

ผลของสารเบนโซฟีโนนที่มีต่อการสลายตัวทางแสงของฟิล์มระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และแป้งมันสำปะหลัง

Effect of Benzophenone for Photodegradable Film between LDPE and Cassava Starch

อึ้งฉพ รุกรัตน์ (Aunnop Rukrat) *

สมศักดิ์ วรมงคลชัย (Somsak Woramongconchai) **

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารเบนโซฟีโนนที่มีต่อการสลายตัวทางแสงของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ภาวะในการศึกษาได้แก่ ปริมาณเบนโซฟีโนนที่มีต่อฟิล์มเป่า LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ได้จากฉายแสงยูวีเป็นเวลา 1 เดือน จากการทดลองพบว่า สารเบนโซฟีโนนและแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงแต่ทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น ภายหลังจากฉายแสงยูวีมีผลทำให้สมบัติเชิงกล อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิก่อผลึกลดลง เนื่องจากการเกิดอนุมูลอิสระภายในโมเลกุล ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีจนเกิดการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น โดยวัดจากปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เพิ่มขึ้น เมื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์เนื่องจากการย่อยสลายโดยแสงยูวีเป็นตัวริเริ่ม

ABSTRACT

This research is studied the effects of benzophenone on photodegradability film from low-density polyethylene (LDPE) and cassava starch by using glycerol as a plasticizer. The amount of benzophenone effects on UV radiation of LDPE and Cassava starch blending film was studied. It was found that tensile strength was decreased as modulus was increased. After UV radiation, mechanical properties, melt temperature and crystal nucleation temperature were decreased because free radical formation in molecule causes chemical reaction leading to break polymer chain and proceed more oxidation reaction which is observed from increasing carbonyl group. The morphology evidences is revealed that polymer structural was changed from UV initiator by degradation results.

คำสำคัญ : เบนโซฟีโนน แป้งมันสำปะหลัง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

Key Words : Benzophenone , Cassava starch, LDPE

* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

ปัจจุบันวัสดุที่อำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์ในเรื่องรูปแบบของผลิตภัณฑ์ การตอบสนองด้านการใช้งาน ความคงทนถาวร ตลอดจนราคาที่เหมาะสม เกือบทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มาจากกระบวนการปิโตรเคมี ถึงแม้ว่าจะมีจุดเด่น และให้ความพึงพอใจแก่มวลมนุษย์ได้เท่าไรก็ตาม แต่ปัญหาด้านการย่อยสลาย และตกค้างอยู่ในธรรมชาติ หรือการกำจัดด้วยการเผาไหม้อันก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก โลกร้อนขึ้น ล้วนแต่เป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญ และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันแล้วว่าต้องหาวิธีการแก้ไข โดยเร่งด่วน พบว่าปัญหาของพลาสติกที่เกิดขึ้นหลังจากใช้งานแล้ว ได้แก่

1. ปัญหาการตกค้างของมูลฝอยพลาสติกในสิ่งแวดล้อม จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น เกิดพลาสติกที่ตกค้างตามผิวดิน และแหล่งน้ำ เมื่อตกค้างอยู่ในทะเลจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

2. ปัญหาการไม่ย่อยสลายของมูลฝอยพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นสารที่สลายตัวได้ยากไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางเคมี เช่น การละลายน้ำ อิทธิพลทางความร้อน แสง และสารเคมี หรือ กระบวนการทางกายภาพ เช่น การสึกกร่อนโดยลม และกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายของจุลินทรีย์ หรือเชื้อรา (Jakubowicz, 2006)

3. ปัญหาต่อระบบการกำจัดพลาสติก วิธีการฝังกลบมีปัญหาเนื่องจากความต้องการใช้ที่ดินเป็นจำนวนมาก และพลาสติกเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยากเมื่อฝังกลบลงใต้ดิน จึงต้องหาพื้นที่แห่งใหม่อยู่บ่อยครั้ง และอาจก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างของสารเคมี หรือโลหะหนัก ในเนื้อพลาสติกสู่น้ำใต้ดินได้ การกำจัดขยะโดยวิธีการเผาในเตาเผาสามารถใช้กำจัดมูลฝอยที่มีพลาสติกปนอยู่ได้แต่ต้องออกแบบเตาเผาพิเศษมีการควบคุมก๊าซพิษ หากไม่มีการควบคุมที่ดีอาจก่อให้เกิดปัญหาเฉาที่เกิดจากการเผาและปัญหาหมอกพิษทางอากาศ

วิธีการแก้ไขขยะพลาสติกที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในปัจจุบัน การกำจัดขยะด้วยวิธีการย่อยสลายโดยพอลิเมอร์ทั้งทางแสง ความร้อน หรือ จุลินทรีย์ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดขยะพลาสติก ซึ่งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความสนใจ พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเกือบทั้งหมดเป็นพอลิเมอร์มีขั้ว มีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการย่อยโดยจุลินทรีย์ได้ แต่สำหรับพลาสติกบรรจุก๊าซทั่วไป เป็นพอลิเมอร์ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่สามารถผสมเข้ากับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (ธนาวดี, 2549) ซึ่งประเด็นสำคัญในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้คือ การลดระยะเวลาในการย่อยสลาย และปรับปรุงกระบวนการย่อยสลายให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเน้นที่ผลิตภัณฑ์ต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังนั้นจึงมีผู้สนใจนำสารเร่งการย่อยสลาย (prodegradant) เช่น เกลือของโลหะทรานซิชัน และสารประกอบอะโรมาติกอินทรีย์ เป็นต้น มาใช้เพื่อเร่งการย่อยสลายในระยะเวลาที่สั้นลง และทำให้การย่อยสลายสมบูรณ์มากขึ้น (Jakubowicz, 2003)

สารเร่งการย่อยสลายเป็นสารเติมแต่งที่ใช้ผสมกับพลาสติก เพื่อลดระยะเวลาการย่อยสลายของพลาสติก โดยสารเร่งการย่อยสลายแต่ละชนิดมีผลต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆกันไป ได้แก่ สารเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพ แสง และความร้อน จึงต้องทำการทดสอบหาผลของสารเร่งการย่อยสลายในพลาสติก ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการช่วยลดจำนวนขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในปัจจุบันนี้ (Khabbaz, 1997)

ด้วยเหตุที่กล่าวมางานวิจัยนี้จะศึกษาผลของสารเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพและทางแสง โดยศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มเป่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมกับสารเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพและทางแสง ได้แก่ แป้งและเบนโซฟีโนน ตามลำดับเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มเป่าพอลิเอทิลีนให้สามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน

ภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เช่น ดุงไถของ และฟิล์มคลุมผิวดิน เป็นต้น (Tzankova Dintcheva, 2007)

ของผสมที่ได้ผสมในเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่อีกครั้ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มเป่าออสลายได้ โดยมีแป้งและเบนโซฟีโนนเป็นส่วนประกอบ
2. เพื่อศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพและทางแสงของฟิล์มเป่าที่เติมสารเร่งการย่อยสลายได้แก่ แป้งและเบนโซฟีโนน ตามลำดับ
3. เพื่อศึกษาผลของสารเร่งการย่อยสลายทางแสงที่มีต่อสมบัติและการขึ้นรูปฟิล์มเป่าผสมแป้ง
4. เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาในการย่อยสลายของฟิล์มเป่าผสมแป้งโดยใช้สารเบนโซฟีโนนเป็นตัวเร่งการย่อยสลายทางแสง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ

สูตร	LDPE	แป้ง	Glyce rol	PE-g - MA	Benzo phenone
LDPE	100	-	-	-	-
LDPE+ 1B	100	-	-	-	1.0
LDPE+1.5B	100	-	-	-	1.5
LDPE+2B	100	-	-	-	2.0
TPS	100	30	65	5	-
TPS+1B	100	30	65	5	1.0
TPS+1.5B	100	30	65	5	1.5
TPS+2B	100	30	65	5	2.0

วิธีดำเนินงานวิจัย

การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

นำพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรดอัดรีดสำหรับเป่าฟิล์ม (LD1905FA) จาก SCG Chemical จำกัด มาผสมกับสารช่วยผสม (PE-g-MA) ผสม (Fusabond® MB 226D) เกรดการค้าจาก บริษัท Innovation Creative Polymer Ltd. ในเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (twin-screw extruder) รุ่น TL200 Intro Engineering Ltd. อุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ โซนที่ 1 (Feed Zone) โซนที่ 2 (Compression zone) โซนที่ 3 (Metering zone) จนถึงหัวคายได้แก่ 170 °C, 175 °C, 180 °C, 185 °C ตามลำดับ (Rodriguez-Gonzalez, 2002)

จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังคุณภาพสูง เกรดการค้าจากบริษัท แสงเพชร จำกัด กลีเซอรอล เกรดการค้า บริษัท Thai Pure Science Ltd. และ เบนโซฟีโนน เกรดวิเคราะห์จาก บริษัท Mayzo จำกัด ในอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 1 ในเครื่องผสมความเร็วสูง (high speed mixer): Lab Tech Engineering Co.,Ltd. รุ่น 0023 เป็นเวลา 10 นาที นำ

การขึ้นรูป

นำพอลิเมอร์ผสมมาขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกแบบเป่า (Blown Film Extrusion): Labtech Engineering Co.,Ltd รุ่น LF 400 โดยตั้งอุณหภูมิที่เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ที่อุณหภูมิหัวคาย 160 °C และความเร็วรอบของสกรูของเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่เท่ากับ 125 รอบต่อนาที อุณหภูมิบริเวณส่วนทอโค้งที่ต่อเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่กับเครื่องเป่าฟิล์ม 165 °C บริเวณส่วนทอตรงด้านล่าง 170 °C ส่วนทอตรงด้านบน 180 °C และใช้อัตราการดึงเก็บม้วนฟิล์มคือ 4.0 m/min เลือกบางส่วนของฟิล์มที่ผลิตได้ในแต่ละสูตรมาทำการศึกษาสมบัติต่างๆ

การทดสอบการย่อยสลายได้ของฟิล์ม

นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียบร้อยแล้วใส่ตู้แสงยูวี บริษัท Labtech Engineering Co.,Ltd. โดยใช้หลอดยูวี Philips TUV PL-S ขนาด 9 W ฉายแสงยูวีวันละ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 1 เดือน จากนั้นนำไปทดสอบ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความ

ร้อน ปริมาณออกซิเดชัน และสัมฐานวิทยา

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบความแข็งแรงดึง (tensile strength) และ โมดูลัส (Modulus) จำนวน 8 ชิ้นงานต่อ 1 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D882 (1992) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Test Machine): LLOYD Instrument Co., Ltd. รุ่น LLOYD LR 5 K โดยใช้สภาวะในการทดสอบได้แก่ ความเร็วของแท่นตัดขวาง (crosshead speed) 500 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างของชิ้นงาน (gauge length) 50 มิลลิเมตร น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (load cell) 250 นิวตัน

การทดสอบหาอุณหภูมิการหลอมตัวและ

เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

เตรียมสารตัวอย่างประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ที่ทราบปริมาณที่แน่นอน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบทางความร้อน Differential Scanning Calorimeter, DSC: Shimadzu Co.,Ltd รุ่น DSC-50 ตามมาตรฐาน ASTM E 794 (1994) ใช้อัตราให้ความร้อน 10 °C ต่อนาทีและอัตราการให้ความเย็น 10 °C ต่อนาที ภายใต้แก๊สไนโตรเจน

การทดสอบหาปริมาณการเกิดออกซิเดชัน

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามมาตรฐาน ASTM D882 นำไปใส่ในตู้แสงยูวี บริษัท Labtech Engineering Co.Ltd. โดยใช้หลอดยูวี Philips TUV PL-S ขนาด 9 W ฉายแสงยูวีวันละ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 1 เดือน จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum Gx ในช่วงความยาวคลื่น 4000-400 cm⁻¹

การทดสอบโครงสร้างทางสัมฐานวิทยา

เตรียมชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำรอยบากเล็กๆตรงบริเวณที่จะทำการหักชิ้นงานจากนั้นนำไปแช่ในโตรเจนเหลว เป็นเวลา 20 นาทีก่อนทำการหักชิ้นงาน แล้วนำชิ้นงานมาวางบนแท่นรอง (stub) ก่อนนำไปเคลือบผิวด้วยทอง จากนั้นนำชิ้นงานไปวิเคราะห์โครงสร้างทาง

สัมฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope, SEM): JEOL Co.,Ltd รุ่น JSM-5410

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง และค่าโมดูลัส พบว่าปริมาณสารเบนโซฟีโนนที่เพิ่มขึ้นจาก 1-2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึงลดลงแต่ทำให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 และ 3 เนื่องจากการกระจายตัวของเบนโซฟีโนนในเนื้อฟิล์ม และความไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันของ LDPE กับเบนโซฟีโนน เพราะเบนโซฟีโนนเป็นสารประกอบอะโรมาติกโตนซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับ LDPE ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ ดังนั้นสมบัติการรับแรงจึงลดลงส่งผลให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น

ภายหลังการฉายแสงยูวีเบนโซฟีโนนจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายใต้แสงยูวีเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงและตัดขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ (Millan et al., 2005) ทำให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มลดลง โดยเฉพาะความแข็งแรงดึง ดังรูปที่ 1 เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์ จนทำให้สายโซ่ถูกตัดขาดเกิดส่วนที่เป็นอิสระเพิ่มขึ้น ทำให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่เป็นระเบียบน้อยลง ซึ่งมีผลต่อการรับแรง และส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น (Albertsson, 1994) ดังรูปที่ 2 โดยปริมาณเบนโซฟีโนนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงยังลดลง และโมดูลัสยังเพิ่มขึ้น

ฟิล์มที่ผสมเป็งมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและโมดูลัสลดลงมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผสมเป็ง เนื่องจากสมบัติเฉพาะและการกระจายตัวของเป็งใน LDPE ทำให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้รับแรงกระทำจากภายนอกได้น้อยลง

ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง (Shaha, 1995) โดยตัวอย่างฟิล์มที่มีการจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักรมีค่าสมบัติเชิงกลดีกว่าการจัดเรียงตัวตามแนวขวางเครื่องจักร

จากผลการทดลองแสดงว่าสารเบนโซฟีโนน และแบ็ง มีผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากเบนโซฟีโนนเป็นตัวริเริ่มการเกิดอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการตัดขาดของสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น โดยแบ็งมีสมบัติเฉพาะตัวคือความมีขั้วซึ่งตรงข้ามกับ LDPE ซึ่งไม่มีขั้ว ส่งผลให้แบ็งไม่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับ LDPE

ตารางที่ 2 ค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ ก่อนและหลังฉายแสงยูวี

สูตร	ความทนแรงดึง (MPa)			
	ก่อนฉายแสงยูวี		หลังฉายแสงยูวี	
	TD	MD	TD	MD
LDPE	10.05	11.03	9.01	10.20
LDPE+ 1B	9.51	10.55	8.50	9.30
LDPE+1.5B	9.13	10.07	8.34	8.70
LDPE+2B	8.88	9.92	8.10	8.50
TPS	7.21	7.72	6.68	7.22
TPS+1B	7.13	7.53	6.54	7.03
TPS+1.5B	6.91	7.37	6.41	6.76
TPS+2B	6.89	7.12	6.10	6.40

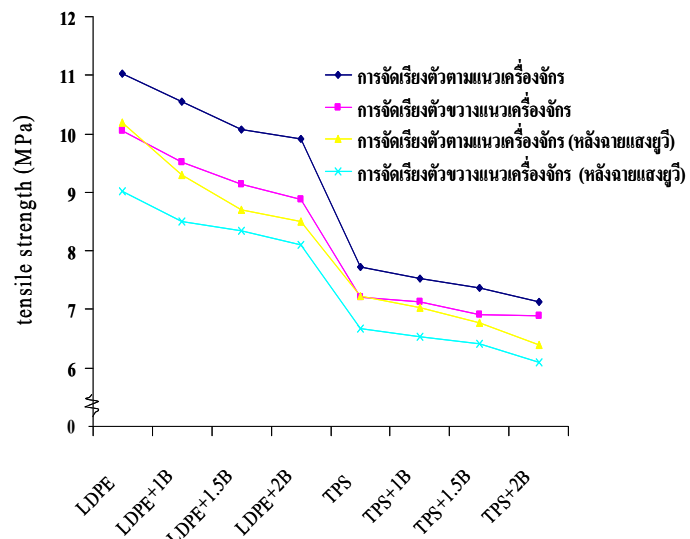
หมายเหตุ TD คือ การจัดเรียงตัวตามแนวขวางเครื่องจักร

MD คือ การจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักร

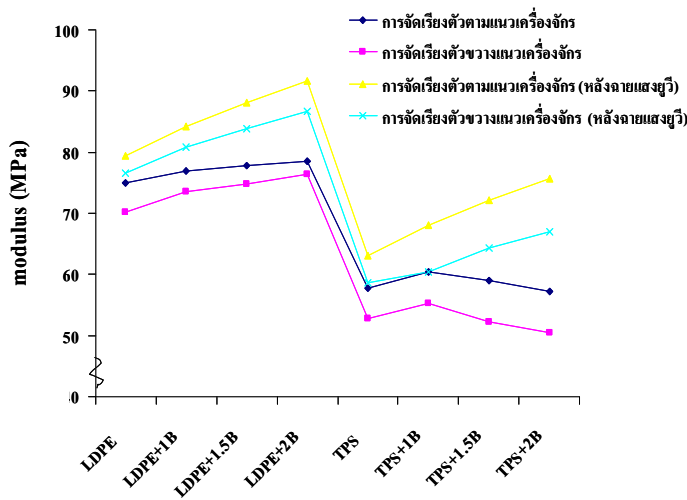
สูตร	มอดูลัส (MPa)			
	ก่อนฉายแสงยูวี		หลังฉายแสงยูวี	
	TD	MD	TD	MD
LDPE	70.13	75.04	76.62	79.47
LDPE+ 1B	73.51	76.99	80.81	84.22
LDPE+1.5B	74.71	77.73	83.90	88.08
LDPE+2B	76.36	78.47	86.71	91.74
TPS	52.86	57.84	58.56	63.06
TPS+1B	55.35	60.48	60.40	68.00
TPS+1.5B	52.19	58.97	75.65	77.07
TPS+2B	50.54	57.25	75.00	80.42

หมายเหตุ TD คือ การจัดเรียงตัวตามแนวขวางเครื่องจักร

MD คือ การจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักร



รูปที่ 1 ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มเป่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างเบนโซฟีโนนกับแบ็งมันสำปะหลัง



รูปที่ 2 ค่ามอดูลัสของฟิล์มเป่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างเบนโซฟีโนนกับแป้งมันสำปะหลัง

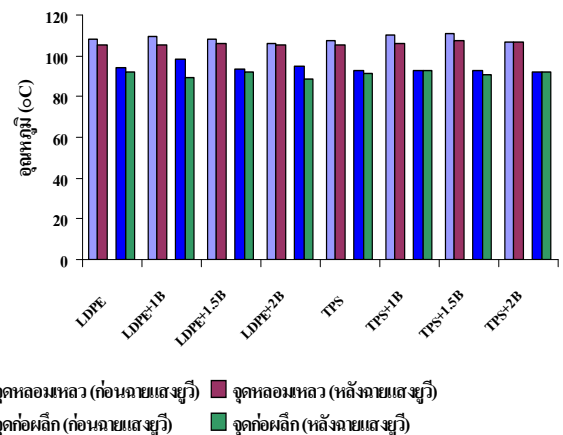
การทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน

ภายหลังฉายแสงยูวี พบว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิจุดก่อกำเนิดผลึก (T_c) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลและสนับสนุนว่า แสงยูวีเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีจนทำให้โครงสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดขาด จึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เป็นระเบียบน้อยลง ในขณะที่ความแข็งแรงของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงขึ้น ดังรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Farideh (1998) กล่าวว่า แสงยูวีทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ภายในส่วนออสันฐานถูกตัดขาดจนเกิดการสร้างพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลขึ้นมาใหม่ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในส่วนที่สร้างพันธะขึ้นมาใหม่เป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งทำให้ร้อยละความแข็งแรงโดยรวมเพิ่มขึ้น

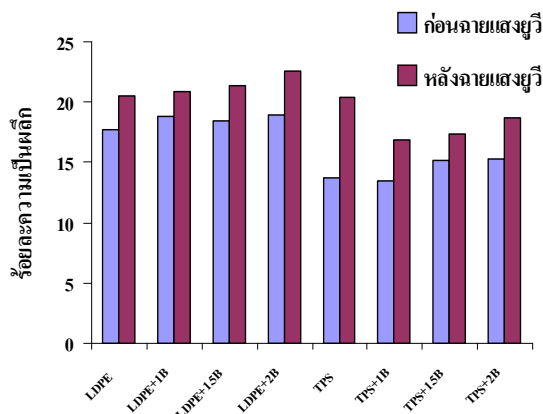
เบนโซฟีโนนเป็นตัวริเริ่มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อได้รับแสงยูวี จนเกิดการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นออสันฐานเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการการจัดเรียงตัวของสายโซ่ใหม่ โดยเกิดพันธะระหว่างโมเลกุล และมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในส่วนที่เกิดขึ้นใหม่เป็นระเบียบมากขึ้น โดยปริมาณเบนโซฟีโนน

ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละความแข็งแรงโดยรวมเพิ่มมากขึ้น

เบนโซฟีโนนมีผลต่อฟิล์มที่ผสมแป้งทำให้อุณหภูมิจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิจุดก่อกำเนิดผลึกลดลงน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ผสมแป้งเพียงเล็กน้อย เพราะฟิล์มผสมแป้งมีการเติมสารช่วยผสมและกลีเซอรอล ซึ่งมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาของสารเบนโซฟีโนนลดลง และอนุภาคแป้งเป็นสารธรรมชาติที่เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว เมื่อได้รับแสงยูวีจึงย่อยสลายได้ยากกว่า LDPE ปกติ ซึ่งแป้งมีผลทำให้ร้อยละความแข็งแรงโดยรวมของฟิล์มลดลง เนื่องจากอนุภาคของแป้งที่กระจายตัวอยู่ในฟิล์มทำให้ความแข็งแรงของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง ทำให้ความแข็งแรงโดยรวมลดลง



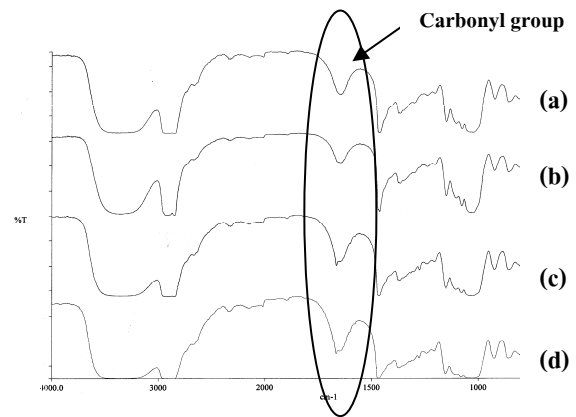
รูปที่ 3 ค่าจุดหลอมเหลว (T_m) และ จุดก่อกำเนิดผลึก (T_c) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างเบนโซฟีโนนกับแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 4 ร้อยละความเป็นผลึกของฟิล์มเป่าพอลิเมอร์ผสม ระหว่างเบนโซฟีโนนและแป้งมันสำปะหลัง

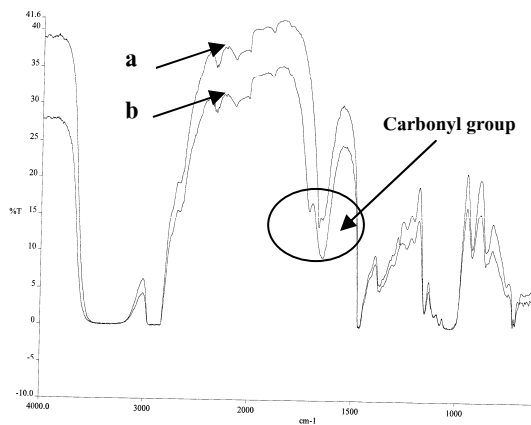
ปริมาณออกซิเดชัน

ปริมาณเบนโซฟีโนนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณหมู่คาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 5 แสดงว่าเบนโซฟีโนนเป็นตัวริเริ่มให้เกิดอนุมูลอิสระแล้วทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศเพิ่มขึ้น เบนโซฟีโนน และแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ฟิล์มเป่าย่อยสลายได้มากขึ้นเมื่อได้รับแสงยูวี โดยตรวจสอบจากลักษณะพื้นผิวบริเวณภาคตัดขวางที่เปลี่ยนไป แสดงว่าพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนโครงสร้างภายในโมเลกุล ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lin และคณะ (1998) กล่าวว่าเบนโซฟีโนนทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงและตัดขาดภายในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้ง่ายขึ้น ซึ่งสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น โดยพิจารณาในช่วงคลื่น 1500-2000 cm^{-1} ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดหมู่คาร์บอนิล ($1640\ cm^{-1}$) โดยหมู่คาร์บอนิลเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณออกซิเดชัน (Jan, 1995)



รูปที่ 5 กราฟ FTIR ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างเบนโซฟีโนนและแป้งมันสำปะหลัง
 (a) TPS (b) TPS+1B
 (c) TPS+1.5B (d) TPS+2B

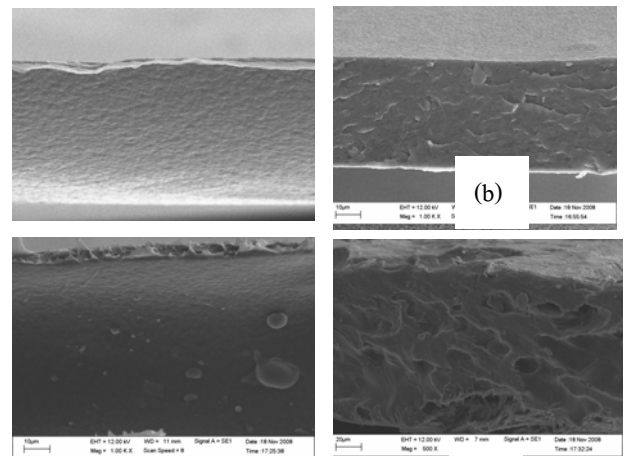
เมื่อผสมแป้งและเบนโซฟีโนนลงไปในฟิล์ม LDPE แล้วฉายแสงยูวี พบว่าปริมาณหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 6 เนื่องจากสารเบนโซฟีโนนเมื่อได้แสงยูวีโดยตรงจากหลอดยูวีจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (photo-oxidation) มีผลทำให้เกิดการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น โดยวัดปริมาณออกซิเดชันจากหมู่คาร์บอนิลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Albertsson (1992) กล่าวว่าแสงยูวีมีผลต่อการย่อยสลายของฟิล์ม LDPE ผสมแป้งโดยทำให้หมู่คาร์บอนิล และหมู่ไวนิลเพิ่มขึ้น เป็นการวัดปริมาณออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการตัดขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ และรายงานการทดลองของ Pena และคณะ (2000) กล่าวว่าสารเบนโซฟีโนนทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มการเกิดอนุมูลอิสระเมื่อได้รับแสงยูวีทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายของฟิล์ม LDPE ได้



รูปที่ 6 กราฟ FTIR ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
 แป้งมันสำปะหลัง และ 2 % เบนโซฟีโนน
 a. ก่อนการฉายแสงยูวี b. หลังฉายแสงยูวี

การเปลี่ยนแปลงทางลักษณะพื้นฐานวิทยาของฟิล์ม

LDPE เดิมเบนโซฟีโนนก่อนฉายแสงยูวี มีลักษณะพื้นผิวเรียบเนียน รูปที่ 7(a) ภายหลังจากฉายยูวีเป็นเวลา 1 เดือน รูปที่ 7(b) พบว่าลักษณะพื้นผิวฟิล์ม เกิดรอยขรุขระเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสายโซ่พอลิเมอร์ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายจากแสง ยูวี เมื่อตรวจสอบฟิล์ม LDPE ผสมแป้ง และเบนโซฟีโนน รูปที่ 7(c) พบว่า ลักษณะพื้นผิวขรุขระมากขึ้นและมีการกระจายตัวของเม็ดแป้งภายในเนื้อฟิล์ม หลังการฉายแสง ยูวีเป็นเวลา 1 เดือน รูปที่ 7(d) พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์มขรุขระเพิ่มมากขึ้น เกิดช่องว่างเป็นโพรงและเม็ดแป้งเกิดการยุบตัวเข้าไปในช่องว่างเพิ่มขึ้น แสดงว่าเบนโซฟีโนนและแป้งมีผลทำให้เกิดการย่อยสลาย โดยแสงยูวีจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เนื้อฟิล์มมีสถานะพื้นฐานวิทยาเปลี่ยนแปลง (Greizerotein, 1993) ซึ่งสนับสนุนผลของ FT-IR ซึ่งบ่งบอกว่าเบนโซฟีโนนและแป้งทำให้เกิดการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น



(c)

(d)

รูปที่ 7 ภาพถ่าย SEM บริเวณภาคตัดขวางของฟิล์ม
 พอลิเมอร์ผสม กำลังขยาย 1000 เท่า

- (a) LDPE ผสม 2% เบนโซฟีโนน
- (b) LDPE ผสม 2 % เบนโซฟีโนน หลังการฉายแสงยูวี 1 เดือน
- (c) LDPE ผสม แป้งมันสำปะหลัง และ 2% เบนโซฟีโนน
- (d) LDPE ผสม แป้งมันสำปะหลังและ 2 % เบนโซฟีโนน หลังฉายแสงยูวี 1 เดือน

สรุปผลการวิจัย

เบนโซฟีโนนและแป้งมีผลทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึงทุกสูตรลดลง แต่มอดูลัสของฟิล์มเป่า LDPE ทุกสูตรเพิ่มขึ้น

เบนโซฟีโนนและแป้งมีผลทำให้ค่า T_m และ T_c ของฟิล์มเป่า LDPE ผสมมีแนวโน้มลดลง ภายหลังจากฉายแสงยูวี

แป้งมีผลทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อฉายแสงยูวีความเป็นผลึกของฟิล์มผสมแป้งและเบนโซฟีโนนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เบนโซฟีโนนมีผลทำให้ฟิล์มเป่าผสมแป้งเกิดหมู่ คาร์บอนิลเพิ่มขึ้น และเมื่อได้รับแสงยูวีหมู่คาร์บอนิลยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้เวลาฉายแสงยูวีมากกว่า 1 เดือน เพื่อจะได้ ข้อมูลชัดเจนขึ้น
2. ควรเพิ่มการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเพื่อศึกษาการย่อยสลายของแป้งมันสำปะหลัง เช่น การฝังดิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท มัลติแบกซ์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนเพื่อใช้ในการวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

ธนาวดี ลีจากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ . วารสารสมาคมพอลิเมอร์แห่งประเทศไทย. ฉบับที่ 6(1):3.

Albertsson. A.C. et al. 1992 . Susceptibility of enhanced environmentally degradable polyethylene to themal and photo-oxidation. Polymer Degradation and Stability.37:163-171.

Albertsson A.C. et al. 1994 .Spectoscopic and mechanical change in irradiated starch-fill LDPE. Polymer Degradation and Stability.45:173-178

Jan, R.F. 1995. Polymer Photo degradation. London :Chapman&Hall

Jakubowicz, J. 2003. Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene. Polymer Degradation and Stability.80:39-43

Jakubowicz, J. et al. 2006. Evaluation of rate of abotic degradation of biodegradable polyethylene in various enviroentment. Polymer Degradation and Stability.91:1556-1562

Khabbaz, F. et al. 1999. Chemical and morphological change of environmentally degradable polyethylene film exposed to themo-oxidation. Polymer Degradation and Stability.63: 123-138

Khabbaz, F. et al. 1998. Trapping of volatile low molecular weight photoproducts in inert and enhanced degradable LDPE. Polymer Degradation and Stability. 61:329-342

Tzankova Dintcheva N. and F.P. La Mantia. 2007. Durability of a starch-based biodegradable polymer .Polymer Degradation and Stability 92:630-634

Rodriguez-Gonzalez F.J. et al. 2003. High Performance LDPE-thermoplastic starch blend a sustainable alternative to pure polyethylene.Polymer.44 : 1517-1526

Greizerstein, H.B. et al. 1993 .Degradation of Starch modified polyethylene bags in a compost field study.Polymer Degradation and Stability. 39:251-259

Lin ,A.A., Sastri VR Tesoro G, Reiser A. and Eachus R. 1988.Macromolecules.2 :1165

Millan M.D., J. Locklin, T. Fulghum, A. Baba and R.C. Advincola. 2005. Polymer thin film photodegradation and photochemical crosslinking FT-IR imaging evanescent wavequide spectroscopy and QCM investigation. Polymer. 46:5556-5565

Pena, J.M., N.S. Allen, M. Edege and C.M. Liauw. 2000. Triplet quenching and antioxidant effect of several carbon black grades in the photodegradation of LDPE doped with benzophenone as photosensitiser, Polymer Degradation and Stability.70 : 437-454

Shaha, P.B. et al. 1994 .Environmentally degradable
starch filled low density polyethylene,
Polymer Degradation and Stability.47:
165-173

ASTM D 882 Committee on standard .1992 .
StandradTest Method for Tensile Properties
of Plastic.Philadephia American Society for
testing and Material.

ASTM E 794 Committee on standard 1992.
StandradTest Method for Melting and
Crystallization Temperatures by Thernal
Analysis.Philadephia American Society for
testing and Material.