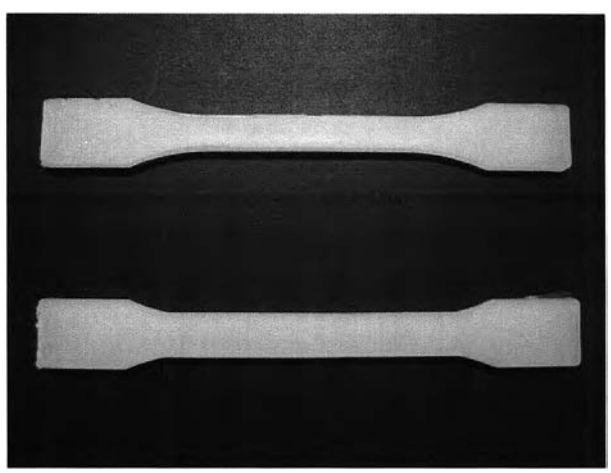
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) อีบีเอสแว็กซ์ (EBS wax) และแป้งมันสำปะหลัง (cassava starch) ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดแบบ (injection molding)



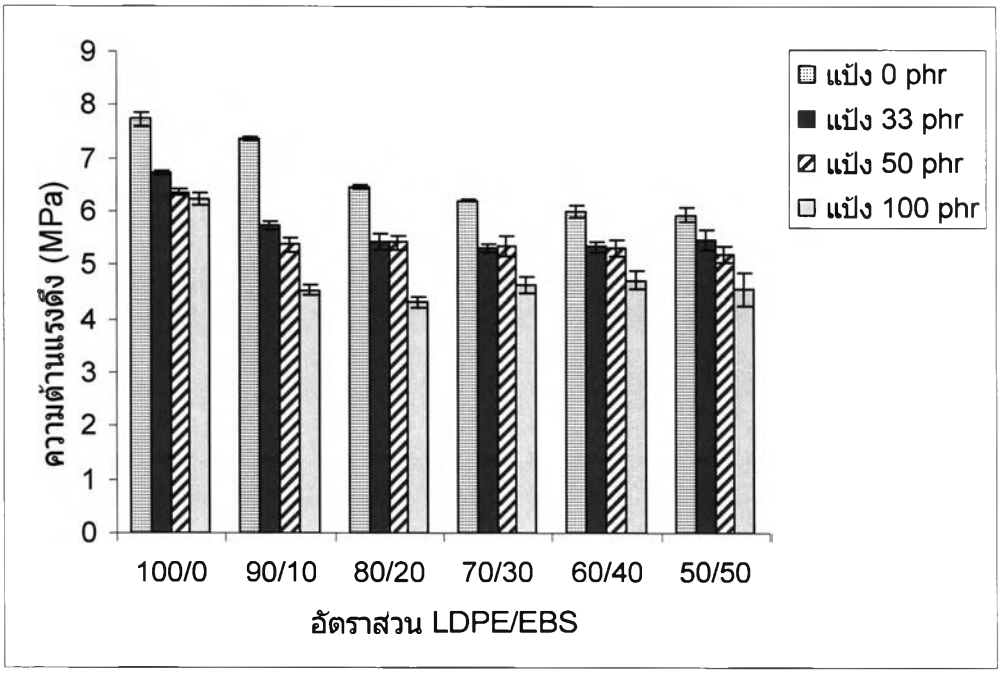
รูปที่ 4.1 ชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด

ชิ้นทดสอบ LDPE มีลักษณะใสค่อนข้างโปร่งแสง แต่เมื่อเติม EBS wax เข้าไปใน LDPE ชิ้นทดสอบมีสีเหลืองและขุ่นขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของ EBS wax ที่ใส่เข้าไป ส่วนชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลัง มีสีเหลืองเข้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่ใส่เข้าไป

4.2 ผลทดสอบสมบัติเชิงกล

4.2.1 สมบัติด้านแรงดึง

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความด้านแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลัง (starch) ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

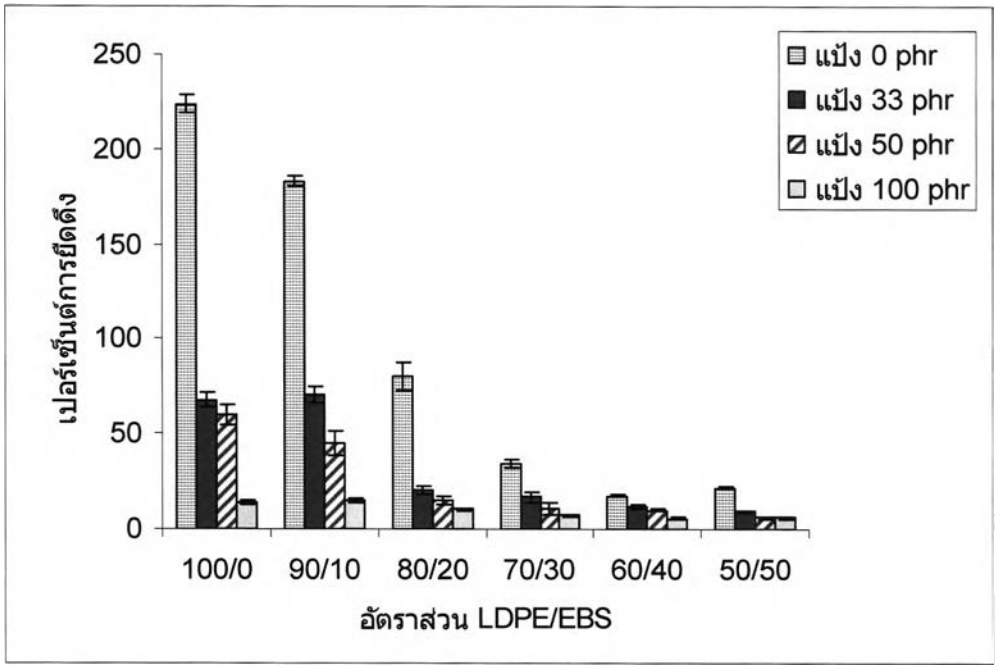


รูปที่ 4.2 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่ EBS เข้าไปผสมกับ LDPE โดยยังไม่ได้ใส่แป้งมันสำปะหลัง ค่าความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าลดลงตามปริมาณ EBS ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก EBS ซึ่งมีความแข็งได้เข้าไปแทรกอยู่ในเนื้อของ LDPE ทำให้ขัดขวางการจัดเรียงตัวและการพันกันของสายโซ่ LDPE จึงส่งผลให้ความเหนียวของ LDPE ลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณ EBS เพิ่มมากกว่า 10% ความต้านแรงดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก สำหรับการใส่แป้งมันสำปะหลังเข้าไปใน LDPE โดยไม่ใส่ EBS ได้ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่าความต้านแรงดึงลดลง ด้วยเหตุผลเดียวกับการใส่ EBS

ซึ่งหากใส่ส่วนผสมทั้ง 3 เข้าด้วยกัน พบว่า ความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำลง เนื่องจาก ทั้ง EBS wax และแป้งเป็นวัสดุที่มีความแข็งและมีการยืดดึงไม่ดี อีกทั้งแป้งเป็นสารตัวเติมที่ไม่ช่วยในการเสริมแรง นอกจากนี้ ยังพบว่าชิ้นทดสอบที่ใส่แป้ง 33 และ 50 phr ไม่ว่าใส่ EBS ในอัตราส่วนเท่าไรก็ตาม ส่วนใหญ่มีค่าความต้านแรงดึงใกล้เคียงกัน สำหรับการใส่แป้งปริมาณ 100 phr ทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงดึงต่ำที่สุดในทุกอัตราส่วนของ LDPE/EBS ทั้งนี้เพราะแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่แข็งแรง และการใส่แป้งปริมาณมากจะทำให้ชิ้นทดสอบมีความต้านแรงดึงต่ำลง

รูปที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% elongation at break) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

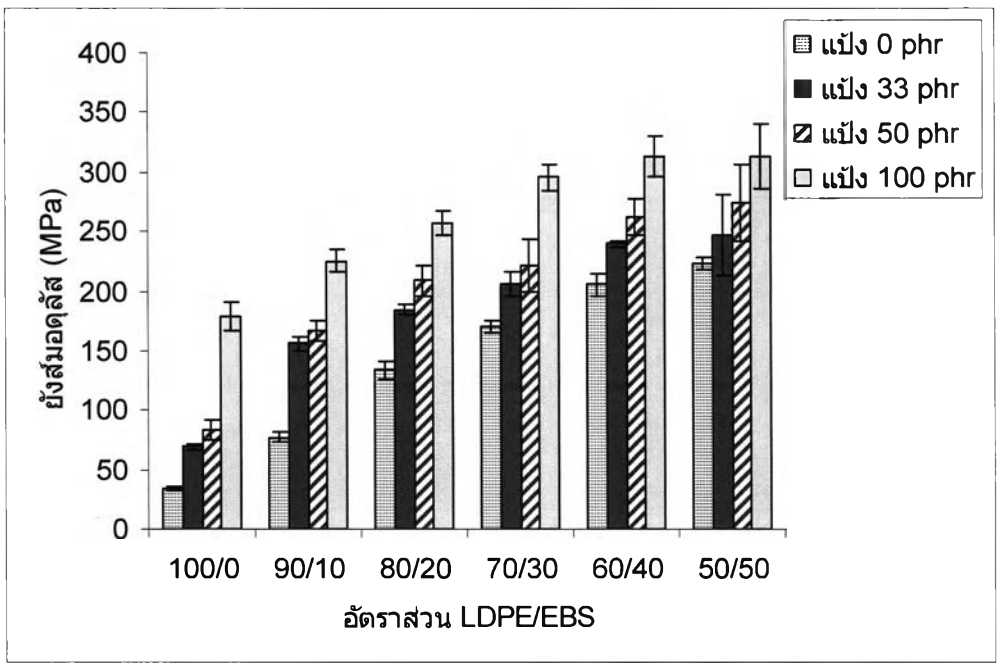


รูปที่ 4.3 %การยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปแสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่ EBS เข้าไปผสมกับ LDPE โดยที่ยังไม่ได้มีการใส่แป้งมันสำปะหลัง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของชิ้นทดสอบมีค่าลดลง และลดลงต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณ EBS มากกว่า 10% เนื่องจาก EBS ได้ขัดขวางการจัดเรียงตัวและการพันกันของสายโซ่ LDPE ในขณะยืดดึง ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องขึ้นในชิ้นทดสอบ จึงส่งผลให้การยืดดึงน้อยลง สำหรับการใส่แป้งเข้าไปใน LDPE โดยไม่ใส่ EBS ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการใส่แป้งเข้าไป ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีแรงดึงดูดภายในโมเลกุลมากขึ้น จึงส่งผลให้ชิ้นทดสอบยืดตัวได้น้อยลง

ซึ่งหากใส่ส่วนผสมทั้ง 3 เข้าด้วยกัน พบว่า การใส่แป้งปริมาณ 33 phr ในทุกอัตราส่วนของ LDPE/EBS ชิ้นทดสอบมีการยืดตัวมากกว่าการใส่แป้ง 50 และ 100 phr และยิ่งมีการใส่แป้งมากขึ้นการยืดตัวยิ่งน้อยลง เช่นเดียวกับการใส่ EBS ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะปริมาณ LDPE ในพอลิเมอร์ผสมลดน้อยลงเมื่อปริมาณทั้ง EBS และแป้งเพิ่มขึ้น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด

รูปที่ 4.4 แสดงค่ายังส์มอดุลัส (Young's modulus) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

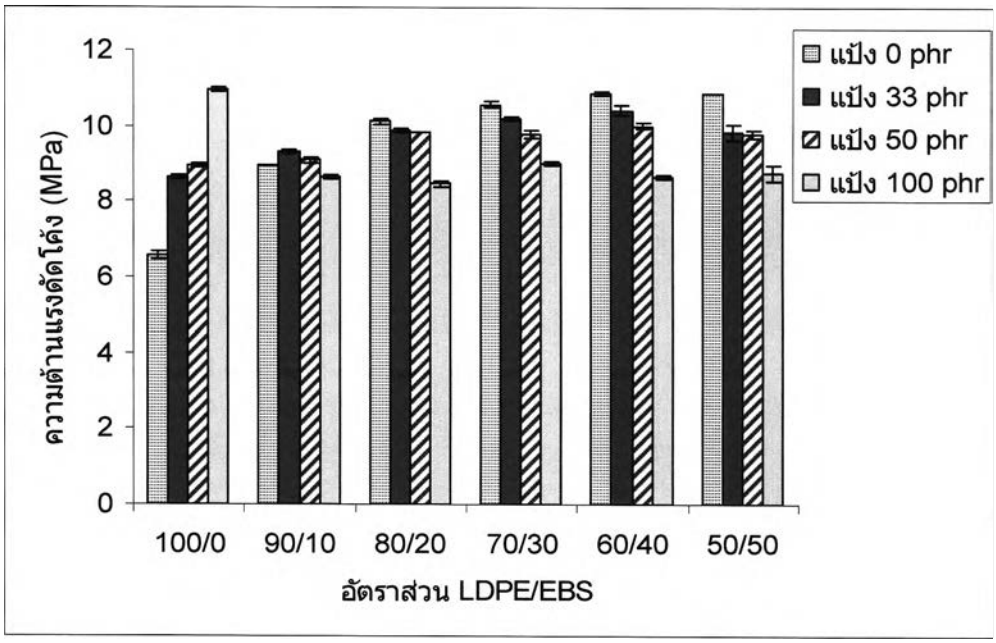


รูปที่ 4.4 ค่ายังส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

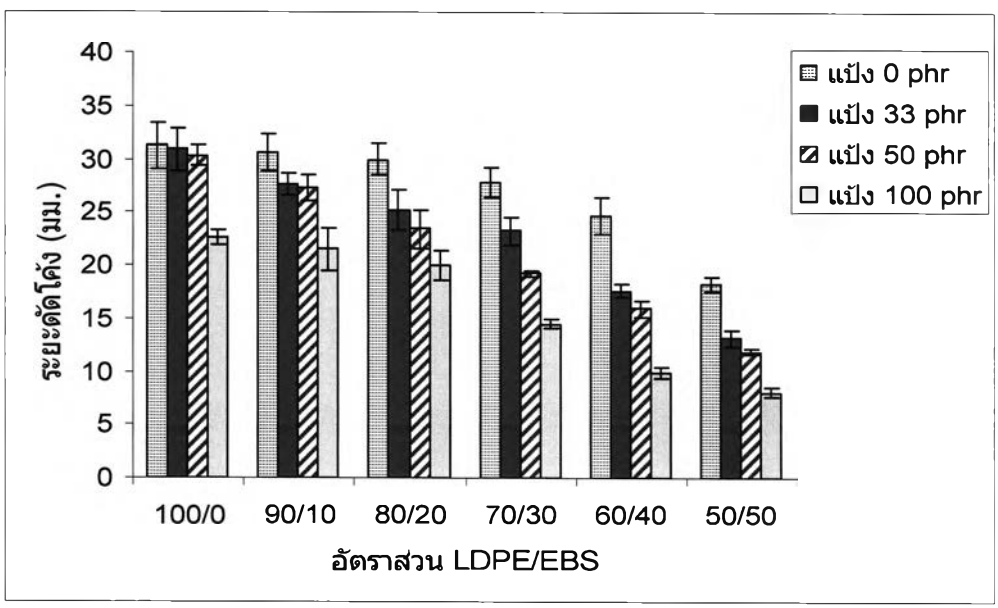
จากรูปแสดงให้เห็นว่า ค่ายังส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EBS และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น แสดงว่าพอลิเมอร์ผสมมีความแข็งตึงมากขึ้น นั่นคือ ต้องใช้แรงดึงมากกว่าในการทำให้พอลิเมอร์ผสมยืดในระยะเท่ากันกับ LDPE

4.2.2 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงค่าความต้านแรงดัดโค้ง (flexural strength) และค่าระยะดัดโค้ง (deformation at maximum load) ตามลำดับ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.6 ค่าระยะดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

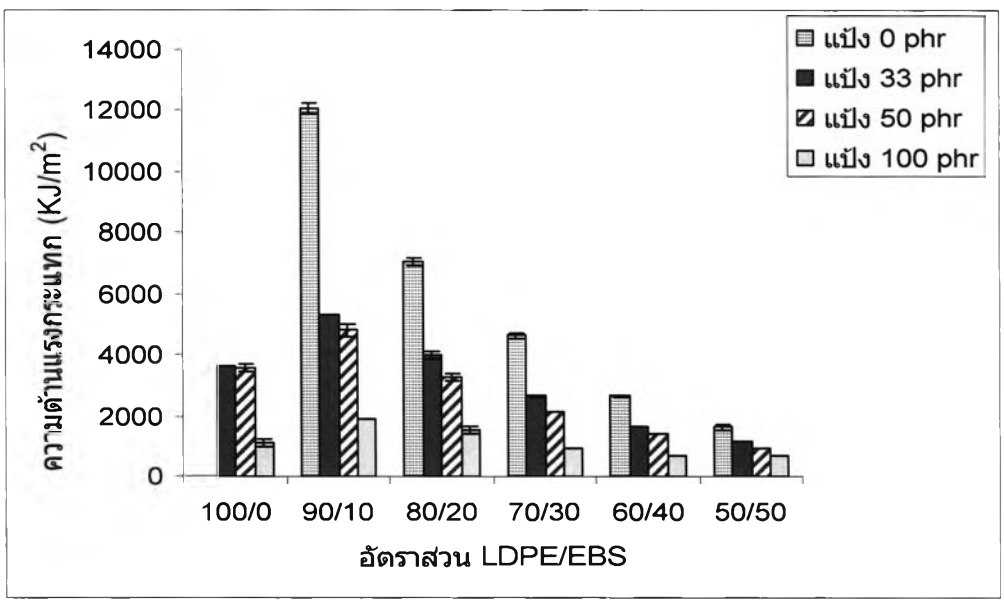
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่ EBS เข้าไปผสมกับ LDPE โดยยังไม่ได้ใส่แป้งมันสำปะหลัง ค่าความต้านแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EBS เพิ่มขึ้น เนื่องจาก EBS ทำให้ชิ้นทดสอบมีความแข็งมากขึ้น จึงสามารถรับแรงกดได้มากขึ้นตามไปด้วย สำหรับการใส่แป้งมันสำปะหลังเข้าไปใน LDPE โดยไม่ใส่ EBS ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดัดโค้งของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวภายในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถรับแรงกดได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่แป้ง 100 phr

ซึ่งหากใส่ส่วนผสมทั้ง 3 เข้าด้วยกัน พบว่า การใส่ EBS เพิ่มขึ้น ร่วมกับแป้งปริมาณ 33 และ 50 phr ทำให้ค่าความต้านแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเมื่อปริมาณแป้งเป็น 50% ความต้านแรงดัดโค้งกลับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ LDPE ที่ลดน้อยลง ทำให้การส่งผ่านแรงกดลดลง และเมื่อพิจารณาปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนของ LDPE/EBS พบว่า ความต้านแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EBS เพิ่มขึ้น และกลับลดลงเมื่อปริมาณ EBS เป็น 50% ก็ด้วยเหตุผลดังที่ได้อธิบายไปแล้ว นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณแป้ง 33 phr ในทุกอัตราส่วนของ LDPE/EBS มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ การใส่แป้งปริมาณ 50 phr แต่ถ้าใส่แป้ง 100 phr พบว่า ชิ้นทดสอบมีความต้านแรงดัดโค้งต่ำสุดในทุกอัตราส่วนของ LDPE/EBS ทั้งนี้เพราะยิ่งมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อของ LDPE ลดน้อยลง ดังนั้นการส่งผ่านแรงกดจึงลดลง

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าระยะดัดโค้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ EBS และแป้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความแข็งเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งการใส่แป้งปริมาณ 100 phr ทำให้ระยะดัดโค้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเมื่อใช้ในอัตราส่วนที่มี EBS ปริมาณมาก ทั้งนี้เพราะปริมาณ LDPE ที่ลดน้อยลง ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีเนื้อที่ไม่แน่น การส่งผ่านแรงเกิดได้น้อย ดังที่ได้อธิบายไปแล้ว

4.6.3 สมบัติด้านความต้านแรงกระแทก

รูปที่ 4.7 แสดงค่าความต้านแรงกระแทก (impact strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.7 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

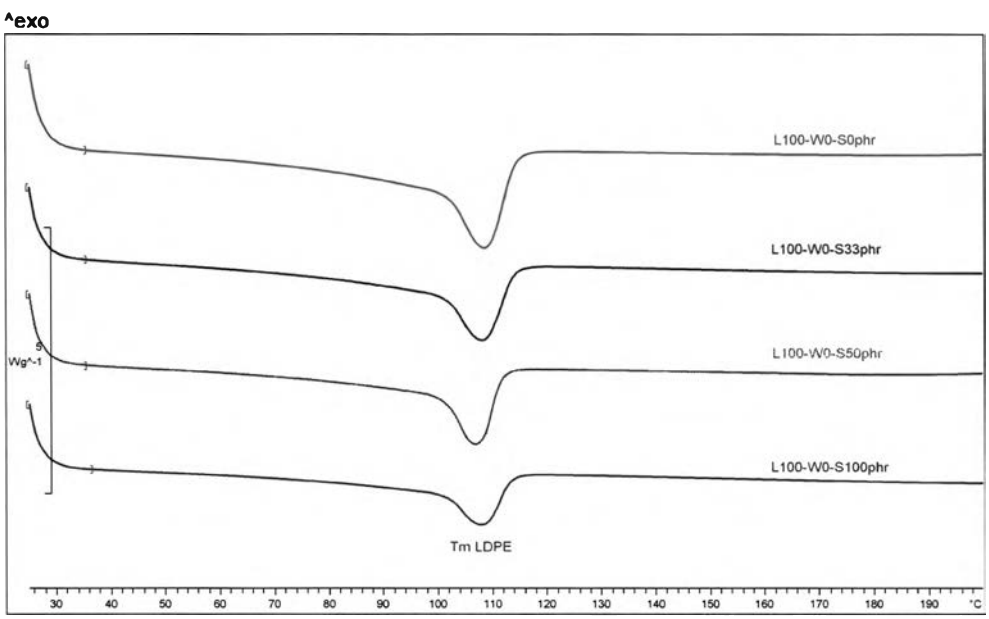
รูปที่ 4.7 ไม่ได้แสดงค่าความต้านแรงกระแทกของ LDPE ทั้งนี้เพราะชิ้นทดสอบไม่แตกหลังจากที่ได้ทดสอบความต้านแรงกระแทกแล้ว เนื่องจาก LDPE มีความเหนียว จึงสามารถต้านแรงกระแทกได้ดี ในขณะที่การใส่ EBS และแป้งมีผลทำให้ความต้านแรงกระแทกของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะชิ้นทดสอบมีความแข็งเปราะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชิ้นทดสอบที่มี EBS และ/หรือแป้งเป็นจำนวนมาก แต่พบว่าที่อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 90/10 ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงกระแทกสูงกว่าชิ้นทดสอบที่มีแต่ LDPE กับแป้งเพียงอย่างเดียว เนื่องจาก EBS เข้าไปช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างแป้งและ LDPE จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความเข้ากันได้มากขึ้น จึงสามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ EBS เข้าไปอีก พบว่าความต้านแรงกระแทกกลับลดลงเนื่องจากเริ่มเกิดความไม่เข้ากันระหว่าง EBS และ LDPE จึงทำให้ชิ้นทดสอบมีความเปราะมากขึ้น

สำหรับชิ้นทดสอบที่มีแต่ LDPE และ EBS ในทุกอัตราส่วนมีค่าความต้านแรงกระแทกสูงกว่าเมื่อใส่แป้งปริมาณ 33, 50 และ 100 phr ตามลำดับ ก็ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

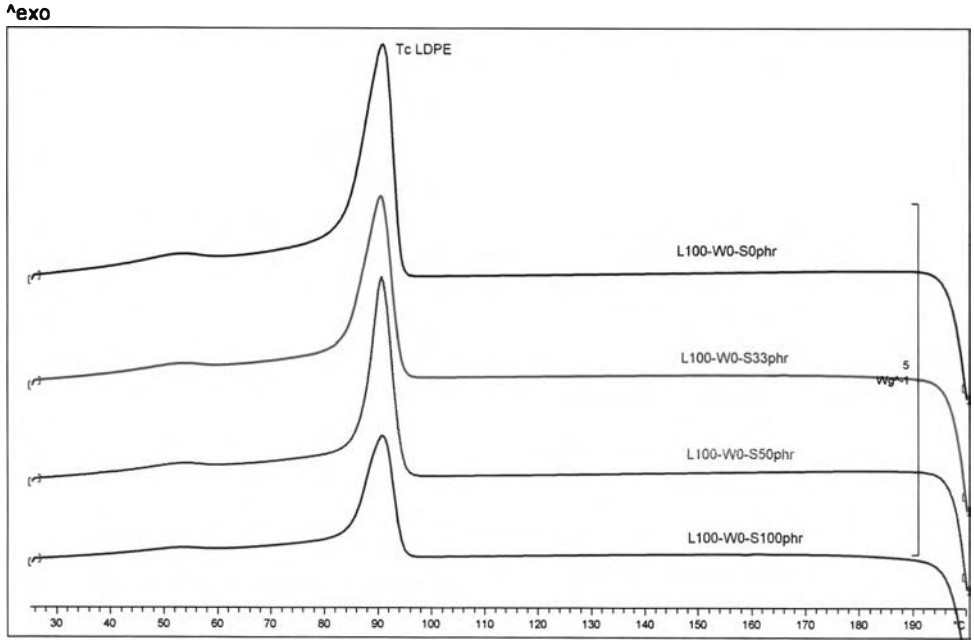
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

4.3.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดง DSC เทอร์โมแกรมของอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ

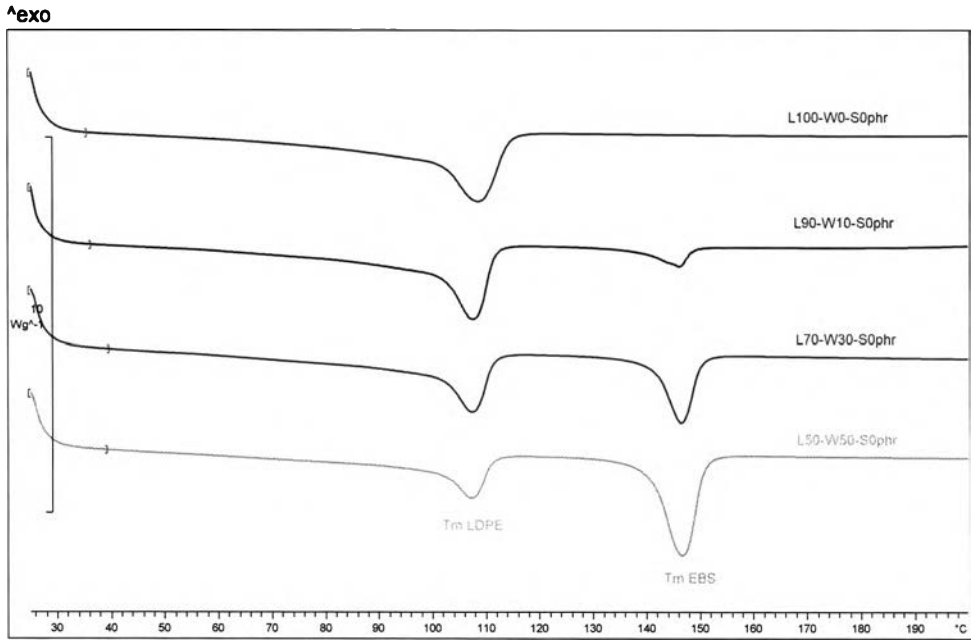
ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

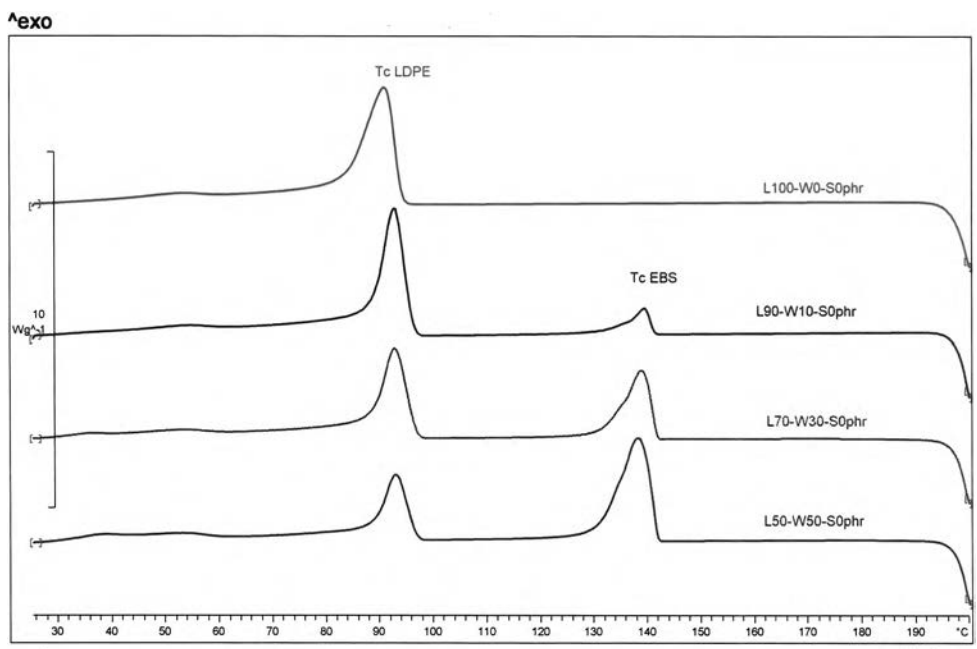
LDPE	**แป้งมันสำปะหลัง** (phr)	**อุณหภูมิการหลอมเหลวของ** LDPE (°C)	**อุณหภูมิการก่อผลึกของ** LDPE (°C)
100	0	107.6	92.1
100	33	107.5	91.4
100	50	106.4	91.6
100	100	107.3	91.2

จากรูปที่ 4.8-4.9 และตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE น้อยมาก โดยอุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่ลดต่ำลงเล็กน้อยอาจเนื่องจากแป้งเข้าไปขัดขวางการเกิดผลึกของ LDPE

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

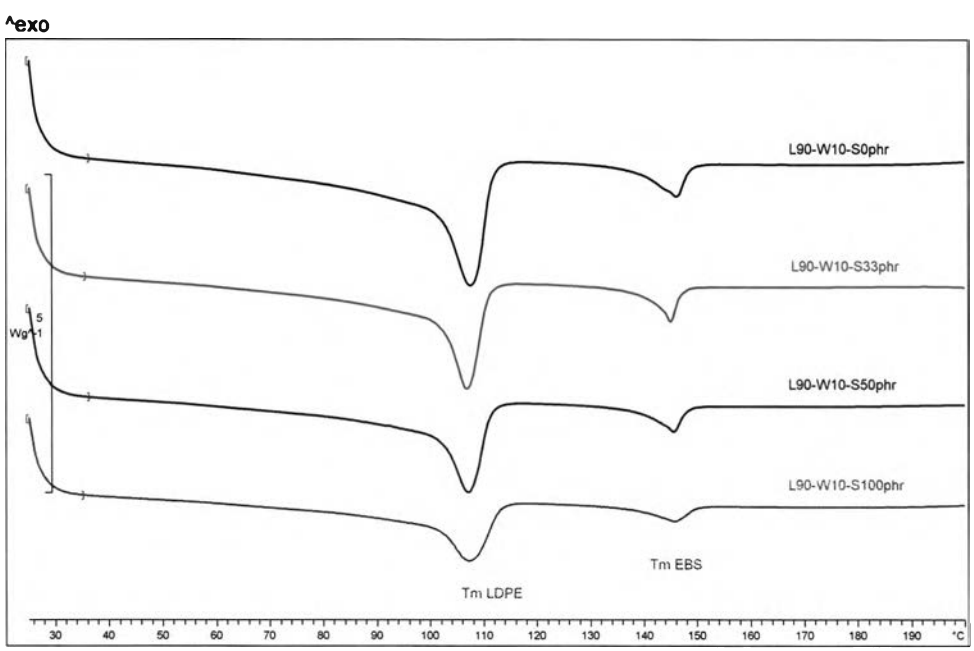
ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

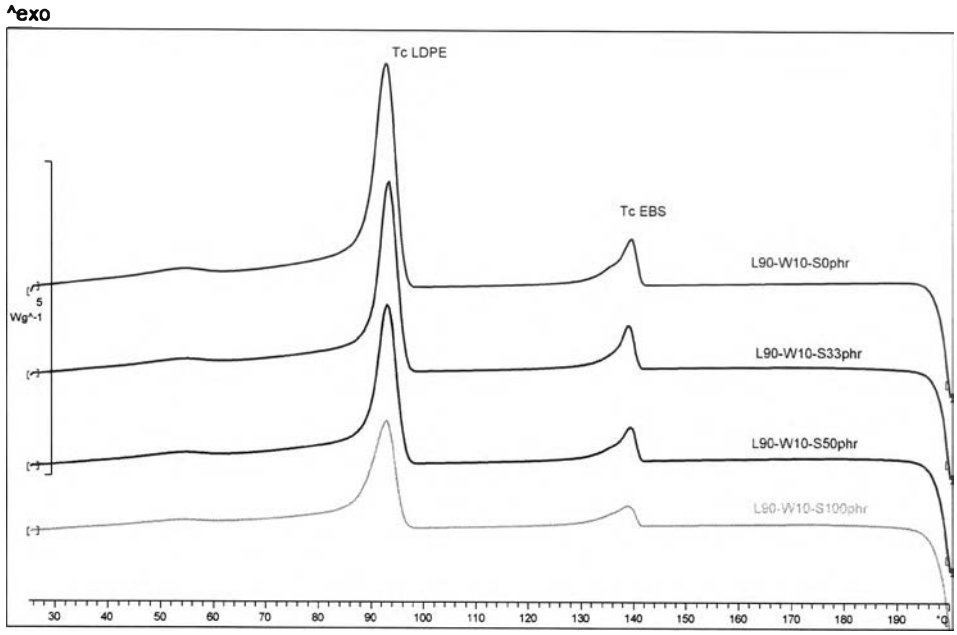
LDPE/EBS	**อุณหภูมิการหลอมเหลวของ** LDPE	**อุณหภูมิการหลอมเหลวของ** EBS	**อุณหภูมิการก่อผลึกของ** LDPE	**อุณหภูมิการก่อผลึกของ** EBS
100/0	107.6	-	92.1	-
90/10	106.7	145.7	93.5	140
70/30	106.7	145.5	93.5	139.8
50/50	106.4	145.6	93.7	139.5

จากรูปที่ 4.10-4.11 และตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ EBS ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของทั้ง LDPE และ EBS น้อยมากเช่นเดียวกันโดยอุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องจาก บางส่วนของ LDPE และ EBS สามารถเข้ากันได้ดี ทำให้ EBS ไปเหนี่ยวนำให้การเกิดผลึกของ LDPE เกิดได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งต่างๆ กัน ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.12 และ 4.13

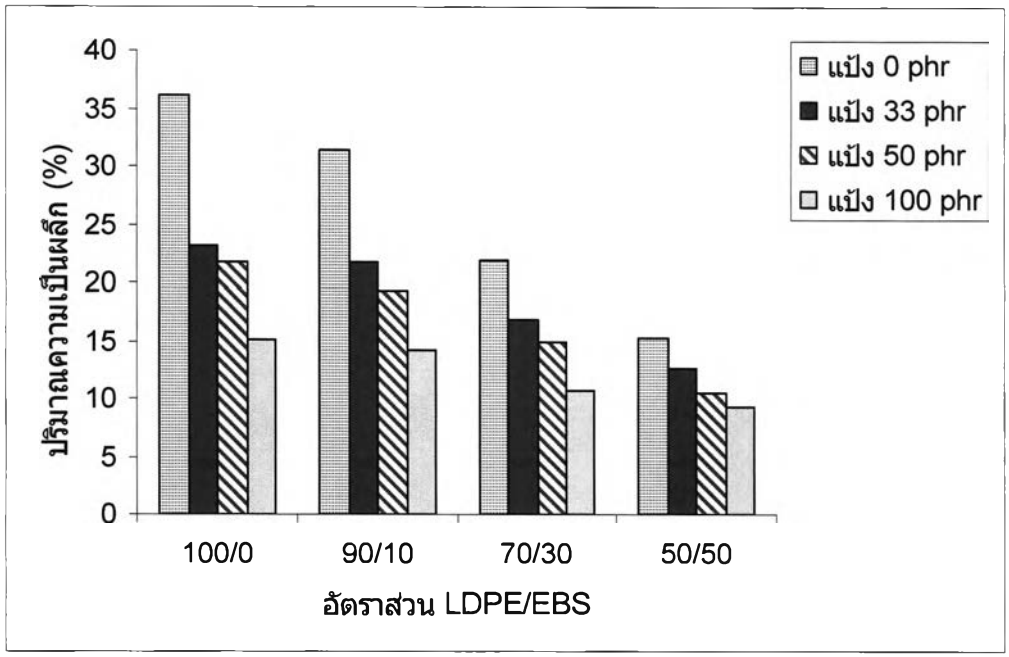
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ กัน

Starch (phr)	**อุณหภูมิการหลอมเหลวของ**LDPE	**อุณหภูมิการหลอมเหลวของ** EBS	**อุณหภูมิการก่อผลึกของ** LDPE	**อุณหภูมิการก่อเกิดผลึกของ** EBS
0	107	145.7	93.5	140
33	106	144	94.2	139
50	106.4	145	93.8	139.7
100	106.6	145.4	93.6	139.3

จากรูปที่ 4.12-4.13 และตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นมีผลผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของทั้ง LDPE และ EBS น้อยมากเช่นเดียวกัน

4.3.2 ปริมาณผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณผลึกของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วนต่างๆ กัน ที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง 0, 33, 50 และ 100 phr

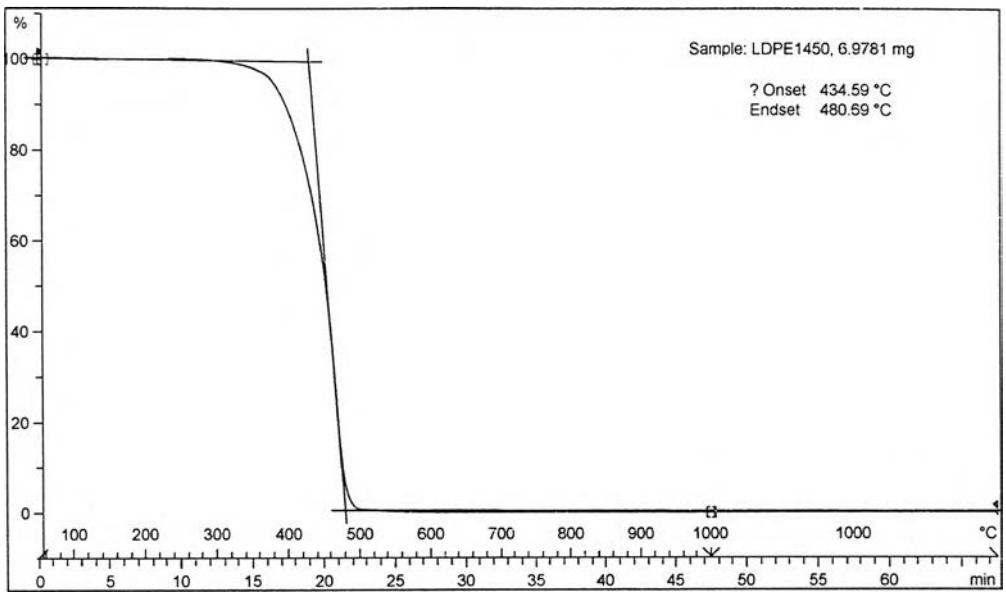


รูปที่ 4.14 ปริมาณผลึกของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

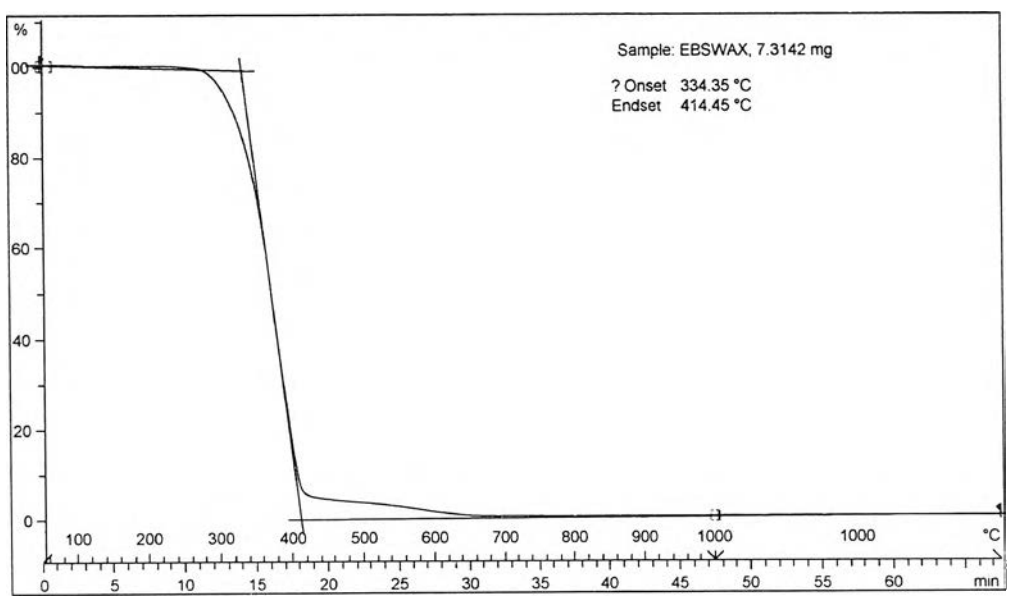
จากรูปที่ 4.14 พิจารณาปริมาณผลึกของ LDPE ที่เกิดขึ้น พบว่า เมื่อปริมาณของ EBS ในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นปริมาณผลึกมีค่าต่ำลง เนื่องจาก EBS ที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ผสมไปขัดขวางการจัดเรียงตัวกันของ LDPE ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการเกิดผลึกลดลง ในทำนองเดียวกันเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นปริมาณผลึกมีค่าต่ำลงเช่นกัน เนื่องจากแป้งได้ไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ผสม รวมทั้งในพอลิเมอร์ผสมมีสัดส่วนของ LDPE ลดลง จึงทำให้ปริมาณผลึกลดลงตามปริมาณของ LDPE ที่ลดลงด้วย

4.3.3 เสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม

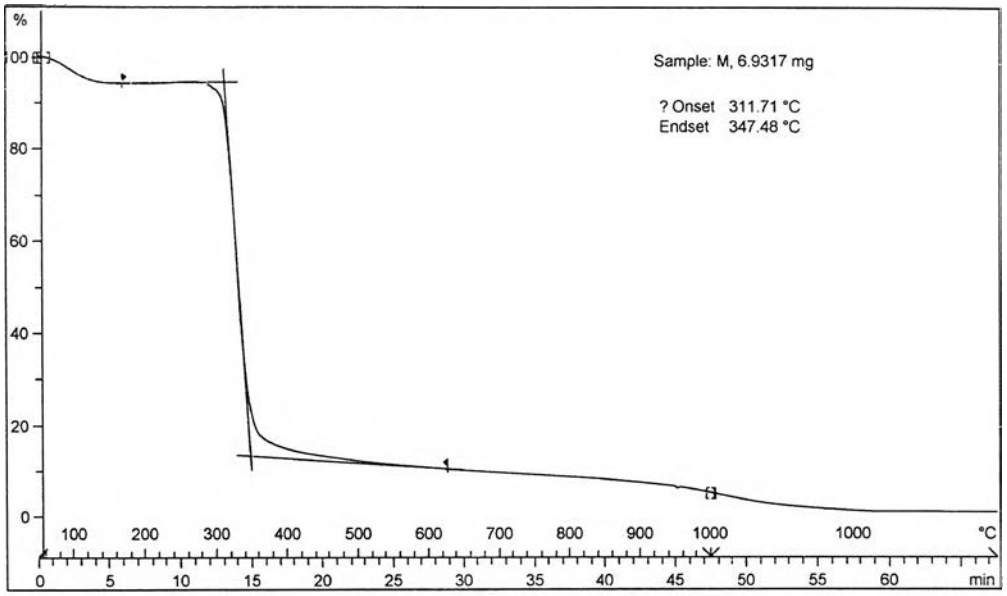
เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมสามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิค TGA รูปที่ 4.15-4.17 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE, EBS wax และแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE



รูปที่ 4.16 TGA เทอร์โมแกรมของ EBS wax



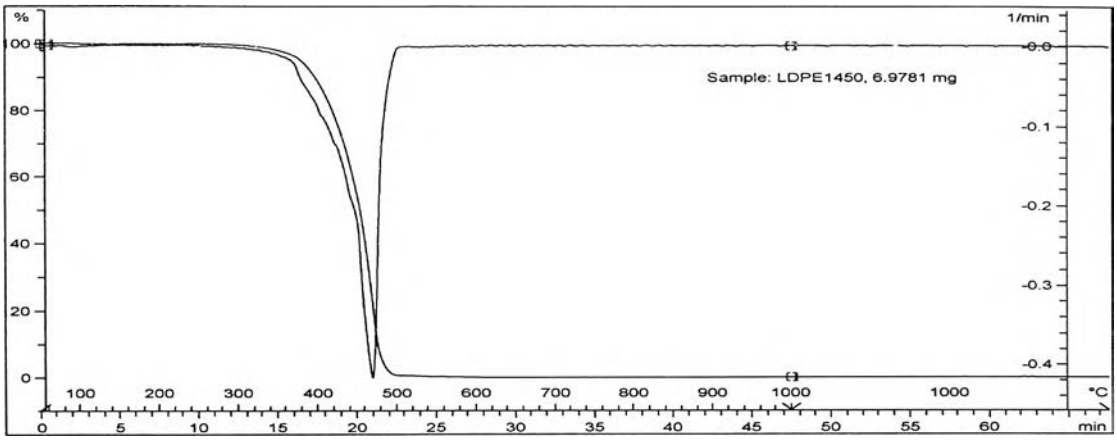
รูปที่ 4.17 TGA เทอร์โมแกรมของ starch

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสารแต่ละชนิด

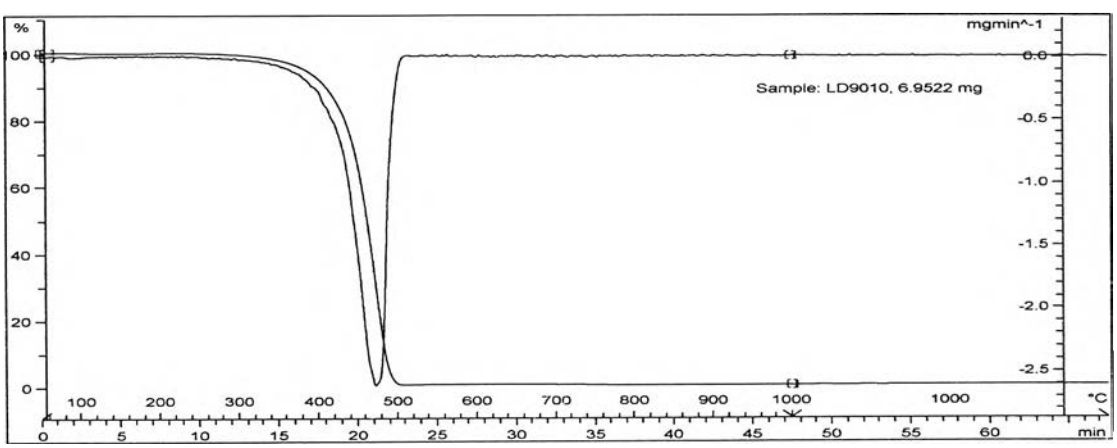
ชนิดของสาร	**อุณหภูมิการสลายตัว**, T_{onset} (°C)
LDPE	435
EBS	334
starch	312

จากรูปที่ 4.15-4.17 และตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพทางความร้อนของ LDPE มีค่าสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงที่สุด รองลงมา คือ EBS ซึ่งเป็นสารมีขั้วที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงสลายตัวได้ง่ายกว่า และแป้งมันสำปะหลังมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำที่สุด เนื่องจากในโมเลกุลต่อกันด้วยพันธะอีเทอร์และมีหมู่อัลดีไฮด์อยู่ในโมเลกุล ทำให้ว่องไวต่อการสลายตัวมากกว่าเมื่อได้รับความร้อน

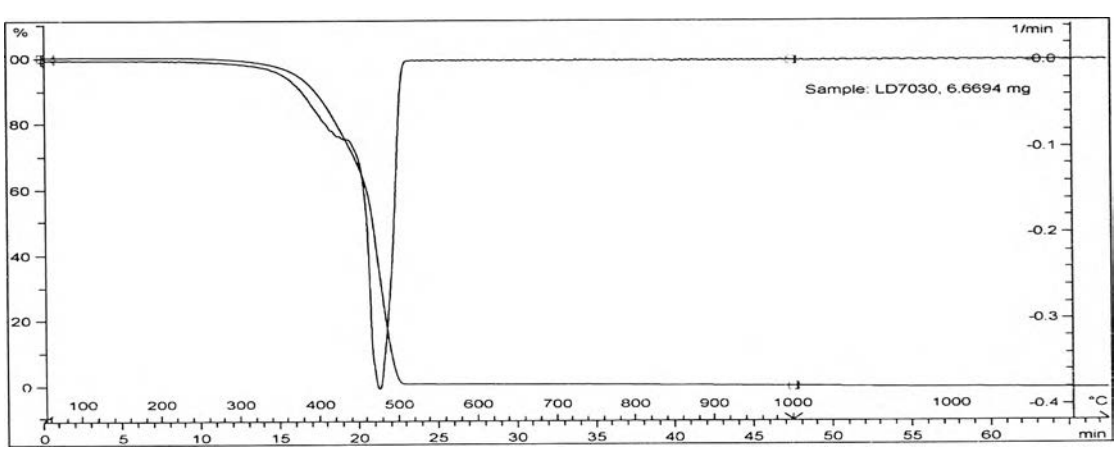
รูปที่ 4.18 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ



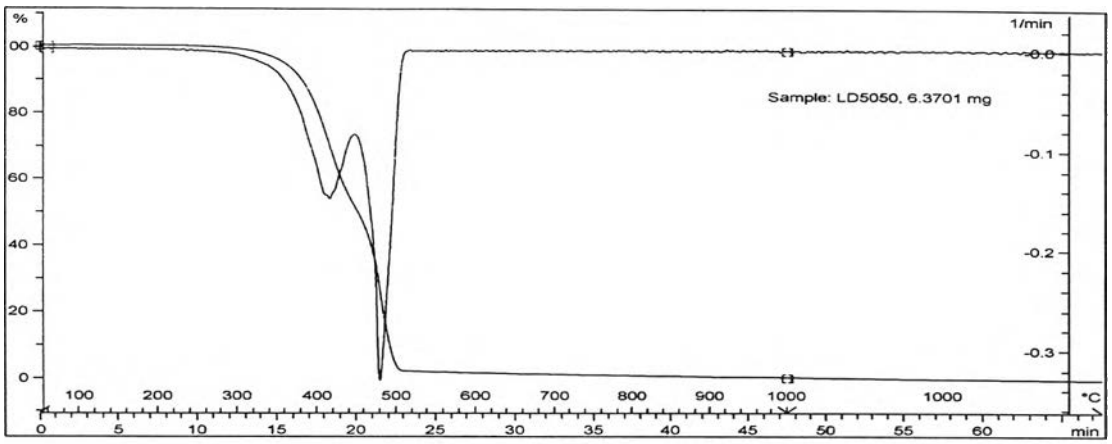
(ก) LDPE/EBS เป็น 100/0



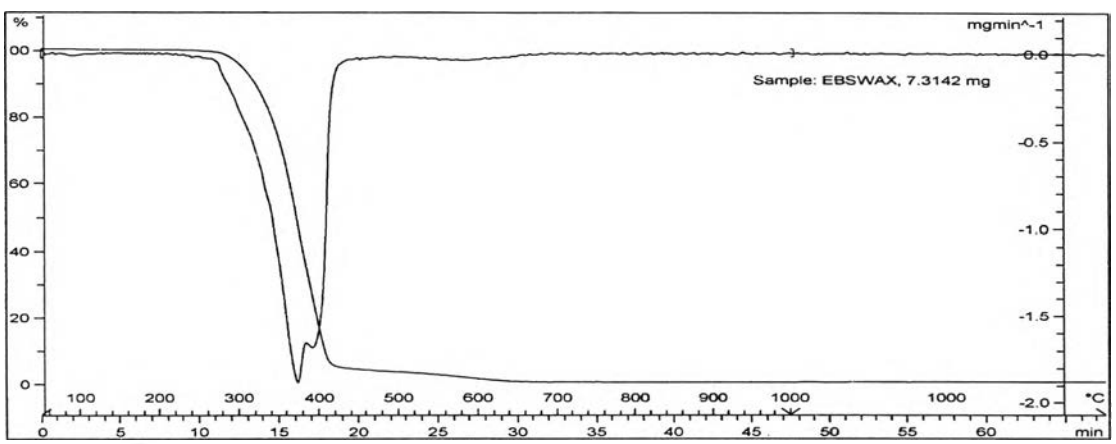
(ข) LDPE/EBS เป็น 90/10



(ค) LDPE/EBS เป็น 70/30



(ง) LDPE/EBS เป็น 50/50



(จ) LDPE/EBS เป็น 0/100

รูปที่ 4.18 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.18

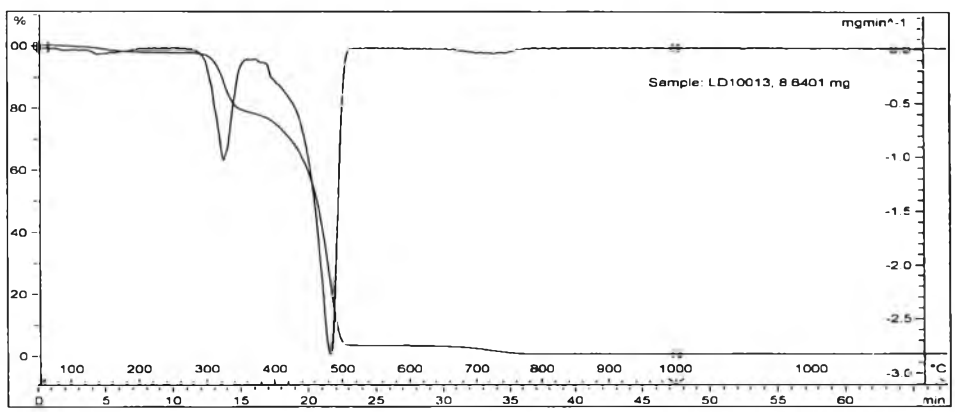
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ LDPE/EBS	**อุณหภูมิการสลายตัว** (°C)	
	$T_{onset\ 1}$	$T_{onset\ 2}$
100/0	-	435
90/10	-	437
70/30	381	459
50/50	367	467
0/100	334	-

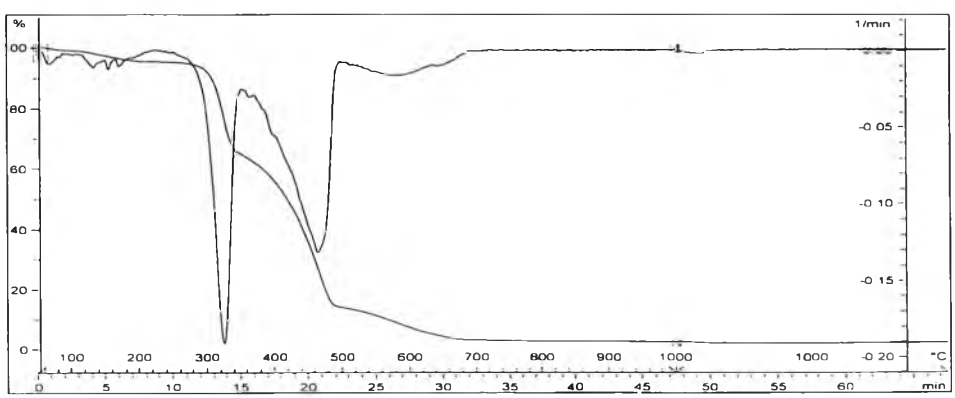
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาเส้นโค้งอนุพันธ์ ซึ่งบอกถึงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในโครงสร้าง พบว่า ที่อัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10 มีเส้นโค้งอนุพันธ์เส้นเดียว ซึ่งแสดงว่าที่อัตราส่วนนี้มีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่าง LDPE และ EBS โดยมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า LDPE เล็กน้อย แต่เมื่ออัตราส่วนเพิ่มเป็น 70/30 และ 50/50 สังเกตเห็นเส้นโค้งอนุพันธ์แยกเป็น 2 เส้น โดยอุณหภูมิการเริ่มสลายตัวของ EBS ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของ EBS (334 °C) ดังตารางที่ 4.5 นั่นแสดงว่าการผสมกันของ LDPE และ EBS อาจมีอันตรกิริยาระหว่างกันเกิดขึ้น ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของ EBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ หลังจากที่ EBS สลายตัวแล้ว อาจไปเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของ LDPE จึงส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.19 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ



(ก) LDPE/starch เป็น 100/33 phr



(ข) LDPE/starch เป็น 100/100 phr

รูปที่ 4.19 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

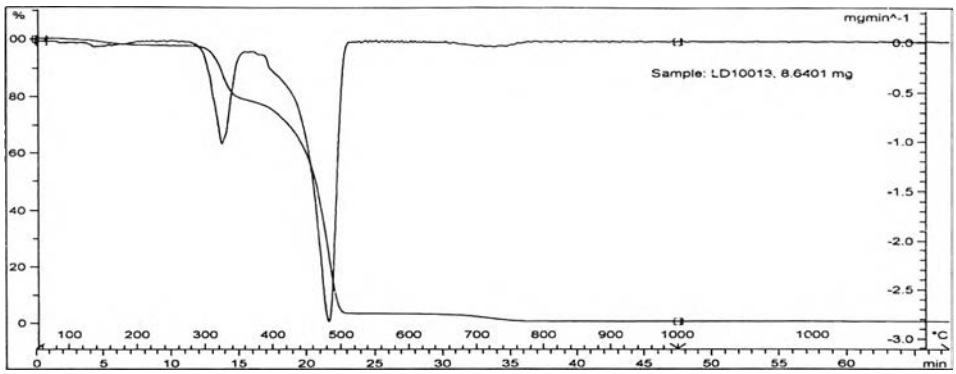
ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/ starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

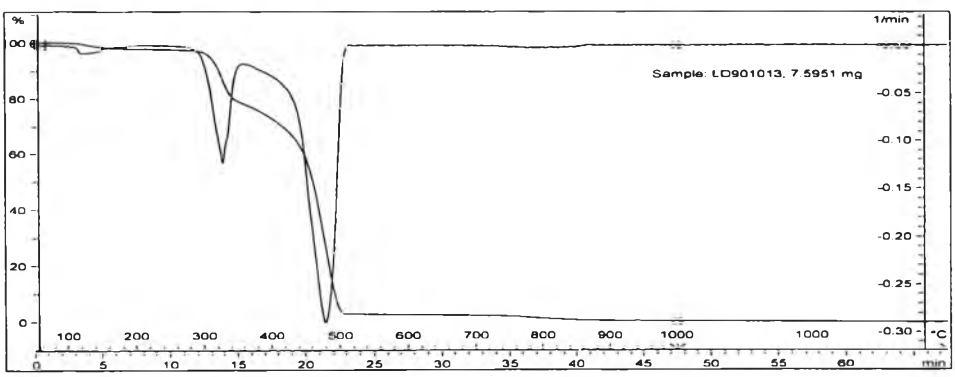
อัตราส่วนของ LDPE/ starch	**อุณหภูมิการสลายตัว** (°C)	
	$T_{onset\ 1}$	$T_{onset\ 2}$
100/0phr	-	435
100/33 phr	305	431
100/100 phr	304	421

รูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นเส้นโค้งอนุพันธ์เมื่อมีการผสมแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแป้งมันสำปะหลังมีการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 304°C และอุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE ลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น โดยลดลงเป็น 421°C เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็น 100 phr (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังจะเกิดแรดิคัลขึ้น และจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง การเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้อาจไปเหนี่ยวนำให้ LDPE เกิดสลายตัวได้เร็วขึ้น

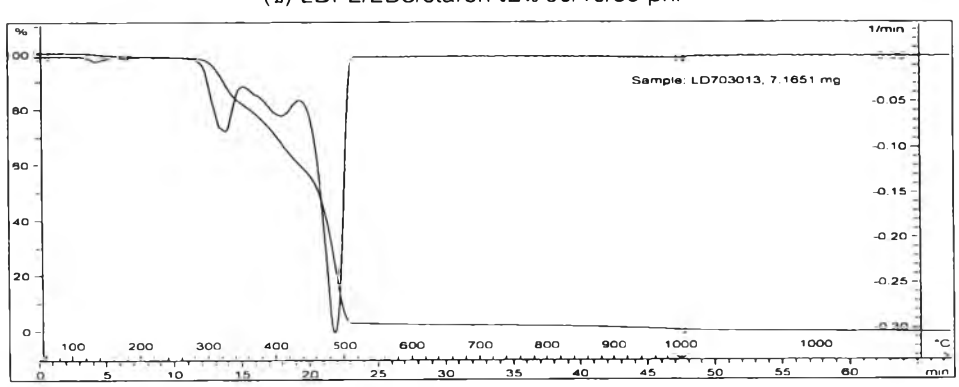
รูปที่ 4.20 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ



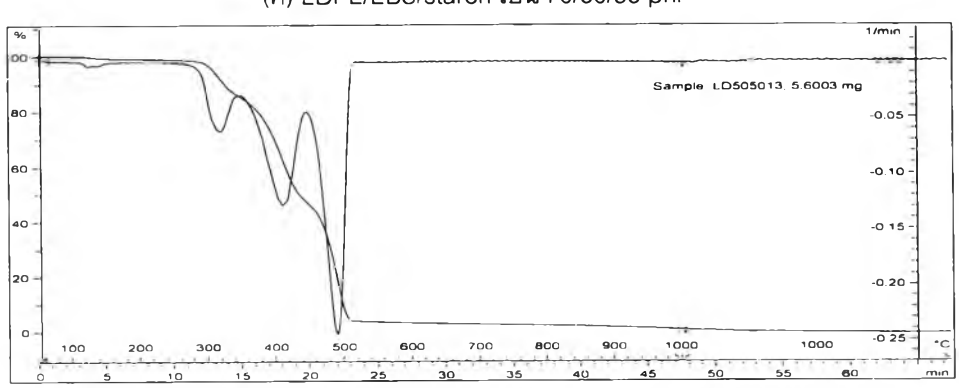
(ก) LDPE/EBS/starch เป็น 100/0/33 phr



(ข) LDPE/EBS/starch เป็น 90/10/33 phr



(ค) LDPE/EBS/starch เป็น 70/30/33 phr



(ง) LDPE/EBS/starch เป็น50/50/33 phr

รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งหาได้จากรูปที่ 4.20

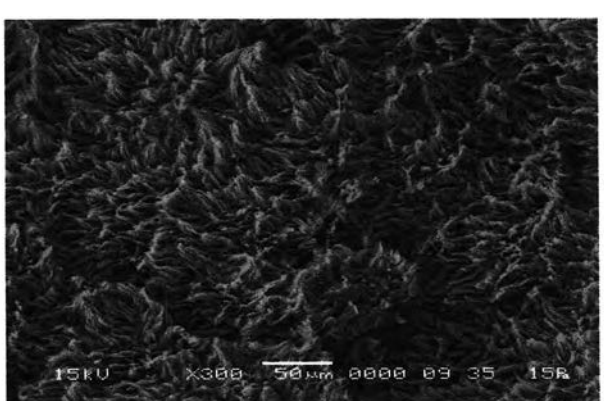
ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ LDPE/EBS/starch	**อุณหภูมิการสลายตัว** (°C)		
	$T_{onset\ 1}$	$T_{onset\ 2}$	$T_{onset\ 3}$
100/0/33 phr	305	-	431
90/10/33 phr	307	-	439
70/30/33 phr	302	387	463
50/50/33 phr	296	385	472

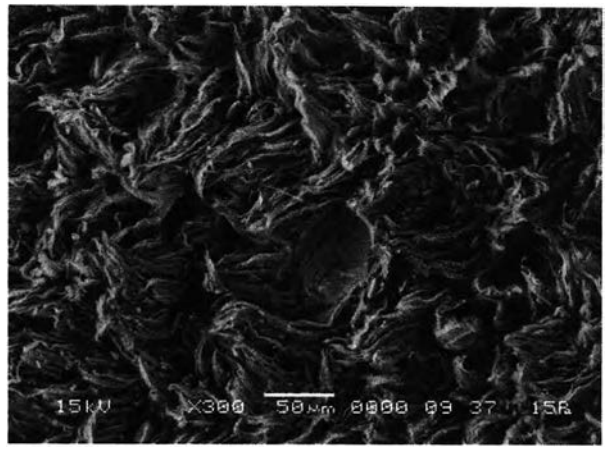
จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นเส้นโค้งอนุพันธ์ทั้งหมด 3 เส้นโค้ง โดยที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ EBS เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการเข้ากันของแป้งและ EBS ค่อยลดลง เกิดการแยกเฟสและทำให้การสลายตัวเป็นไปได้ง่ายขึ้น เมื่อแป้งสลายตัวจนหมดแล้ว จะเห็นการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง EBS กับ LDPE ได้อย่างชัดเจนเหมือนกับที่แสดงในตารางที่ 4.5 กล่าวคือ อุณหภูมิการสลายตัวของ EBS เพิ่มขึ้น และมีการเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุล LDPE จึงทำให้อุณหภูมิการสลายตัวในช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นของ LDPE นั้น เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.7

4.4 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 4.21-4.24 แสดงผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากการผสม LDPE/EBS ในอัตราส่วน 90/10, 80/20, 70/30 และ 50/50 ตามลำดับ โดยตรวจสอบพื้นที่หน้าดัดของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงกระแทกแล้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10



รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 80/20

รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 70/30

รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 50/50

รูปที่ 4.21-4.24 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณ EBS ในชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้ากันได้ของ LDPE กับ EBS ลดน้อยลง โดยที่อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 90/10 ยังสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้อยู่ และเมื่อปริมาณ EBS เพิ่มขึ้น จะเห็น EBS รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนแยกตัวจาก LDPE จึงทำให้ชิ้นทดสอบมีสมบัติเชิงกลลดลงเมื่อปริมาณ EBS เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.25-4.27 แสดงผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากการผสม LDPE/EBS ในอัตราส่วน 90/10 และผสมแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 33, 50 และ 100 phr ตามลำดับ โดยตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงกระแทกแล้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

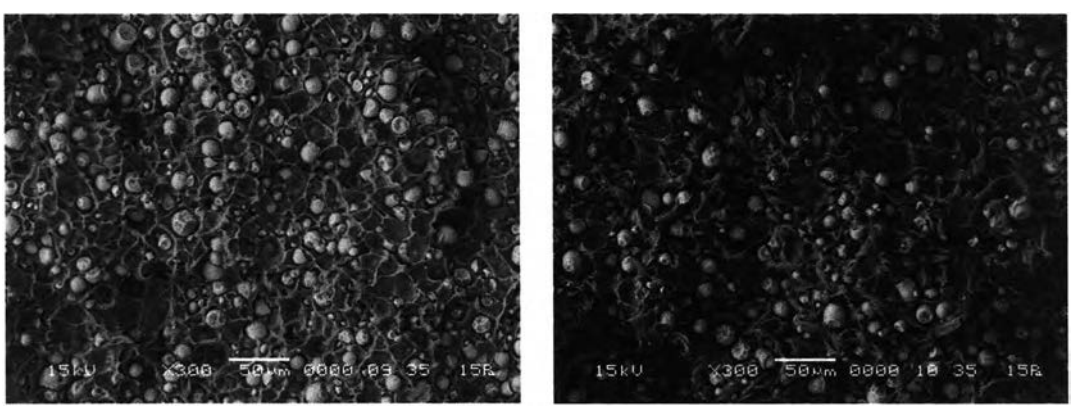
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10 และผสมแป้ง 33 phr

รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10 และผสมแป้ง 50 phr

รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10 และผสมแป้ง 100 phr

รูปที่ 4.25 -4.27 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณแป้งในชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดแป้งรวมตัวเป็นกลุ่มใหญ่กระจายอยู่ในชิ้นทดสอบ จึงมองเห็นชิ้นทดสอบมีความบกพร่องเพิ่มขึ้น ดังนั้น สมบัติเชิงกลของชิ้นทดสอบจึงลดลงเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเมื่อใส่แป้งปริมาณ 100 phr

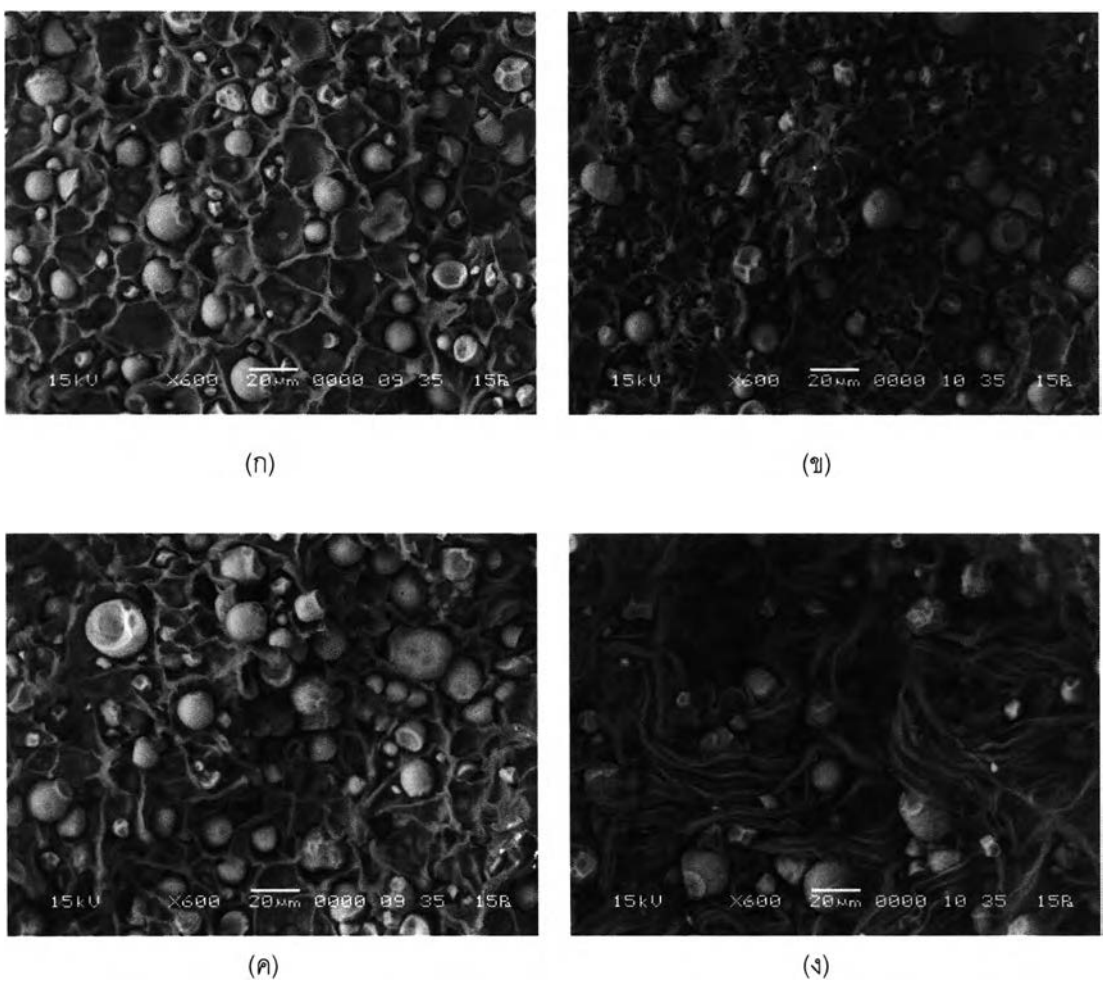
รูปที่ 4.28 แสดงสัณฐานวิทยาเปรียบเทียบระหว่างชิ้นทดสอบที่ใส่แป้งในปริมาณ 33 phr เท่ากัน ต่างกันตรงที่ชิ้นหนึ่งไม่ใส่ EBS อีกชิ้นใส่ EBS โดยตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงกระแทกแล้ว ด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 300 เท่า



(ก) (ข)

รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่ใส่แป้ง 33 phr :
(ก) อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 100/0
(ข) อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 90/10

จากรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าการเติม EBS เข้าไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และแป้งมันสำปะหลัง EBS สามารถช่วยให้แป้งกระจายตัวใน LDPE ได้ดีขึ้น การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของแป้งน้อยลง เนื่องจากโมเลกุลของ EBS ส่วนที่มีขั้วไปยึดจับกับแป้ง และส่วนที่ไม่มีขั้วรวมตัวกับ LDPE ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า EBS ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม (compatibilizer) ให้กับ LDPE และแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ ยังได้เปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากการผสม LDPE/EBS ในอัตราส่วน 100/0 และ 90/10 ที่ผสมแป้งปริมาณ 33 และ 50 phr ไว้ในรูปที่ 4.29 โดยตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบที่ทดสอบความต้านแรงกระแทกแล้วด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 600 เท่า



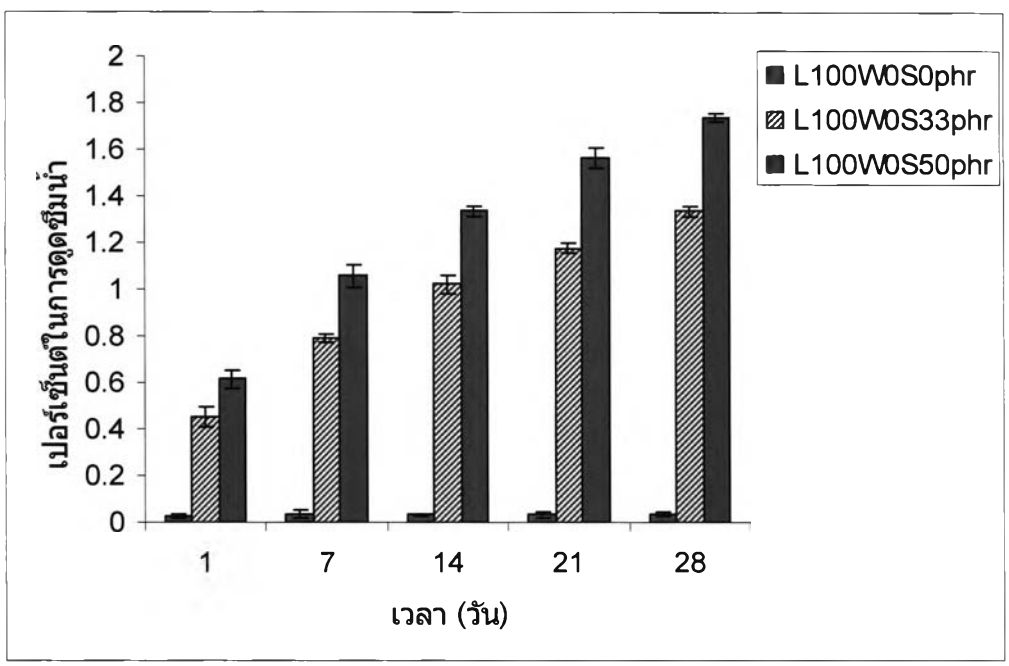
รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก (ก) LDPE/EBS เป็น 100/0 ใส่แป้ง 33 phr, (ข) LDPE/EBS เป็น 90/10 ใส่แป้ง 33 phr, (ค) LDPE/EBS เป็น 100/0 ใส่แป้ง 50 phr (ง) LDPE/EBS เป็น 90/10 ใส่แป้ง 50 phr

จากรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นชัดว่าการใส่ EBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และแป้งมันสำปะหลังช่วยให้แป้งมีการยึดเกาะกับ LDPE เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.5 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำได้เลือกบางสูตรที่น่าสนใจไปทำการทดสอบ โดยพิจารณาจากผลของสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงกระแทก ที่ให้ค่าเป็นที่ยอมรับได้ โดยเลือกสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของ LDPE/EBS เป็น 100/0 และ 90/10 ซึ่งทั้งสองอัตราส่วนใส่แป้งมันสำปะหลัง 0, 33 และ 50 phr สำหรับสูตรที่ใส่แป้ง 100 phr ไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ค่อนข้างเปราะมีสมบัติเชิงกลต่ำ

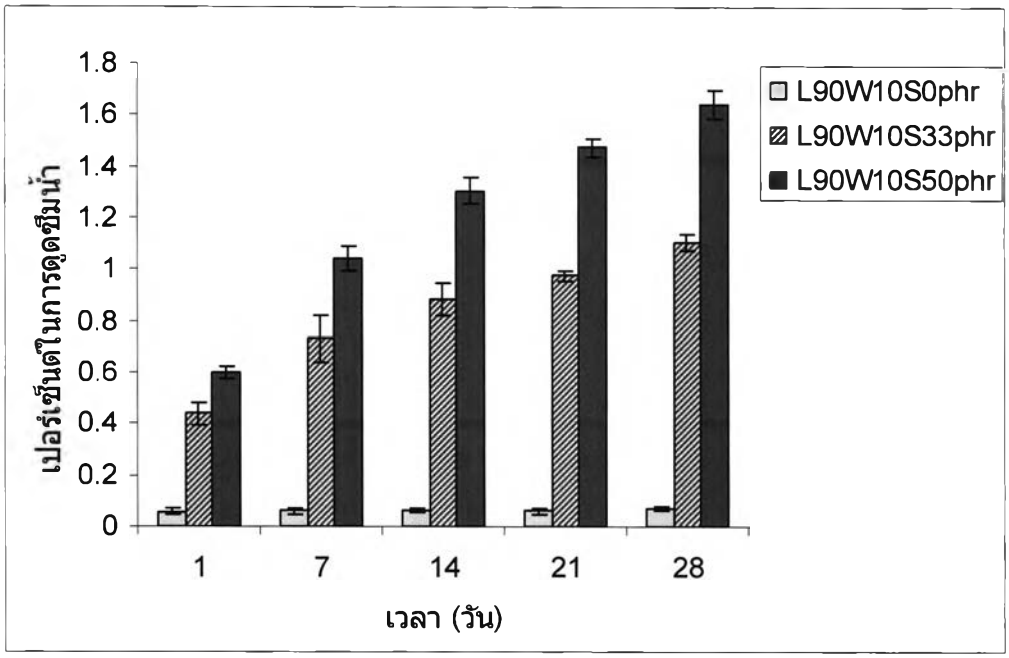
รูปที่ 4.30 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ LDPE ผสมแป้ง 0, 33 และ 50 phr ส่วนรูปที่ 4.31 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EBS ในอัตราส่วน 90/10 ที่ผสมแป้ง 0, 33 และ 50 phr ที่ใช้ระยะเวลาการทดสอบต่างๆ กัน



รูปที่ 4.30 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ LDPE ผสมแป้งในปริมาณ 0, 33, และ 50 phr

จากรูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ LDPE มีค่าต่ำมากถึงแม้แช่น้ำไว้นานถึง 4 สัปดาห์ เพราะ LDPE เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว จึงไม่ดูดซึมน้ำเหมือนพอลิเมอร์ที่มีขั้วอื่นๆ เช่น ไนลอน และเอบีเอส เป็นต้น ซึ่งการเติมแป้งเข้าไปใน LDPE ปริมาณ 33 และ 50 phr มีผลทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่ใส่เข้าไป เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วสูง และเมื่อเวลาผ่านไปการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 4.31 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ผสมแป้ง 0, 33, และ 50 phr ที่ใช้ระยะเวลาการทดสอบต่างๆ กัน



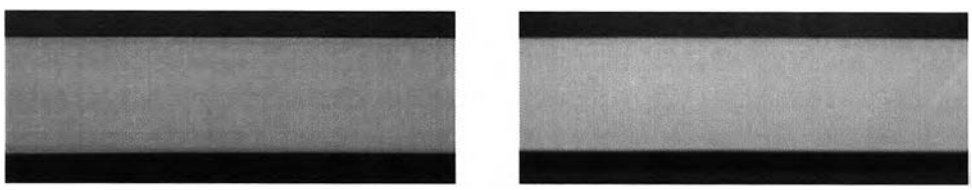
รูปที่ 4.31 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ผสมแป้ง 0, 33, และ 50 phr

จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 90/10 นั้น เมื่อยังไม่ได้ใส่แป้ง (0 phr) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำมาก แต่มากกว่าของ LDPE เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากความมีขั้วของหมู่เอไมด์ที่อยู่ในโมเลกุลของ EBS หากแต่การใส่ในปริมาณเพียง 10% ยังไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมากนัก ซึ่งเมื่อใส่แป้งปริมาณ 33 และ 50 phr พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่ใส่เข้าไป นอกจากนี้ ยังพบว่า อัตราการดูดซึมน้ำมากที่สุดในวันแรกที่ทำการทดสอบ หลังจากนั้นอัตราการดูดซึมน้ำค่อยๆ ลดลง และมีแนวโน้มเข้าสู่จุดอิ่มตัวเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์นั้น เอนไซม์จะผ่านเข้าไปในเนื้อพลาสติกได้ทางตัวกลางที่เป็นน้ำ ดังนั้น ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำจึงแสดงแนวโน้มของการถูกย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งอาจยืนยันได้จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค SEM ต่อไป

4.6 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

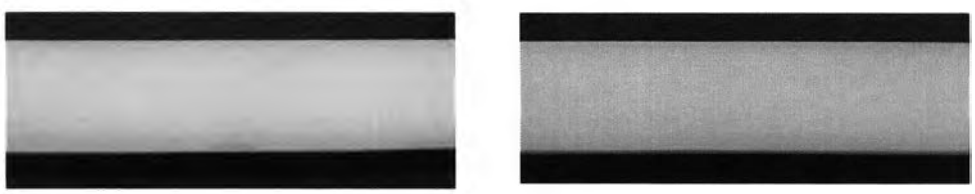
4.6.1 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นทดสอบก่อนและหลังฝังดิน

รูปที่ 4.32-4.37 แสดงภาพชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE, EBS และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ทั้งก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่มองด้วยตาเปล่า



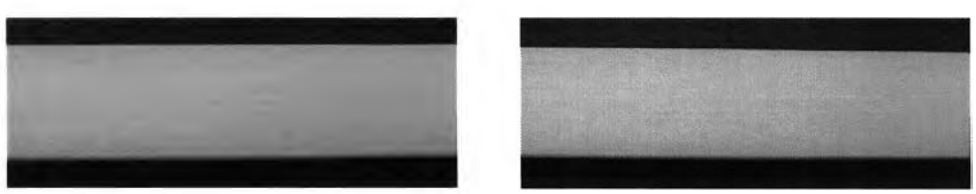
(ก) (ข)

รูปที่ 4.32 ชิ้นทดสอบ LDPE : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์



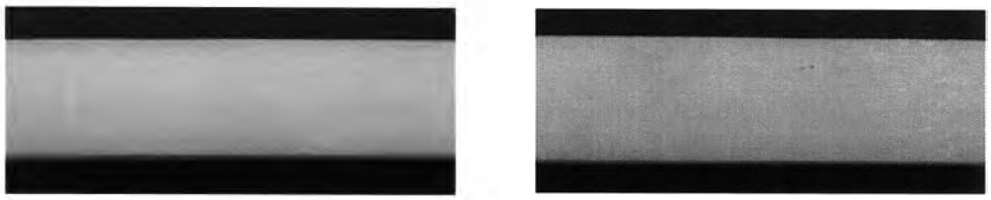
(ก) (ข)

รูปที่ 4.33 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์



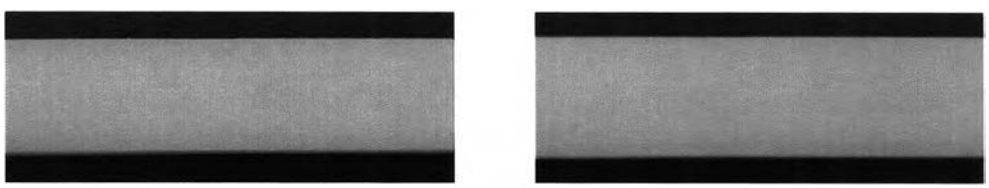
(ก) (ข)

รูปที่ 4.34 ชิ้นทดสอบ LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลัง 33 phr : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์



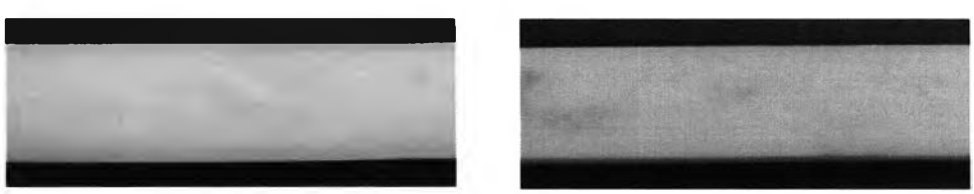
(ก) (ข)

รูปที่ 4.35 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 และผสมแป้งมันสำปะหลัง 33 phr : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์



(ก) (ข)

รูปที่ 4.36 ชิ้นทดสอบ LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลัง 50 phr : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์



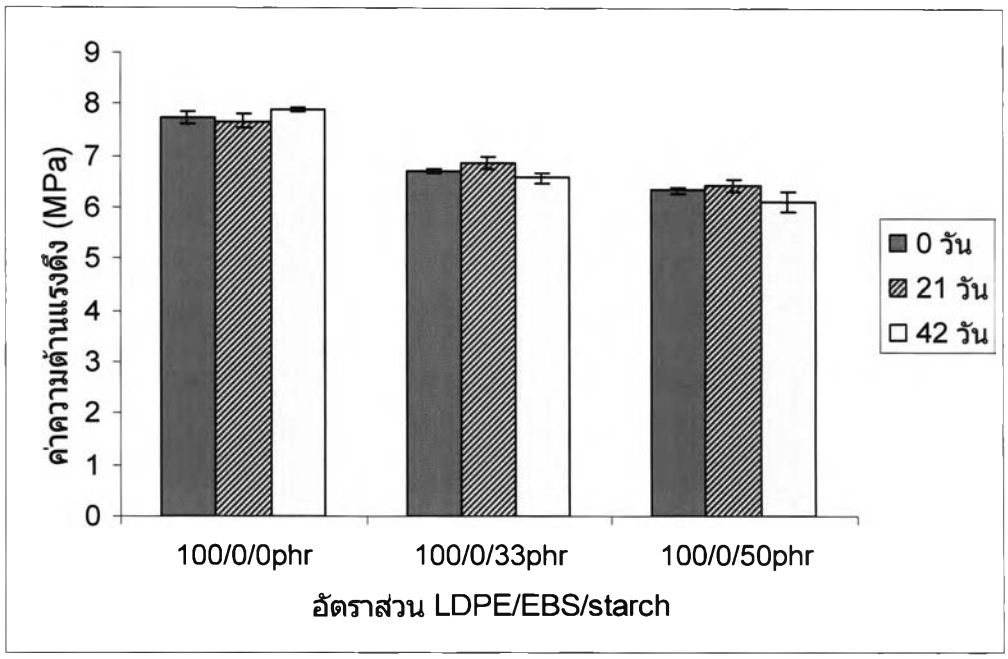
(ก) (ข)

รูปที่ 4.37 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 ผสมแป้งมันสำปะหลัง 50 phr : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.32-4.37 พบว่า ชิ้นทดสอบ LDPE ที่ไม่ได้ผสม EBS และ/หรือแป้งมันสำปะหลังไม่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อตรวจสอบด้วยตาเปล่า ส่วนชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของ LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 และใส่แป้ง 33 phr เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลง โดยมีสีแดงเกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบ และเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มเป็น 50 phr

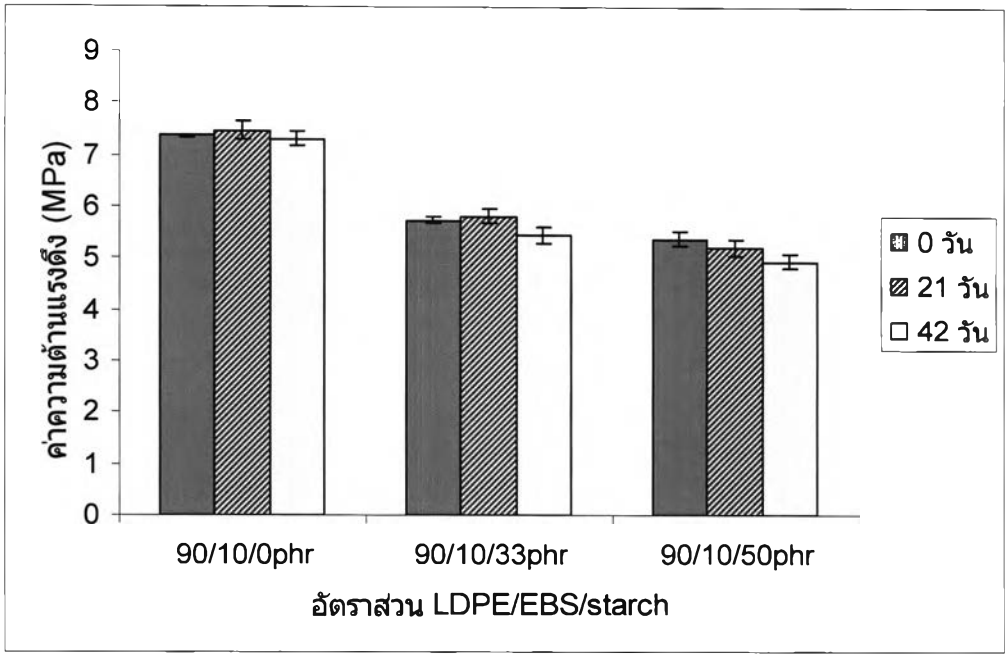
4.6.2 ความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบหลังฝังดิน

รูปที่ 4.38 แสดงค่าความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/starch ที่ใส่แป้งมันสำปะหลัง 0, 33, 50 phr โดยแสดงค่าความต้านแรงดึงก่อน และหลังผ่านการฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์



รูปที่ 4.38 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE /starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ก่อน และหลังฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์

รูป 4.39 แสดงค่าความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ใส่แป้งมันสำปะหลังเป็น 0, 33, 50 phr โดยแสดงค่าความต้านแรงดึงก่อน และหลังผ่านการฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์

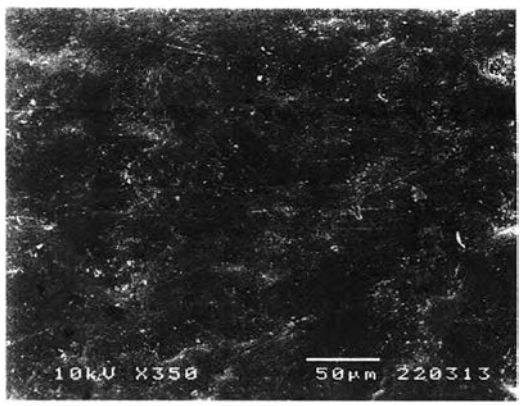


รูปที่ 4.39 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ก่อน และหลังฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์

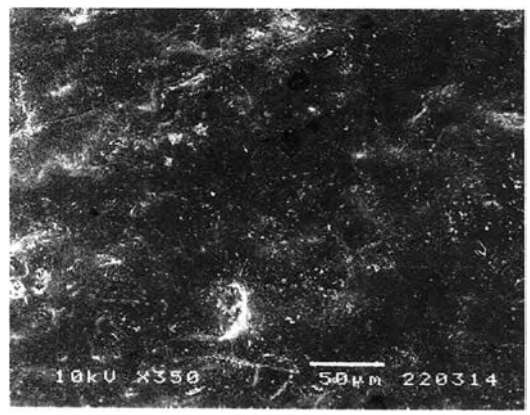
จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 พบว่า ค่าความต้านแรงดึงของ LDPE มีค่าใกล้เคียงกับก่อนฝังดิน แต่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อใส่แป้งมันสำปะหลังเข้าไป และลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็น 50 phr เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนที่ถูกย่อยสลาย ดังนั้น เมื่อมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นย่อมทำให้มีการย่อยสลายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ค่าความต้านแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยเห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อใส่แป้งมันสำปะหลังเข้าไปเช่นเดียวกัน โดยการลดลงของค่าความต้านแรงดึงจะมากกว่า LDPE ที่ไม่ได้ผสม EBS (รูปที่ 4.38) จึงอาจกล่าวได้ว่าทั้ง EBS และแป้งมีส่วนทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งยืนยันได้จากผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.40

4.6.3 สัณฐานวิทยาของพื้นผิวของชิ้นทดสอบก่อนและหลังฝังดิน

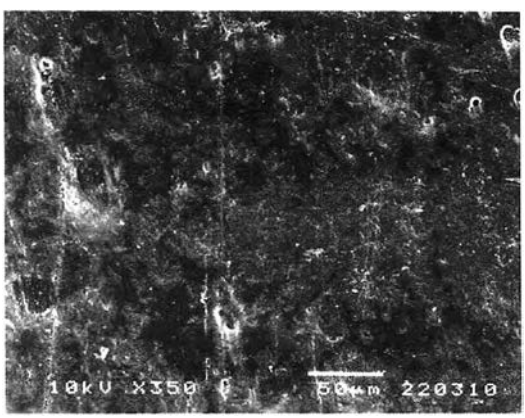
รูปที่ 4.40 แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมทั้งก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 42 วัน ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 350 เท่า



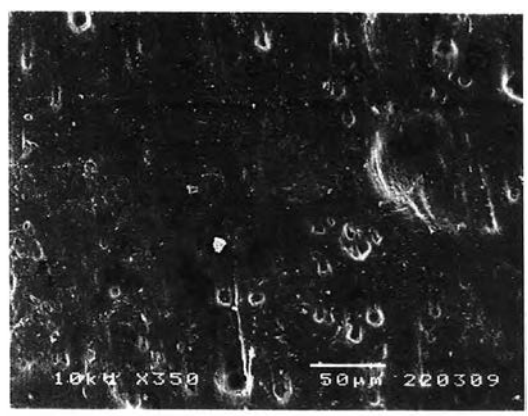
LDPE/EBS 100/0 แป้ง 0 phr 0 วัน



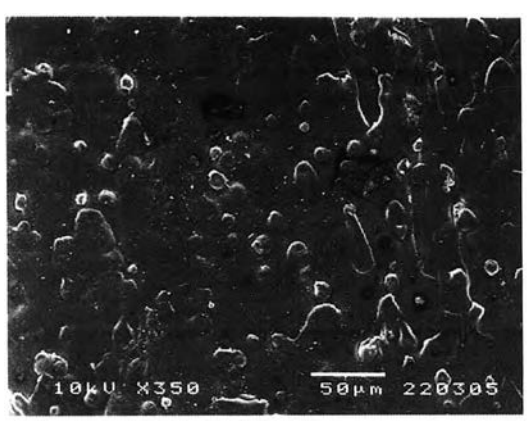
LDPE/EBS 100/0 แป้ง 0 phr 42 วัน



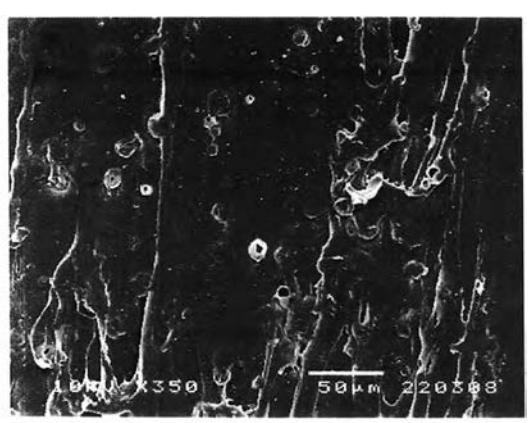
LDPE/EBS 90/10 แป้ง 0 phr 0 วัน



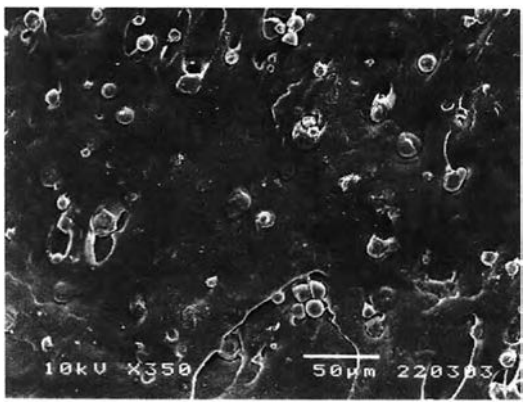
LDPE/EBS 90/10 แป้ง 0 phr 42 วัน



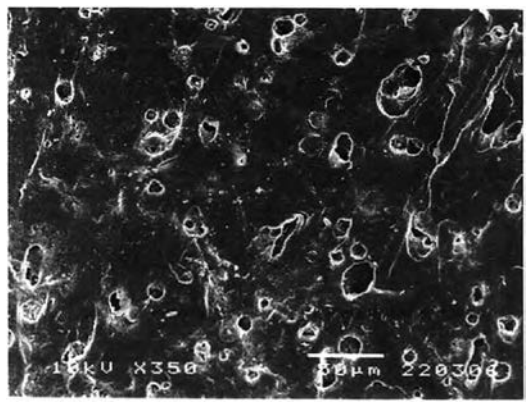
LDPE/EBS 100/0 แป้ง 33 phr 0 วัน



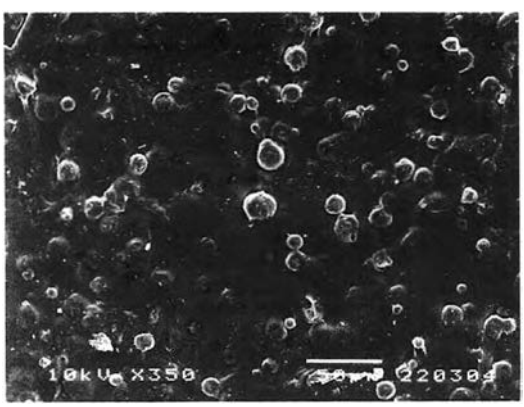
LDPE/EBS 100/0 แป้ง 33 phr 42 วัน



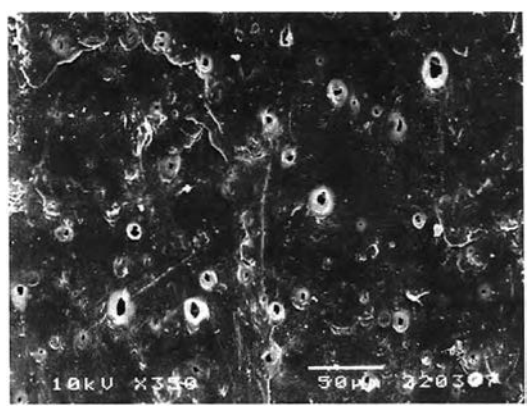
LDPE/EBS 90/10 แป้ง 33 phr 0 วัน



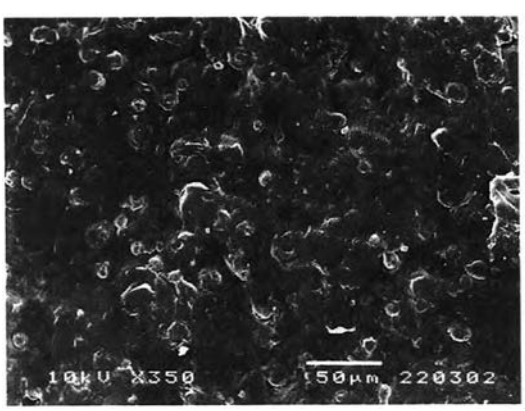
LDPE/EBS 90/10 แป้ง 33 phr 42 วัน



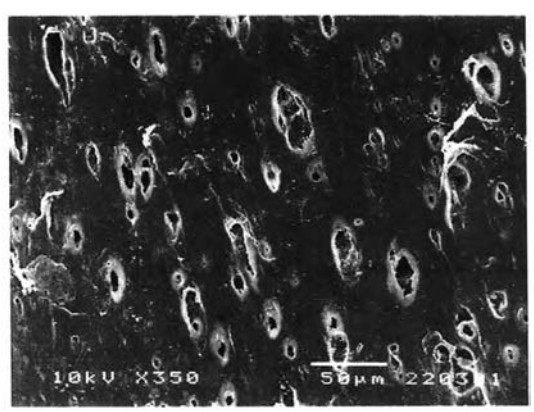
LDPE/EBS 100/0 แป้ง 50 phr 0 วัน



LDPE/EBS 100/0 แป้ง 50 phr 42 วัน



LDPE/EBS 90/10 แป้ง 50 phr 0 วัน



LDPE/EBS 90/10 แป้ง 50 phr 42 วัน

รูปที่ 4.40 ลักษณะพื้นผิวชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมทั้งก่อนและหลังฝังดิน ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 350 เท่า

จากรูปที่ 4.40 แสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบ LDPE ที่ไม่ได้ผสม EBS และแป้งมันสำปะหลัง เมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ลักษณะพื้นผิวแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังฝังดินเป็นเวลา 45 วัน ส่วนชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 และใส่แป้ง 0, 33 และ 50 phr เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดรูพรุนบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ และเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นจะเห็นการกระจายของรูพรุนและปริมาณรูพรุนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการหลุดของทั้ง EBS และแป้งมันสำปะหลัง ออกจากชิ้นทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE ที่ไม่ได้ใส่ EBS แต่ใส่แป้ง 0, 33 และ 50 phr จึงกล่าวได้ว่าเมื่อมี EBS อยู่ในระบบของพอลิเมอร์ผสม จะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก EBS ช่วยให้ LDPE และแป้งมันสำปะหลังเข้ากันได้ดี จึงทำให้แป้งกระจายตัวได้ทั่วชิ้นทดสอบ ซึ่งแป้งสามารถดูดซึมน้ำได้ดีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าระบบที่ไม่มี EBS ผสมอยู่ด้วย