

# การเตรียมพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบที่สามารถ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

บุญทวี เลิศปัญญาพรชัย\*

\*สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ  
บ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบมีบทบาทในการเตรียมพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพมากขึ้น เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำกว่าพอลิเมอร์ชีวภาพทั่วไป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ 4 ชนิด คือ พอลิเมอร์เอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) กับวัสดุเสริมองค์ประกอบ คือ ถ่านกัมมันต์ โดยเตรียมในอัตราส่วนร้อยละ 0.01 0.05 และ 0.1 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติกตัวหนอนคู่ และศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพผ่าน 2 ภาวะ คือ ภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง และภาวะการย่อยสลายในดิน ติดตามจากการลดลงของน้ำหนักและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ จากผลการทดลอง พบว่าพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีที่สุด คือ พอลิสไตรีนอัตราส่วนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง ซึ่งร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทก ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงตึง และร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงาน เท่ากับ ร้อยละ 34.61 64.76 และ 1.36 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ/ พอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ/ ถ่านกัมมันต์

## บทนำ

ปัจจุบันพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยมีงานวิจัยตีพิมพ์ในปริมาณมากขึ้นทุก ๆ ปี (Bordes et al., 2009; Kolybaba et al., 2003) พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ได้จากการสกัดส่วนต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งพอลิเมอร์ที่ผลิตได้นั้นมีความสามารถในการย่อยสลายในภาวะควบคุมได้ดีกว่าพลาสติกที่เตรียมจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พอลิเมอร์มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก มีความเป็นผลึกต่ำ มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่เกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้ทั้งในส่วนแกน (backbone) และโซ่ด้านข้าง (side chain) และที่สำคัญคือ ต้องมีพื้นที่ผิวมากเพื่อเพิ่มโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับโมเลกุลทางชีวภาพที่ใช้ในการย่อยสลาย (Bordes et al., 2009) ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้จึงเป็นขีดจำกัดที่ทำให้พอลิเมอร์สังเคราะห์จากการแยกส่วนของปิโตรเลียมไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีสมบัติทางกายภาพไม่สมบูรณ์แบบเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์จากปิโตรเลียม (Gross and Kalra, 2002) และจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อเพิ่มคุณลักษณะของพอลิเมอร์ตามต้องการ จึงทำให้ต้นทุนของการผลิตพลาสติกที่ได้มีราคาสูง นอกจากนี้เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาตินี้ไปใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับผลิตผลการเกษตร จึงส่งผลทำให้ราคาผลผลิตสูงขึ้นและอาจขาดแคลนในเวลาต่อมาได้ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นธาตุคาร์บอนบริสุทธิ์ มี

โครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous structure) โดยมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนแตกต่างจากอะตอมคาร์บอนรูปแบบอื่นๆ เช่น เพชร หรือแกรไฟต์ ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนสูงและมีสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ในของเหลว หรือแก๊สได้ในปริมาณสูง จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย การผลิตถ่านกัมมันต์ใช้วัตถุดิบจากอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เช่น ถ่านไม้ เปลือกถั่วเมล็ดแข็ง กะลามะพร้าว หรือกระดูกสัตว์ นำมาเผาเป็นถ่าน และเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความร้อนสูงและไอน้ำในภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อกำจัดสารประกอบอื่นๆ ที่เหลืออยู่ให้มีเพียงคาร์บอนบริสุทธิ์อย่างเดียว และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุด โดยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม มีพื้นที่ผิวถึง 400-1,200 ตารางเมตร (Choi et al., 2009)

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยนำพอลิเมอร์จากปิโตรเลียมและใช้งานมากในปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene; LDPE) และความหนาแน่นสูง (high density polyethylene; HDPE) พอลิโพรพิลีน (polypropylene; PP) และพอลิสไตรีน (polystyrene; PS) ผสมกับถ่านกัมมันต์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ ให้มีโอกาสดังกล่าวในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับโมเลกุลทางชีวภาพที่ใช้ในการย่อยสลายได้ดีขึ้น และมีสมบัติทางกายภาพที่ดีเทียบเคียงได้กับพอลิเมอร์ทั่วไป ในขณะที่ใช้งาน และลดราคาต้นทุนการผลิตพลาสติกให้เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป

## วัสดุและวิธีการทดลอง

### 1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเกรด JJ4324 Lot. 09050312 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เกรด R 1760 Lot. 09050256 พอลิโพรพิลีน เกรด 1100NK Lot. 09060031 และพอลิสไตรีน เกรด GP150 Lot. 0905325 (บริษัทเหล็กแข็งเทรดดิ้ง จำกัด, ประเทศไทย) และถ่านกัมมันต์ (Fluka, USA)

### 2 วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงานพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบด้วยวิธีการหล่อแบบพิมพ์แบบอัดด้วยความดัน (compression molding)

ในงานวิจัยนี้เตรียมชิ้นงานพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ ระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีนกับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 0.01 0.05 และ 0.1 โดยน้ำหนัก โดยผสมผ่านเครื่องอัดรีดพลาสติกตัวหนอนคู่ จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องหล่อแบบพิมพ์แบบอัด เพื่อการทดสอบสมบัติเชิงกล 2 ลักษณะ คือ การทดสอบการทนต่อแรงดึงและการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D638 และ ASTM D256 ตามลำดับ

2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ

1) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน (soil burial test) เป็นการศึกษาลักษณะการเสถียรภาพของพอลิเมอร์ทางชีวภาพในภาวะไม่มีก๊าซออกซิเจน โดยฝังตัวอย่าง

พอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบอัตราส่วนต่าง ๆ ลงในภาชนะ จากนั้นกลบด้วยดิน ให้มีความหนาของดินประมาณ 15 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบมาทดสอบสมบัติเชิงกล-ทุก ๆ 30 วัน เป็นเวลา 60 วัน

2) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพในภาวะกลางแจ้ง (outdoor exposure test) เป็นการศึกษาลักษณะทางชีวภาพของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบจากการย่อยสลายด้วยแสงแดดในภาวะบรรยากาศจริง โดยวางตัวอย่างชิ้นงานพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบอัตราส่วนต่างๆ บนตระแกรงขนาดใหญ่ และเก็บตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบทุกๆ 30 วัน เป็นเวลา 60 วัน

### 3. วิธีการทดสอบ

3.1 ทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ

1) การทดสอบการทนต่อแรงดึง โดยหาค่าความต้านทานต่อการดึง นำชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์แบบชนิดทดสอบการทนต่อแรงดึง มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึง (CHAN YEN MACHINE รุ่น CY-6040A4, ประเทศไทยได้หวั่น)

2) การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก โดยนำชิ้นงานจากแม่พิมพ์แบบชนิดทดสอบการทนต่อแรงกระแทก มาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256 ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกแบบไอซอด

(Izod) (GOTECH รุ่น GT-7045-I, ประเทศ  
ไต้หวัน)

3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ  
ของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ  
โดยเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงจากการย่อย  
สลายทางชีวภาพ โดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานพอลิ-  
เมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบก่อนและ  
หลังการทดสอบในภาวะการย่อยสลายในดิน  
และภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง เพื่อคำนวณหา  
น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริม  
องค์ประกอบจากการย่อยสลายทางชีวภาพของ  
ทั้ง 2 ภาวะที่ใช้ทดสอบ

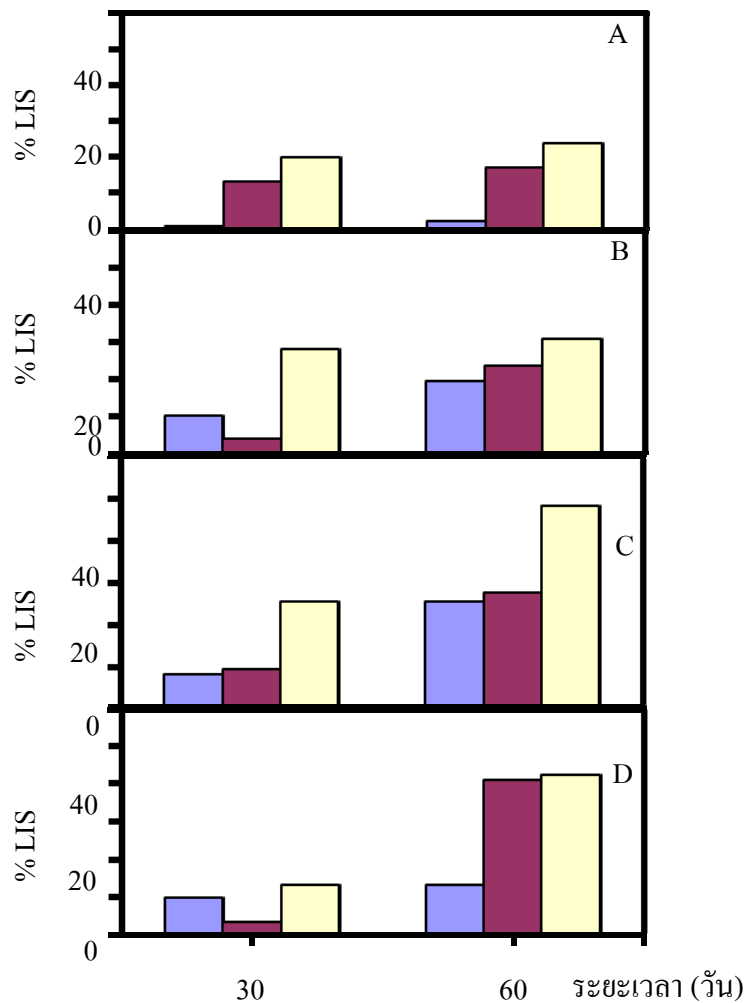
#### ผลการทดลอง

##### 1. ผลของชนิดพอลิเมอร์ต่อการย่อย สลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์เสริม องค์ประกอบ

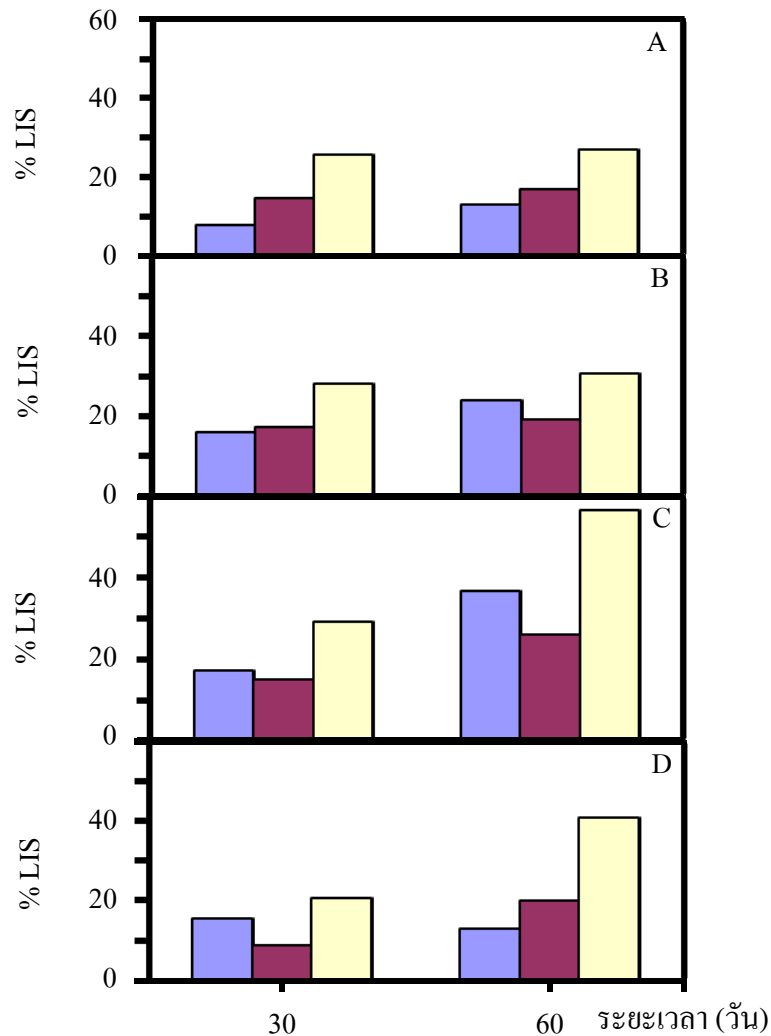
เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการลดลง  
ของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำของพอลิ-  
เมอร์บริสุทธิ์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ  
(ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) ผลการทดลอง พบว่า  
พอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบความแข็งแรงต่อ  
แรงกระทำใกล้เคียงกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์  
ดังนั้นการเติมถ่านกัมมันต์จึงผลต่อความ  
แข็งแรงต่อแรงกระทำเล็กน้อยซึ่งจัดอยู่ใน  
เกณฑ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน

เมื่อศึกษาผลของชนิดพอลิเมอร์ต่อ  
การย่อยสลายทางชีวภาพ โดยพิจารณาร้อยละ  
การลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำ  
พบว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีร้อยละ  
การลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำ  
เพิ่มขึ้นทั้งในภาวะการย่อยสลายในดินและ  
ภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง ซึ่งแสดงว่า มี  
แนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี  
(Kolybaba et al., 2003) เนื่องจากพอลิเอทิลีน  
ความหนาแน่นสูงมีลักษณะ โครงสร้างเป็น  
เส้นตรง ไม่มีกิ่งก้านสาขาหรือหมู่ฟังก์ชันใด ๆ  
มาขวาง จึงทำให้จุลินทรีย์หรือแสงมีโอกาสดำ  
เนินทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์  
ชนิดอื่น ๆ สำหรับผลของค่าความแข็งแรงต่อแรง  
กระทำของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำไม่  
สามารถแสดงได้ เนื่องจากพอลิเอทิลีนความ  
หนาแน่นต่ำมีความเหนียวสูงมาก ซึ่งสูงกว่า  
ขีดจำกัดของเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรง  
กระทำที่ใช้ทดสอบ จึงไม่สามารถรายงานผล  
การทดสอบได้

เมื่อเปรียบเทียบภาวะการย่อยสลายใน  
ดินกับภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง พบว่า  
ภาวะการย่อยสลายกลางแจ้งมีแนวโน้มในการ  
ย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า เนื่องจากมีร้อยละ  
การลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำ  
เพิ่มขึ้นมากที่สุด



ภาพที่ 1 ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS PP และ HDPE กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00, (B) 0.01, (C) 0.05 และ (D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายในดิน



ภาพที่ 2 ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS (■) PP (■) และ HDPE (■) กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00 (B) 0.01 (C) 0.05 และ (D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง

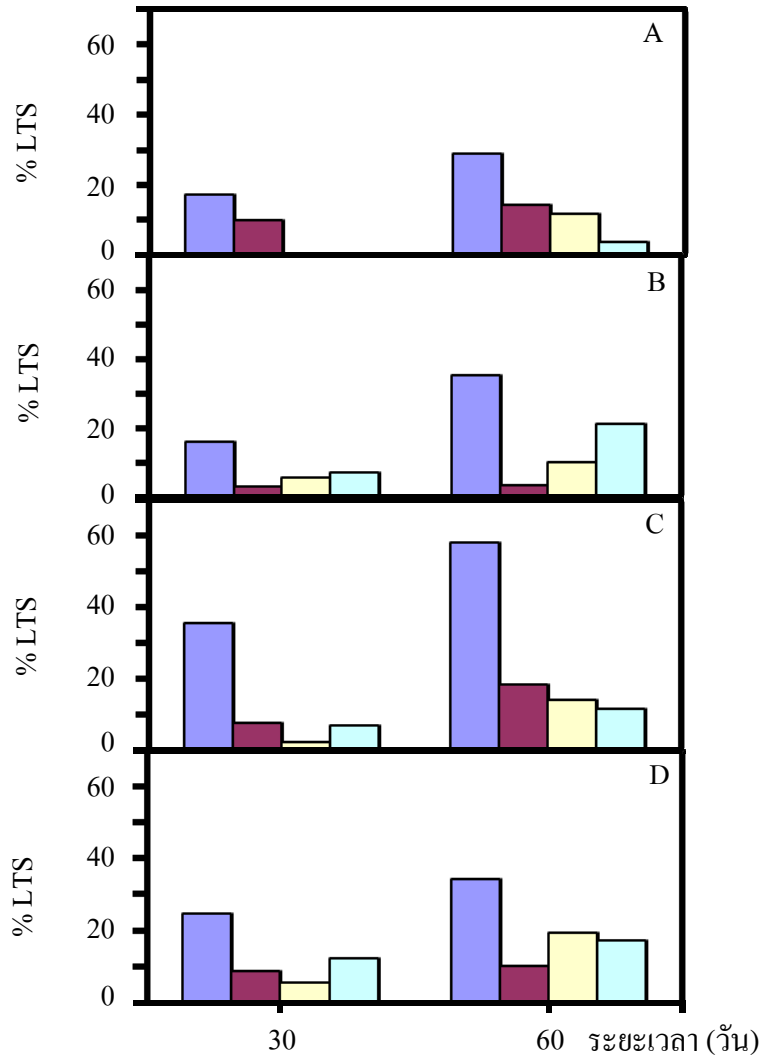
## 2. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงต่อแรงดึงระหว่างพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบกับถ่านกัมมันต์

เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ (ภาพที่ 3 และ 4) พบว่า พอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงใกล้เคียงกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ แสดงว่า การเติมถ่านกัมมันต์ส่งผลต่อค่าความ

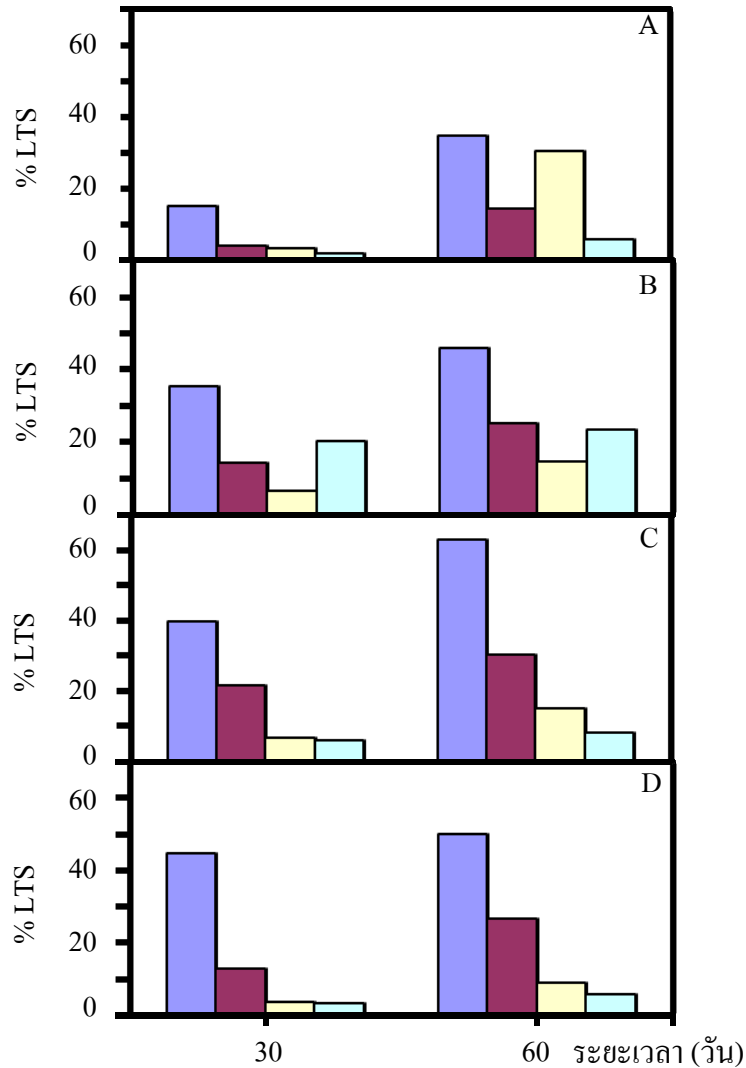
แข็งแรงต่อแรงดึงเพียงเล็กน้อยซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน เมื่อศึกษาผลของชนิดพอลิเมอร์ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่า พอลิسترินมีร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงทั้งในภาวะการย่อยสลายในดินและภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง แสดงว่า มีแนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น (Kolybaba et al., 2003) เนื่องจากพอลิ-

ลิสไตรีนมีลักษณะโครงสร้างเป็นชนิดอสัณฐาน ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำปฏิกิริยาในส่วนที่เป็นอสัณฐานได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) โดยส่วนอสัณฐานมีการเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่หนาแน่นต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบภาวะการย่อยสลายในดินกับภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง พบว่าภาวะการย่อยสลายกลางแจ้งมีแนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า โดยร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นมากที่สุด



ภาพที่ 3 ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS (■) PS (■) PP (■) PP (■) HDPE (■) HDPE (■) และ LDPE (■) LDPE (■) กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00 (B) 0.01 (C) 0.05 และ (D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายในดิน



ภาพที่ 4 ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS (■) PP (■) HDPE (■) และ LDPE (■) กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00 (B) 0.01 (C) 0.05 และ (D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง

### 3. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบโดยพิจารณาการลดลงของน้ำหนักชิ้นงาน

ผลของชนิดพอลิเมอร์ที่ส่งผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ (ภาพที่ 5 และ 6) โดยพิจารณาถึง

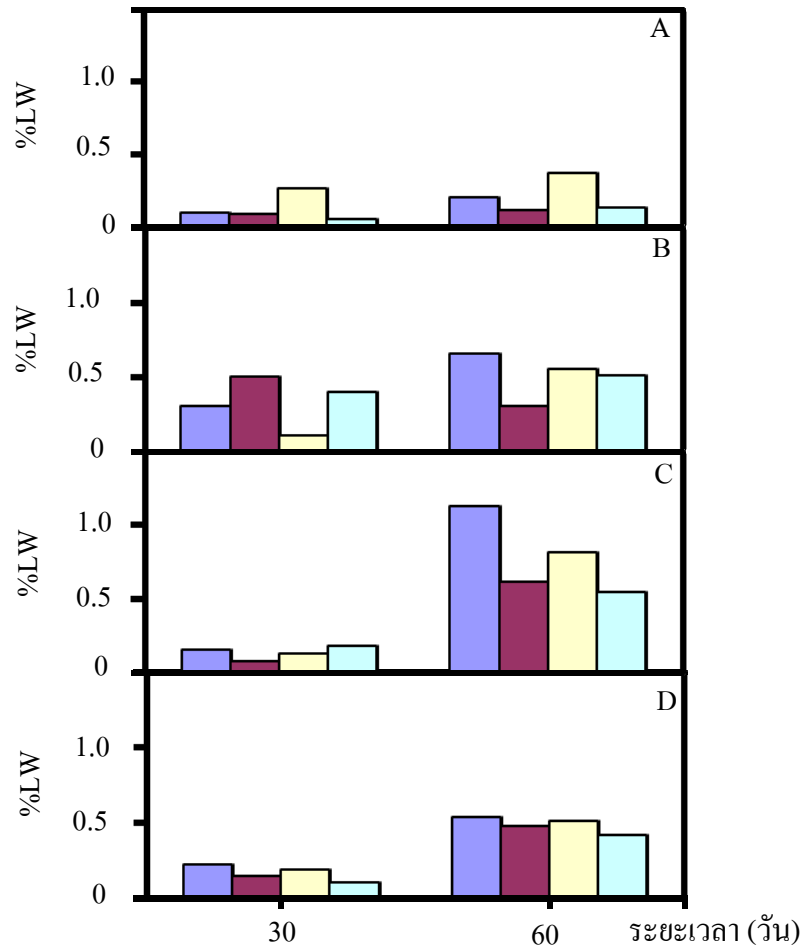
ร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานพอลิเมอร์พบว่า พอลิโอสไตรีนร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นมากที่สุดทั้งในภาวะการย่อยสลายในดินและภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง แสดงว่า มีแนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบสภาวะการย่อยสลายในดินกับสภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง พบว่า

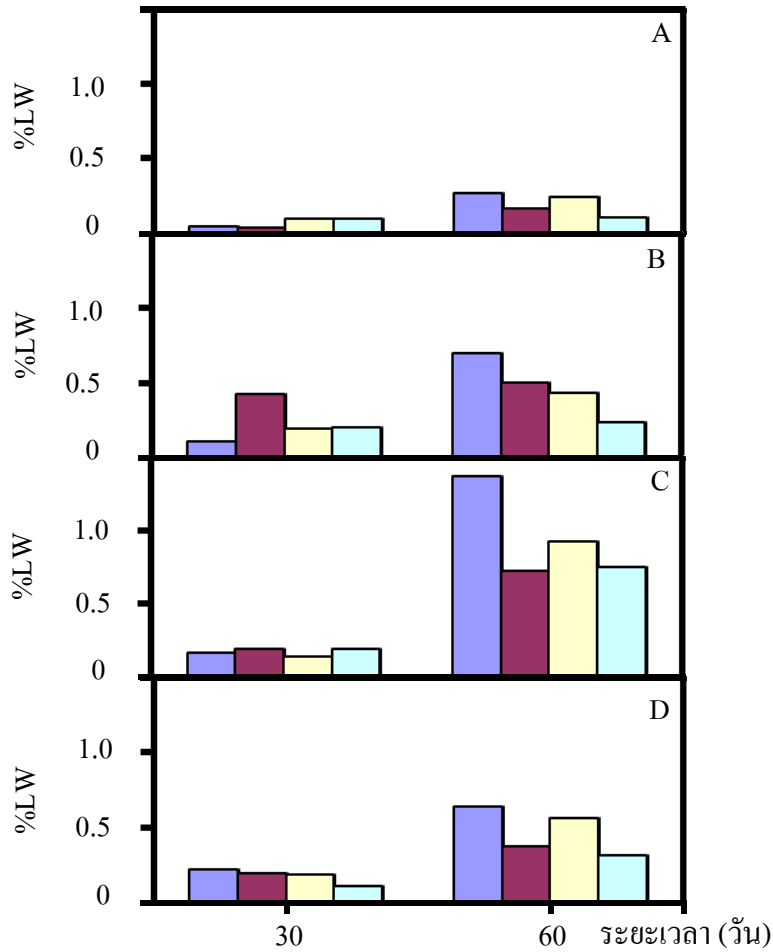


ภาวะการย่อยสลายกลางแจ้งมีแนวโน้มในการ  
ย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า โดยมีร้อยละการ

ลดลงของน้ำหนักชิ้นงานพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น  
สูงกว่า



ภาพที่ 5 ร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS PP  
HDPE และ LDPE กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00 (B) 0.01 (C) 0.05 และ  
(D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายในดิน



ภาพที่ 6 ร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบระหว่าง PS, PP, HDPE และ LDPE กับถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ (A) 0.00 (B) 0.01 (C) 0.05 และ (D) 0.10 โดยน้ำหนัก ในภาวะการย่อยสลายกลางแจ้ง

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของชนิดพอลิเมอร์ และปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบ พบว่า ชนิดพอลิเมอร์ที่มีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีที่สุดคือ พอลิสไตรีน เนื่องจาก พอลิสไตรีนมีลักษณะโครงสร้างเป็นอสัณฐาน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในส่วนที่เป็นอสัณฐานได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก เพราะ ส่วนที่เป็นอสัณฐานมีการเรียงตัวของสายโซ่

พอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า และปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีแนวโน้มจะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีที่สุดคืออัตราส่วนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก เนื่องจากถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ดี เนื่องจากด้วยถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติความเป็นรูพรุนสูงจึงสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์ได้ ดังนั้นเมื่อพอลิเมอร์มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น โอกาสที่จุลินทรีย์จะเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์จึงมีมากขึ้น ส่งผลทำให้มีแนวโน้มที่เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบพบว่าสถานะการย่อยสลายกลางแจ้งมีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าสถานะการย่อยสลายในดิน โดยแสดงค่าร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทก ร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และร้อยละการลดลงของน้ำหนักชิ้นงานของพอลิสไตรีนในอัตราส่วนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 34.61 64.76 และ 1.36 ตามลำดับ

### เอกสารอ้างอิง

Bordes, P., Pollet, E., and Averous, L. (2009).

Nano-biocomposites: biodegradeable polyester/nanoclay system. **Progress in Polymer Science**, 34: 125-155.

Choi, J.W., Yang, K.S., Kim, D.J., and Lee, C.E. (2009). Adsorption of zinc and toluene by alginate complex impregnated with zeolite and activated carbon. **Current Applied Physics** 9: 694-697.

Gross, A. R., and Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. **Science** 297: 803-807.

Kolybaba, M., Tabil, L.G., Panigrahi, S., Crerar, W.J., Powell, T and Wang, B. (2003). Biodegradable polymer: past, present, and future. **An ASAE Meeting Presentation: (RRV03-0007)**. The Society for engineering in agricultural, food and biological systems, October 3-4.