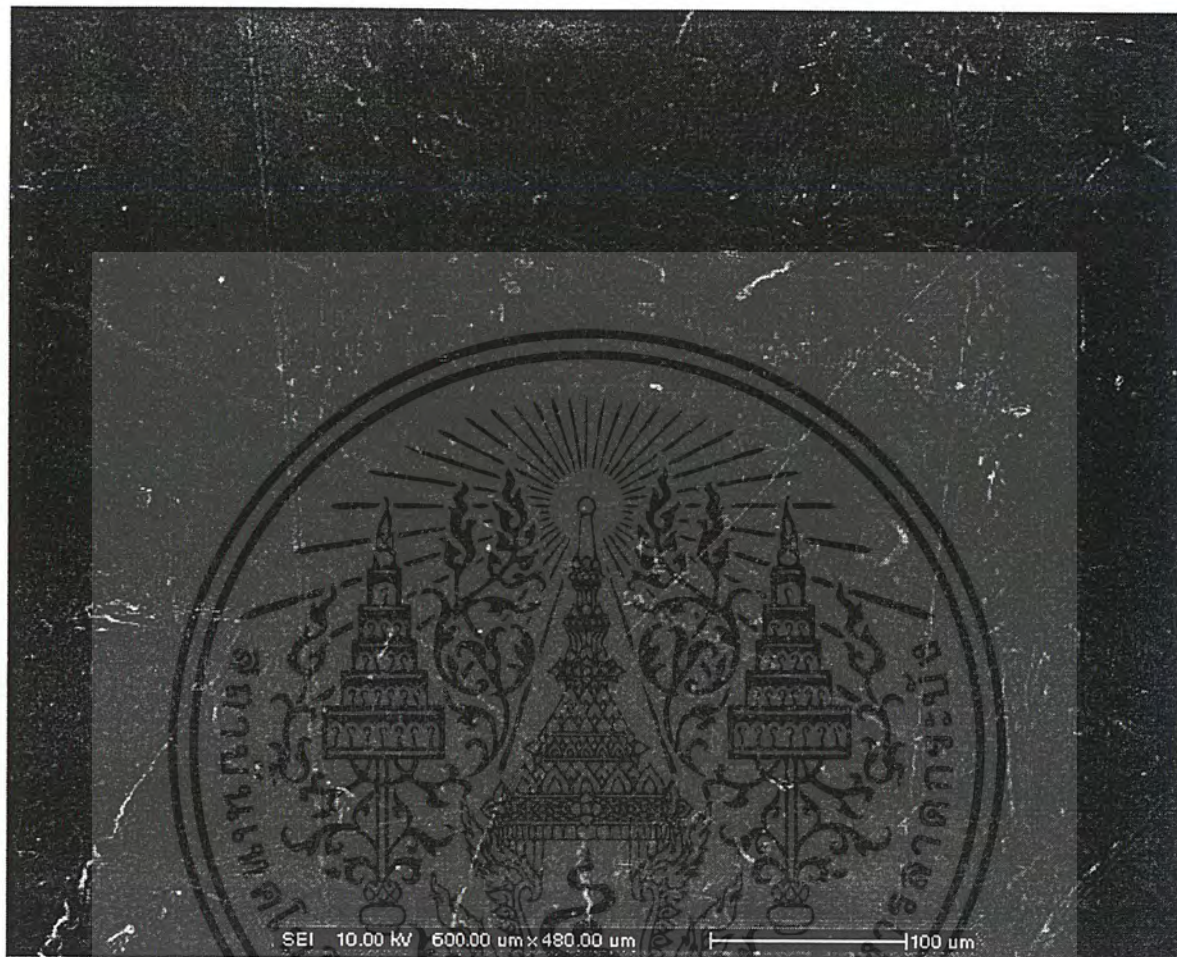
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา



รูปที่ 4.1 รูปลักษณะของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 2400 เท่า

รูปลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง จากภาพจะมีลักษณะ ทรงกลมมีหลายขนาด ปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัดซึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5-35 ไมครอน

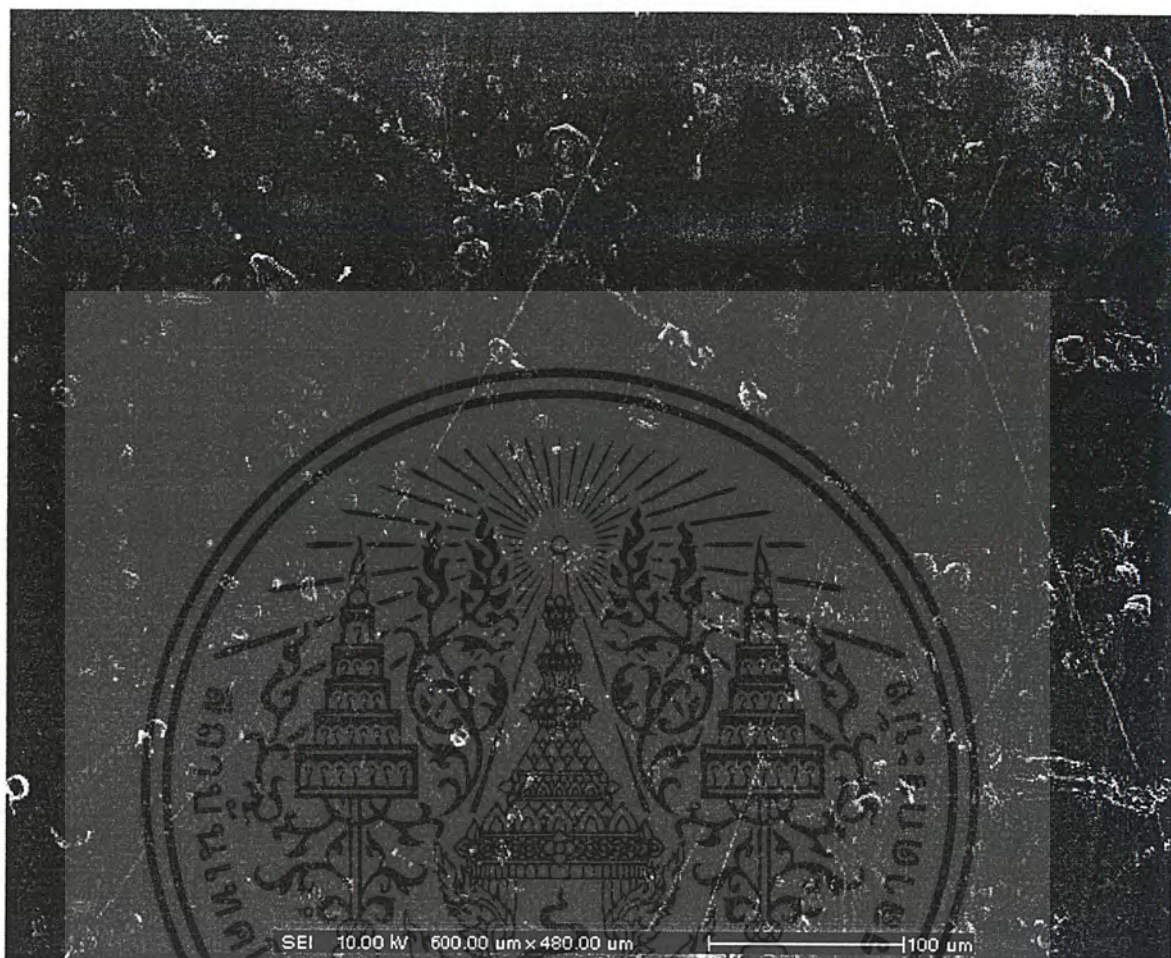
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง HDPE ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV จะเห็นได้ว่า มีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ

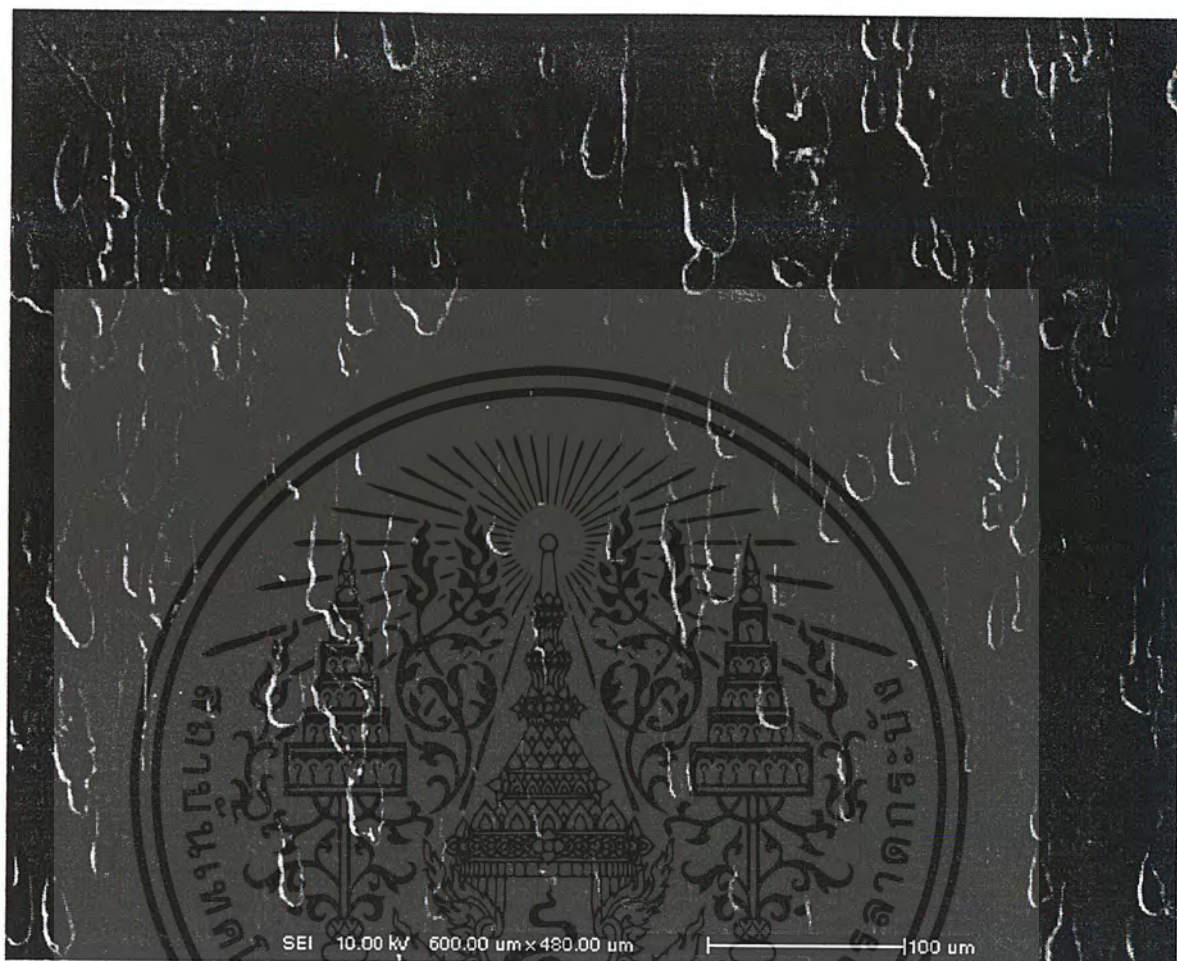
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ที่ผสมแป้ง 30% ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ที่ผสมแป้ง 30% ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV จะเห็นได้ว่าที่พื้นผิวมีการกระจายตัวของแป้งอย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน

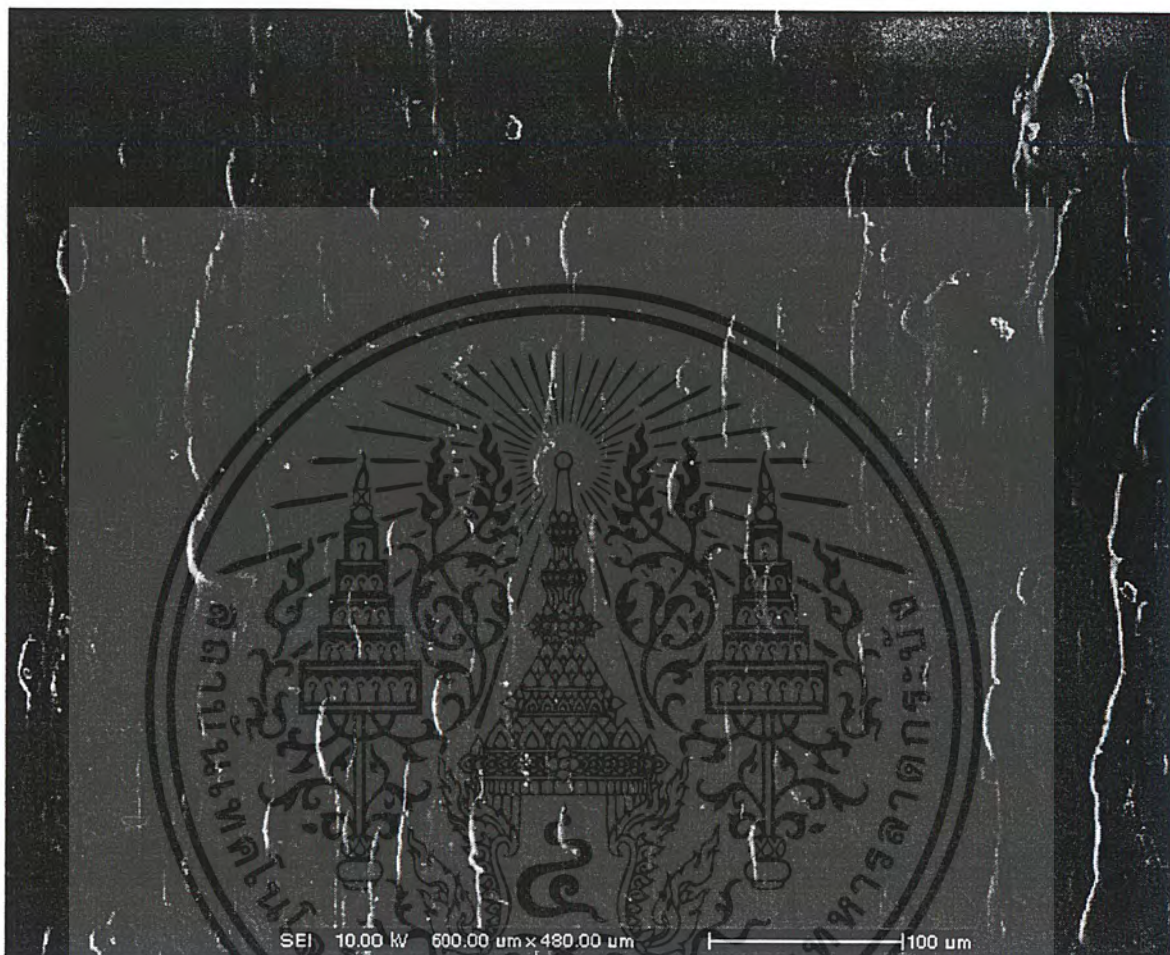
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 10% ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 10% จะสังเกตเห็นรอยยุบที่ผิวหน้าลักษณะคล้ายหยดน้ำมัน แสดงว่า น้ำมันจะกระจายตัวเป็นหยดใหญ่ๆ อยู่ในพอลิเมอร์ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันและพลาสติก HDPE ต่างกัน เมื่อนำพลาสติกผสม มาขึ้นรูป โดยขั้นตอนการอัดร้อน น้ำมันจึงถูกผลักดันให้ออกมาอยู่ที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ที่ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% จะเห็นได้ว่า พื้นผิวที่เป็นส่วนของน้ำมันนูนขึ้นโดยมีพลาสติกคลุมอยู่มีลักษณะคล้ายเป็นถุงน้ำมัน

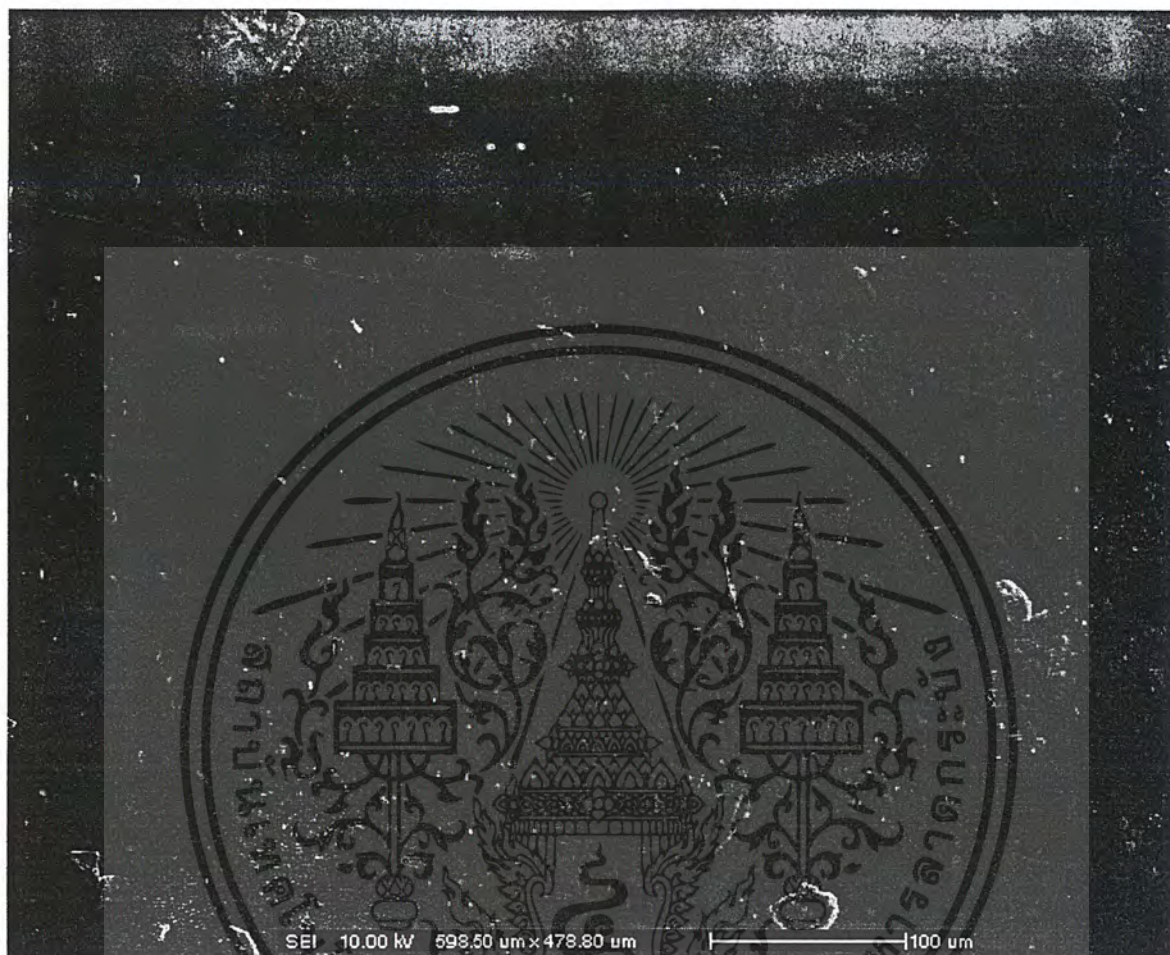
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 30% ที่ไม่ได้รับการฉายแสง UV ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 30% จะเห็นได้ว่ามีปริมาณของน้ำมันขึ้นมากที่ผิวมากกว่า สูตรที่มีน้ำมันถั่วเหลืองผสมอยู่ 10% และ 20% ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไปที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ผ่านการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์จะเห็นได้ว่าเป็นพื้นผิวที่เรียบกว่าพื้นผิวก่อนฉายแสงและมีแป้งกระจายอยู่บนพื้นผิวซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากภายในตู้ฉายแสง UV มีอุณหภูมิ 39°C คงที่เป็นเวลานานๆ ซึ่งอุณหภูมินี้ต่ำกว่า อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ จึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่เห็นได้ว่าพื้นผิวเรียบขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง เกิดการจัดเรียงตัวง่ายขึ้น นอกจากนี้ความร้อนในตู้ฉายแสง UV ที่สะสมจะทำให้ไขมันระเหยซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR และน้ำมันบางส่วนสลายตัวเป็นโมเลกุลเล็กลง จึงเกิดการยุบตัวของผิวหน้าขึ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 200 เท่า

จากภาพเป็นพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ผ่านการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์และฝังดินเพื่อย่อยสลายทางชีวภาพเป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 4.7 จะเห็นได้ว่าพื้นผิวเกิดรอย เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินทำปฏิกิริยากับแป้งที่ผิวชั้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปแสดงพื้นผิวของ HDPE ผสมกับแป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% ที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดกำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปเป็นการขยายให้เห็นถึงบริเวณรอยที่เกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์ในดินทำปฏิกิริยากับแป้งที่อยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของหมู่คาร์บอนิลโดยเทคนิค FT-IR

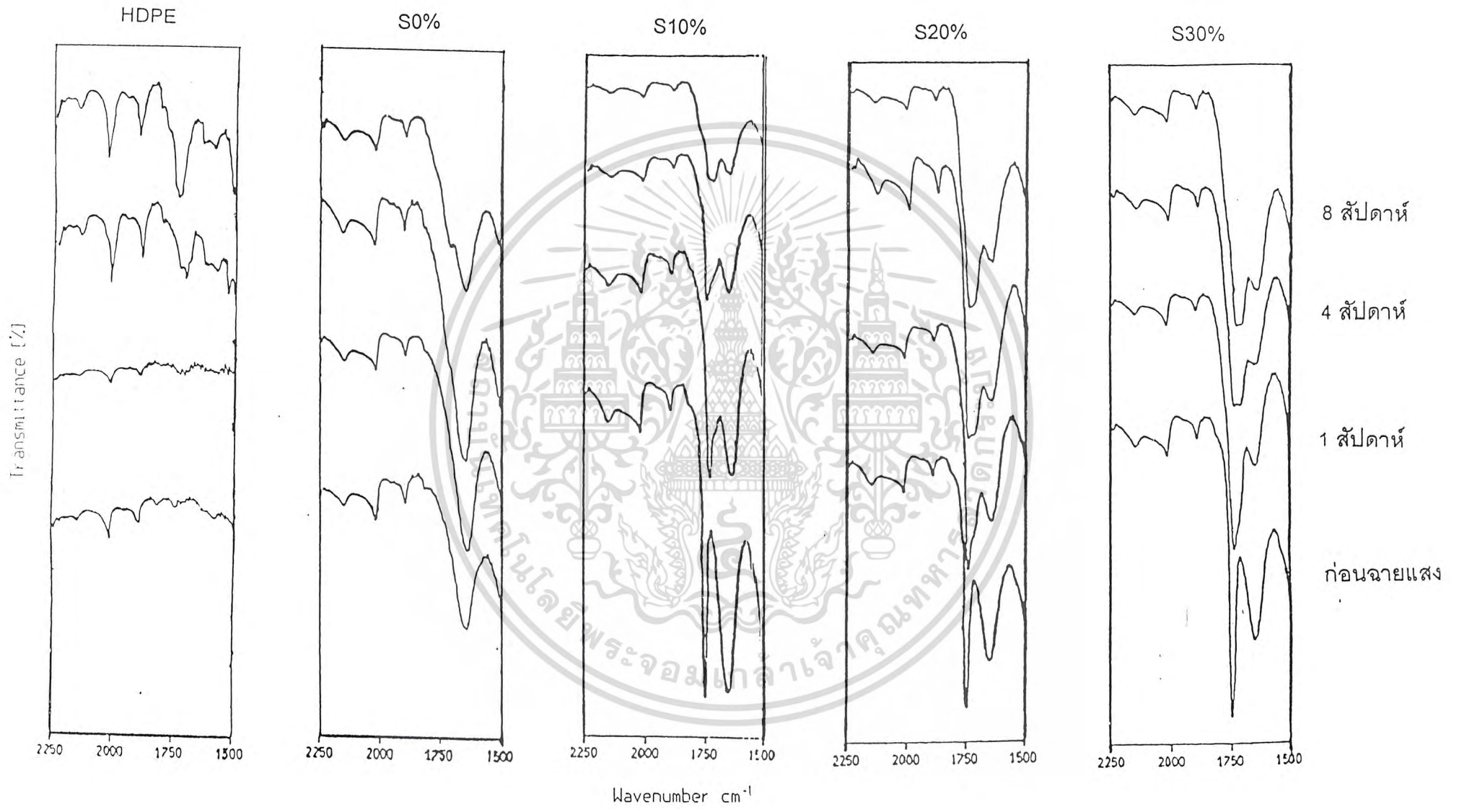
4.2.1 การวิเคราะห์รูปกราฟ FT-IR ของชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสง

ปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตแสดงได้ด้วยค่า Carbonyl Index (C.I.) โดยตำแหน่งการสั่นสะเทือนของหมู่คาร์บอนิลมีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านที่เลขคลื่น 1730 cm^{-1} ซึ่งค่านี้สามารถบอกถึงปริมาณการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์เพราะเป็นตำแหน่งที่ง่ายต่อการแตกของพันธะโดยผ่านกลไกแบบ Norrish type I และ Norrish type II

ผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณหมู่คาร์บอนิล แสดงดังรูปที่ 4.10 ตัวอย่าง HDPE จะเห็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของหมู่คาร์บอนิลที่เวลา 4 สัปดาห์ได้ชัดเจน และ ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นที่เวลา 8 สัปดาห์

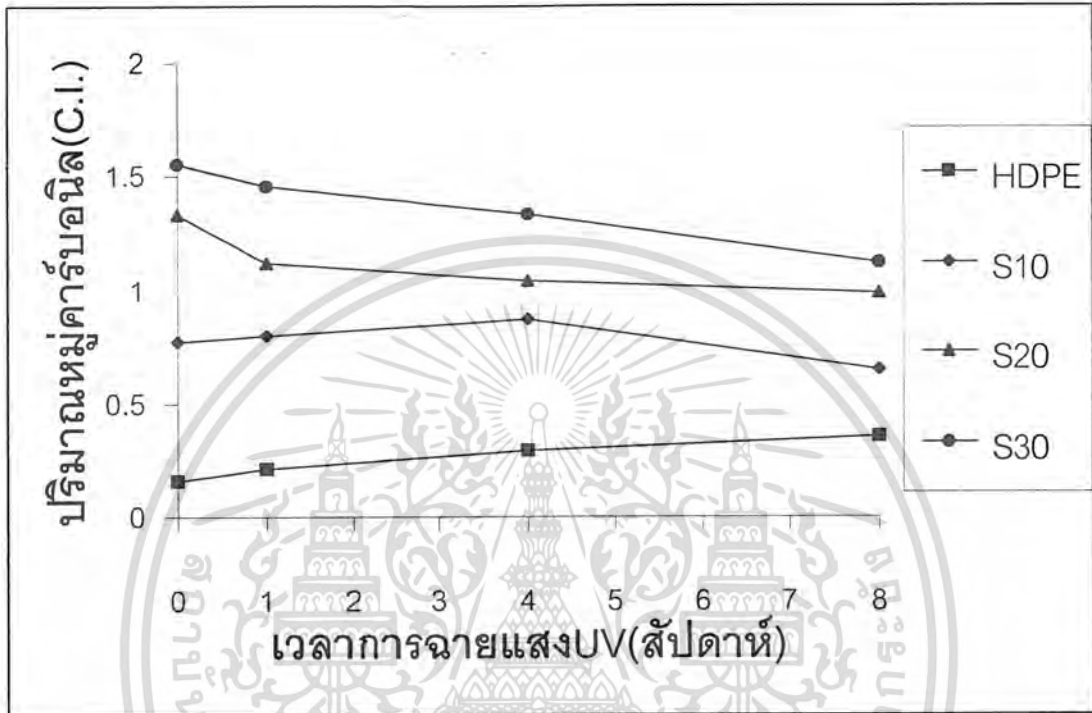
ตัวอย่าง S0% เป็นสูตรที่ไม่มีน้ำมันถั่วเหลือง พบตำแหน่งการสั่นสะเทือนที่ 1630 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของหมู่ vinyl ที่มาจากการสลายตัวหรือเกิดการแตกของโครงสร้างที่เป็นวงของโมเลกุลของแป้ง ส่วนตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิลพบที่เวลาการฉายแสง UV 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง S10%, S20% และ S30% เป็นสูตรที่มีแป้งที่ผสมน้ำมันถั่วเหลือง 10%, 20% และ 30% จะพบตำแหน่งการสั่นสะเทือนของหมู่คาร์บอนิลอย่างชัดเจนที่เวลาเริ่มต้นก่อนการฉายแสง ซึ่งจะเป็นปริมาณของหมู่คาร์บอนิลที่มาจากน้ำมันปริมาณจะมากขึ้นตามปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองในแต่ละสูตรที่เวลา 1 สัปดาห์มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณหมู่คาร์บอนิลโดยดูได้จากขนาดของรูปกราฟที่ปรากฏ พบว่าเริ่มมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และจากรูปกราฟที่เวลา 4 และ 8 สัปดาห์ ฐานพีคขยายขนาดใหญ่ขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณที่มากขึ้นนี้มาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณหมู่คาร์บอนิลของตัวอย่าง HDPE, S0%, S10%, S20% และ S30% ที่เวลาต่างๆ

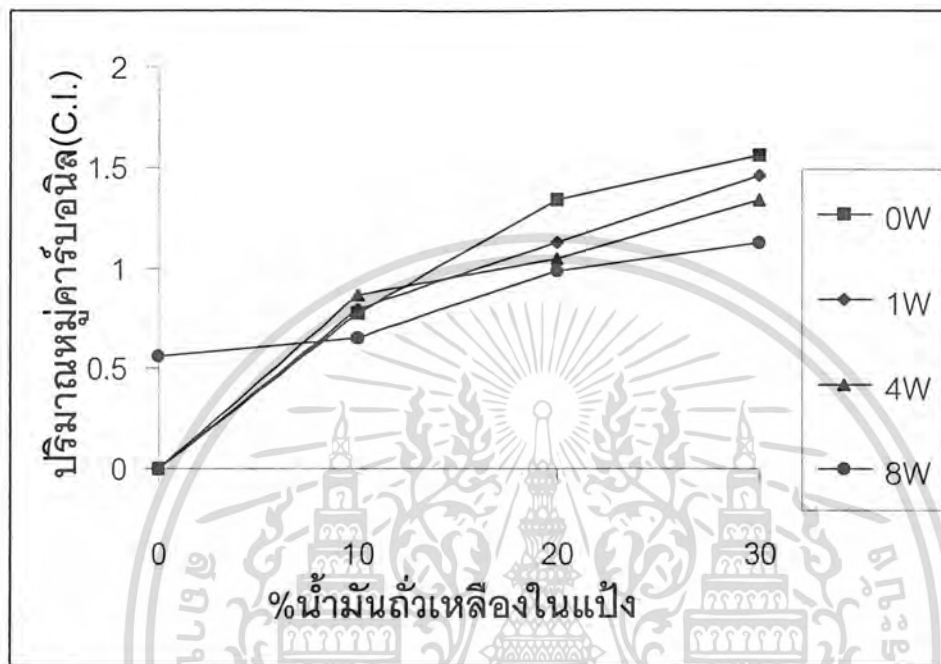
4.2.2 การศึกษาค่า Carbonyl Index(C.I.)



รูปที่ 4.11 รูปแสดงค่า Carbonyl Index(C.I.) ที่เพิ่มขึ้น ของชิ้นงานตัวอย่าง วัดที่ 1730 cm^{-1} ที่เวลาการฉายแสง UV ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะมีปริมาณของหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ชิ้นงานที่มีร้อยละของน้ำมันในแป้ง ที่ 20% และ 30% พบว่า เมื่อผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต จะทำให้ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลลดลง ส่วนชิ้นงานที่มีร้อยละของน้ำมันในแป้ง ที่ 10% พบว่า ในช่วงแรกที่ทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต จะมีปริมาณของหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้น และเมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อไปจะทำให้ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลลดลง แสดงว่าค่าความร้อนในตู้ฉายแสง UV ทำให้น้ำมันที่ผสมลงไปสลายตัวและระเหยออกมา จากรูป HDPE เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ปริมาณหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่มีน้ำมันการพิจารณาหมู่คาร์บอนิลที่เพิ่มขึ้นไม่ชัดเจน เพราะหมู่คาร์บอนิลของน้ำมันยังอยู่ แต่สามารถบอกได้ว่าน้ำมันที่ระเหยหรือเกิดการสลายตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงทำให้ปริมาณหมู่คาร์บอนิลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

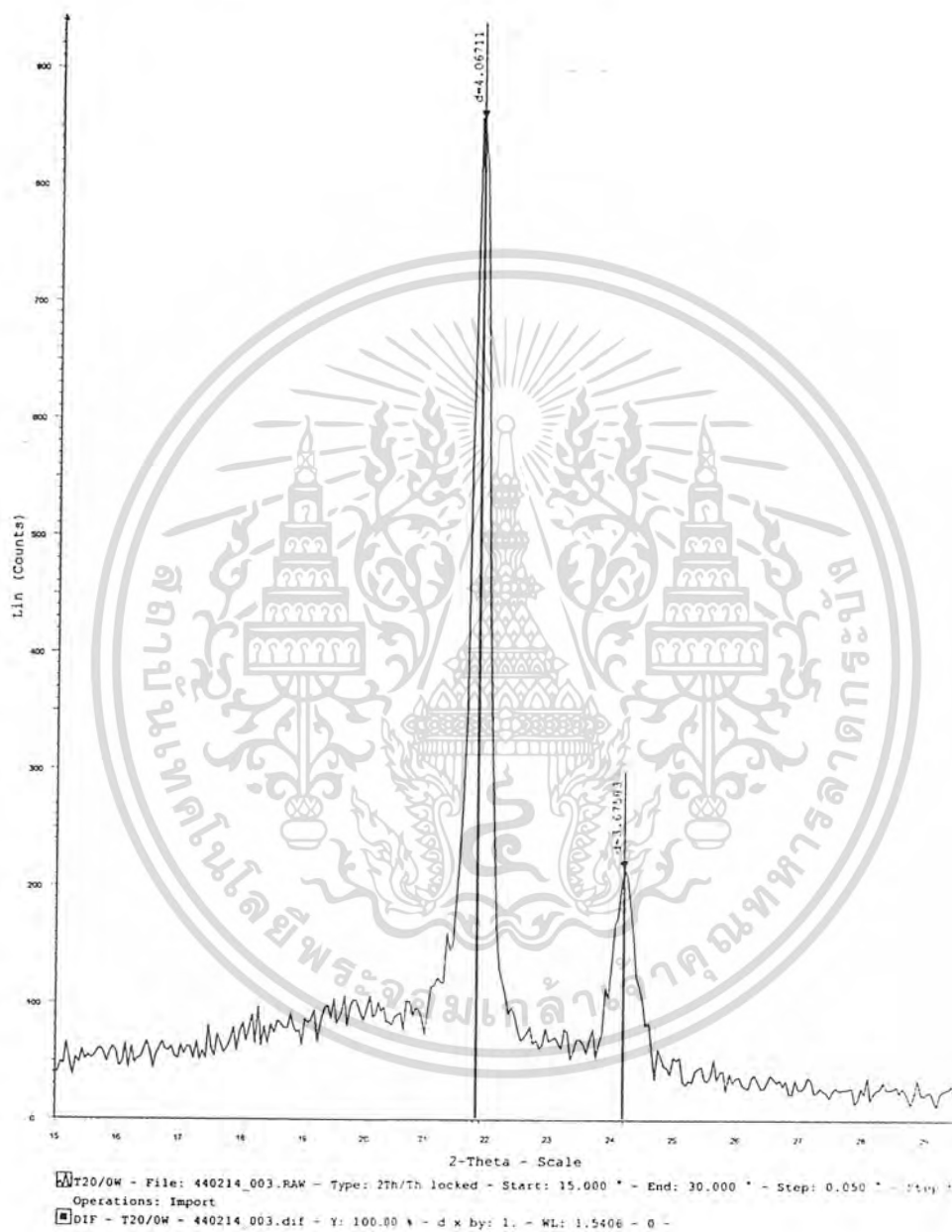


รูปที่ 4.12 รูปแสดงค่า Carbonyl Index(C.I.) ที่เพิ่มขึ้น ของชั้นงานตัวอย่าง วัดที่ 1730 cm^{-1} (1) S0%, (2) S10% ,(3) S20% และ(4) S30% ที่เวลาการฉายแสง UV ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.12 พบว่าที่เวลาก่อนฉายแสง ตัวอย่างที่ S0% ไม่มีปริมาณหมู่คาร์บอนิล แต่จะพบที่เวลา 8 สัปดาห์ ส่วนปริมาณของหมู่คาร์บอนิลจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมัน ที่เวลาในการฉายแสง อัลตราไวโอเล็ตมากขึ้น ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลลดลง เนื่องจาก เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันเกิดการสลายตัว

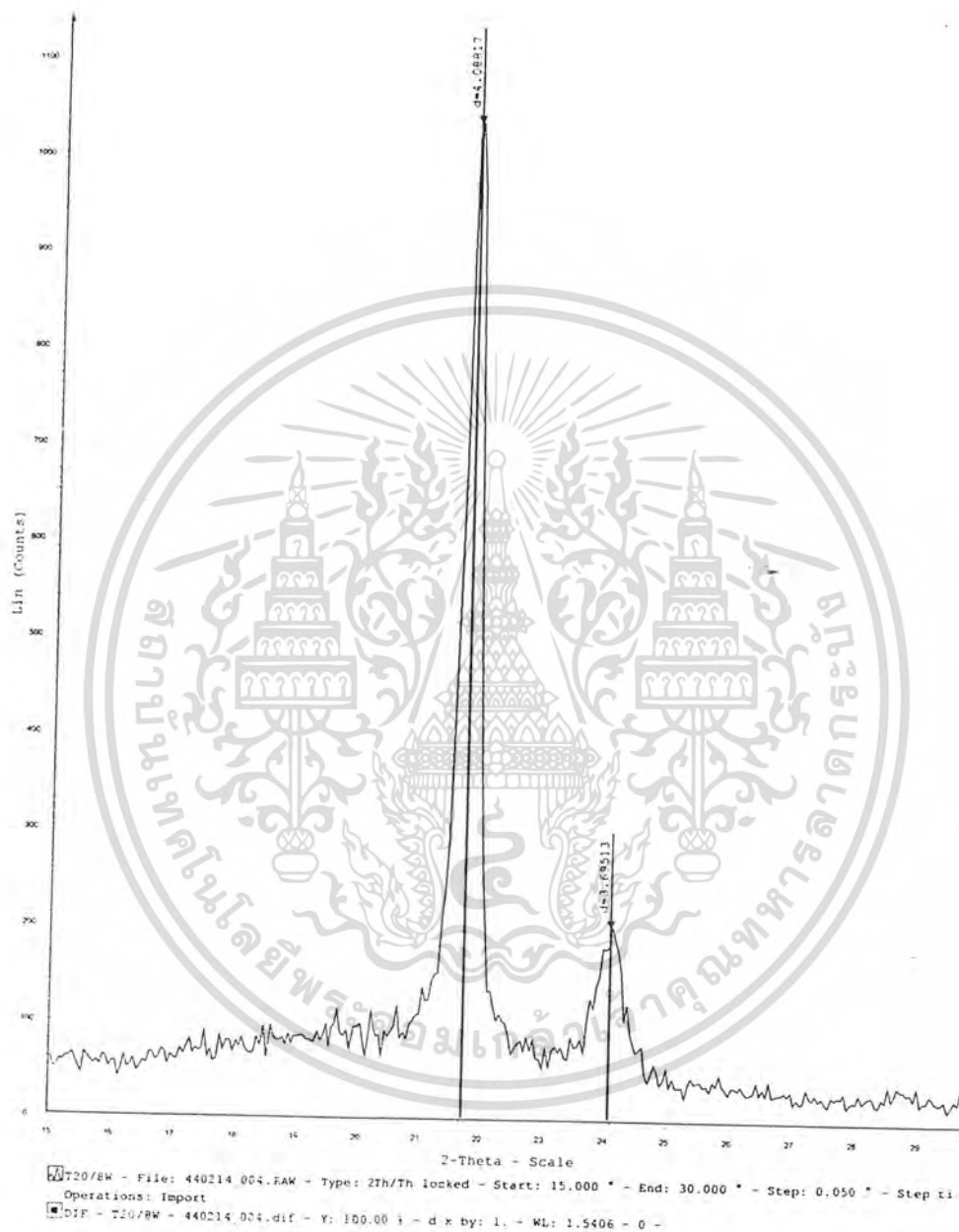
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณโครงสร้างผลึกโดยเทคนิค XRD



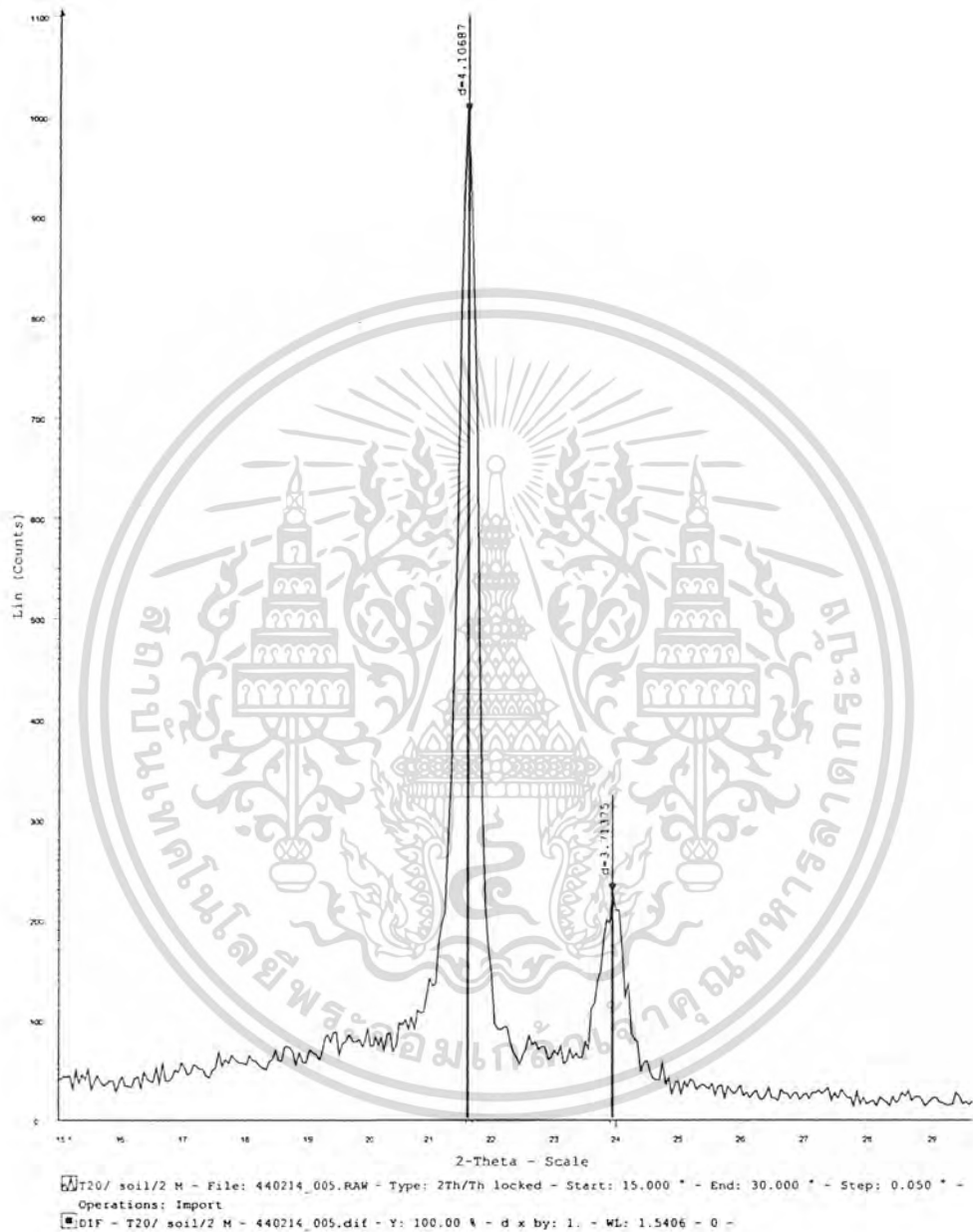
รูปที่ 14.13 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของ ตัวอย่างS20% ก่อนการฉายแสงUV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14.14 แสดงลักษณะโคจรผลึกของ ตัวอย่างS20% ที่ฉายแสงUV 8 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14.15 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของ ตัวอย่างS20% ที่ผ่านการฉายแสงUV 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 14.13, 14.14 และ 14.15 เป็นรูปแสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับแป้งที่มีปริมาณน้ำมัน 20% ที่สภาวะต่างๆกันแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงเป็นลักษณะของ orthorhombic เหมือนเดิม หมายความว่า การเติมแป้ง การฉายแสง และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ไม่ได้รบกวนโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เกิดที่บริเวณฐานของพอลิเมอร์

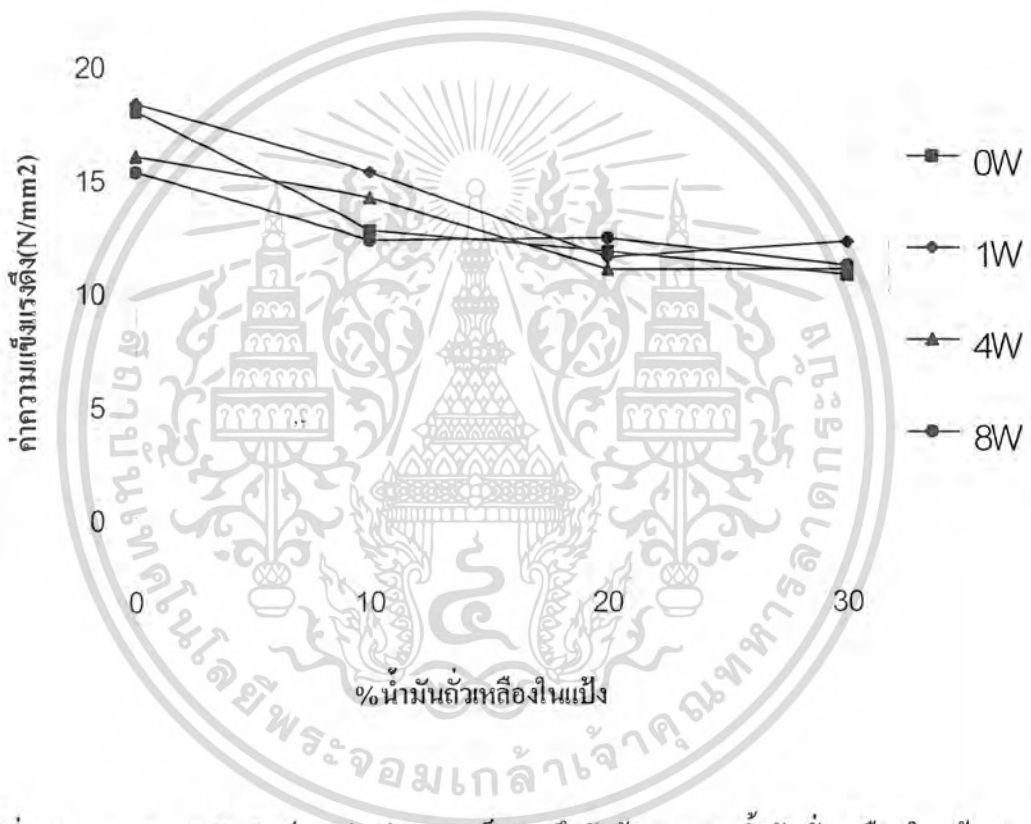


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.4.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

จากการทดลอง ตัวอย่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าทุกสูตร ซึ่งในทีนี้ จะแสดงผลของตัวอย่าง S0%,S10%,S20%, และ S30%

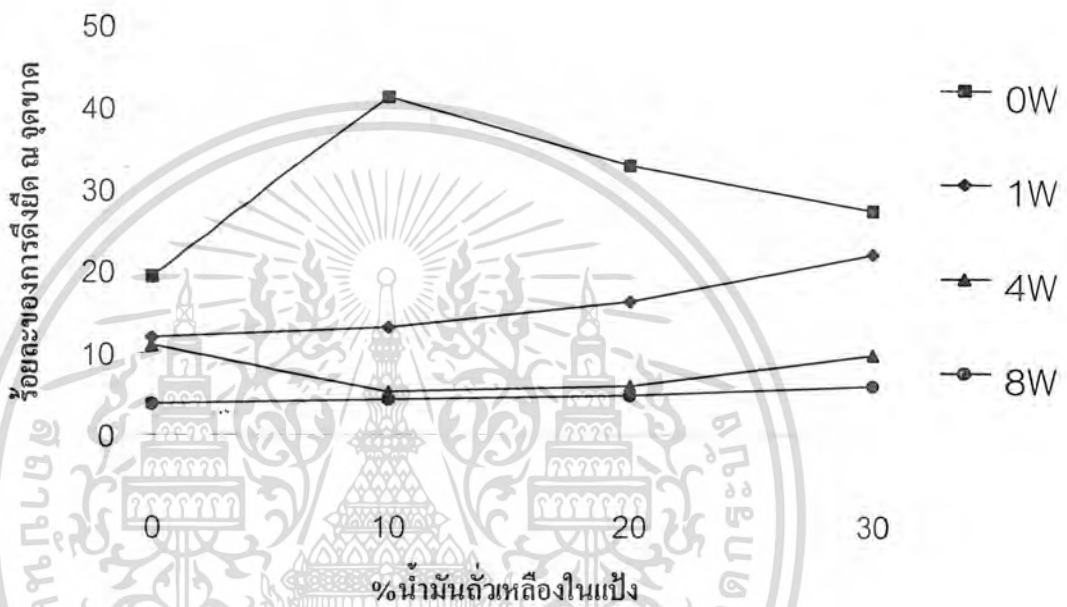


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับร้อยละของน้ำมันถั่วเหลืองในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนที่มีแป้ง เป็นสารตัวเติมจะลดลงเนื่องจากอนุภาคแป้งเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อออกแรงดึงแก่ชิ้นงานส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ทำหน้าที่รับแรงแต่แป้งไม่สามารถรับแรง และขัดขวางการขยายตัวของพอลิเมอร์ ดังนั้นความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานจึงลดลง นอกจากนี้ ค่าความแข็งแรงดึงลดลงมาก เมื่อเวลาของการได้รับแสงอัลตราไวโอเลตนานขึ้น แต่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในแป้ง จาก 20% เป็น 30% "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

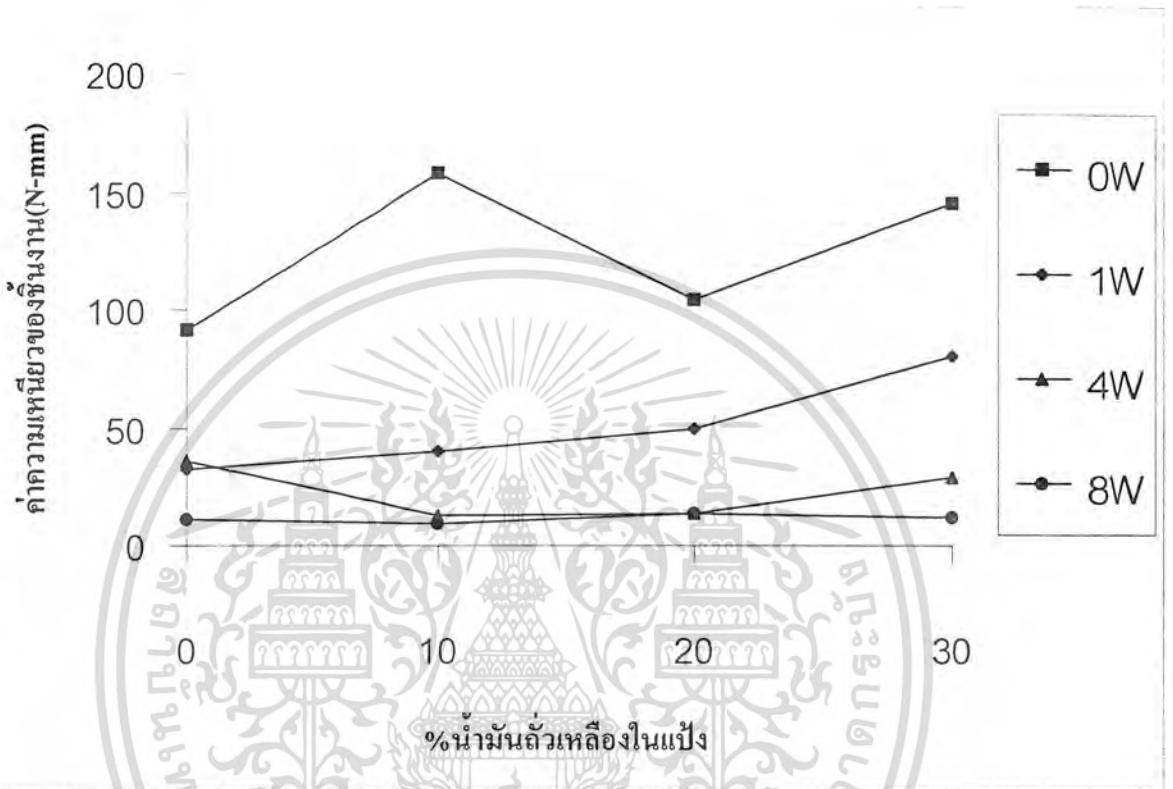
4.4.2 การยืดออก ณ จุดขาด (% Elongation at Break)



รูปที่ 4.17 แสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด กับร้อยละของน้ำมันถั่วเหลืองในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสง UV ต่างกัน

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตนานขึ้น ค่าร้อยละของการดึงยืด ณ จุดขาด จะมีค่าลดลง ที่เวลาก่อนฉายแสงตัวอย่างที่มีน้ำมัน มีค่าร้อยละของการดึงยืดมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีน้ำมัน และมีค่าลดลง ตามปริมาณของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่หลังการฉายแสงที่ระยะเวลา 1, 4, และ 8 สัปดาห์ ร้อยละของการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มสูงขึ้น ตามปริมาณน้ำมันที่อยู่ในแป้ง

4.4.3 ค่าความเหนียว (Toughness)



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของชิ้นงานกับร้อยละของน้ำมันถั่วเหลืองในแป้ง ณ เวลาที่ใช้ในการฉายแสงUV ต่างกัน

จากรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเวลาในการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเหนียวของชิ้นงานลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ทำให้มีปริมาณของผลึกมากขึ้น ชิ้นงานจึงมีความแข็งมากขึ้นทำให้ค่าความเหนียวของชิ้นงานลดลง

4.5 การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

เนื่องจากแป้งสามารถย่อยสลายได้ตามกระบวนการธรรมชาติ จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน โดยดินตัวอย่างเป็นดินจากสวนเกษตรที่มีการปลูกผักและเลี้ยงสัตว์ พบว่าตัวอย่าง HDPE มีลักษณะคงเดิมไม่เกิดการย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ ที่ผิวจึงไม่มีดินเกาะที่ชิ้นงาน ส่วนพอลิเมอร์ที่มีแป้งเป็นสารตัวเติม แป้งสามารถถูกจุลินทรีย์ในดินย่อยสลายได้ ที่ผิวจึงมีร่องรอยที่เกิดจากการที่แป้งถูกย่อยสลายดินจึงสามารถเข้าไปแทรกอยู่ภายในได้ และจากการทดลองพบว่าความชื้นในดินทำให้จุลินทรีย์สามารถทำปฏิกิริยากับแป้งเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการย่อยสลายทางชีวภาพ

ชนิดของดินและ พอลิเมอร์	ดินชนิดที่ 1		ดินชนิดที่ 2	
	HDPE	พอลิเมอร์ที่มี แป้งผสม	HDPE	พอลิเมอร์ที่มี แป้งผสม
เวลา				
วันที่ 20	0	++	0	+
วันที่ 40	0	+++	0	++
วันที่ 60	0	+++	0	++

หมายเหตุ

- 0 = ผิวชิ้นงานไม่มีดินเกาะ
- +
- ++ = ผิวชิ้นงานมีดินเกาะปานกลาง
- +++ = ผิวชิ้นงานมีดินเกาะมาก
- ดินชนิดที่ 1 = ดินที่มีความชื้นในดิน 16.37%
- ดินชนิดที่ 2 = ดินที่มีความชื้นในดิน 5.21%

*ในตัวอย่างพอลิเมอร์ที่มีแป้งและน้ำมันผสม ให้ผลเหมือนในตัวอย่างที่มีแป้งผสมเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการทำผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยสามารถย่อยสลายได้ทางแสงจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทางชีวภาพ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ ซึ่งผลิตมาจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับแป้ง และใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารช่วยในการกระจายตัว โดยแป้งจะเป็นส่วนที่สามารถถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ส่วน น้ำมันถั่วเหลืองช่วยให้เกิดการกระจายตัวของแป้งในเนื้อพลาสติกจากโครงสร้างของน้ำมันจะมีหมู่คาร์บอนิลที่มาจากกรดไขมันและพันธะคู่ที่เป็นส่วนไม่อิ่มตัว ซึ่งจะสามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงได้

การเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสงบนพอลิเมอร์สังผลคือสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี จากการทดสอบสมบัติต่างๆสามารถสรุปได้ว่าการใช้แป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 20% มีแนวโน้มสมบัติที่ดีในสภาวะการใช้งานจริง กล่าวคือสามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางแสงและทางชีวภาพได้ จากการทดสอบพบว่าการใช้แป้งที่มีน้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารช่วยการกระจายตัวมีผลดังนี้

1. สมบัติทางสัณฐานวิทยา

ผลจากการทดลองภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด พบว่าเกิดการย่อยสลายที่บริเวณผิวของชิ้นงาน โดยเห็นได้ชัดที่บริเวณรอบๆของน้ำมัน

2. การเปลี่ยนแปลงหมู่คาร์บอนิล

ในตัวอย่างที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้า ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน ส่วนตัวอย่างที่มีการใช้น้ำมันถั่วเหลืองจึงเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่า ภายใต้การฉายแสง UV ดังจะเห็นได้จากสมบัติเชิงกลที่ลดลง

3. การศึกษาโครงสร้างผลึกโดยเทคนิค XRD

โครงสร้างของผลึกที่ได้ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตไม่มีการเปลี่ยนแปลงเอกสารโครงสร้างของผลึกพอลิเมอร์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีน้ำมัน เมื่อผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตสมบัติเชิงกลลดลง ตามระยะเวลาการฉายแสง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ

แป้งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจากการทดลองพบว่าดินที่มีความชื้นสูง ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ

จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่า ชีงงานที่มีน้ำมันถั่วเหลืองทุกสูตรเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีปริมาณของหมู่คาร์บอนิลที่ 1730 cm^{-1} เพิ่มขึ้นมากกว่า ชีงงานที่ไม่มีน้ำมัน ส่วนสมบัติเชิงกลมีค่าลดลง ที่ปริมาณน้ำมัน 20% ของน้ำหนักแป้ง พบว่า เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ชีงงานที่ผ่านการฉายแสง 8 สัปดาห์ และฝังดิน 8 สัปดาห์ พบว่าดินที่มีความชื้นสูง ทำให้จุลินทรีย์ในดินสามารถย่อยสลายแป้งที่ผิวของชีงงานได้มากกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของชีงงานทุกสูตรก่อนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต หลังการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และฝังดิน พบว่าไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง ยังคงมีลักษณะของ orthorhombic เหมือนเดิม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จึงเกิดที่บริเวณออสถฐานของพอลิเมอร์เท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารช่วยในการกระจายตัวของแป้งไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากกว่า 20% เนื่องจากเป็นปริมาณที่มากเกิดพอง ทำให้น้ำมันออกมาที่พื้นผิว ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานจริง
2. พลาสติกที่ผลิตได้จากการวิจัยนี้เหมาะสำหรับผลิตเป็นถุงสำหรับใช้ทางการเกษตรซึ่งส่วนมากเป็นการใช้งานเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งเมื่อได้รับแสงและจุลินทรีย์ในดิน สามารถเกิดการย่อยสลายได้
3. การพัฒนาสมบัติอาจทำได้โดย การใช้รงควัตถุเพื่อทำให้เกิดความสวยงาม ซึ่งองค์ประกอบของรงควัตถุมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กาญจนา เอี้ยวสุวรรณ , เต็มสิริ หวังทวีทรัพย์.การเสื่อมสภาพทางแสงและความร้อนของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขวด HDPE ที่ใช้แล้วผสมกับขานอ้อย. ครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
2. กัญญาวีร์ สุวรรณชัย และคณะ.พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินที่ใช้แล้วกับมันสำปะหลัง. ครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
3. กาญจนกร เกสงาม , วิมลมาศ เมืองแก่น.การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
4. F.D. Gunstone,Blackie Academic and Professional ,*Fatty acid lipid Chemistry*, 1996.
5. เสกสรร สถาพร.การศึกษาคุณสมบัติน้ำมันถั่วเหลือง ส.จ.5.ปริญญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529.
6. T.W. Graham Solomons,*Organic Chemistry*,6th ed,1095-1096, 1996.
7. ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล.ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,พิมพ์ครั้งที่ 2, 2537, 16-21.
8. สงวน บุญธรรมน้อย.การใช้แป้งเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534.
9. วิโรจน์ จรติชาญชัย และคณะ.การศึกษาผลของรังควัตถุนินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลอพรอพิลีน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
10. Piyush B. Shah, S. Bandopadhyay,and Jayes R. Bellare,*Polymer Degradation and Stability*, 47. 165-173, 1995.
11. Ann-Christine Albertsson, Camilla Barenstedt and Sigbritt Karlsson,*Polymer Degradation and Stability*, 37, 163-171, 1992.
12. Hebe B. Greizerstein, Joseph A. Syracuse and Paul J. Kostyniak, *Polymer Degradation and Stability*, 39, 251-259, 1993.
13. D.Zuchowska, D.Hlavata. R.Steller, W.Adamiak, W.Meissner, *Polymer Degradation and Stability*, 64, 339-346, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงของค่า Carbonyl Index

Sample	Time (week)	Thickness (μm)	% Transmission (%T)	Carbonyl Index (C.I.)
HDPE	0	150	57.5	0.1602
	1	250	30.0	0.2092
	4	120	44.0	0.2971
	8	100	44.25	0.3541
S0%	0	120	-	-
	1	120	-	-
	4	150	-	-
	8	150	14.5	0.5591
S10%	0	100	17.0	0.7696
	1	100	16.0	0.7959
	4	150	5.0	0.8674
	8	150	10.5	0.6525
S20%	0	120	2.5	1.3351
	1	120	4.5	1.1223
	4	150	2.75	1.0404
	8	90	13.0	0.9845
S30%	0	100	2.8	1.5528
	1	100	3.5	1.4559
	4	120	2.5	1.3351
	8	120	4.5	1.1223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ข้อมูลแสดงปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายแสง UV จากเทคนิค XRD

Sample	Time (week)	% Intensity
HDPE	0	16.0
	1	15.3
	4	19.2
	8	18.5
S0%	0	-
	1	-
	4	-
	8	-
S10%	0	19.9
	1	18.6
	4	19.7
	8	22.6
S20%	0	24.0
	1	29.4
	4	22.2
	8	23.7
S30%	0	28.5
	1	30.8
	4	26.6
	8	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสง UV ที่เวลาต่างๆ

sample	time (week)	Properties		
		Tensile Strength (N/mm ²)	% Elongation at break (%)	Toughness (N-mm)
HDPE	0	22.210	698.100	4544.000
	1	21.725	296.250	1826.000
	4	21.890	366.200	3356.000
	8	22.200	490.300	2000.000
S0%	0	17.890	19.400	91.240
	1	18.280	12.040	32.510
	4	15.960	10.920	35.750
	8	15.250	3.766	11.440
S10%	0	12.670	41.150	157.700
	1	15.250	13.200	40.550
	4	14.170	5.274	13.010
	8	12.210	4.197	9.060
S20%	0	11.684	32.843	104.400
	1	11.450	16.220	49.760
	4	10.950	6.090	13.700
	8	12.290	4.783	13.580
S30%	0	10.710	27.357	145.600
	1	12.140	22.037	80.550
	4	10.930	9.747	28.820
	8	11.100	5.911	12.230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ข้อมูลสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสง UV 8 สัปดาห์และฝังดิน 8 สัปดาห์

sample	Soil	properties		
		Tensile Strength (N/mm ²)	% Elongation at break (%)	Toughness (N-mm)
HDPE	1	23.730	493.600	444.600
	2	21.690	74.780	239.900
S0%	1	10.560	5.155	11.040
	2	11.140	5.012	12.660
S10%	1	10.280	5.633	10.700
	2	10.860	5.618	13.370
S20%	1	13.150	5.078	10.790
	2	12.270	4.402	10.330
S30%	1	11.360	5.223	12.340
	2	10.890	4.551	9.767

หมายเหตุ

- 1 = ดินที่มีความชื้น 16.37%
- 2 = ดินที่มีความชื้น 5.21%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณความชื้นในดินที่ใช้ในการย่อยสลายทางชีวภาพ

ดินที่ใช้ทดลอง	น้ำหนักดิน ก่อนอบ(กรัม)	น้ำหนักกระถง (กรัม)	น้ำหนักดิน+ กระถงหลังอบ (กรัม)	% ความชื้น
ดินก่อนทำการ ทดลอง	1.0004	0.8049	1.6995	11.03
ดินเปียก	1.0453	1.1126	1.9868	16.37
ดินแห้ง	1.0056	1.0852	2.0384	5.21

ตารางที่ 6 แสดงค่าปริมาณความเป็นกรด-เบส ของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ทดลอง	ค่า pH
ดินก่อนทำการทดลอง	5.40
ดินเปียก	5.02
ดินแห้ง	5.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้