รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ด้วยแสงจาก LLDPE/ZnO

Property Investigation of Photodegradable Film from LLDPE/ZnO

นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ด้วยแสงจาก LLDPE/ZnO

Property Investigation of Photodegradable Film from LLDPE/ZnO

นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์

EResearch
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 142090
วัน.เดือน.ปี 21 เม.ย. 2559

b.00205119
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ด้วยแสงจาก LLDPE/ZnO
แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558
ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการ นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการเตรียมฟิล์มพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ผสมนาโนซิงค์-ออกไซด์ (ZnO-nanoparticle) เพื่อศึกษาการย่อยสลายโดยแสง ทำการผสมสูตรเข้มข้น LLDPE/ZnO ที่มี ZnO 5 phr ด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้ ZnO ชนิดที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและ ชนิดที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ทำการผสมสูตรเข้มข้นกับ LLDPE เพื่อให้มีปริมาณ ZnO 0.25-2 phr และเตรียมฟิล์มด้วยกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มแบบเป่า การหาขนาดผลึกของ ZnO ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ได้ 0.76 นาโนเมตร ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE ด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี (DSC) พบว่า เมื่อมีปริมาณ ZnO 2 phr ส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกของฟิล์มเพิ่มขึ้น ศึกษาการย่อยสลายภายใต้รังสียูวีเอเป็นเวลา 100, 150 และ 200 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) พบว่าค่าดัชนีคาร์บอนิล (C.I.) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ ZnO และเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น การทดสอบการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์มด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นจะเกิดการเกาะกลุ่มของ ZnO ทำให้การกระจายตัวไม่ดี และการเคลือบ ZnO ด้วยกรดสเตียริก 10 %โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีโซนิเคชันช่วยให้ ZnO การกระจายตัวดีขึ้นและการย่อยสลายของฟิล์มดีขึ้น ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM) พบว่าหลังการฉายแสงยูวีเอ ฟิล์มมีค่ามอดุลัสของยังเพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและจุดครากลดลง การใช้กรดสเตียกริกไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น, ซิงค์ออกไซด์, การย่อยสลายด้วยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Researcher: Chonlada Ritvirulh
Faculty: Science
Department: Chemistry

ABSTRACT

This research studied on the photodegradable film of Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)/nano-particle Zinc Oxide (ZnO). Master batch of LLDPE/ZnO and master batch of LLDPE/ZnO with stearic acid, which was used as dispersing agent, were mixed using an internal mixer with 5 phr ZnO contents in LLDPE. The master batch was mixed with LLDPE, which ZnO contents were varied from 0.25-2 phr. Then the films were shaped by an extrusion blown film process. The films were exposed under ultraviolet (UVA) radiation for 0, 100, 150 and 200 hours, respectively. The ZnO crystalline size was investigated by XRD and was calculated as 0.76 nm. The thermal properties from DSC showed that amount of ZnO 2 phr affected to % crytallinity of LLDPE film. In addition, films after irradiation were found that carbonyl index and color change of those films were increased when adding ZnO and irradiation for longer period of time. When amount of ZnO was increased, some agglomeration of ZnO was observed. However, the dispersion of ZnO within film was improved using stearic acid with sonication and so the degradation of film was increased. Young's modulus was increased; nevertheless, % elongation at break was decreased after exposed under UVA radiation for 200 hours. In addition, the use of stearic acid did not affect on mechanical properties of the films.

Keywords: Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), Zinc Oxide (ZnO), Photodegradation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัททีโอเอเพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัดให้ความอนุเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ (Degussa 25) เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณคุณกฤษณะ เกษประดิษธ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัยรวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอย อำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือและแนะนำการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

อีกทั้งการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 ในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ชลลดา ฤตวิรุฬห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัย	3
2.1 พอลิเอทิลีน	3
2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น	3
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง	4
2.3 กระบวนการ Photocatalytic	5
2.3.1 หลักการของปฏิริยาโฟโตแคตาไลซิส	5
2.3.2 พลังงานแสง	6
2.3.3 ชนิดของโฟโตแคตาไลซิส	6
2.3.4 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	6
2.3.5 การถ่ายโอนพลังงานของแสง	7
2.3.6 กระบวนการเคมีทางแสงของพอลิเมอร์	7
2.4 ซิงค์ออกไซด์	8
2.5 กรดสเตียริก	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	12
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	12
3.2 อุปกรณ์	12
3.3 การเตรียมฟิล์ม	13
3.3.1 การเตรียมสูตรผสมชนิดเข้มข้น	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม	13
3.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของ ZnO	14
3.5 การทดสอบฟิล์ม	14
3.5.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา	14
3.5.2 การวิเคราะห์สมบัติการย่อยสลายของฟิล์ม	15
3.5.2.1 การฉายแสง	15
3.5.2.2 การวัดค่าดัชนีคาร์บอนิล	15
3.5.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี	15
3.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	18
4.1 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์	18
4.2 ผลของปริมาณ ZnO ในฟิล์ม LLDPE	19
4.2.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มตัวอย่าง	19
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี	21
4.2.3 สัณฐานวิทยา	22
4.2.4 สมบัติเชิงกล	23
4.3 ศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวในฟิล์ม LLDPE	25
4.3.1 ผลของกระบวนการผสมกรดสเตียริกกับซิงค์ออกไซด์	25
4.3.1.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีคาร์บอนิลและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม	26
4.3.1.2 สัณฐานวิทยา	27
4.3.1.3 สมบัติเชิงกล	27
4.3.2 ผลของปริมาณของสารช่วยกระจายตัว	30
4.3.2.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีคาร์บอนิลและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม	30
4.3.2.2 สัณฐานวิทยา	31
4.3.2.3 สมบัติเชิงกล	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	45
ภาคผนวก ง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ	3
2.2	สมบัติของซิงค์ออกไซด์	9
3.1	อัตราส่วนของสูตรผสม	13
3.2	สูตรการผสม LLDPE กับ ZnO Master batch โดยให้มีปริมาณของ ZnO ต่างๆ	14
4.1	หมู่ฟังก์ชันที่พบในฟิล์มตัวอย่าง LLZn2.0 ก่อนและหลังการฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น	4
2.2 พลังงานของการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์	5
2.3 โครงสร้าง ZnO แบบซิงค์เบลนด์	8
2.4 โครงสร้าง ZnO แบบซิงค์วัตต์ไซต์	8
3.1 ลักษณะการวางชิ้นงานและระยะห่างของชิ้นงานกับหลอด UVA	15
3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	16
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO	18
4.2 การหา $\beta_{1/2}$ จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO ที่ 2θ =36.3	19
4.3 IR สเปกทราของฟิล์ม LLZn2.0 ก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง	19
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสียูวีของฟิล์ม	20
4.5 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0, 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 phr	21
4.6 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO ที่ปริมาณต่างกัน	22
4.7 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง	24
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสี UVA ของฟิล์มที่มี ZnO 0.5 phr มีและไม่มีการใช้กรดสเตียริก ที่มีกระบวนการผสมต่างกัน	26
4.9 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มกับเวลาในการฉายรังสี UVA ของฟิล์มที่มี ZnO 0.5 phr มีและไม่มีการใช้กรดสเตียริก ที่มีกระบวนการผสมต่างกัน	26
4.10 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO โดยมีปริมาณ ZnO เท่ากันแต่วิธีการผสมต่างกัน	27
4.11 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO 0.5 phr ทั้งก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง	29
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสียูวีของฟิล์ม	30
4.13 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0.5 และ 2.0 phr	30
4.14 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกัน	31
4.15 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO 0.5 และ 2 phr ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานวิจัย

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี มีราคาถูก น้ำหนักเบาและสามารถผลิตให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้โดยจากการเลือก ชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิตและกระบวนการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังสามารถดัด แปรสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารตัวเติม (Filler) สารคงเสถียร (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบัน ทำให้เรามีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบและสีสันให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดขยะพลาสติกตามมา เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากและพลาสติกบางประเภทมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ทำให้การกำจัดขยะที่เกิดจากพลาสติกทำได้ยาก ส่วนการเผาหรือฝังกลบทำให้เกิดมลภาวะตามมา ซึ่งปัจจุบันนวัตกรรมในการกำจัดขยะที่เกิดจากพลาสติกที่ก้าวหน้าอาจช่วยประเทศไทยและช่วย โลกได้ เมื่อเราสามารถผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้จากวัตถุดิบในประเทศ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านราคาที่สูงสำหรับการใช้งานจริง การย่อยสลายพลาสติกมีหลายวิธีคือ 1. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) เป็นการย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์ 2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ 3. การย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 4.การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน [1]

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พอลิเอทิลีน (PE) เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีจุดหลอมตัวและความแข็งต่ำ ราคาถูก หาได้ง่าย เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ปลอดภัยต่ออาหารและยา มักใช้ผลิตเป็นถุงฟิล์มหด (Shrink film) ฟิล์มยืด (Stretch film) ฟิล์มที่มีความทนแรงดึงและทนแรงกระแทกสูง แต่ใช้เวลานาน 300-400 ปี จึงจะย่อยสลายได้ โดยการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) เป็นการย่อยสลายโดยมีการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงในพลาสติกหรือสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการแตกพันธะภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) [2] ซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) โดยทั้งสองตัวนี้ให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในระดับสูง สามารถเตรียมได้ง่าย มีราคาถูก มีความเป็นพิษต่ำ มีความเสถียรทางเคมี และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [3] แต่ซิงค์ออกไซด์มีราคาถูกกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ อีกทั้งสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ผสมซิงค์ออกไซด์จะดีกว่าพอลิเมอร์ที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อรับแสงยูวีในปริมาณที่เท่ากัน [4] ซึ่งเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงค์ออกไซด์ดูดซับรังสียูวีเกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (e-) และโฮล (h+) สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นสปีชีส์ต่างๆ ที่มีความว่องไว ได้แก่ ซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล ($OH^{\bullet-}$) และไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\bullet}$) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ไฮดรอกซิลเรดิคัลมีความว่องไวสูงในการเกิดปฏิกิริยาที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ได้ [5]

โดยงานวิจัยนี้ สนใจการเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ผสมซิงค์ออกไซด์ โดยศึกษาผลของปริมาณ ZnO ที่ใช้ ผลของการใช้สารช่วยกระจายตัว ได้แก่ กรดสเตียริก และผลของปริมาณกรดสเตียริก

1.2 วัตถุประสงค์

เตรียมฟิล์มย่อยสลายโดยแสงจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO-nanoparticle)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคของ ZnO ด้วยกรดสเตียริก 5% และ 10% โดยน้ำหนัก
2. เตรียมสูตรผสมชนิดเข้มข้นของ LLDPE ที่มี ZnO 5 phr ทั้งชนิดที่มีกรดสเตียริกและไม่มีกรดสเตียริก
3. เตรียมสูตรผสมจาก LLDPE ผสมกับสูตรเข้มข้น LLDPE/ZnO เพื่อให้มี ZnO ในปริมาณ 0.25 ถึง 2.0 phr
4. ทำการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าฟิล์มและนำฟิล์มที่ได้มาผ่านการฉายแสงภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต
5. ทดสอบสมบัติต่างๆของฟิล์มที่ได้ ดังนี้ เช่น รูปแบบโครงสร้างผลึก ศึกษาสัณฐานวิทยา ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติการรับแรงดึง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ดีขึ้นและสามารถนำความรู้ที่ได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเอทิลีน [6-7]

ในปัจจุบันพอลิเอทิลีน (Polyethylene) เป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดในบรรดาพลาสติกทั้งหมด โดยพอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ถูกสังเคราะห์จากเอทิลีนมอนอเมอร์ผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติม (Addition polymerization) โดยสามารถแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนได้ 3 ประเภท ตามโครงสร้างทางกายภาพคือ 1.พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) 2.พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) 3. พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene; LLDPE)

พอลิเอทิลีนสามารถผลิตได้จากหลายกระบวนการ ซึ่งพอลิเอทิลีนที่ได้จากการผลิตต่างวิธีกันมีสมบัติต่างกันด้วย ซึ่งสมบัติพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ [8]

สมบัติ	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.910-0.925	0.918-0.940	0.935-0.960
ความแข็งแรงดึง (×1000 psi)	0.9-2.5	1.8-2.9	2.9-5.4
การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	550-600	600-800	20-120
ความเป็นผลึก (%)	65	N/A	95

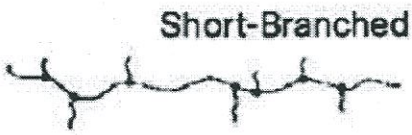
พอลิเอทีลีนมีน้ำหนักเบามาก รับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวได้สูงถึง 500% เป็นฉนวนทางไฟฟ้าได้ดีมาก ฉีกขาดยาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ถึงอุณหภูมิ -100°C โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนความเป็นกรดและด่างอ่อน ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซินในขณะที่มีอุณหภูมิสูง พอลิเอทีลีนไม่ดูดซึมน้ำแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ จึงเหมาะสำหรับใช้บรรจุอาหารสดได้ดี โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนมีลักษณะบางใสเมื่อเป็นแผ่นบาง และมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น และสามารถนำกลับมาหลอมใช้งานใหม่ได้ โดยสมบัติของพลาสติกจะมีการเปลี่ยนแปลงไป

2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น [9]

ลักษณะทั่วไปของ LLDPE คือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ทำให้เม็ดพลาสติกที่ผลิตได้มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรง มีสายโซ่กิ่ง กระจายตลอดความยาวของเส้นตรงและมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลแคบ จากลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลนี้ ทำให้ LLDPE เป็นพอลิเอทิลีนที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นสูงกว่า LDPE ทำให้คุณสมบัติต่างๆ ดีกว่า LDPE และเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตฟิล์มที่ต้องการฟิล์มคุณภาพสูง อีกทั้งราคาของ LLDPE ยังมีราคาถูกกว่า LDPE อีกด้วย



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)
ที่มา : วัชรี อธิปัญญาสฤษดิ์, วัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ และวิศณีย์ ตั้งยืนยง, 2540

การใช้งาน LLDPE ในปัจจุบัน

- แผ่นฟิล์มและชีท (Film and sheet) ในการบรรจุหีบห่อฟิล์มและชีทต่างกันตรงความหนา โดยสามารถใช้ทั้งในลักษณะฟิล์มเดี่ยวๆ และฟิล์มหนาหลายชั้น
- ผลิตภัณฑ์แบบเป่า (Blow moulding) เช่น ขวดบีบ วัสดุภายในดรัม (Drum liner)
- ผลิตภัณฑ์ฉีดขึ้นรูป (Injection moulding) เช่น ฝาขวด ตะกร้า ภาชนะบรรจุที่ใช้ในตู้เย็น และเครื่องใช้ในบ้านและครัวเรือน

2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง [2]

พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradationble plastic) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งการย่อยสลายนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฤดูกาล ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ความสกปรก ในปัจจุบันมีแนวความคิดใหม่ในการสังเคราะห์พลาสติกย่อยสลายด้วยแสงโดยการเติมเกลือของโลหะเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลาย

เมื่อพลาสติกได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานรูปหนึ่ง โมเลกุลของพลาสติก ดูดกลืนพลังงานแสงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Photo-oxidation) ส่งผลให้สมบัติเชิงกลและกายภาพของพลาสติกเสื่อมลงและยังเป็นการช่วยให้จุลินทรีย์ย่อยสลายพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้นด้วย ทำ ให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลงและมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่ช่วยให้พอลิเมอร์ย่อยสลายด้วยแสงมี 2 วิธี

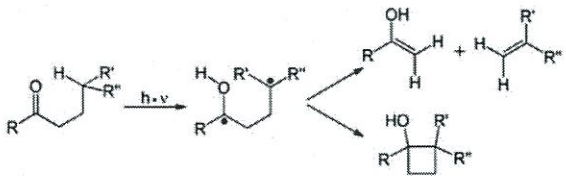
1. เป็นวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ให้มีหมู่ดูดกลืนแสง เช่น การเพิ่มหมู่คาร์บอนิลเข้าไปในโครงสร้าง เพื่อดูดกลืนแสงแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยา Norrish type I สลายตัวให้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งมีอนุมูลอิสระสองอนุมูลหรือเกิด Norrish type II เกิดการจัดโมเลกุลใหม่ ส่งผลให้โซ่หลักขาด เกิดเมทิลคีโตนและปลายโซ่ที่มีพันธะคู่ ดังสมการ

Norrish type I

$$-CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2-CO-CH_2CH_2CH_2 \longrightarrow {}^{\bullet}CHCH_2CH_2- + {}^{\bullet}CHCH_2CH_2- + CO$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Norrish type II

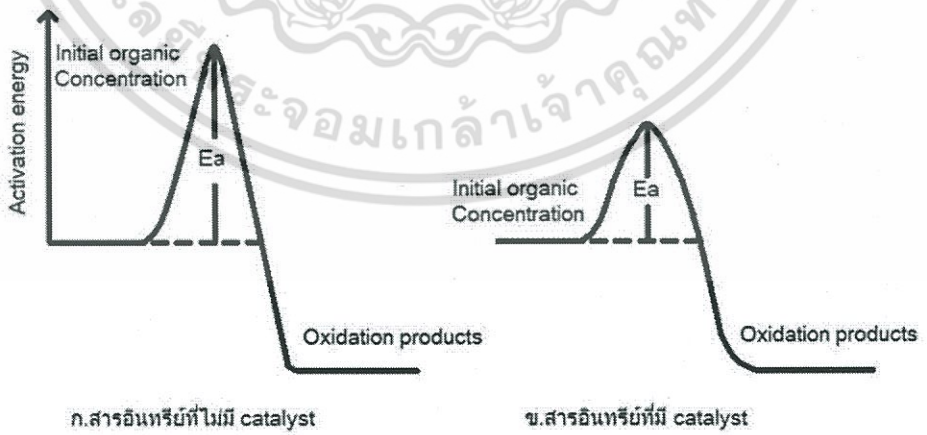


2. การเติมสารเคมีไวแสง (Photo-initiator หรือ UV absorber) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งสามารถช่วยเร่งการย่อยสลายโดยแสง ตัวอย่างสารเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบโลหะทรานซิชัน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เอมีน ฟีนอล และเม็ดสี เป็นต้น เมื่อเติมลงในพลาสติกทำให้พลาสติก มีอายุการใช้งานระยะเวลาหนึ่งก่อนเกิดการย่อยสลาย

2.3 กระบวนการ Photocatalytic [10]

2.3.1 หลักการของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส

กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic Process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ catalyst ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการกระตุ้นด้วยแสง ตัว catalyst นี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิดออกซิเดชัน(Oxidation) ของสารอินทรีย์ที่มีและไม่มีตัว catalyst ภาพที่ 2.2 (ก) แสดงพลังงานกระตุ้น (Activation Energy, E_a) ของปฏิกิริยาที่ไม่มี catalyst ซึ่งมีค่ามาก และพลังงานของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าพลังงานของสารอินทรีย์ พลังงานกระตุ้นนี้จะลดลงในปฏิกิริยาที่มีตัว catalyst ถึงแม้ว่าพลังงานของสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์ยังคงเท่าเดิม ดังภาพที่ 2.2 (ข) ตัว catalyst นี้จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยการลดพลังงานกระตุ้น อีกทั้งตัวมันเองยังตอบสนองต่อแสงดังกล่าว คือ จะเกิดการกระตุ้นได้โดยการถ่ายทอดพลังงานที่มีมากกว่าพลังงานแบนด์แก็พ (Band Gap)



ภาพที่ 2.2 พลังงานของการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์

ที่มา : วัชรศักดิ์ โภภากรณ์, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสต์มีองค์ประกอบ คือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)
2. พลังงานแสง ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานโฟตอนของตัวเร่งปฏิกิริยา
3. น้ำ
4. ออกซิเจน หรือ ตัวออกซิแดนต์ (Oxidants) อื่นๆ

2.3.2 พลังงานแสง

การฉายแสงในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกนั้น เป็นการให้พลังงานกับระบบในรูปของพลังงานโฟตอน (Photon energy) มากพอที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ ซึ่งพลังงานดังกล่าวนี้ เรียกว่า พลังงานกระตุ้น (Activation energy) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E = h\upsilon = hc / \lambda \qquad (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานควอนตัม (Quantum energy), จูล

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ (Planck's contant) = 6.625×10^{-34} จูล-วินาที

υ คือ ความถี่ของคลื่นแสง, เฮิรตซ์ หรือ วินาที$^{-1}$

λ คือ ความยาวคลื่นแสง, นาโนเมตร

c คือ ความเร็วของคลื่นแสง = 2.997×10 เมตร/วินาที

โดยความยาวคลื่นแสงที่สำคัญในการย่อยสลาย แบ่งได้ดังนี้

- ความยาวคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) อยู่ในช่วง 100 – 400 นาโนเมตร
- ความยาวคลื่นแสงที่คนมองเห็น (Visible) อยู่ในช่วง 380 – 750 นาโนเมตร

2.3.3 ชนิดของโฟโตแคตาไลซิส

โฟโตแคตาไลซิส สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท โดยพิจารณาจากสถานะของตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

1. โฟโตแคตาไลซิสแบบเอกพันธ์ (Homogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสถานะเดียวกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด (โดยทั่วไปแล้วจะเป็นของเหลว) เช่น การย่อยสลาย 2–Chlorophenol โดยใช้ UV/TiO_2

2. โฟโตแคตาไลซิสแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสถานะต่างกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด เช่น ย่อยสลาย 2–Chlorophenol โดยใช้ UV/TiO_2 ซึ่งสารกึ่งตัวนำมีมากมายหลายชนิด หนึ่งในสารกึ่งตัวนำหลายๆ ชนิดที่นิยมใช้กันในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากมีราคาไม่แพง ไม่เป็นพิษ ความสามารถในการละลายต่ำ มีความเสถียรสูง

2.3.4 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

สารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลสิส (Photocatalysis) ได้แก่

1. โลหะตัวนำ (Transition Metal) เช่น ทองแดง โครเมียม นิเกิล เป็นต้น
2. สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ประกอบด้วยวาเลนส์แบนด์ (Valence band) และคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ที่ห่างกัน โดยเกิดเป็นช่องว่างพลังงาน ซึ่งเรียกว่า แถบช่องว่างพลังงาน (Band gap) เมื่ออิเล็กตรอน (Electron, e^-) ที่อยู่ในวาเลนส์แบนด์ได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ในขณะเดียวกันที่บริเวณวาเลนส์แบนด์เกิดโฮล (Hole, h^+) ซึ่งเป็นประจุบวก สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในวาเลนส์แบนด์ ส่วนในคอนดักชันแบนด์อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาจากวาเลนส์แบนด์เคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระทั่วคอนดักชันแบนด์เช่นกัน ปรากฏการณ์นี้ ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล (e^-/h^+) สามารถเคลื่อนที่ระหว่างวาเลนส์แบนด์และคอนดักชันแบนด์ได้ง่ายและรวดเร็ว หากว่าไม่มีแถบช่องว่างพลังงาน e^-/h^+ จะรวมตัวกันใหม่ได้ง่าย แต่การรวมตัวกันใหม่ของ e^-/h^+ ในสารกึ่งตัวนำเกิดได้ยาก เพราะว่ามีแถบช่องว่างพลังงานคั่นอยู่ ทำให้คู่ e^-/h^+ แยกจากกันได้นานขึ้น ความแตกต่างของพลังงานแถบช่องว่างพลังงานของโลหะตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และฉนวนแยกได้ยาก ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระดับพลังงานแถบช่องว่างพลังงานระดับพลังงานคอนดักชันแบนด์ และระดับพลังงานวาเลนส์แบนด์

2.3.5 การถ่ายโอนพลังงานของแสง [11]

พลังงานของการกระตุ้นอาจถูกถ่ายโอนไปยังอีกที่หนึ่งภายในโมเลกุล (Intra-molecular) หรือระหว่างโมเลกุล (Inter-molecular) ที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันได้ พลังงานคลื่นแสงอัลตราไวโอเลตอาจถูกดูดกลืนโดยหมู่โครโมฟอร์ (Chromophoric group) ที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์

โดยปกติโมเลกุลโครโมฟอร์ที่ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตในระยะเริ่มต้น และถูกกระตุ้นโดยทันทีจะถูกถ่ายโอนพลังงานอย่างรวดเร็วไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง ในบางกรณีสิ่งเจือปนหรือ สารเติมแต่งที่ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลต เริ่มแรกจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานไปยังพอลิเมอร์ซึ่งไม่สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตได้เอง แต่สามารถถูกกระตุ้นได้ทางอ้อม ดังสมการที่ (2.2-2.3)

$$\text{Impurity} \longrightarrow \text{Impurity}^* \qquad (2.2)$$

$$\text{Impurity}^* + \text{polymer} \longrightarrow \text{Impurity} + \text{polymer}^* \qquad (2.3)$$

สิ่งเจือปนหรือสารเติมแต่งจะเร่งการย่อยสลายของพอลิเมอร์โดยแสงอัลตราไวโอเลต เช่น เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศอย่างเดียวหรือการเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ เป็นต้น

2.3.6 กระบวนการเคมีทางแสงของพอลิเมอร์

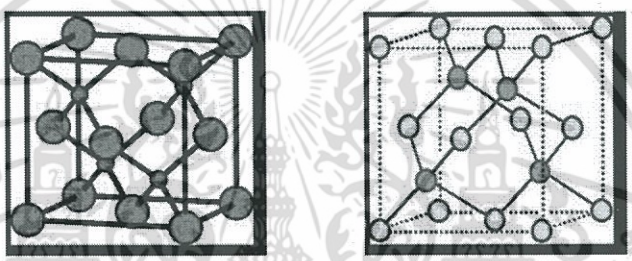
กระบวนการเคมีทางแสงเกิดขึ้นเมื่อสารอินทรีย์ได้รับพลังงานกระตุ้นทางแสงอัลตราไวโอเลต ทำให้สารอินทรีย์มีระดับพลังงานสูงขึ้น ซึ่งพลังงานกระตุ้นที่ได้รับมีไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดการคายพลังงานเพื่อกลับมาสู่สถานะพื้นได้ จึงทำให้สารเคมีมีพลังงานส่วนเกินที่ส่งผลให้เกิดการแตกของพันธะโคเวเลนต์ มีผลทำให้สารเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีอย่างถาวร จึงทำให้เกิดการย่อยสลาย ซึ่งกระบวนการเคมีทางแสงมีผลทำให้โมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายแบบ ได้แก่ การแตกพันธะ (Cleavage) การกำจัดโมเลกุลเล็กๆ (Elimination of small molecule) การเกิดพันธะไม่อิ่มตัวของโมเลกุล (Unsaturation) การจัดเรียงตัว และการเกิดเป็นวง (Rearrangement and cyclization) การเชื่อมโยงของโครงร่างตาข่าย (Crosslinking) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นต้น การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

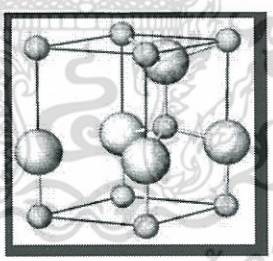
เร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเริ่มจากพันธะโคเวเลนต์ได้รับพลังงานกระตุ้นจากคลื่นแสงอัลตราไวโอเลตทำให้เกิดการแตกพันธะแบบโฮโมไลติก (Hemolytic cleavage)

2.4 ซิงค์ออกไซด์ [12-14]

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นสารประกอบอนินทรีย์มีสูตรโมเลกุลคือ ZnO ซึ่งมีลักษณะเป็นผงขาว มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,975°C และมีจุดเดือดเท่ากับ 2,360°C ZnO มีโครงสร้าง 2 แบบ คือ โครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ (Zinc–blend structure) อะตอมมีการจัดเรียงตัวกันในรูปแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (Cubic) แสดงดังภาพที่ 2.3 และโครงสร้างแบบวัตต์ไซต์ (Wurtzite structure) อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) แสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่ง ZnO มีโครงสร้างแบบวัตต์ไซต์มีจำนวนมากกว่าโครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ เนื่องจากโครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์พบได้ที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น



ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง ZnO แบบซิงค์เบลนด์
ที่มา : Steve Shellswell, 2555



ภาพที่ 2.4 โครงสร้าง ZnO แบบซิงค์วัตต์ไซต์
ที่มา : H. Föll, 2555

ZnO มีช่องว่างแถบพลังงาน (Energy band gap) มีค่าเท่ากับ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งมีความกว้างมากและมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) สูงเท่ากับ 60 มิลลิอิเล็กตรอนโวลต์ (meV) ZnO มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n–type semiconductor) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานหลาย ซึ่งในปัจจุบันนี้ การประยุกต์ใช้ซิงค์ออกไซด์ในงานด้านโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) ได้รับความสนใจเป็นจำนวนมาก ZnO เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ [15]

สูตรทางเคมี	ZnO
มวลโมเลกุล	81.408 กรัมต่อโมล
ขนาดอนุภาค	0.0240-0.0710 ไมโครเมตร
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น	5.606 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1975 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	2360 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลายน้ำ	0.16 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

2.5 กรดสเตียริก [16]

กรดสเตียริก (Stearic acid, SA) เป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอนและหมู่ฟังก์ชันของกรด กรดสเตียริกสังเคราะห์ได้มาจากกลีเซอไรด์ ซึ่งพบในไขมันสัตว์และพืชหลายชนิด นิยมใช้เป็นสารหล่อลื่นในพอลิเมอร์คอมพอสิตหรือเป็นส่วนประกอบหนึ่งในกระบวนการวัลคาไนเซชันยาง นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทาง ความร้อน (Thermal stabilizer) ในรูปของ Stearic (Metal sterate)

ในการปรับปรุงพื้นผิวของสารตัวเติมเพื่อให้สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น กรดสเตียริกเป็นสารตัวหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะกับสารตัวเติม $CaCO_3$ เนื่องจากโครงสร้างของกรดสเตียริกประกอบด้วยส่วนที่เป็นสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอนและหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งในส่วนที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนที่กระจายในวัฏภาคของสารตัวเติมและเข้ากันได้กับสารตัวเติม การปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. สารตัวเติมที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวทำให้สามารถกระจายตัวได้ง่ายและทั่วถึงในพอลิเมอร์
2. การปรับปรุงพื้นผิวช่วยทำให้ระยะระหว่างพื้นผิวระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์เมตริกซ์ใกล้กันมากขึ้น
3. ช่วยในเรื่องการป้องกันพื้นผิวเกิดการแตก รอยบุ๋ม และอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกานำไปใช้งาน และเป็นการทำให้วัตถุดิบมีความแข็งแรง
4. ช่วยในเรื่องการกำจัดรอยตำหนิรอยขัดถูบนพื้นผิว

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

R. Yung และคณะ [17] ได้ทำการศึกษากระบวนการย่อยสลายของฟิล์ม LDPE ที่ผสมซิงค์ออกไซด์ขนาดนาโนในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0.25% และ 0.75% ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งได้ติดตามผลการย่อยสลายของฟิล์ม จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น และปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟิล์มพอลิเมอร์ โดยการวัดค่า Carbonyl group ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าของ Carbonyl group และคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้น แสดงว่าซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการย่อยสลายฟิล์ม

A. Shafaei และคณะ [18] ทำการศึกษาการย่อยสลายของ Terephthalic acid ในน้ำเสียโดยการใช้ซิงค์ออกไซค์และไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องมือ UV spectrophotometer ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ Terephthalic acid ที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร ทั้งก่อนและหลังการฉายแสงที่เวลา 5, 10 15 และ 30 นาที พบว่าเมื่อเวลา ในการฉายแสงเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงของ Terephthalic acid มีค่าลดลง เนื่องจากมีการสลายตัว นอกจากนี้เมื่อปริมาณของซิงค์ออกไซค์และไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้การย่อยสลายของ Terephthalic acid ดีขึ้น แสดงว่าซิงค์ออกไซค์และไททาเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการย่อยสลายของ Terephthalic acid

X. Zhao และคณะ [19] ศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมไททาเนียมไดออกไซด์โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีและแสงอาทิตย์ โดยการผสมไททาเนียมไดออกไซด์ลงในพอลิเอทิลีนปริมาณ 0.02, 0.1 และ 1% โดยน้ำหนัก นำไปขึ้นรูปฟิล์ม ฉายแสงยูวีเป็นเวลา 20, 50 และ 100 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเกิดหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (FTIR) พบว่าปริมาณของไททาเนียมในฟิล์มพอลิเอทิลีนที่เพิ่มขึ้น และเวลาในการฉายแสงนานขึ้น ทำให้ฟิล์มพอลิเอทิลีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลและไฮดรอกซิล จากนั้นศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าขนาดและความลึกของรอยขาดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

กิจสิมา คมขำ และชะไมพร อ้วนโคตร [20] ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีการผสมซิงค์ออกไซด์ขนาดนาโน 0-3 phr และมีการใส่สารช่วยกระจายตัวคือ กรดสเตียริก ได้ศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มภายใต้การฉายแสง UV โดยติดตามปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการวัดปริมาณ Carbonyl group ด้วยเครื่อง FTIR ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ นอกจากนี้ได้ทดสอบการกระจายตัวของซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและหาความเป็นผลึกของฟิล์มด้วยเครื่อง DSC พบว่าเมื่อระยะเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น ปริมาณ Carbonyl group มีค่ามากขึ้น เมื่อปริมาณของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อปริมาณความเป็นผลึกของฟิล์ม แต่ทำให้อุณหภูมิการตกผลึกสูงขึ้นและมีสมบัติเชิงกลลดลง แสดงว่า ZnO สามารถช่วยในการย่อยสลายของฟิล์มซึ่งไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึกของฟิล์มแต่ทำให้ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลลดลง

C. Chen และคณะ [21] ศึกษาการย่อยสลายเมทิลออเร้นจ์ (Methyl orange) ในน้ำโดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเจือสังกะสีอะซิเทต ($(CH_3COO)_2Zn$) ลงในไททาเนียมเททระไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium tetraisopropoxide) ด้วยวิธีการใช้กรดสเตียริกในสภาวะเจล (Stearic acid gel method) ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0% โดยโมล เผาภายใต้บรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 600°C เวลาในการเผา 2 hr จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD, เทคนิค SEM, เทคนิค BET และเทคนิค UV-Vis พบว่าอุณหภูมิในการเผา 450°C และปริมาณสังกะสีเจือใน TiO_2 0.1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโมล ให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเมทิลออเร้นจ์ได้สูงสุดเนื่องจากมีขนาดของผลึกและปริมาณสัดส่วนอะนาเทสต่อรูไทล์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE), Density = 0.919 g/cm^3, MFI = 2.0 g/10min
2. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), บริษัท นาโน แมททีเรียล เทคโนโลยีจำกัด
3. กรดสเตียริก (Stearic Acid) เกรดการค้า
4. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N_2)

3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer): รุ่น PL 2100 บริษัท Brabender จำกัด
2. เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก (Film blowing tower, รุ่น LF-400; Labtech Engineering Co., Ltd.) ต่อกับเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder, รุ่น Polydrive with rheomex R252)
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM.): รุ่น LR 5K; LLOYD Instument
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM. รุ่น 1455 VP; LEO)
5. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder): Bosco Engineering รุ่น Bosco A600
6. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR): Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum Gx
7. เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD): รุ่น D8 Advance บริษัท Bruker AG จำกัด
8. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
9. ตู้อบแสงอัลตราไวโอเลต
10. ไมโครมิเตอร์
11. เตาเผาอุณหภูมิสูง
12. ตะเกียงบุนเสน
13. ครูซิเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมฟิล์ม

3.3.1 การเตรียมสูตรผสมชนิดเข้มข้น

การเตรียมสูตรผสมชนิดเข้มข้น (Master Batch) ของ LLDPE ให้มีปริมาณ ZnO 5 phr โดยทำการผสมเม็ดพลาสติก LLDPE, ZnO และกรดสเตียริกให้ได้อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1 ด้วย เครื่องผสมระบบปิด โดยตั้งสภาวะเครื่องดังนี้

- Temperature 190°C
- ความเร็วรอบ 80 rpm
- เวลาการผสม 20 นาที

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของสูตรผสม

ลำดับ	สูตร	LLDPE (g)	ZnO (g)	Stearic acid (g)
1	5 phr ZnO (MB)	300	15	-
2	5 phr ZnO (MB/SA10)	300	15	1.5
3	5 phr ZnO (MB/So/SA5)	300	15	0.75
4	5 phr ZnO (MB/So/SA10)	300	15	1.5

* หมายเหตุ: MB = Master batch, SA = Stearic acid, So = ผ่านการ Sonication เป็นเวลา 15 นาที

สูตรที่ 1 เป็นการใช้ ZnO ที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว

สูตรที่ 2 เป็นกระบวนการผสมแบบแห้ง โดยเป็นการผสมที่ใส่สารทั้งสามชนิดลงไปพร้อมกันทั้งหมดในเครื่องผสมระบบปิด ใช้กรดสเตียริก 10% โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 3 และ 4 เป็นกระบวนการผสมแบบโซนิเคชันเป็นการนำ ZnO กับกรดสเตียริกมาผ่านการทำโซนิคเคชัน จากนั้นนำไปผสมกับ LLDPE ในเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้กรดสเตียริก 5 และ 10% โดยน้ำหนัก

โดยการทำโซนิเคชัน เริ่มจากนำ ZnO 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แรกและใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลายประมาณ 75 มิลลิลิตร นำไปวางในเครื่อง Ultrasonic ทำการโซนิเคชันเป็นเวลา 15 นาทีในตู้ดูดควัน ใส่กรดสเตียริกในบีกเกอร์ที่สองโดยให้มีปริมาณตามต้องการในแต่ละสูตร ค่อยๆละลายด้วยโทลูอีนจนกระทั่งกรดสเตียริกละลายหมด จากนั้นนำไปเทผสมกับบีกเกอร์ที่หนึ่ง แล้วทำการโซนิเคชันต่อเป็นเวลา 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยในตู้ดูดควัน ก่อนจะนำไปอบที่ อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม

ทำการผสมเม็ดพลาสติก LLDPE กับ ZnO Master batch โดยให้มีปริมาณของ ZnO ดังตารางที่ 3.2 และทำการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown film) โดยตั้งสภาวะของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวที่ต่อเข้ากับเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์มที่ใช้ดายประเภทวงแหวน (Annular die) ดังนี้

สภาวะเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว เพื่อควบคุมความหนา 30-40 μm

- Feed zone 180°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Compression zone 190°C
- Metering zone 200°C
- Screw speed 10 rpm

สภาวะเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม

- Blowing film 200°C
- Upper zone 200°C
- Lower zone 200°C
- ขนาดปั๊มลมที่ใช้ 5 bar
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 1 1.0-1.5 rpm
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 2 1.0-1.5 rpm

ตารางที่ 3.2 สูตรการผสม LLDPE กับ ZnO Master batch โดยให้มีปริมาณของ ZnO ต่างๆ

สูตรฟิล์ม	สูตร Master batch ที่ใช้ผสม				ปริมาณ ZnO ในฟิล์ม (phr)
	5 phr ZnO	5 phr ZnO/SA	5 phr ZnO/So/SA5	5 phr ZnO/So/SA10	
1. LLDPE	-	-	-	-	0.00
2. LLZn0.25	√	-	-	-	0.25
3. LLZn0.5	√	-	-	-	0.50
4. LLZn0.5SA10	-	√	-	-	0.50
5. LLZn0.5SoSA5	-	-	√	-	0.50
6. LLZn0.5SoSA10	-	-	-	√	0.50
7. LLZn1.0	√	-	-	-	1.00
8. LLZn2.0	√	-	-	-	2.00
9. LLZn2.0SoSA10	-	-	-	√	2.00

3.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของ ZnO

ทำการวิเคราะห์หาขนาดผลึกอนุภาคของ ZnO ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์โดยการชั่งตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO ประมาณ 3 กรัม ใส่ลงใน Sample holder ทำการปาดผิวหน้าให้เรียบและกดอัดให้แน่น จากนั้นนำไปติดตั้งที่ Analysis station โดยใช้ Cu, K_α เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ทำการวิเคราะห์ช่วงค่า 2θ จาก 0-80 degree

3.5 การทดสอบฟิล์ม

3.5.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค SEM ในการศึกษาโครงร้างทางจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาค ZnO ในฟิล์ม LLDPE ทั้งสูตรที่มีการปรับปรุงพื้นผิวและไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว โดยนำฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

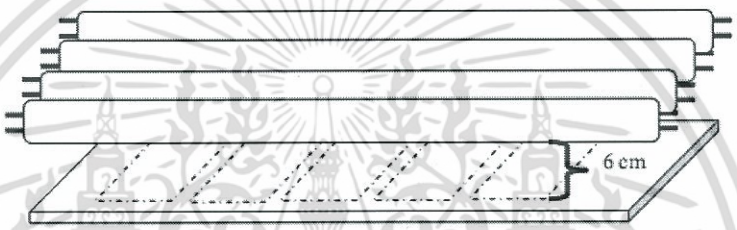
ตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 15 นาที ทำการหักชิ้นงานแล้วนำพื้นที่ตัดขวางแผ่นฟิล์มมาเคลือบทอง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM เพื่อดูการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์มตัวอย่างโดยใช้กำลังขยาย 3000-5000 เท่า

3.5.2 การวิเคราะห์สมบัติการย่อยสลายของฟิล์ม

3.5.2.1 การฉายแสง

ตอนที่ 1 สร้างตู้ฉายรังสีอัลตราไวโอเลต โดยทำการออกแบบกล่องที่ทำด้วยไม้ซึ่งมีลักษณะการวางชิ้นงานดังภาพที่ 3.1 โดยตู้ฉายมีขนาดและส่วนประกอบดังนี้

- ความกว้าง × ความยาว × ความสูง	34 × 68 × 30 เซนติเมตร
- ระยะห่างของชิ้นงานกับหลอด UVA	6 เซนติเมตร
- หลอด Philips UVA 40 Watt ยาว 60 เซนติเมตร	4 หลอด



ภาพที่ 3.1 ลักษณะการวางชิ้นงานและระยะห่างของชิ้นงานกับหลอด UVA

ตอนที่ 2 นำชิ้นงานตัวอย่างไปใส่ในตู้ฉายแฉง UVA ที่อุณหภูมิห้อง ขนาดชิ้นงานเท่ากับ 6 x 22 cm^2 ทำการเก็บชิ้นงานตัวอย่างหลังจากการฉายแสงเป็นเวลา 100, 150 และ 200 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าดัชนีคาร์บอนิล การเปลี่ยนแปลงของสี และทดสอบสมบัติเชิงกล

3.5.2.2 การวัดค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)

นำชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสงมาตรวจวัดด้วยเครื่อง FTIR spectrophotometer ใช้ Transmission mode เพื่อคำนวณค่าดัชนีคาร์บอนิล ดังสมการที่ (3.1) โดยใช้พื้นที่ใต้พีกในตำแหน่งของพีกที่ 1700 cm^{-1} (คือ C=O stretching) แสดงถึงการสลายตัวของฟิล์ม เทียบกับพื้นที่ใต้พีกที่ 729 cm^{-1} (คือ C-H rocking ของ LLDPE)

$$\text{Carbonyl Index} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีก } 1700\ cm^{-1}}{\text{พื้นที่ใต้พีก } 729\ cm^{-1}} \qquad (3.1)$$

3.5.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี

วัดผลการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของฟิล์ม ด้วยเครื่อง Colorimeter Spectrophotometer โดยนำฟิล์มตัวอย่างก่อนและหลังผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 100, 150 และ 200 ชั่วโมง

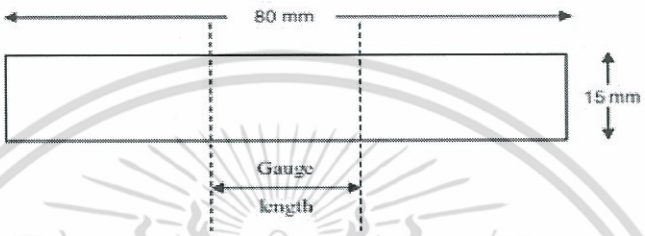
3.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบแรงดึงซึ่งสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield) ค่าความเค้น ณ จุดขาด (Stress at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

break) ค่ายังมอดุลัส (Young's modulus) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D 882 โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ซึ่งทำการตัดแผ่นฟิล์มตัวอย่างตามแนวเครื่องจักร (Machine direction, MD) ให้มีขนาด 15 x 80 mm^2 โดยใช้สภาวะที่ทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 100 N
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 100 mm/min
- ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) 25 mm



ภาพที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส และร้อยละการยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

- ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield) = $\frac{F_{at\ yield}}{A}$ (3.2)

- ความเค้นดึง ณ จุดขาด (Stress at break) = $\frac{F_{at\ break}}{A}$ (3.3)

- มอดุลัส (Modulus) = $\frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}}$ (3.4)

มอดุลัสของยัง (Young's modulus) หรือมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of elasticity หรือ elastic modulus) เป็นค่าบอกระดับความแข็งแกร่งของวัสดุ ค่ามอดุลัสของยังสามารถคำนวณจากค่าลิมิตของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้น (Stress) ต่อความเครียด (Strain) สามารถหาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด ที่ได้จากการทดลองในช่วงเริ่มต้นของกราฟ (Proportional limit) หรือช่วงที่ความเค้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเครียด โดยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นหาได้จากสมการ

$$Y = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}} = (F/A)/(\Delta L/L) = (F.L)/(A.\Delta L) \quad (3.5)$$

เมื่อ Y = มอดุลัสของยัง มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa) หรือนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

F = แรงในหน่วยนิวตัน

A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง ในหน่วยตารางเมตร

ΔL = ความยาวที่ยืดออกของวัสดุ ในหน่วยเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

L = ความยาวเริ่มต้นของวัสดุ ในหน่วยเมตร

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากหรือจุดขาด (%Elongation at yield or break) = $\frac{l-l_0}{l_0} \times 100$ (3.6)

เมื่อ l = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดคราก หรือจุดขาด

l = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length) เท่ากับ 25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

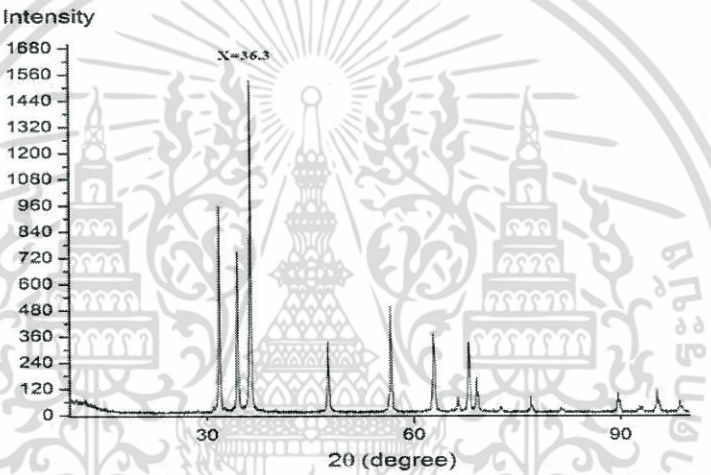
142090

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปราย

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์ม LLDPE ที่สามารถย่อยสลายได้โดยผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทางแสงโดยใช้ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ผลของปริมาณ ZnO และผลของปริมาณกรดสเตียริกที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัว นำฟิล์มมาศึกษาสมบัติต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลายทางแสงของฟิล์ม LLDPE

4.1 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ใช้เทคนิค XRD โดยแสดงผลดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ ZnO ดังภาพที่ 4.1 สามารถคำนวณหาค่าความเป็นผลึกของ ZnO ได้โดยใช้สมการเชอเรอร์ (Scherrer Formula) โดยใช้ความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของพีกที่มีความเข้มสูงที่สุด ($\beta_{1/2}$) คือที่ 2θ เท่ากับ 36.3

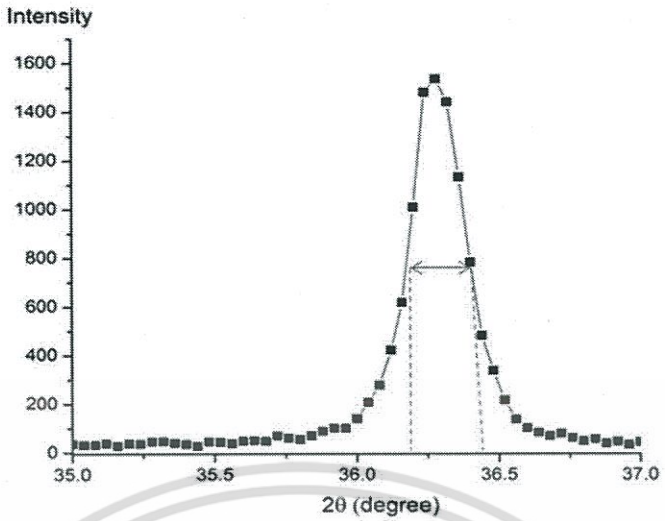
สมการเชอเรอร์ (Scherrer Formula)

$$D_p = \frac{0.94\lambda}{\beta_{1/2}\cos\theta}$$

เมื่อ D_p คือ ขนาดผลึก $\beta_{1/2}$ คือ ความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่ง

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (1.542 Angstroms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



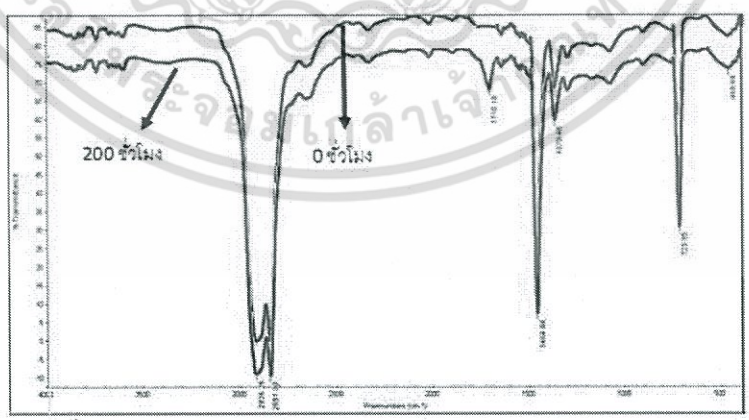
ภาพที่ 4.2 การหา $\beta_{1/2}$ จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO ที่ 2θ =36.3

จากภาพที่ 4.2 พบว่า ณ ตำแหน่งพีกที่มีความเข้มสูงที่สุด (2θ = 36.3) ลากเส้นผ่านความสูงครึ่งหนึ่งของพีกสัมผัสเส้นกราฟ ได้ค่ามุมทางซ้ายเท่ากับ 36.2°และค่ามุมทางขวาเท่ากับ 36.4° ผลต่างของทั้งสองค่าคือความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่ง ($\beta_{1/2}$) มีค่าเท่ากับ 0.2 นำไปแทนค่าเพื่อ คำนวณหาขนาดของผลึกโดยใช้สมการเชอเรอร์ได้ขนาดผลึกเท่ากับ 0.76 nm

4.2 ผลของปริมาณ ZnO ในฟิล์ม LLDPE

4.2.1 การวิเคราะห์ ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มตัวอย่าง

การศึกษาการสลายตัวของฟิล์ม LLDPE ที่ใส่ ZnO ในปริมาณที่แตกต่างกันในสภาวะภายใต้รังสี UVA โดยพิจารณาจากค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)



ภาพที่ 4.3 IR สเปกทราของฟิล์ม LLZn2.0 ก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง

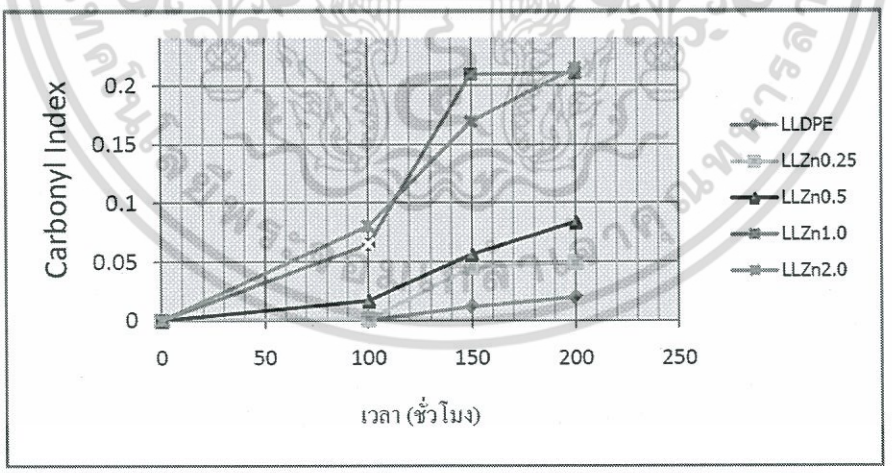
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันที่พบในฟิล์มตัวอย่าง LLZn2.0 ก่อนและหลังการฉายแสง UVA 200 ชั่วโมง

เลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชันที่พบ ก่อนฉายแสง UVA	หมู่ฟังก์ชันที่พบ หลังฉายแสง UVA
2900 – 2800	C-H stretching	C-H stretching
1465	CH_2 bending	CH_2 bending
729	C-H rocking	C-H rocking
1700	-	C=O stretching

จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR แสดงสเปกทราดังภาพที่ 4.3 ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการฉายแสง UVA จะพบพีกเกิดขึ้นเพิ่มที่ตำแหน่งประมาณ 1700 cm^{-1} เนื่องจากเมื่ออนุภาค ZnO ดูดซับแสง UVA ที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 378 nm ทำให้เกิดการสร้างอิเล็กตรอนอิสระและ Hole ขึ้น จากนั้น O_2 และ H_2O จะนำไปสู่การสร้างสปีชีส์ของออกซิเจนที่มีความว่องไว (Active oxygen species) เช่น อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($HO•$), แอนไอออนิกออกซิเจน ($O_2•-$) และเปอร์ออกไซด์ ($HO_2•$) เป็นต้น โดยที่ $HO•$ เป็นตัวออกซิแดนต์ที่สำคัญในปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เกิดเป็นหมู่คาร์บอนิลและเกิดการสลายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยงานวิจัยนี้ได้ติดตามหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นซึ่งรายงานเป็นค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) ที่สามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Carbonyl Index} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีก } 1700\ cm^{-1}}{\text{พื้นที่ใต้พีก } 729\ cm^{-1}}$$



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสียูวีของฟิล์ม

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีคาร์บอนิลมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการฉายแสงเพิ่มขึ้น ทำให้ ZnO เกิดปฏิกิริยากับแสง UVA ให้อิเล็กตรอนอิสระเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์เป็นหมู่คาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าดัชนีคาร์บอนิลในช่วง 100 ชั่วโมงหลังการฉายแสง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น

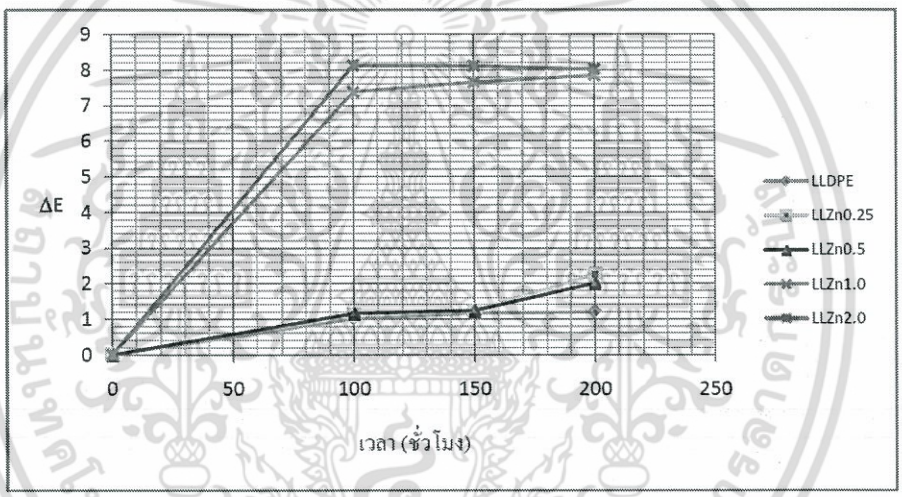
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างช้าๆ หลังจากนั้นจะมีค่าดัชนีคาร์บอนิลเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (Auto-oxidation) ซึ่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติโดยเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ ส่งผลให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ทำให้การย่อยสลายของฟิล์ม LLDPE เร็วขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณ ZnO ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยากับแสงและเกิดอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มมากขึ้น พอลิเมอร์จึงสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี

นอกจากการหาค่าดัชนีคาร์บอนิลเพื่อใช้ในการยืนยันถึงการสลายตัวภายใต้รังสี UVA ของฟิล์มที่เกิดขึ้น สามารถใช้การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเพื่อช่วยบ่งบอกถึงการสลายตัวของฟิล์มได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำฟิล์มที่เตรียมได้จาก LLDPE ผสม ZnO ที่มีปริมาณที่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 100, 150 และ 200 ชั่วโมง มาทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสี แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0, 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 phr

จากภาพที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ ZnO และจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการฉายแสงยูวีมากขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ZnO ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการดูดซับพลังงาน และเมื่อได้รับพลังงานจากแสงยูวีมากขึ้น ทั้งสองปัจจัยทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การเกิดหมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นหมู่โครโมฟอร์ที่สามารถดูดกลืนแสงได้ทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของค่าดัชนีคาร์บอนิลที่กล่าวมาข้างต้น

เมื่อพิจารณาเวลาที่เพิ่มขึ้นพบว่าที่เวลา 100 ชั่วโมงหลังการฉายแสงมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีหมู่โครโมฟอร์เกิดขึ้น หลังจากนั้นเมื่อเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงสีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากฟิล์ม LLDPE มีการย่อยสลายให้หมู่โครโมฟอร์ แต่หมู่โครโมฟอร์ที่เกิดขึ้นไม่เป็นโครงสร้างแบบคอนจูเกต (Conjugate) ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกันหลังจากเวลา 100 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของ LLDPE ที่ผสม ZnO โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของ ZnO ในฟิลม์ LLDPE โดยวิเคราะห์จากภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO ในฟิลม์ LLDPE เพิ่มขึ้น อนุภาค ZnO จะเกิดการเกาะกลุ่มกัน เนื่องมาจาก ZnO ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก มีความเป็นขั้ว ในขณะที่พอลิเมอร์ไม่มีขั้ว จากการที่มีสภาพขั้วแตกต่างกันจึงทำให้อนุภาค ZnO มีโอกาสเกิดการเกาะกลุ่มกัน ทำให้การกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ไม่ดี

(a) LLDPE (b) LLZn0.25

(c) LLZn0.5 (d) LLZn1.0

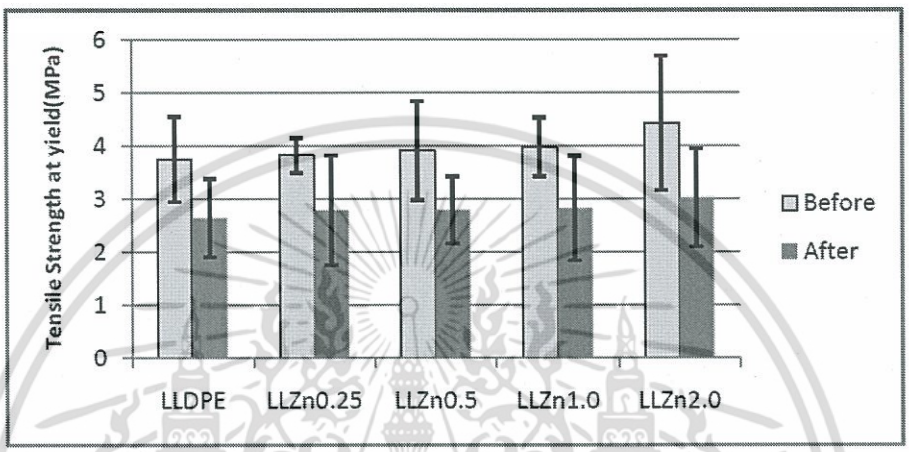
(e) LLZn2.0

ภาพที่ 4.6 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO ที่ปริมาณต่างกัน

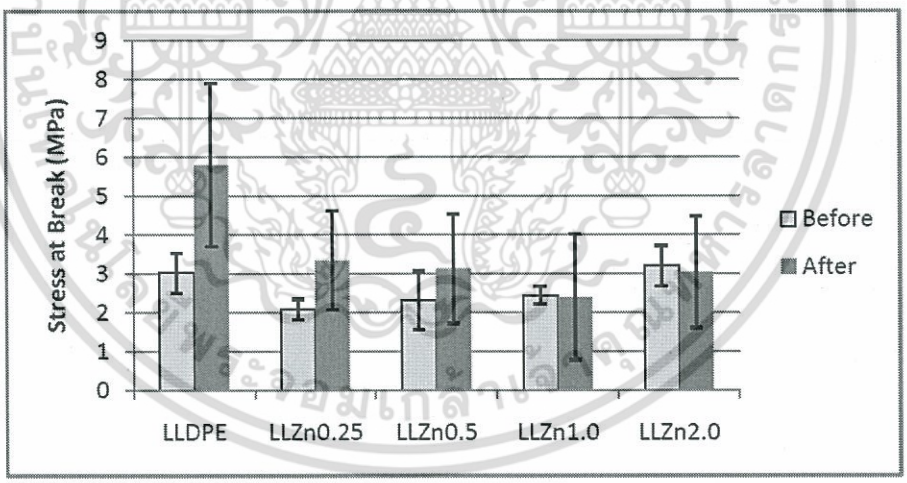
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 สมบัติเชิงกล

ในงานวิจัยนี้เตรียมฟิล์มที่มีปริมาณ ZnO 0-2 phr โดยผสมผ่านสูตรผสมชนิดเข้มข้น (Master batch) ก่อนเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ก่อนและหลังฉายรังสี UVA ที่เวลา 200 ชั่วโมง โดยแสดงผลเฉพาะทิศทางตามแนวเครื่องจักรซึ่งเป็นแนวที่แข็งแรงกว่าแนวตามขวางของเครื่องจักรเนื่องจากกระบวนการผลิตไม่มีการเป่าลมขยายด้านข้างเพื่อให้เกิดการจัดเรียงตัวตามขวางของเครื่องจักร แสดงผลดังภาพที่ 4.7

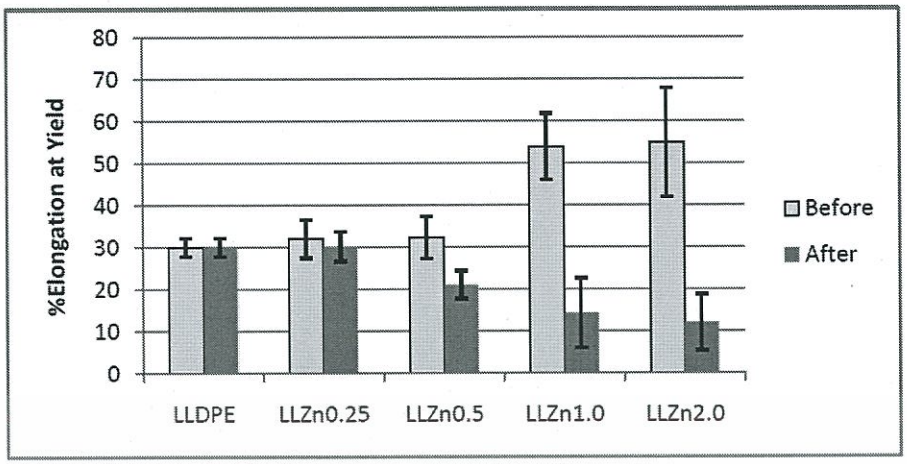


(a) ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก

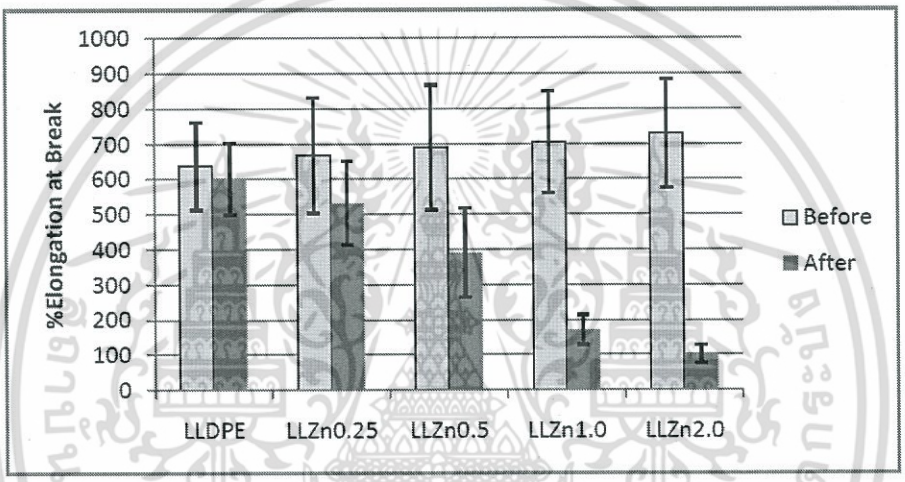


(b) ความเค้นดึงของฟิล์ม ณ จุดขาด

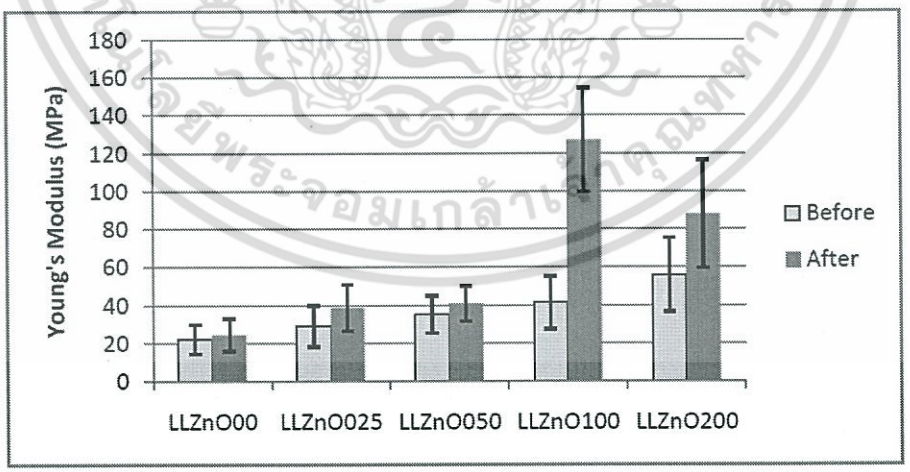
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก



(d) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



(e) มอดุลัสของยัง

ภาพที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO แตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาฟิล์มก่อนการฉายแสงพบว่าค่ามอดุลัสมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมอนุภาคของแข็งในพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์มีความสามารถในการรับแรงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE หลังผ่านการแสงเป็นเวลา 200 ชั่วโมงพบว่าค่ามอดุลัสและความเค้น ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ZnO จะถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานแสง ส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยาแล้วสร้างหมู่ว่องไวไปเกิดปฏิกิริยากับฟิล์ม LLDPE ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบเกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslink) ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก และจุดขาดที่มีค่าลดลงหลังผ่านการฉายแสง เมื่อเกิดพันธะเชื่อมโยงแล้วทำให้ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม LLDPE ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความแข็งแรงดึงหลังผ่านการฉายแสงมีค่าลดลง เนื่องจากอาจเกิดการตัดขาดของสายโซ่ (Chain scission) ในบางส่วนทำให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงลดลง

เมื่อพิจารณาปริมาณ ZnO ที่แตกต่างกันในฟิล์ม LLDPE ที่ผ่านการฉายรังสี UVA เป็นเวลา 200 ชั่วโมง พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่ามอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากและจุดขาดลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่ปริมาณ 2 phr เนื่องจาก ZnO เป็นอนุภาคระดับนาโนเมตร เมื่อปริมาณเพื่อขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของฟิล์ม LLDPE ได้เร็วขึ้น

จากการศึกษาผลของปริมาณ ZnO ที่ผสมในฟิล์ม LLDPE พบว่าเมื่อเวลาในการฉายแสงและปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) กับค่าการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ZnO เมื่อรับพลังงานแสงแล้วจะเกิดการสร้างอิเล็กตรอนกับโฮลที่สามารถสร้างหมู่ว่องไวไปเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้กลายเป็นหมู่คาร์บอนิล ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเมื่อนำฟิล์มไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าฟิล์ม LLDPE ที่ผ่านการฉายรังสี UVA เป็นเวลา 200 ชั่วโมงมีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากและจุดขาดลดลง ซึ่งจะลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ 2 phr เนื่องจาก ZnO ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ฟิล์ม LLDPE เกิดการย่อยสลายแบบเกิดพันธะเชื่อมโยง

4.3 การศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวในฟิล์ม LLDPE

เนื่องจาก ZnO เป็นอนุภาคระดับนาโนซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก การกระจายตัวใน LLDPE ที่ไม่มีขั้วจะต้องใช้เครื่องมือและสภาวะที่เหมาะสมเพื่อจะให้เกิดแรงกระทำที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของ ZnO ได้ดี อีกหนึ่งวิธีที่จะทำให้การกระจายตัวหรือการแตกตัวของ ZnOได้ดีขึ้นโดยการใช้สารช่วยกระจายตัว ซึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมก็คือ กรดสเตียริก โดยการศึกษาการกระจายตัวจะทำในสองปริมาณเปรียบเทียบคือ 0.5 phr แทนปริมาณ ZnO ในปริมาณน้อย และสูตร 2 phrแทน ZnO ในปริมาณมาก

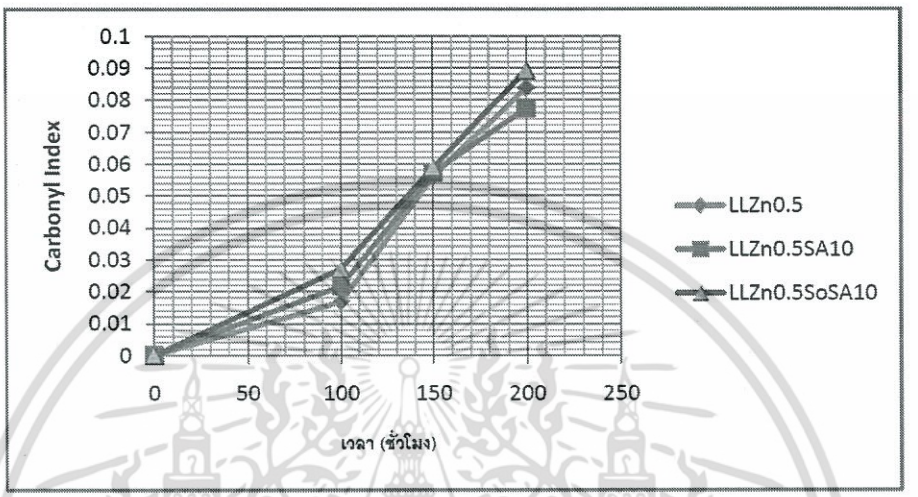
4.3.1 ผลของกระบวนการผสมกรดสเตียริกกับซิงค์ออกไซด์

ในงานวิจัยนี้เตรียมซิงค์ออกไซด์ที่มีการผสมกรดสเตียริก 2 วิธีคือ การผสมแบบแห้งและการผสมแบบโซนิเคชัน ทำการศึกษาการย่อยสลายของฟิล์ม LLDPE ที่เกิดขึ้น

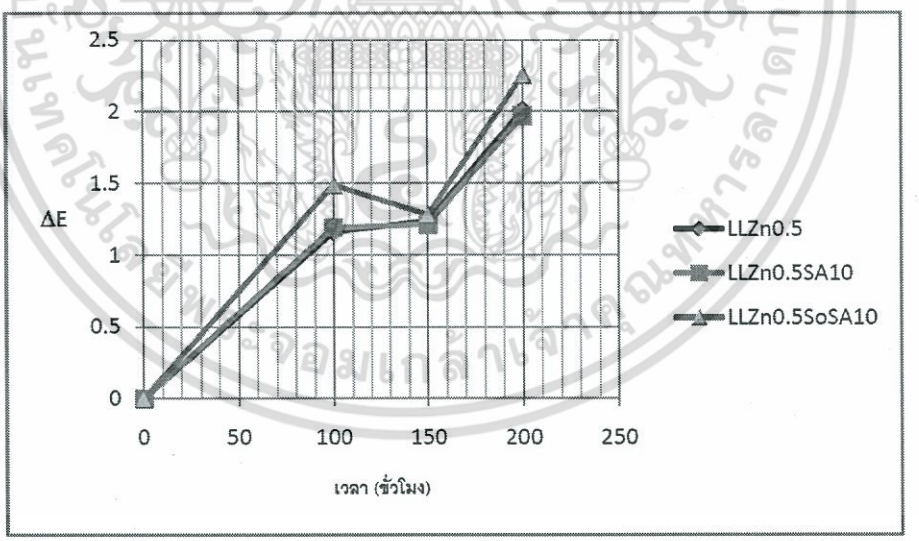
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม

การศึกษาการสลายตัวของฟิล์มที่ใส่ ZnO ในปริมาณเท่ากับ 0.5 phr โดยเปรียบเทียบสูตร LLZn0.5 (ไม่ใช้กรดสเตียริก), สูตร LLZn0.5SA10 (ใช้กระบวนการผสมแบบแห้ง) และสูตร LLZn0.5SoSA10 (ใช้กระบวนการผสมแบบโซนิเคชัน) โดยผลของค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม (ΔE) แสดงดังภาพที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสี UVA ของฟิล์มที่มี ZnO 0.5 phr มีและไม่มีการใช้กรดสเตียริก ที่มีกระบวนการผสมต่างกัน



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มกับเวลาในการฉายรังสี UVA ของฟิล์มที่มี ZnO 0.5 phr มีและไม่มีการใช้กรดสเตียริก ที่มีกระบวนการผสมต่างกัน

ผลของค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม LLDPE ที่ใส่ ZnO 0.5 phr พบว่ามีค่าดัชนีคาร์บอนิลและค่าการเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกันทั้งในสูตรที่มีการผสมแบบแห้งและการผสมแบบโซนิเคชัน เนื่องจาก ZnO มีการกระจายตัวในฟิล์ม LLDPE ที่ไม่แตกต่างกันทำให้การย่อยสลายของฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของ LLDPE ที่ผสม ZnO ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์ม LLDPE ที่มีกระบวนการผสมกรดสเตียริกที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์จากภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่าสูตรที่มีการบวนการผสมแบบโซ-นิเคชันมีการกระจายตัวดีกว่าการผสมแบบแห้ง และดีกว่าสูตรที่ไม่ใส่กรดสเตียริก เนื่องจากกรดสเตียริกและพอลิเมอร์เป็นสารอินทรีย์เมื่อทำการผสมแบบแห้งกรดสเตียริกจะอยู่ในพอลิเมอร์มากกว่าการเคลือบผิวของ ZnO ซึ่งประสิทธิภาพการกระจายตัวแตกต่างจากสูตรที่ไม่ใส่กรดสเตียริกเล็กน้อย ส่วนการผสมแบบโซนิเคชัน กรดสเตียริกจะถูกทำให้เคลือบที่ผิวของ ZnO ก่อนที่จะนำไปผสมกับ LLDPE ทำให้ ZnO มีโอกาสที่จะเกิดการแตกตัวและการกระจายตัวดีขึ้น

(a) LLZn0.5 (b) LLZn0.5SA10 (การผสมแบบแห้ง)

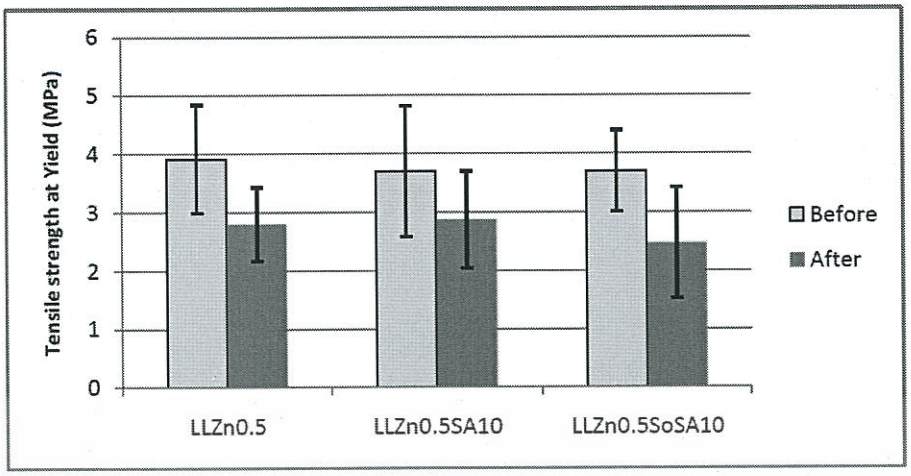
(c) LLZn0.5SoSA10 (การผสมแบบโซนิเคชัน)

ภาพที่ 4.10 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO โดยมีปริมาณ ZnO เท่ากัน แต่วิธีการผสมต่างกัน

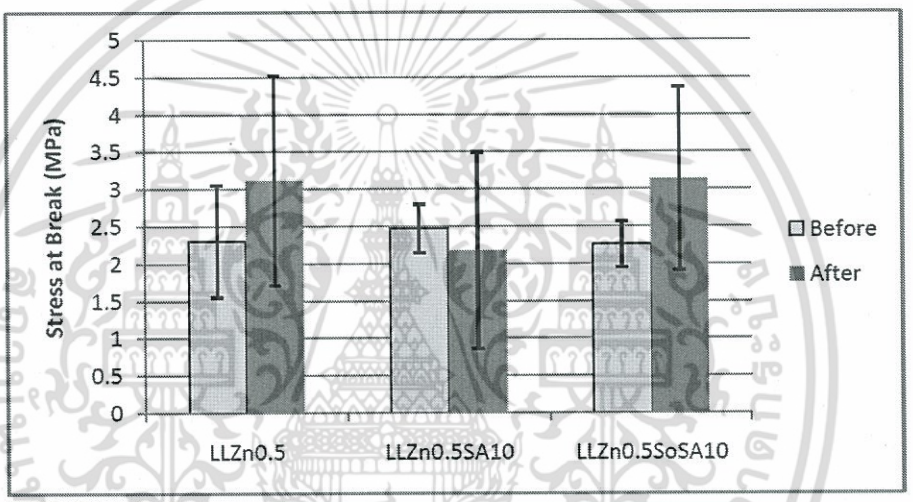
4.3.1.3 สมบัติเชิงกล

การทดสอบเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่ผสม ZnO ปริมาณ 0.5 ก่อนและหลังฉายรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 4.11

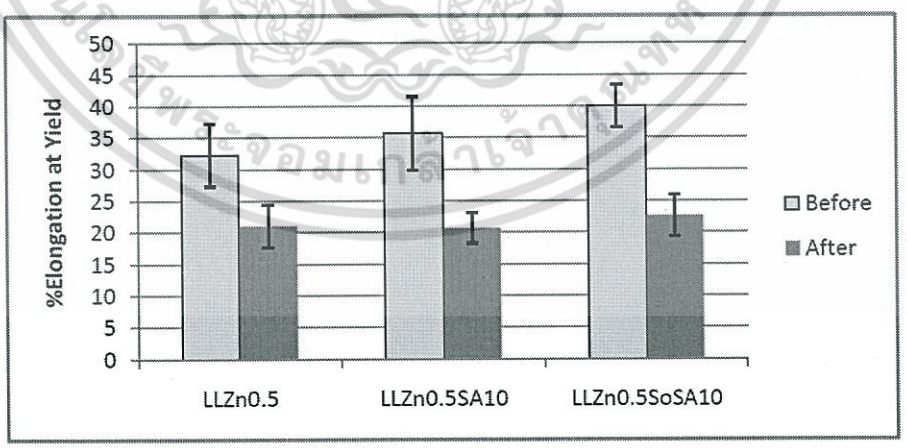
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก

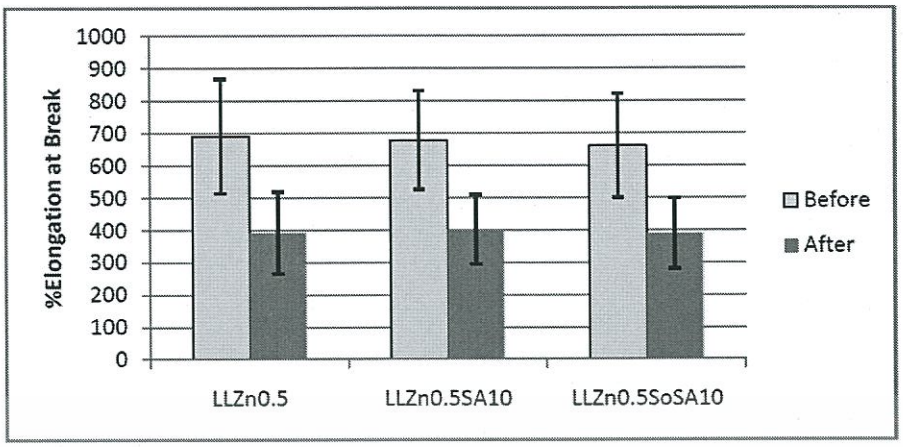


(b) ความเค้นดึงของฟิล์ม ณ จุดขาด

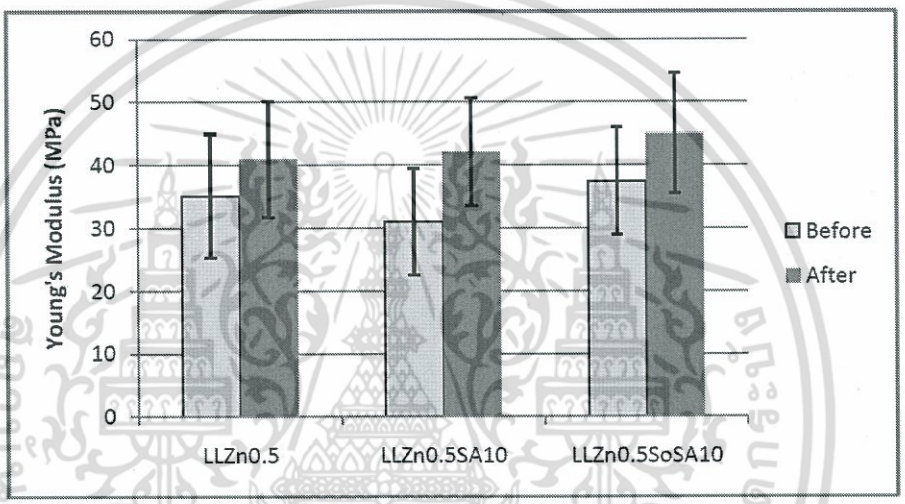


(c) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



(e) มอดุลัสของยัง

ภาพที่ 4.11 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO 0.5 phr ทั้งก่อนและหลังฉายรังสีUVA 200 ชั่วโมง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่มีวิธีการผสมกรดสเตียริกทั้งสองวิธีที่ก่อนฉายรังสียูวี แสดงได้ดังภาพที่ 4.11 พบว่าทุกสมบัติของฟิล์มที่นำเสนอของฟิล์มก่อนฉายมีค่าเท่าๆกัน ขณะที่กระบวนการผสมกรดสเตียริกแตกต่างกัน แสดงว่ากระบวนการผสมกรดสเตียริกทั้งการผสมแบบแห้งและการผสมแบบโซนิเคชันไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE เนื่องจาก ZnO 0.5 phr ที่ไม่มีการผสมกรดสเตียริก มีการกระจายตัวที่แตกต่างจากการใส่กรดสเตียริกเพียงเล็กน้อย เพราะ ZnO อยู่ในปริมาณที่น้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างจากฟิล์มที่มีการใส่กรดสเตียริกที่กระบวนการแตกต่างกัน

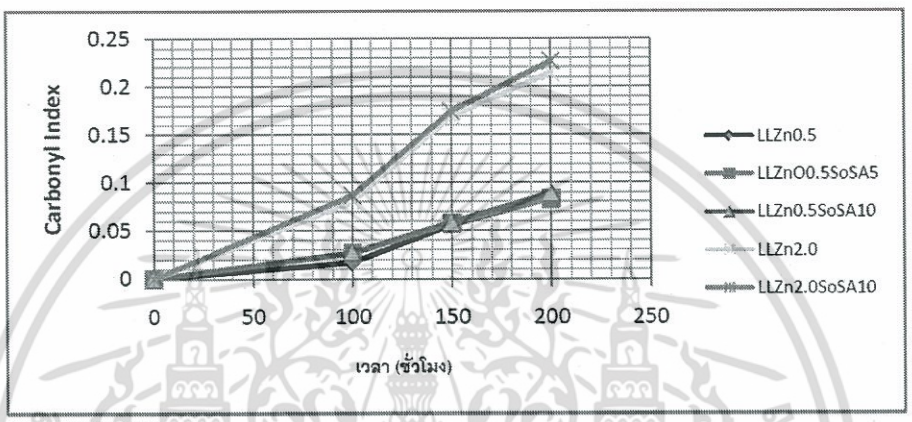
ส่วนค่ามอดุลัสที่เพิ่มขึ้นและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากและจุดขาดลดลงหลังผ่านการฉายรังสี UVA เป็นเวลา 200 ชั่วโมง เนื่องจาก ZnO จะถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานแสง ส่งผลให้ฟิล์มเกิดการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

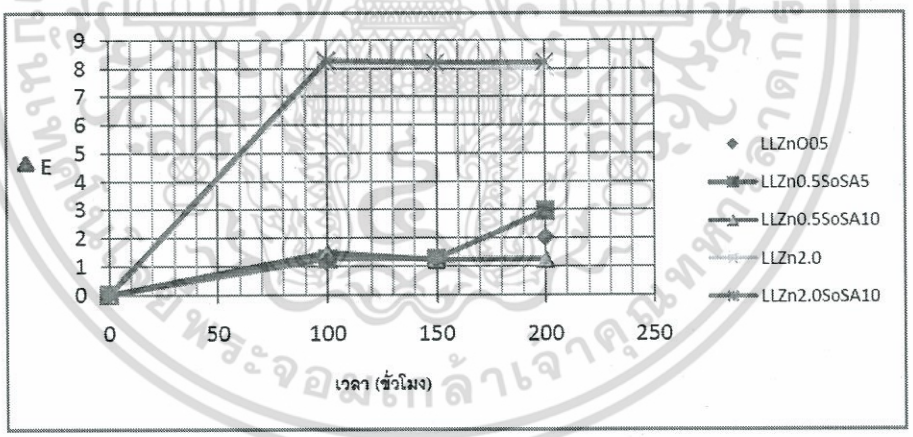
4.3.2 ผลของปริมาณของสารช่วยกระจายตัว

4.3.2.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม (ΔE)

การศึกษาการสลายตัวของฟิล์มที่ใส่ ZnO ในปริมาณเท่ากับ 0.5 และ 2.0 phr โดยเปรียบเทียบปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 5 และ 10%โดยน้ำหนักของ ZnO สำหรับสูตรที่มีปริมาณ ZnO 0.5 phr และที่ปริมาณ 0 และ 10%โดยน้ำหนัก สำหรับสูตรที่มีปริมาณ ZnO 2.0 phr โดยค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม (ΔE) แสดงผลดังภาพที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาในการฉายรังสียูวีของฟิล์ม



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่มีปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0.5 และ 2.0 phr

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 พิจารณาฟิล์มที่ใส่ ZnO 0.5 phr พบว่าค่าดัชนีคาร์บอนิลและค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่วัดได้ของสูตรที่มีปริมาณการผสมกรดสเตียริก 10 %โดยน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกับที่ 0 และ 5 %โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับในฟิล์มที่มีปริมาณ ZnO 2 phr แสดงว่าปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการย่อยสลายของฟิล์ม LLDPE เนื่องจากการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์ม LLDPE ไม่แตกต่างกันมาก เมื่อปริมาณสารช่วยกระจายตัวแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

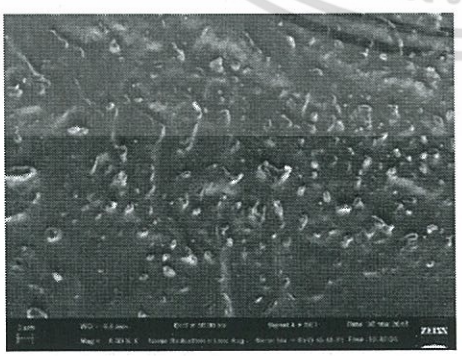
4.3.2.2 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของ LLDPE ที่ผสม ZnO ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์ม LLDPE ที่มีปริมาณการผสมกรดสเตียริกที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์จากภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.14 ปริมาณของกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้นช่วยให้การกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์ม LLDPE ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อปริมาณ ZnO เท่ากับ 2 phr เนื่องจาก ZnO มีความเป็นขั้ว แต่พอลิเมอร์ไม่มีขั้ว จึงไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ZnO จะเกิดการจับตัวเกาะเป็นกลุ่มขึ้นโดยเฉพาะเมื่อปริมาณ ZnO ที่สูงขึ้น เมื่อใส่กรดสเตียริกไปเคลือบที่ผิวของ ZnO ทำให้สามารถกระจายตัวได้ดีขึ้น

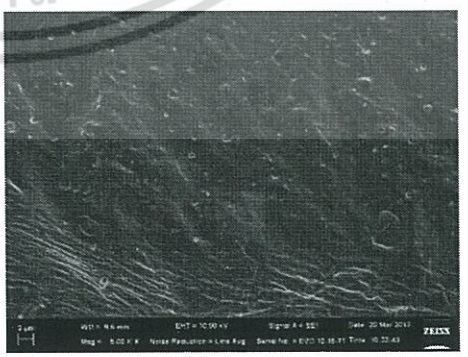
(a) LLZn0.5

(b) LLZn0.5SA5

(c) LLZn0.5SoSA10



(d) LLZn2.0



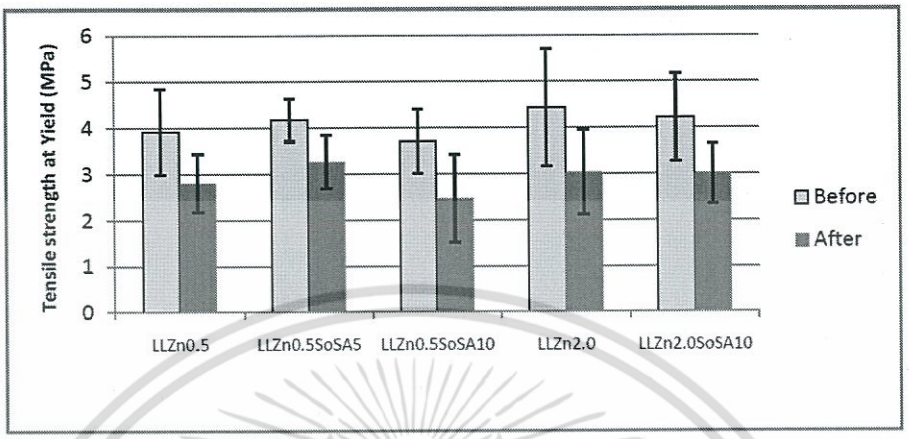
(e) LLZn2.0SoSA10

ภาพที่ 4.14 ภาพตัดขวางของฟิล์ม LLDPE แสดงการกระจายตัวของ ZnO ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกัน

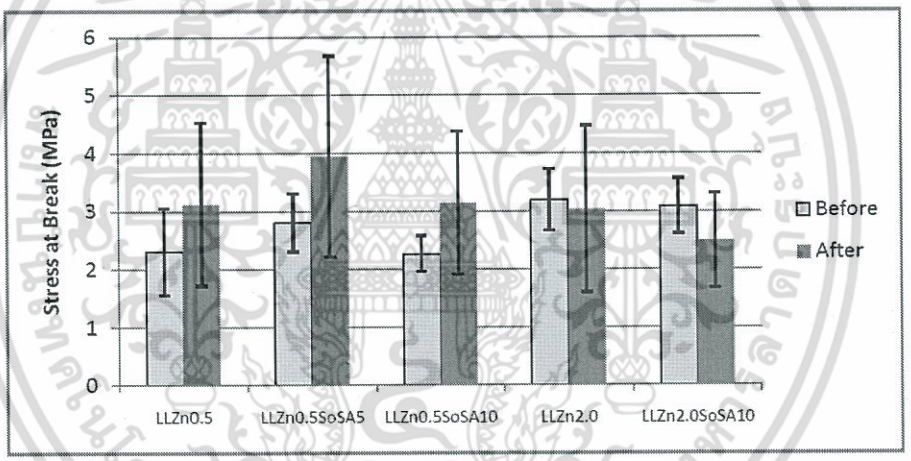
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 สมบัติเชิงกล

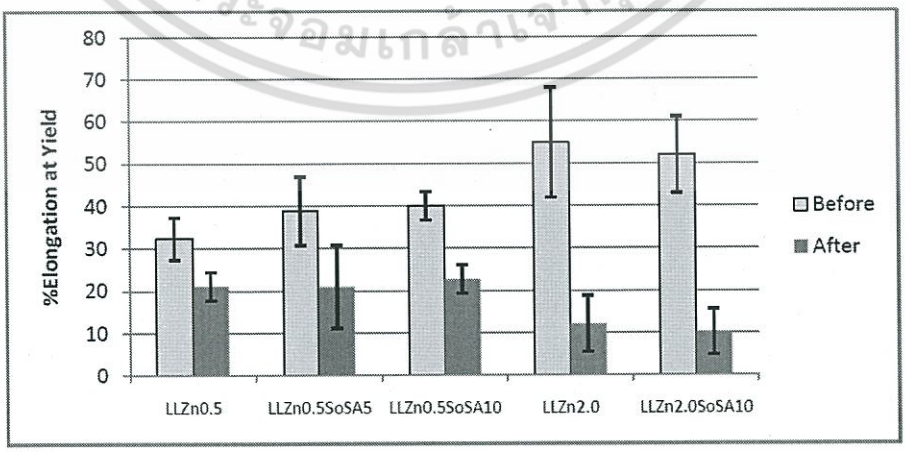
การทดสอบเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่ผสม ZnO ปริมาณ 0.5 และ 2.0 phr ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังฉายรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 4.15



(a) ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก

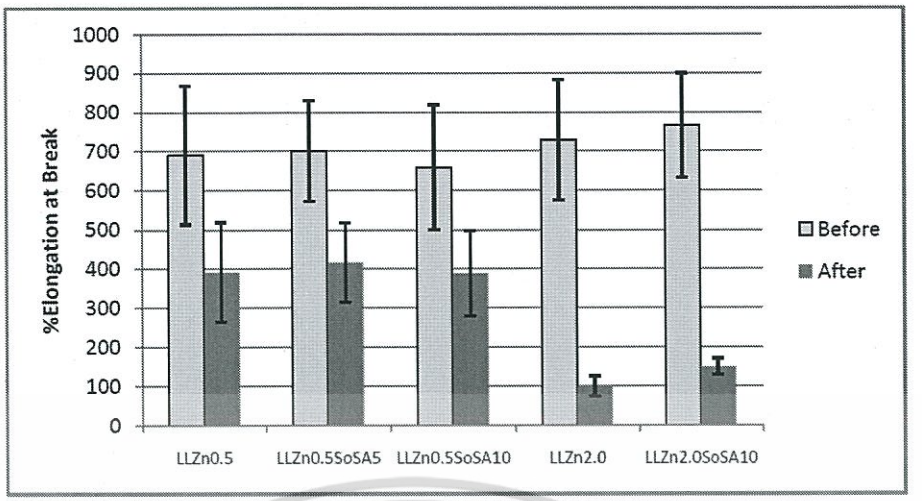


(b) ความเค้นดึง ณ จุดขาด

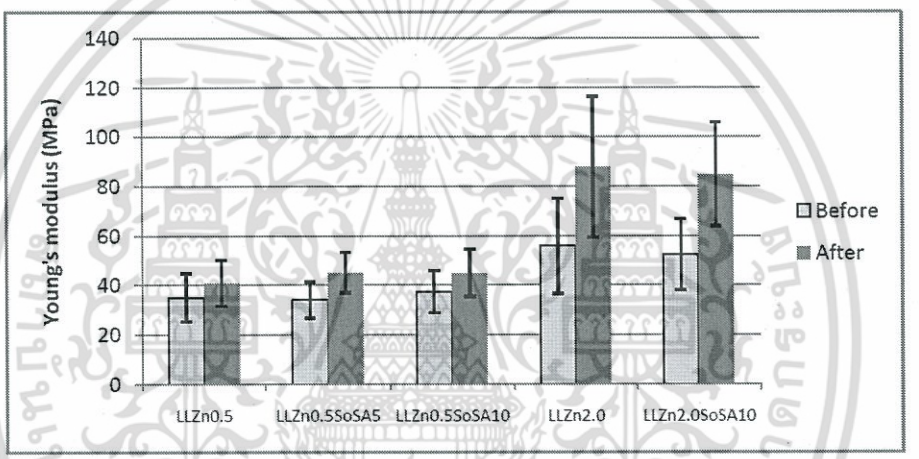


(c) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด



(e) มอดุลัสของยัง

ภาพที่ 4.15 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่ปริมาณ ZnO 0.5 และ 2 phr ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังฉายรังสี UVA 200 ชั่วโมง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่มีปริมาณ ZnO ที่ 0.5 และ 2.0 phr ที่มีปริมาณกรดสเตียริกที่แตกต่างกันทั้งก่อนฉายรังสี UVA แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 พบว่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสของฟิล์มที่มีปริมาณ ZnO 0.5 phr ที่มีปริมาณการผสมกรดสเตียริกที่เป็นสารช่วยกระจายตัวแตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าปริมาณสารช่วยกระจายตัวไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เช่นเดียวกันกับที่ปริมาณ ZnO 2 phr

ผลการศึกษาผลของสารช่วยกระจายตัวพบว่า จากค่าดัชนีคาร์บอนิล, ค่าการเปลี่ยนแปลงสีและการกระจายตัว ในกระบวนการผสมแบบโซนิเคชันและปริมาณกรดสเตียริก 10% โดยน้ำหนัก มีค่าสูงกว่าสูตรที่มีการผสมแบบแห้งและสูตรที่มีกรดสเตียริก 0 กับ 5% โดยน้ำหนัก เนื่องจากกรดสเตียริกจะเคลือบอยู่ที่ผิวของ ZnO ช่วยให้ ZnO การกระจายตัวในฟิล์มดีขึ้น ส่งผลให้การย่อยสลายในฟิล์มดีขึ้นด้วย และสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE มีค่าใกล้เคียงกันของฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่มีกระบวนการผสมและปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกรดสเตียริกที่แตกต่างกัน แสดงว่ากระบวนการผสมและปริมาณของสารช่วยกระจายตัวไม่ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มพลาสติกย่อยสลายโดยแสงจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่ผสมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ในปริมาณ 0-2 phr แล้วนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม

จากการทดลองสามารถเตรียมฟิล์ม LLDPE/ZnO ที่มีปริมาณ 0-2 phr ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มแบบเป่า ผ่านสูตรผสมชนิดเข้มข้น ที่ผสมโดยเครื่องผสมระบบปิด ทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่พบมีค่า 0.76 นาโนเมตร จากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในฟิล์มและสูตรผสมชนิดเข้มข้นด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่พบจริงมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณในสูตร

การศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มดูจาก ค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม (ΔE) พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO และจำนวนเวลาที่ใช้ในการฉายแสงเพิ่มขึ้นพบว่าค่าทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มตัวอย่าง เกิดการดูดซับพลังงาน และได้รับพลังงานจากแสงมากขึ้น ซึ่งทั้งสองปัจจัยส่งผล ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเพิ่มมาก สามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล และทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการย่อยสลายต่อไป

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสของยังมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเติมอนุภาคของแข็งในพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์มีความสามารถในการรับแรงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าการดึงยืด ณ จุดขาด ที่มีค่าลดลงเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้น

การทดสอบการกระจายตัวของ ZnO ในฟิล์ม LLDPE ด้วยเทคนิค SEM พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นจะเกิดการเกาะกลุ่มกันของ ZnO ขึ้น เนื่องจาก ZnO เป็นอนุภาคขนาดนาโนที่มีขั้ว แต่ LLDPE ไม่มีขั้ว จึงไม่ผสมรวมเป็นวัฏภาคเดียวกัน เมื่อผสมกรดสเตียริกด้วยวิธีโซนิเคชันจะทำให้ ZnO ถูกเคลือบด้วยกรดสเตียริกทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้นในฟิล์ม LLDPE

เมื่อพิจารณาฟิล์มที่ผ่านการฉายแสง UVA เป็นเวลา 200 ชั่วโมงพบว่าค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากเมื่อ ZnO ได้รับพลังงานแสงจะเกิดอิเล็กตรอนและโฮลทำให้ได้หมู่ที่ว่องไวไปเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ส่งผลให้พอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslink) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความแข็งแรงดึงหลังผ่านการฉายแสงมีค่าลดลง เนื่องจากอาจเกิดการตัดขาดของสายโซ่ (Chain scission) ในบางส่วน

ในกรณีที่มีการผสมสารช่วยกระจายตัวคือกรดสเตียริก ด้วยปริมาณและวิธีการผสมที่แตกต่างกันคือ การผสมแบบแห้งและการผสมแบบโซนิเคชัน จากค่าดัชนีคาร์บอนิล และค่าการเปลี่ยนแปลงสี พบว่าการผสมแบบโซนิเคชันและปริมาณกรดสเตียริกที่มากขึ้นไม่มีผลต่อการย่อยสลายของฟิล์ม เช่นเดียวกับสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มที่มีการใส่กรดสเตียริกในปริมาณและกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำ ZnO ไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีการใช้ในปัจจุบัน เช่น พอลิโอเลฟิน เป็นต้น เพื่อศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

2. ควรให้มีการเติมสารช่วยกระจายตัวชนิดอื่นๆ ช่วยในการกระจายตัวของ ZnO เพื่อหาสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสมที่ทำให้ ZnO มีการกระจายตัวที่ดีขึ้น

3. ควรพัฒนา ZnO โดยการเจือด้วยโลหะชนิดอื่น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทำให้การสลายตัวของฟิล์มเกิดได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่6
ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดการนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ในงานวันวิทยาศาสตร์ระหว่างวันที่ 24-25 สิงหาคม 2558 ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ “เคมีพอลิเมอร์”ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.

[2] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. “พลาสติกย่อยสลายได้: เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” [Online]. Available : http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable plastic/ typedeplas.html, 2555.

[3] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ “กระบวนการ Photocatalytic” [Online]. Available:http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:HnEaBULiDuIJ:www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/4, 2555.

[4] V. Gordienko and Y. Dmitriev, Polymer Degradation and Stability (53) 78-87, 1996.

[5] X. Zhao, Z. Li, Y. Chen, L. Shi and Y. Zhu “Solid-phase photocatalytic degradation of polyethylene plastic under UV and solar light irradiation” Molecular Catalysis A (268) 101-106, 2007.

[6] วัชรี อธิปัญญาสฤษดิ์, วัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจและ วิศณีย์ ตั้งยืนยง “การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้ประโยชน์คอมพอสิต” โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

[7] F.W.Billmeyer “Textbook of Polymer Science.” New York : John Wiley&Sons. 1984.

[8] แม้น อมรสิทธิ์ และสมชัย อัครวิทยา. “วัสดุวิศวกรรม” กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นต์เตอร์, 2545.

[9] วนิดา แซ่ลิ้มและ สุภาพร ประเสริฐสิริเจริญ. “สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และการซึมผ่านของไอน้ำของพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ” โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

[10] วัชรศักดิ์ โภภากรณ์. วิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ “กระบวนการ photocatalytic” [Online]. Available :sichon.wu.ac.th/file/envi-shh-20090110-112240-pwrqR.pdf, 2555.

[11] สำนักพิมพ์แม็ค “การถ่ายโอนพลังงานความร้อน” [Online]. Available :http://www.maceducation.com/e-knowledge/2412212100/18.htm, 2555.

[12] G. Leea, T. Kawazoeb and M. Ohtsub, “Room temperature near – field photoluminescence of zinc – blend and wurtzite ZnO structures,” Applied Surface Science (239) 394-397, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] C. Hwang and T.Wu, "Synthesis and characterization of nanocrystalline ZnO powders by a novel combustion synthesis method" Materials Science and Engineering B (111) 197–206, 2007.

[14] Q.Xu, X. Zhang, W. Fan and S. Li and J. Xia, "Electronic structures of wurtzite ZnO, Beo, MgO and p-type doping in Znl_xYxO (Y = Mg , Be)," Computtional Materials Science (44) 72-78, 2008.

[15] MatWeb "Material Property Data".[Online]. Available :http://www.matweb.com, 2555.

[16] E.R. Riegeland "Handbook of Industrial Chemistry" 9th ed. New York: VNR.C, 1992.

[17] R. Yang, P.A. Christensen, T.A. Egerton and J.R. White "Degradation products formed during UV exposure of polyethylene-ZnO nano-composites" Polymer Degradation and Stability (95) 1533-1541, 2010.

[18] A. Shafaei, M. Nikazar and M. Arami "Photocatalytic degradation of terephthalic acid using titania and zinc oxide photocatalysts: Comparative study" Desalination (252), 8-10, 2010.

[19] X. Zhao, Zongwei Li, Y. Chen, L. Shi and Y. Zhu "Enhancement of photocatalytic degradation of polyethylene plastic with CuPc modified TiO_2 photocatalyst under solar light irradiation" Applied Surface Science (254) 1825–1829, 2008.

[20] กิจสิมา คมขำและชะไมพร อ้วนโคตร "ฟิล์มย่อยสลายโดยแสงจาก LDPE/ZnO" โครงการโครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.

[21] C. Chen, Z. Wang, S. Ruan, Bo Zou, M. Zhao and F. Wu "Photocatalytic degradation of C.I. Acid Orange 52 in the presence of Zn-doped TiO2 prepared by a stearic acid gel method" Dyes and Pigments (77) 204–209, 2008.

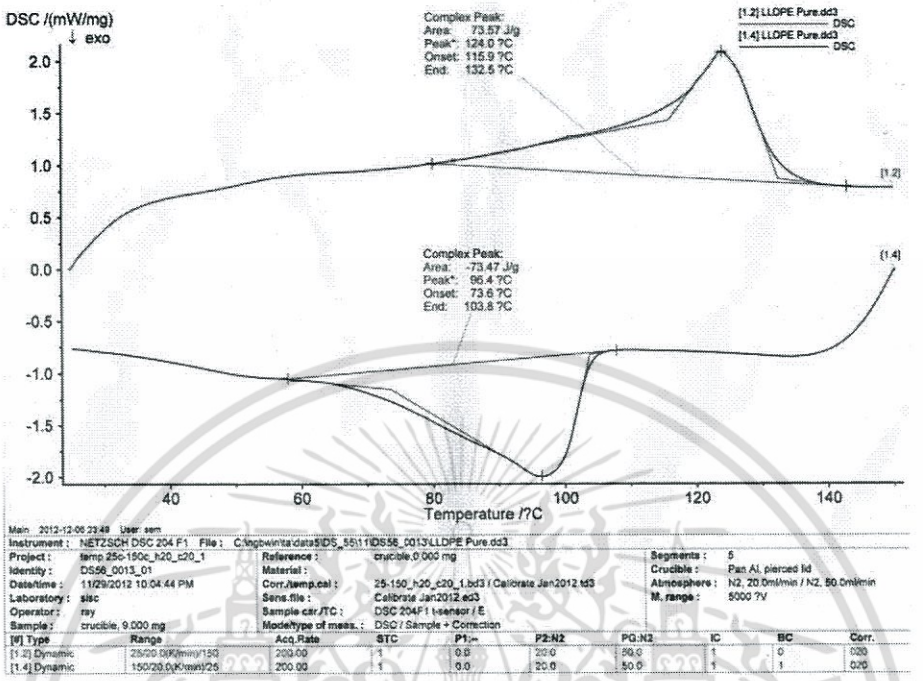
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

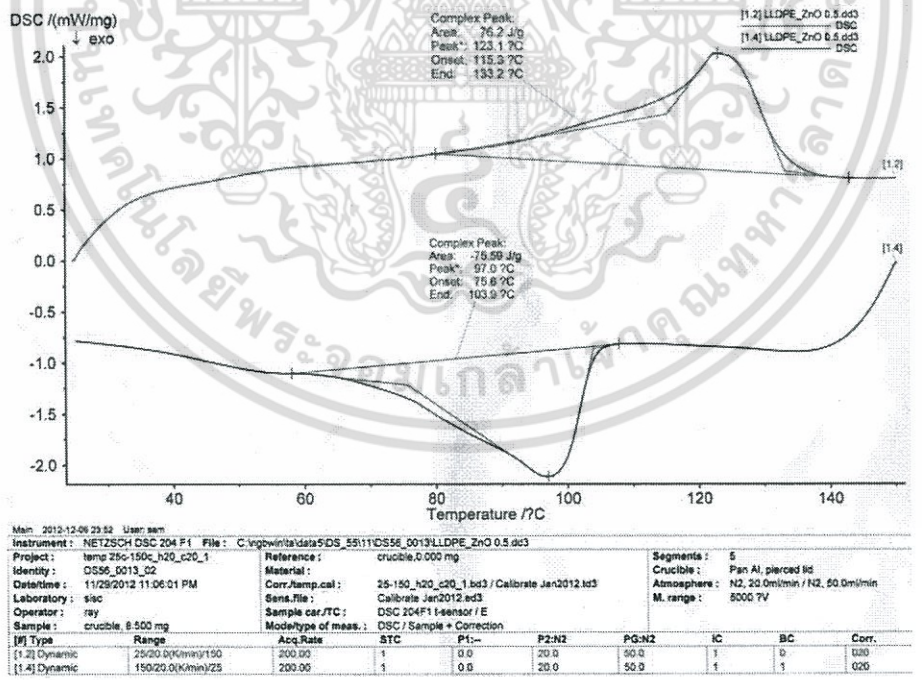
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

DSC เทอร์โมแกรม

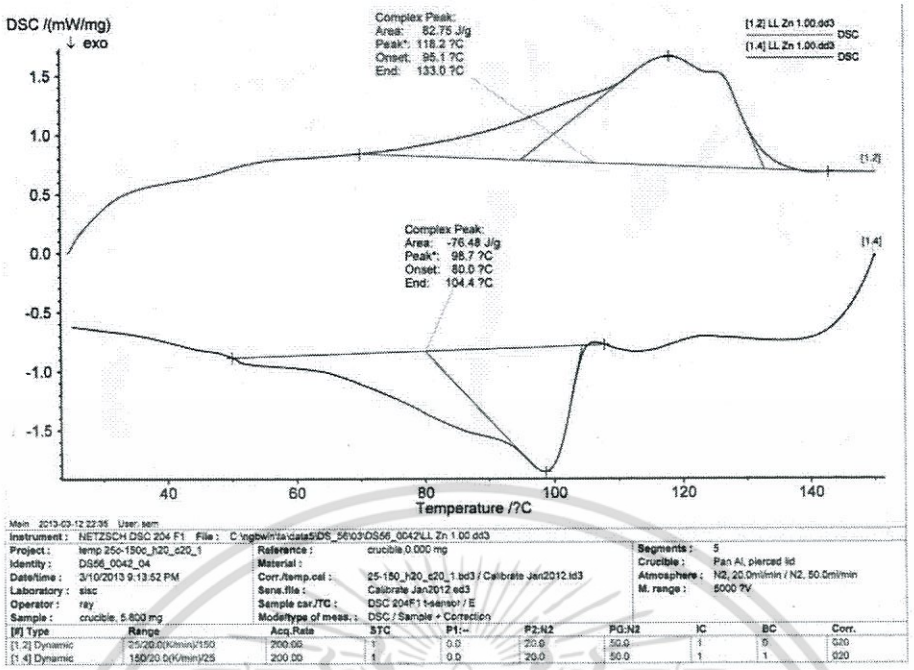


ภาพที่ ก-1 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLDPE

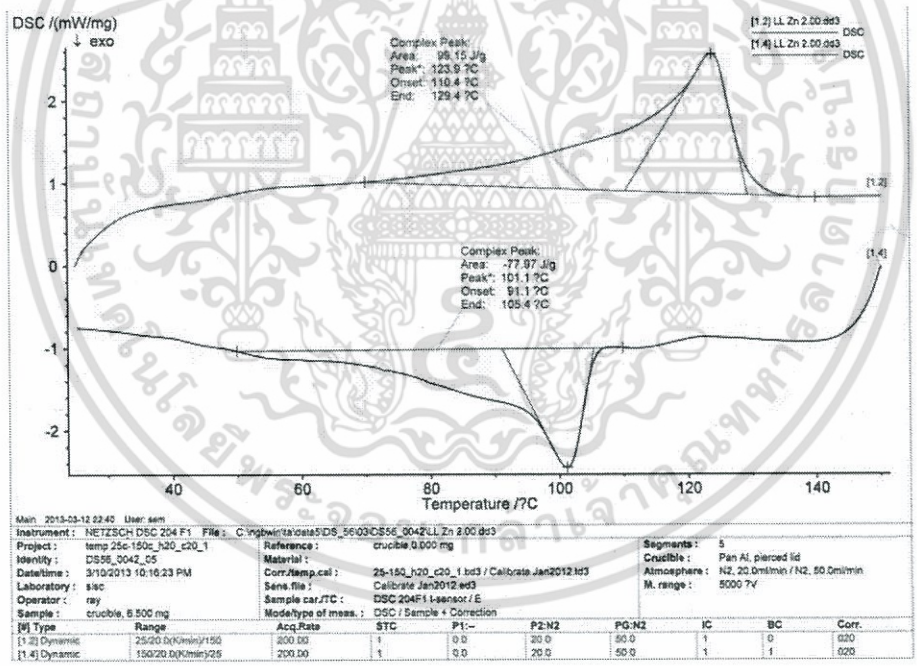


ภาพที่ ก-2 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLZn0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

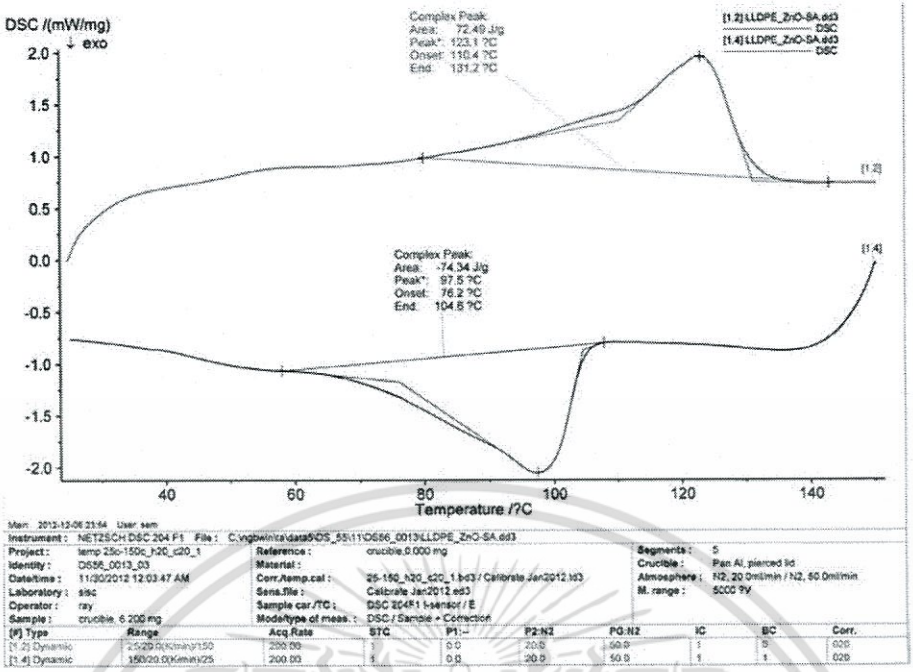


ภาพที่ ก-3 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLZn1.0

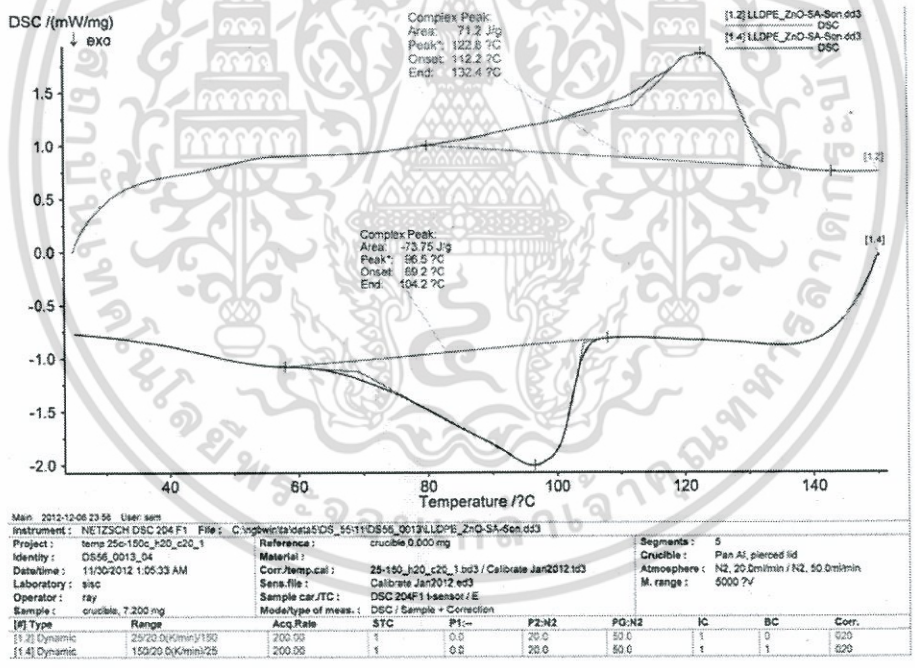


ภาพที่ ก-4 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLZn2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก-5 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLZn0.5SA10



ภาพที่ ก-6 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม LLZn0.5SoSA10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) ของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO แตกต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)				
	LLDPE	LLZn0.25	LLZn0.5	LLZn1.0	LLZn2.0
0	0	0	0	0	0
100	0	0.0010	0.0168	0.0646	0.0802
150	0.0116	0.0450	0.0561	0.2095	0.1692
200	0.0196	0.0489	0.0837	0.2106	0.2145

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) ของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO 0.5 phr และมีการผสมกรดสเตียริกที่ปริมาณและกระบวนการผสมที่แตกต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)			
	LLZn0.5SA10	LLZnO0.5SoSA5	LLZn0.5SoSA10	LLZn2.0SoSA10
0	0	0	0	0
100	0.0216	0.0265	0.0271	0.0867
150	0.0573	0.0577	0.0588	0.1743
200	0.0774	0.083	0.0893	0.2264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE)

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO แตกต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี				
	LLDPE	LLZn0.25	LLZn0.5	LLZn1.0	LLZn2.0
0	0	0	0	0	0
100	1.013	1.135	1.159	7.381	8.123
150	1.165	1.238	1.239	7.649	8.109
200	1.201	2.253	2.011	7.844	8.015

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO 0.5 phr และมีการผสมกรดสเตียริกที่ปริมาณและกระบวนการผสมที่แต่งต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี			
	LLZn0.5SA10	LLZnO0.5SoSA5	LLZn0.5SoSA10	LLZn2.0SoSA10
0	0	0	0	0
100	1.193	1.489	1.489	8.274
150	1.212	1.280	1.228	8.200
200	1.973	2.258	1.258	8.206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกล

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบค่าสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO แตกต่างกัน

ตัวอย่างฟิล์ม	Tensile strength at yield (MPa)	Stress at Break (MPa)	Elongation at yield (%)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)
ก่อนฉาย					
LLDPE	3.8±0.8	3.0±0.5	30±2	637±124	22±8
LLZn0.25	3.8±0.3	2.1±0.2	32±5	668±164	29±11
LLZn0.5	3.9±0.9	2.3±0.8	32±5	690±177	35±10
LLZn1.0	3.9±0.6	2.4±0.2	54±8	705±146	41±14
LLZn2.0	4.4±1.2	3.2±0.5	54±13	729±154	56±19
หลังฉาย					
LLDPE	2.7±0.7	5.8±2.1	30±2	601±103	25±9
LLZn0.25	2.8±1.0	3.3±1.3	30±4	532±119	39±12
LLZn0.5	2.8±0.6	3.1±1.4	21±3	391±127	42±9
LLZn1.0	2.8±1.0	2.4±1.6	14±8	171±43	127±27
LLZn2.0	3.0±0.9	3.0±1.4	12±7	101±26	88±29

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE ที่ปริมาณ ZnO 0.5 phr และมีการผสมกรดสเตียริกที่ปริมาณและกระบวนการผสมที่แต่งต่างกัน

ตัวอย่างฟิล์ม	Tensile strength at yield (MPa)	Stress at Break (MPa)	Elongation at yield (%)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)
ก่อนฉาย					
LLZn0.5SA10	3.7±1.1	2.5±0.3	32±5	677±152	31±9
LLZn0.5SoSA5	4.2±0.5	2.8±0.5	389±8	701±129	34±7
LLZn0.5SoSA10	3.7±0.7	2.3±0.3	40±3	659±160	37±9
LLZn2.0SoSA10	4.2±0.9	3.1±0.5	52±9	766±134	52±15
หลังฉาย					
LLZn0.5SA10	2.9±0.8	2.2±1.3	21±3	403±107	42±9
LLZn0.5SoSA5	3.3±0.6	3.9±1.7	21±10	416±101	45±8
LLZn0.5SoSA10	2.5±0.9	3.1±1.2	23±3	389±109	45±9
LLZn2.0SoSA10	3.0±0.6	2.5±0.7	10±5	150±21	85±21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร: ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	36,000.00	30,445.00	5,555.00
ค่าวัสดุ	14,000.00	19,555.00	(-5,555.00)
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	50,000.00	50,000.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ. เคมี	**เคมี**	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2535
M.Sc.	Polymer science and Technology	UMIST, U.K	2538
Ph.D.	Polymer science and Technology	UMIST, U.K	2542

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) Packaging films and photo degradable films

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปีพ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2549	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
2551	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ
2551	ทุนฝึกอบรม	รัฐบาลญี่ปุ่นหลักสูตร Technical Support for SME Promotion (Plastics Technology)
2553	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
2554	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทไออาร์พีซีจำกัด (มหาชน)
2555	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2557	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2558	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Warintorn Booncharoen, Phatchareeya Raksa, Chonlada Ritvirulh and Tawan Sooknoi, Hydrophobic Zeolite-Filled Polymeric Films with High Ethylene Permselectivity for Fresh Produce Packaging Applications, *Packag. Technol. Sci.,* Volume 27, Issue 10 (2014) 763-773. (Impact factor 2014: 1.584)
2. P. Monprasit, C. Ritvirulh, T. Sooknoi, S. Rukchonlatee, A. Fuongfuchart and D. Sirikittikul, Selective ethylene permeable zeolite composite double-layered film for novel modified atmosphere packaging, *Polym. Eng. Sci.*, Volume 51, Issue 7 (2011) 1264-1272. (Impact factor 2009: 1.248)
3. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ณัฐวุฒิ กวีวิวิธชัย ณรงค์เดช สุวรรณดาลัด และ ตะวัน สุขน้อย. 2548. การสลายตัวของพอลิไอโซพรีนโดยใช้ของแข็งเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี.12(1) : 69-80.
4. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ วิไลรัตน์ เมืองแก้ว สุมาลี ขอมอินทร์ และ ตะวัน สุขน้อย . 2547. การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของยางไอโซพรีนด้วยพาราโทลูอีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์. วารสารวิทยาศาสตร์มข.32(3) : 158-167.
5. ชลลดาฤตวิรุฬห์. 2543. พอลิเมอร์ผสม. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 10(1) : 14-19.

การเสนอผลงานวิชาการ

1. ThanapornSahassanon, SuparatRukchonlatee, Tawan Sooknoi and ChonladaRitvirulh, Improvement of ethylene permeation in LLDPE/SEBS film with zeolite Y, *The proceedings Pure and Applied Chemistry International Conference 2015* (PACCON 2015), January 21-23, Bangkok, Thailand, 432-435, 2015.
2. C. Ritvirulh, S. Rattanapaiboongij, T. Sooknoi and S. Ruckchonlatee, Initial delay in photodegradation of Zn doped TiO_2/LDPE films, ACS 247 th National meeting, March 16-20, Dallas, USA, 2014.
3. R. Wiwattananukul, T. Sooknoi, S. Ruckchonlatee and C. Ritvirulh, Improved the ethylene transmission rate of LLDPE/SEBS blend film, *The proceedings Pure and Applied Chemistry International Conference 2013* (PACCON 2013), January 23-25, Bangsaen, Thailand, 1033, 2013
4. สมยศ รัตนไพบูลย์กิจ, ตะวัน สุขน้อย, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธี "ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง" การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 4, 12-15 มีนาคม พิษณุโลก, 2555 หน้า 153-158.
5. ขวัญใจ พูลสวัสดิ์, อิทธิพล แจ้งชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และปราณี ภิญโญชีพ, อิทธิพลของความหนืดที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ, เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1-4 กุมภาพันธ์, กรุงเทพมหานคร, 2554 หน้า 265-272.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. S. Laowakul, C. Ritvirulh, T. Sooknoi, S. Rukchonlatee, A. Fuongfuchart and D. Sirikittikul, Ethylene transmission rate through zeolite modified double-layered films for Packaging of fresh produce, *The7th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, September 30- October 1, Kanazawa, Japan, 45, 2010.
7. P. Monprasit, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, T. Sooknoi and A. Fuongfuchart, Tensile Properties of the Zeolite Composite Double-Layered Film, *The 6th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 156, 2009.
8. S. Laowakul, T. Sooknoi, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, and A. Fuongfuchart, Study on Tensile Properties of SEBS/LDPE and SEBS/OPP double-layer films for Packaging Application, *The 6th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 163, 2009.
9. P. Monprasit, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, Sooknoi, T. and A. Fuongfuchart, Study on Ethylene Gas Permeability of Double-layer Composite Film, *Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)*, January 14-16, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand, 82, 2009.
10. A. Fuoungfuchat, W. Booncharcon, S. Apisittinet, D. Sirikittikul, C. Ritvirulh, and T. Sooknoi, Highly ethylene permeable film : development and application inpackaging, *Proceeding of the 16th IAPRI World Conference of Packaging*, Bangkok, June 8 - 12, 2008.
11. W. Booncharcon, S. Apisittinet, D. Sirikittikul, S. Loykulnant, A. Fuougfuchat, C. Ritvirulh, and T. Sooknoi, "Structure and Gas Selectivity of PE/Zeolite Composite Film", Proceeding of The 2nd International Conference on Advanced in Petrochemicals and Polymers, Bangkok, 25 – 28 June, 2007.
12. S. Apisittinet, T. Sooknoi, C. Ritvirulh, D. Sirrikitikul, S. Loykulnant, A. Fuongfuchat and W. Booncharcon, Ethylene permeation of silicalite I composite film, NSTDA Annaul Conference 2007, Pathumthanee, 28-30 March 2007.
13. A. Fuongfuchat, C. Ritvirulh, S. Loykulnant, T. Sooknoi, An Investigation of the Effect of Zeolite Structure on Adsorption of Gases in Postharvest Environment, Proceedings of the 3rd Thailand Materials Science and Technology Conference, 444-446, 10-11 August 2004, Bangkok, Thailand.
14. C. Ritvirulh, P. Liawsomboon and S. Woramongkolchai, Compatibilisation effect of SBS on Recycling PS/NR Blends, PPC 8, 2003, Thailand.
15. C. Ritvirulh, A.J. Ryan and A.N. Wilkinson, Copolymers as compatibilisers in LDPE/PS Blends,PPS Symposium, 1999, Thailand.
16. ระพี เจิมสูงเนิน ปุณณมา ศิริพันธ์โนน ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ สุภารัตน์ รักชลธี, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิ(สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน) กับมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิคการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หล่อแบบสารละลาย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 (TIChE 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.

17. อภิชญา เจียนประเสริฐ ปุณณมา ศิริพันธ์โนน สุภารัตน์ รักชลธี และ ชลลดา ฤตวิรุฬห์, ผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของวัสดุประกอบนาโน LDPE/MMT, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 (TIChE 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.
18. อมรรัตน์ สวัสดิมงคล ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ ปุณณมา ศิริพันธ์โนน และ ชลลดา ฤตวิรุฬห์, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์ร่วมพอลิเมทิลเมทาคริเลตพอลิอะคริลิกแอซิดกับไคโตซานมอนต์มอริล-โลไนต์ด้วยวิธีพอลิเมอไรซ์ขณะขึ้นรูป, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่17 (TIChE 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

1. New Zealand Patent no. 606351
   Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom, 30th September 2014

2. United States Patent no. 8697777B2
   Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom, 15th April 2014

3. European Patent no. 11760880.2-1302
   Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom, 8th March 2013

4. PCT Patent no. WO 2012/026893 A1
   Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom, 1st March 2012

5. เลขที่คำขอ 1001001199 มาสเตอร์แบทช์สำหรับเตรียมฟิล์มพลาสติกที่มีค่าอัตราการซึมผ่านและค่า การเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนสูงและฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจากมาสเตอร์แบทช์ดังกล่าว, 4 สิงหาคม 2553

6. เลขที่คำขอ 0801001835 ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงเพื่อชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด, 11 เมษายน 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้