

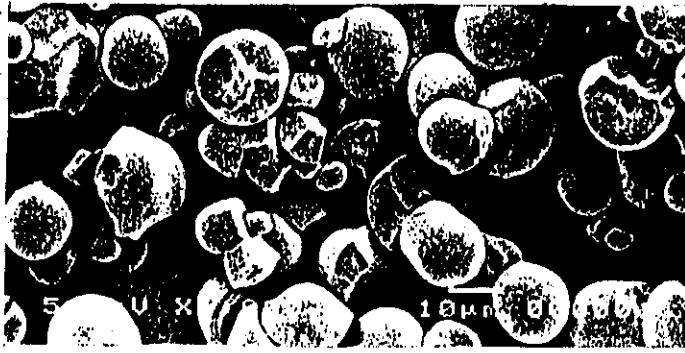
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิซิสด้วยกรด

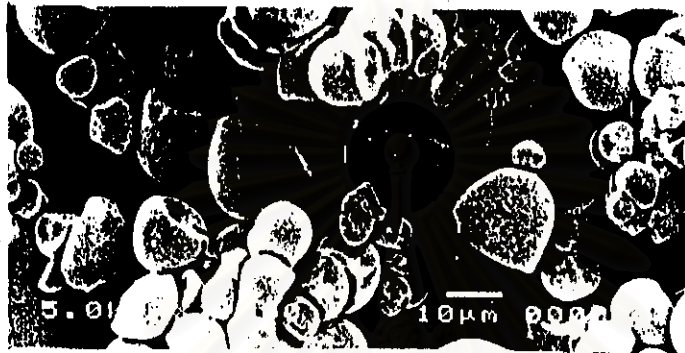
4.1.1 การศึกษาลักษณะรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope

จากการตรวจสอบคุณลักษณะและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด เม็ดแป้งที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.15 N และเม็ดแป้งที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 และ 026 H โดยใช้กล้อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่าเม็ดแป้งทั้งชนิดที่ไม่ผ่านและผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด มีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดของอนุภาคในช่วง 4 ถึง 20 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1

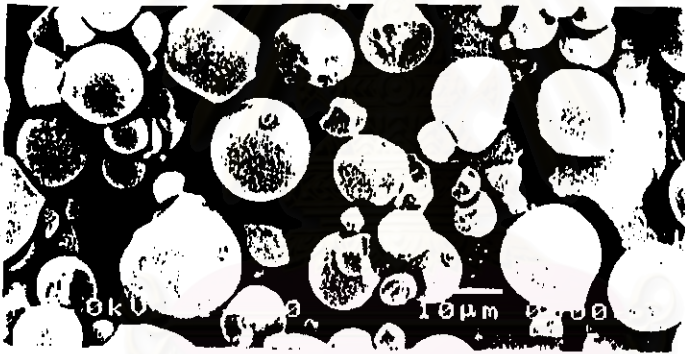
ในปี พ.ศ. 2528 น.ส.ดารณี อุณาภินันท์ และน.ส. สุณี้อ. ทิพย์ชัชวาทกุล ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแปรสภาพแป้งมันสำปะหลังด้วยกรด พบว่าเมื่อใช้กรดที่มีความเข้มข้น 1.0 N ขึ้นไปในการปรับปรุงสมบัติแป้งสำปะหลัง เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีรอยร้าวเกิดขึ้นและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น เม็ดแป้งจะแตกออก แต่ในการทดสอบนี้พบว่าเม็ดแป้งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดมีผิวเรียบ ไม่มีรอยร้าว ลักษณะของเม็ดแป้งไม่แตกต่างกันนัก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่สูงนักคือ 0.15 N จึงทำให้ผิวของเม็ดแป้งไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้น จากการทดสอบนี้สรุปได้ว่าหลังผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดแล้วแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างและขนาดของอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง



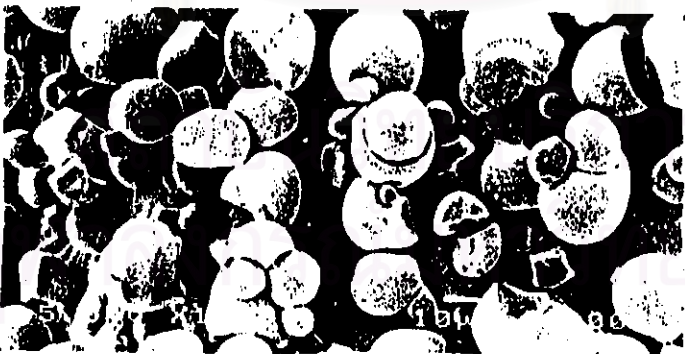
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังทั้งชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด
 ก. ไม่ผ่านการไฮโดรลิซิส ข. ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วย HCl 0.15 N
 ค. ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026
 ง. ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 H

4.1.2 การหาความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า สารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีไฮโดรลิตซ์ด้วยกรดทุกอัตราส่วน จะมีความหนืดต่ำกว่าสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสมบัติมาก ทั้งนี้เพราะก่อนผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรด เมื่อแป้งได้รับน้ำจะเกิดการพองตัวและเนื่องจากโมเลกุลของแป้งมีขนาดใหญ่ เคลื่อนไหวผ่านกันและกันได้ลำบาก จึงทำให้สารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรดมีความหนืดสูง แต่สำหรับแป้งที่ผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรดนั้น จะมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการไฮโดรลิตซ์ เนื่องจากพันธะไกลโคซิดิกในแป้งถูกทำลาย เป็นผลให้การพันกันของโมเลกุลหรือความเกาะเกาะของโมเลกุลน้อยลงและเมื่อแป้งพองตัวก็ยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ความหนืดของสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรดต่ำกว่าสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการไฮโดรลิตซ์

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติ

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (% W/V)	ความหนืดของสารละลายแป้งมันสำปะหลัง (cp)			
	แป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ	แป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วย HCl เข้มข้น 0.15 N	แป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติจากโรงงาน เกรด 026	แป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติจากโรงงาน เกรด 026 H
5 %	600.0	14.5	9.5	12.5
10 %	22,800.0	76.0	43.0	76.0
15 %	152,400.0	690.0	320.0	540.0
20 %	229,250.0	1350.0	525.0	900.0

4.1.3 การศึกษาโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่อง Raman - Spectroscopy

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า หมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรด ไม่แตกต่างกับหมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านไฮโดรลิตซ์ด้วยกรด แสดงให้เห็นว่าไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงใดๆ เกิดขึ้นหลังจากนำแป้งไปผ่านการไฮโดรลิตซ์ด้วยกรด

4.2 การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ตัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรด

4.2.1 การหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรด

จากการผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.15 N ที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ คือ 95 : 5 ส่วนอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 หรือ 026 H ที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้คือ 95 : 5 และ 90 : 10

ตารางที่ 4.2 ผลการผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ตัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรด ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ

ชนิดของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้	อัตราส่วนของแป้งที่ใช้ (ร้อยละ)	ผลของการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	ความหนาของฟิล์มที่ได้ (ไมโครเมตร)
แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยกรดไฮโดรคลอริก 0.15 N	5	สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	70
	10	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
	15	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
	20	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยกรดจากโรงงานเกรด 026	5	สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	70
	10	สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	70
	15	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
	20	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยกรดจากโรงงานเกรด 026 H	5	สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	70
	10	สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	70
	15	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-
	20	ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้	-

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังต่อพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มนั้นมีปริมาณไม่สูงนัก (ไม่เกินร้อยละ 10) ทั้งนี้เพราะกรรมวิธีการผลิตฟิล์มที่ใช้ ไม่ได้มีการเติมสารที่ช่วยในการกระจายตัว (dispersing agent) เพื่อช่วยให้แป้งกระจายตัวในเนื้อพลาสติกดีขึ้นหรือไม่ได้เติมสารคู่ควบ (coupling agent) เพื่อช่วยให้แป้งกับพลาสติกรวมกันทางเคมี นอกจากนี้แป้งยังมีสมบัติที่เรียกว่า การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation) กล่าวคือในการหลอมพลาสติกต้องใช้อุณหภูมิสูง แป้งที่ผสมในพลาสติกจะสุก แต่เมื่อถึงกระบวนการเป่าฟิล์ม พลาสติกจะสัมผัสกับลมเย็น ทำให้แป้งที่ผสมในพลาสติกมีอุณหภูมิต่ำลง โมเลกุลอะมิโลสอิสระที่อยู่ในแป้งที่อยู่ใกล้กัน จะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของแป้งใหม่ โดยการเปลี่ยนจากลักษณะของแป้งที่กระจายตัวกันมาเป็นลักษณะเข้ามารวมตัวกันทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สมบัติดังกล่าวนี้เป็นอุปสรรคในการเป่าฟิล์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีปริมาณแป้งสูงขึ้นไปทำให้ไม่สามารถเป่าพลาสติกที่ผสมแป้งปริมาณสูงเป็นฟิล์มได้ หรือในขณะที่เป่าฟิล์มอาจมีการฉีกขาดเกิดขึ้น

4.2.2 ความแข็งแรงของฟิล์มที่ผลิตได้

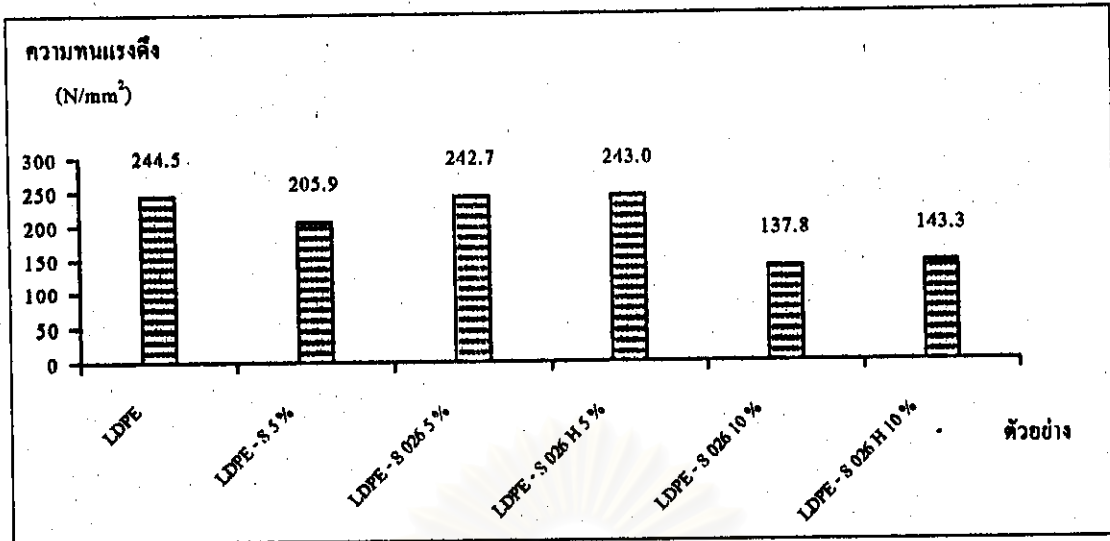
จากผลการทดสอบหาความแข็งแรงของฟิล์มดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า ค่าความทนแรงดึงและการยืดออกที่จุดขาดแปรผกผันกับปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง คือ เมื่อผสมแป้งลงในพลาสติกมากขึ้น ความทนแรงดึงและการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผลิตได้จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิจซ์ด้วยกรดจะมีความแข็งแรงต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ได้ผสมแป้ง

การที่ฟิล์มพลาสติกผสมแป้งมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ผสมแป้ง เนื่องจากแป้งสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ง่าย ดังนั้นเมื่อนำพลาสติกที่ผสมแป้งไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป ความร้อนในกระบวนการขึ้นรูปทำให้น้ำแป้งระเหยออกไปเกิดเป็นฟองอากาศ (bubble) บนผิวฟิล์มเมื่อเย็นตัว เป็นผลให้ความทนแรงดึงของฟิล์มลดลง นอกจากนี้ความแข็งแรงที่ลดลงของฟิล์มยังเนื่องมาจากพันธะระหว่างแป้งกับพลาสติกไม่แข็งแรง ดังนั้นเมื่อฟิล์มได้รับแรงกระทำจึงฉีกขาดได้ง่าย

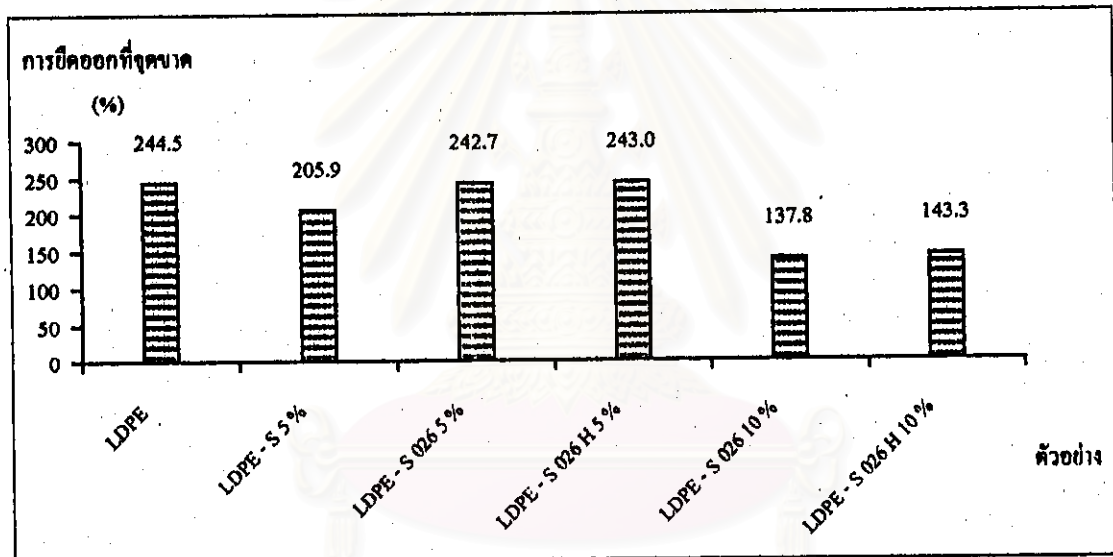
ตารางที่ 4.3 ความแข็งแรงของฟิล์มที่ผลิตได้

ตัวอย่าง	ความทนแรงดึง (N/mm ²)	การบิดออกที่จุดขาด (%)
LDPE	8.536	244.5
LDPE-S 5%	6.949	205.9
LDPE-S 026 5%	7.322	242.7
LDPE-S 026 H 5%	7.846	243.0
LDPE-S 026 10%	6.220	137.8
LDPE-S 026 H 10%	6.791	143.3

LDPE	หมายถึง	ฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
LDPE-S 5%	หมายถึง	ฟิล์ม LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 0.15 N ในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
LDPE-S 026 5%	หมายถึง	ฟิล์ม LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 ในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
LDPE-S 026 H 5%	หมายถึง	ฟิล์ม LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 H ในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
LDPE-S 026 10%	หมายถึง	ฟิล์ม LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
LDPE-S 026 H 10%	หมายถึง	ฟิล์ม LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดจากโรงงานเกรด 026 H ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผลิตได้



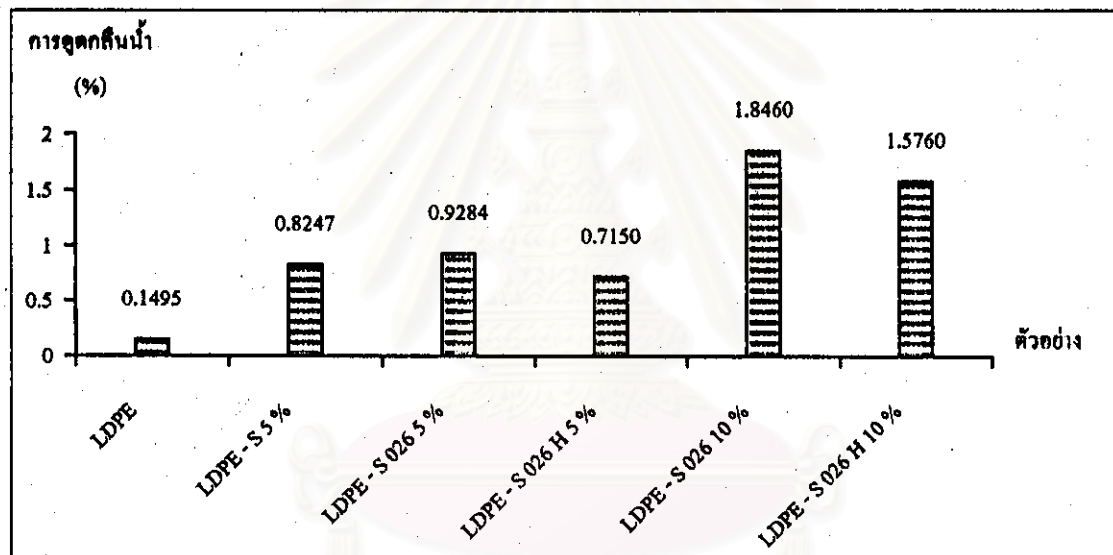
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผลิตได้

4.2.3 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มที่ผลิตได้

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่า ฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมแป้ง มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังที่ถูกปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิกซ์ด้วยกรด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งในฟิล์มพลาสติกมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มพลาสติกก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มพลาสติกที่ได้

ตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (g)	น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่น้ำ (g)	การดูดซึมน้ำ (%)
LDPE	0.0669	0.0670	0.1495
LDPE - S 5 %	0.0485	0.0489	0.8247
LDPE - S 026 5 %	0.0754	0.0761	0.9284
LDPE - S 026 H 5 %	0.0979	0.0986	0.7150
LDPE - S 026 10 %	0.0596	0.0607	1.8460
LDPE - S 026 H 10 %	0.0571	0.0580	1.5760



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ

การที่ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติ โดยการไฮโดรลิตซิสด้วยกรด มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมแป้ง เนื่องจากพอลิเอทิลีนมีโครงสร้างไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีค่าน้อย แต่แป้งมันสำปะหลังมีโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) จึงมีสมบัติที่สามารถดูดซึมน้ำได้ ดังนั้นเมื่อใส่แป้งลงไปเป็นสารเติมแต่งในการผลิตฟิล์ม ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิตซิสด้วยกรด จึงมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมแป้ง

4.3 การสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิจิตด้วยกรด

4.3.1 ความแข็งแรงของฟิล์ม

จากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 – 4.6 และรูปที่ 4.6 – 4.7 พบว่า เมื่อนำฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมแป้ง และฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้ง ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิจิตด้วยกรด ไปผ่านกระบวนการย่อยสลายทั้งโดยการฝังดินและวางไว้บนอาหารเลี้ยงเชื้อรา ฟิล์มที่ผสมแป้งมันสำปะหลังจะมีความทนแรงดึงและการยืดออกที่จุดขาดลดต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผสมแป้ง และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นฟิล์มก็ยังมี ความแข็งแรงลดลง

ตารางที่ 4.5 ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	ความทนแรงดึง (N/mm ²)					
	LDPE	LDPE – S 5 %	LDPE – S 026 5 %	LDPE – S 026 H 5 %	LDPE – S 026 10 %	LDPE – S 026 H 10 %
เริ่มต้น	8.536	6.949	7.322	7.846	6.220	6.791
1 เดือน	8.441	5.640	6.948	6.871	5.903	5.991
2 เดือน	8.177	5.350	6.421	6.147	5.559	5.444
3 เดือน	8.007	4.821	5.513	5.346	4.945	4.594
4 เดือน	7.930	4.241	5.010	4.966	3.916	4.001
5 เดือน	7.865	4.124	4.569	4.377	3.049	3.847

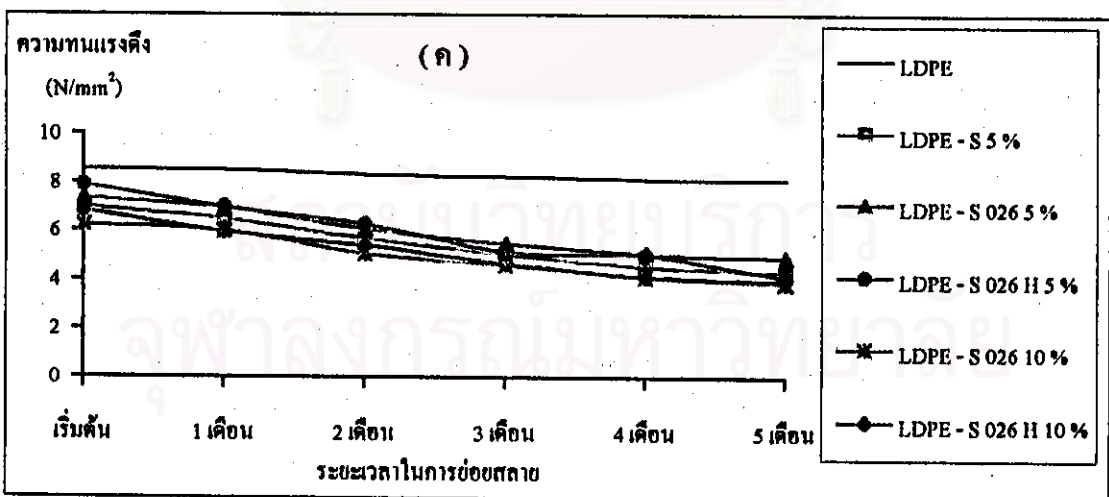
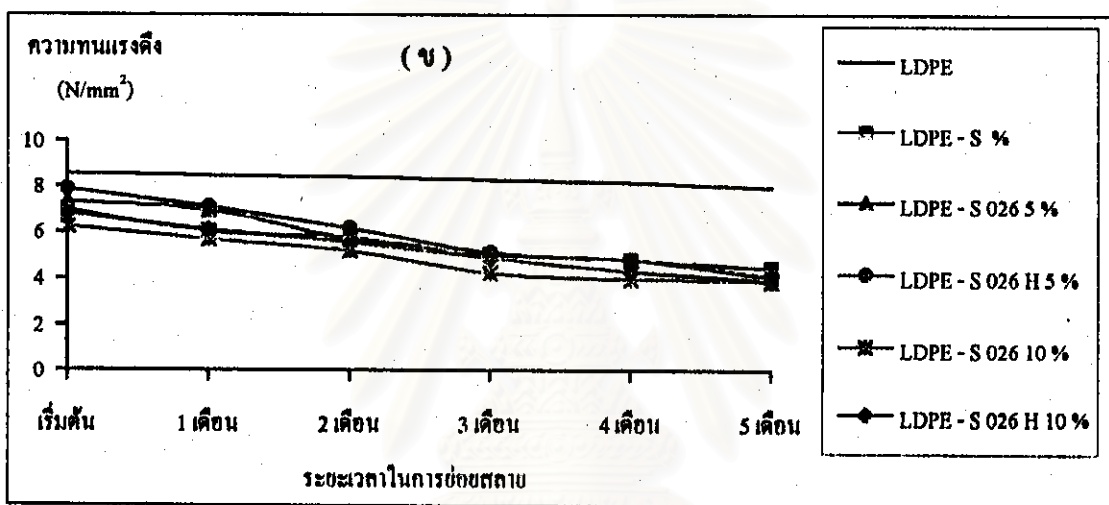
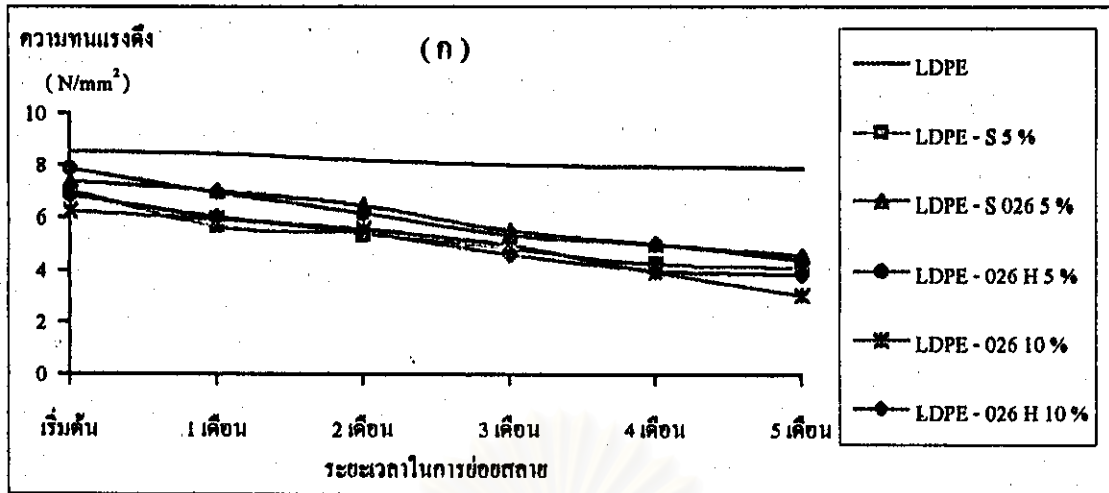
ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ข. ฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	ความทนแรงดึง (N/mm ²)					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	8.536	6.949	7.322	7.846	6.220	6.791
1 เดือน	8.460	6.003	6.918	7.072	5.647	6.083
2 เดือน	8.409	5.775	5.668	6.153	5.175	5.533
3 เดือน	8.294	5.031	5.002	5.121	4.242	4.858
4 เดือน	8.182	4.808	4.806	4.793	4.004	4.316
5 เดือน	7.946	4.441	4.114	4.056	3.876	3.902

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	ความทนแรงดึง (N/mm ²)					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	8.536	6.949	7.332	7.846	6.220	6.791
1 เดือน	8.493	6.451	6.912	6.951	5.695	5.920
2 เดือน	8.306	5.673	6.038	6.324	5.033	5.379
3 เดือน	8.217	5.000	5.445	5.123	4.575	4.654
4 เดือน	8.125	4.521	5.063	4.971	4.110	4.126
5 เดือน	8.098	4.290	4.885	4.088	3.853	3.976



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ผังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ข. ผังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ตารางที่ 4.6 ค่าการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	การยืดออกที่จุดขาด (%)					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	244.5	205.9	242.7	243.0	137.8	144.3
1 เดือน	243.7	171.9	170.6	174.8	115.2	120.1
2 เดือน	242.6	167.0	150.1	156.9	104.8	115.6
3 เดือน	240.3	144.3	124.4	144.7	95.3	95.1
4 เดือน	238.4	130.8	116.9	115.2	81.4	83.6
5 เดือน	236.9	110.1	90.33	92.4	79.8	75.4

ข. ฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

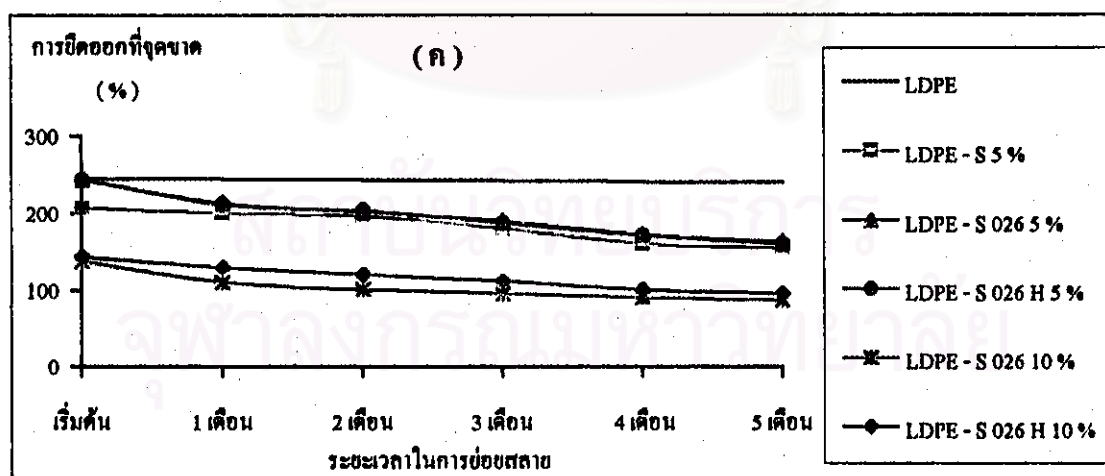
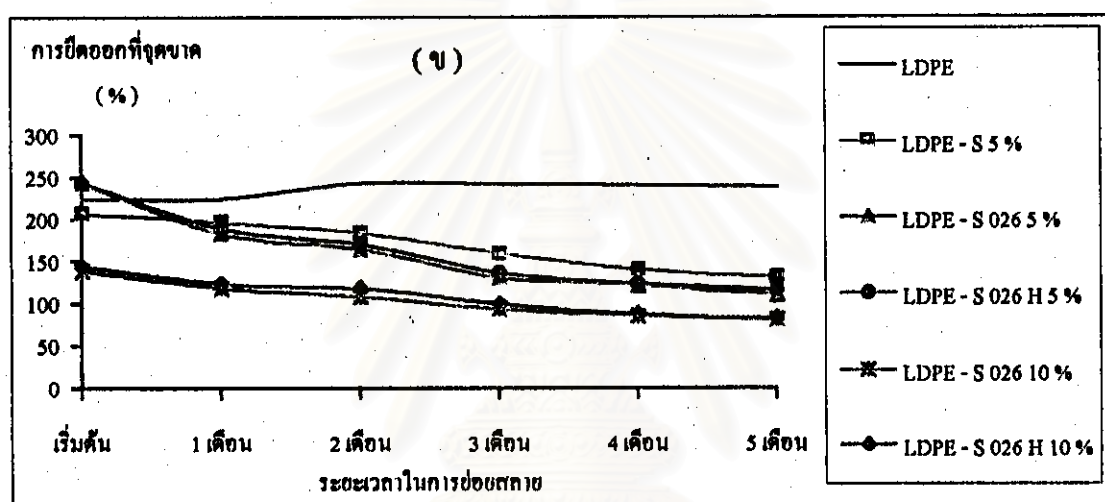
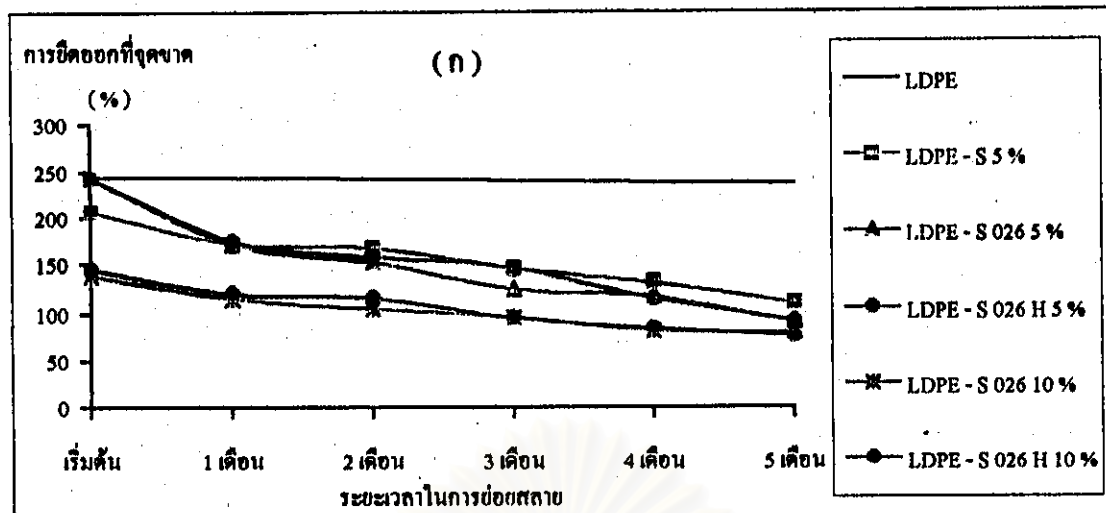
ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	การยืดออกที่จุดขาด (%)					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	244.5	205.9	242.7	243.0	137.8	143.3
1 เดือน	224.0	196.1	181.7	189.4	117.0	122.7
2 เดือน	243.5	183.9	164.4	170.2	108.1	118.1
3 เดือน	242.1	159.4	130.0	135.8	92.6	99.2
4 เดือน	240.6	140.1	121.1	123.6	85.4	87.4
5 เดือน	238.5	130.8	110.2	115.5	80.3	82.7

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ค. รางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	การบดออกที่จุดขาด (%)					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	244.5	205.9	242.7	243.0	137.8	143.3
1 เดือน	244.3	200.2	213.1	210.9	110.0	129.5
2 เดือน	243.0	195.8	201.6	203.8	100.9	120.2
3 เดือน	242.4	180.4	190.5	187.6	95.7	111.9
4 เดือน	240.9	160.5	172.3	171.9	90.4	100.4
5 เดือน	240.1	155.7	163.4	160.3	87.3	95.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 กราฟที่แสดงค่าการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ข. ฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการย่อยสลายทั้ง โดยการฝังดินและวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นฟิล์มที่ผสมแป้งจะยังมีค่าความทนแรงดึงและการยืดออกที่จุดขาดต่ำลง เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินและบนอาหารเลี้ยงเชื้อราปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เอนไซม์นี้สามารถเข้าไปในเนื้อของฟิล์มได้โดยการดูดซึมน้ำของฟิล์มที่เกิดจากแป้งมันสำปะหลังที่ผสมลงไป เอนไซม์ดังกล่าวจะย่อยสลายโมเลกุลของแป้งซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกลงที่จะเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อทำการย่อยสลายต่อไปได้ เมื่อแป้งที่กระจายตัวอยู่ที่ผิวของฟิล์มถูกย่อยสลายลง จึงก่อให้เกิดรูเล็กๆ ขึ้นบนผิวฟิล์ม เป็นเหตุให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดต่ำลง

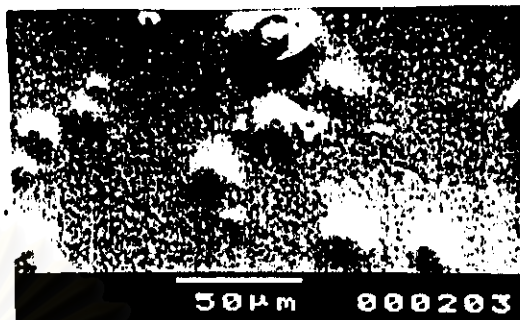
4.3.2 การตรวจดูโครงสร้างบริเวณผิวของฟิล์มพลาสติก

จากการทดลองดูตัวอย่างของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการย่อยสลาย ไปตรวจดูพื้นผิวด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 350 เท่า พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นฟิล์มที่ผสมแป้งผิวหน้าจะถูกทำลายและมีรูพรุนเกิดขึ้น ส่วนฟิล์มที่ไม่ผสมแป้งผิวหน้าไม่ถูกทำลายและไม่มีการเกิดรูพรุนเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.26

การที่ฟิล์มที่ผสมแป้งมีพื้นผิวถูกทำลายเกิดจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายแป้งที่อยู่ในฟิล์ม ทำให้แป้งที่กระจายตัวอยู่ในฟิล์มถูกย่อยสลายหายไปจึงเกิดรูพรุนขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของฟิล์ม



(LDPE)



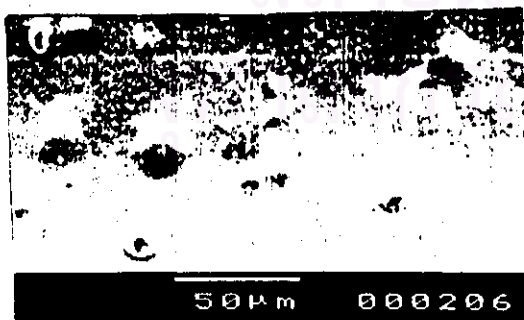
(LDPE - S 5%)



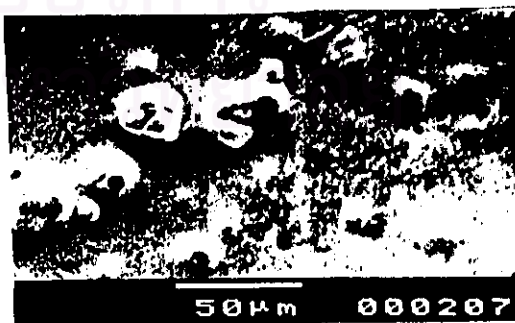
(LDPE - S 026 5%)



(LDPE - S 026 H 5%)

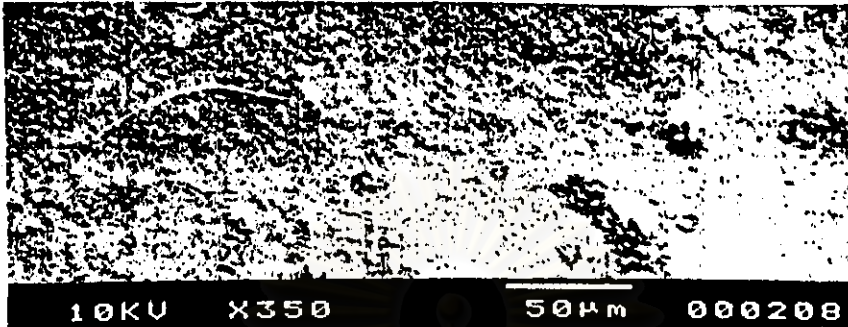


(LDPE - S 026 10%)

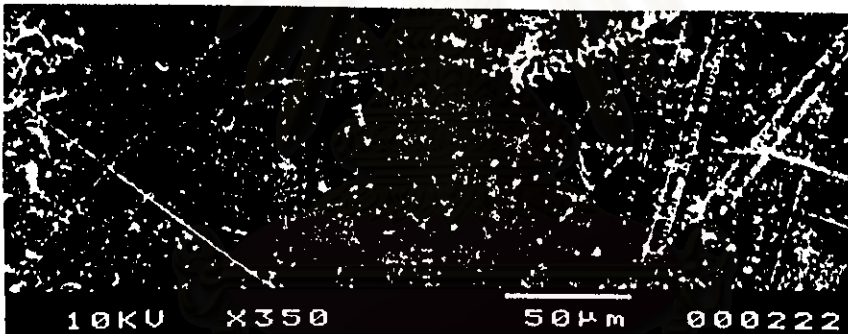


(LDPE - S 026 H 10%)

รูปที่ 4.8 พื้นผิวของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย



(1 เดือน)

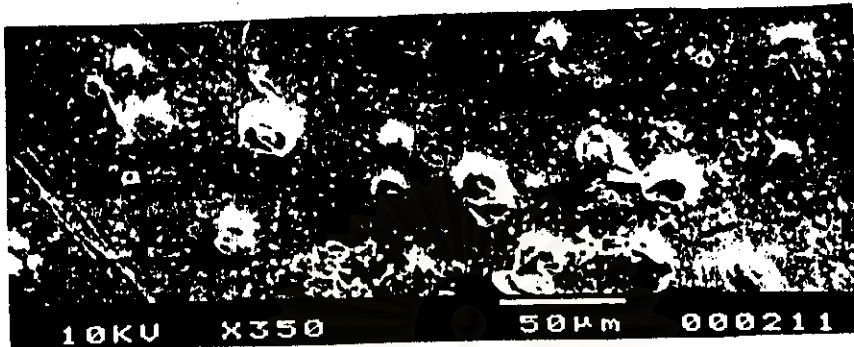


(3 เดือน)



(5 เดือน)

รูปที่ 4.9 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)

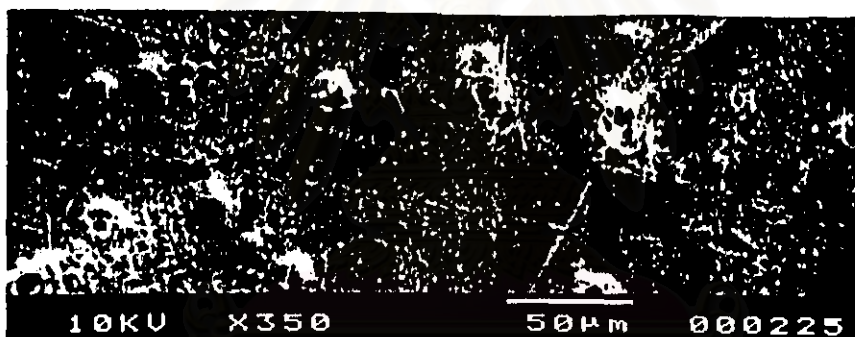


(5 เดือน)

รูปที่ 4.10 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S5% ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

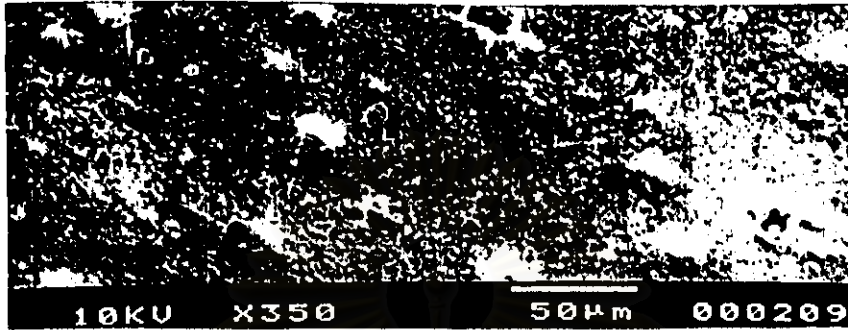


(3 เดือน)

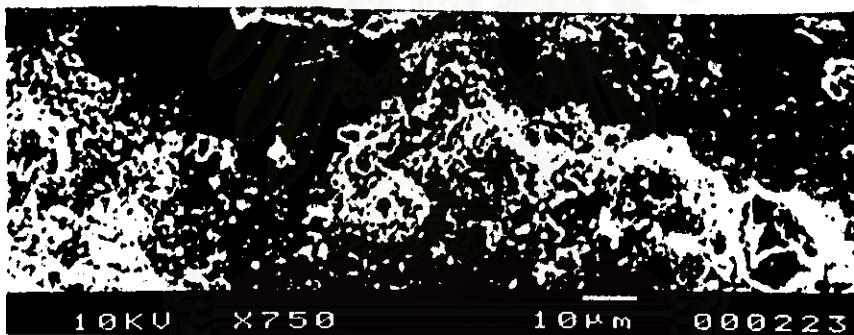


(5 เดือน)

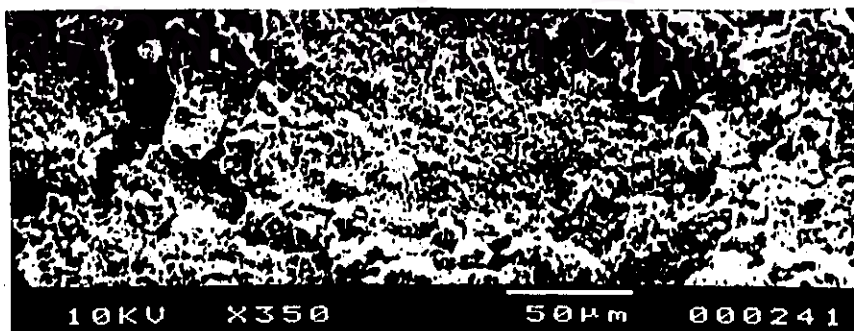
รูปที่ 4.11 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 5% ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียนเป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

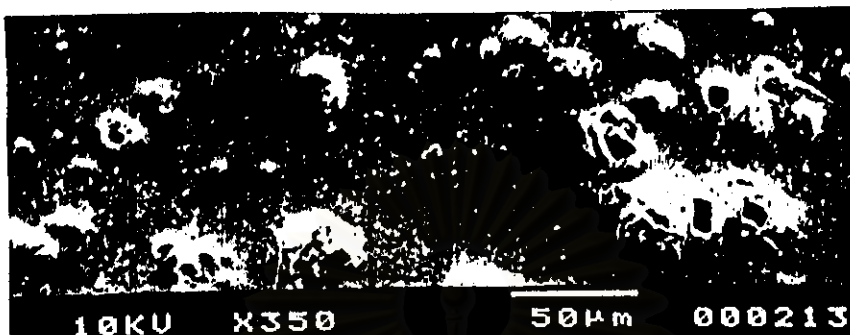


(3 เดือน)

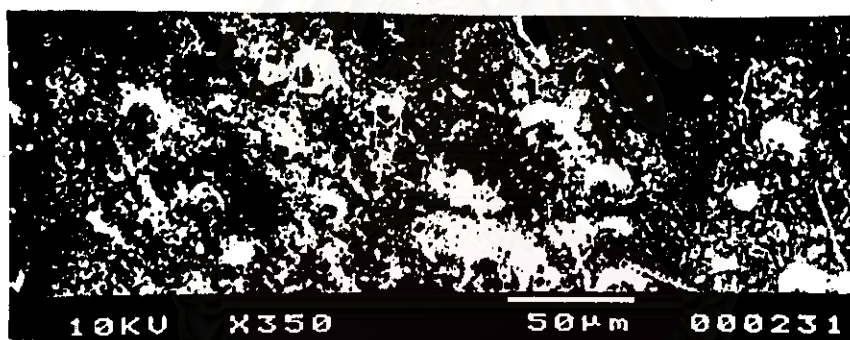


(5 เดือน)

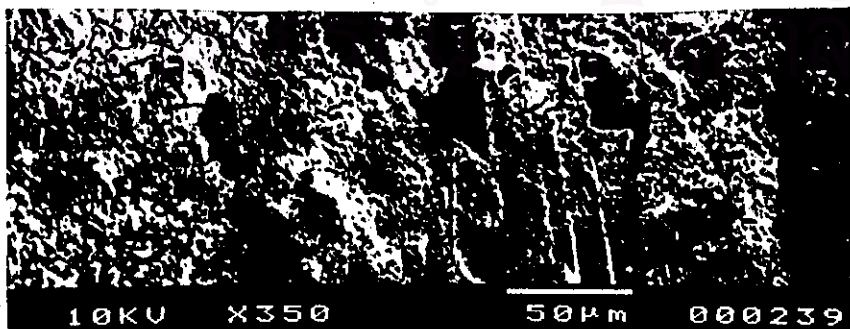
รูปที่ 4.12 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียนเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

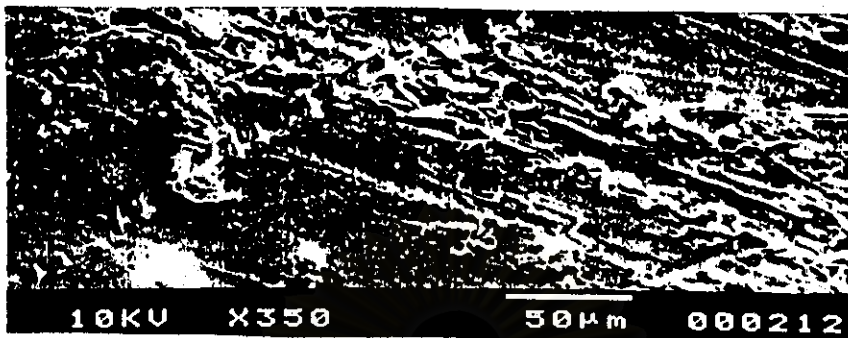


(3 เดือน)

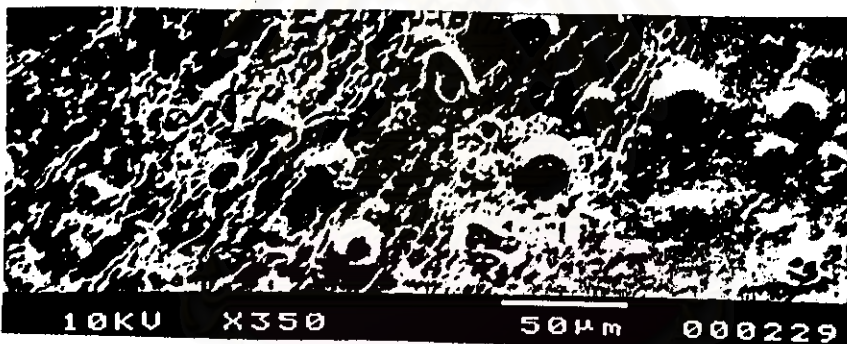


(5 เดือน)

รูปที่ 4.13 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 10% ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้
เขต บางขุนเทียนเป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

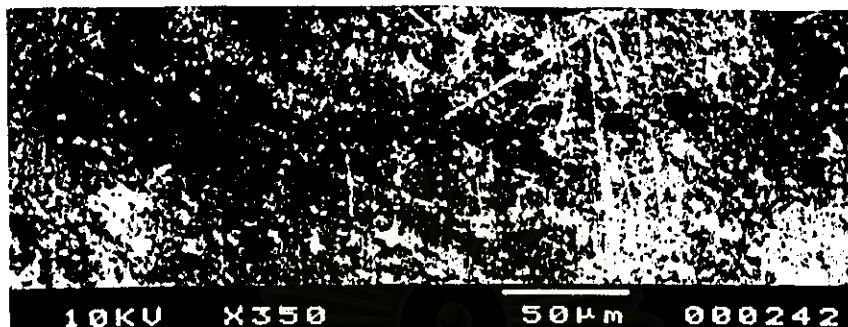


(3 เดือน)

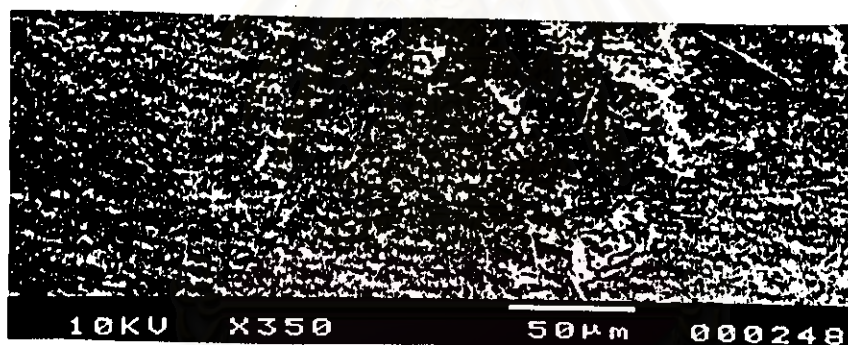


(5 เดือน)

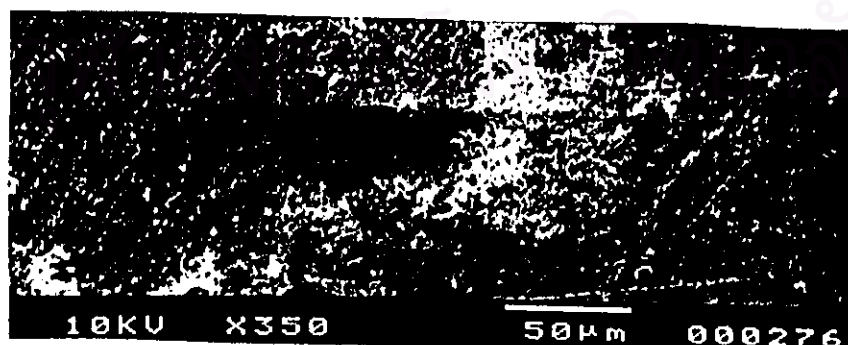
รูปที่ 4.14 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้
เขต บางขุนเทียนเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

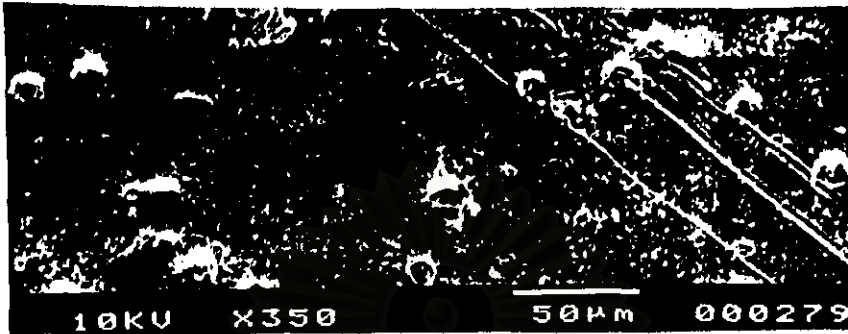


(3 เดือน)



(5 เดือน)

รูปที่ 4.15 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน
เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

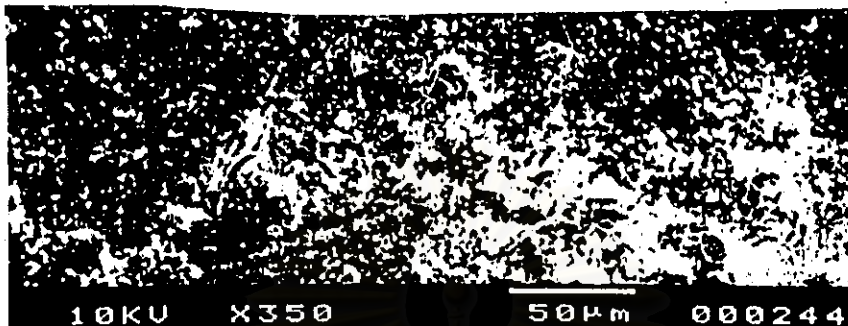


(3 เดือน)

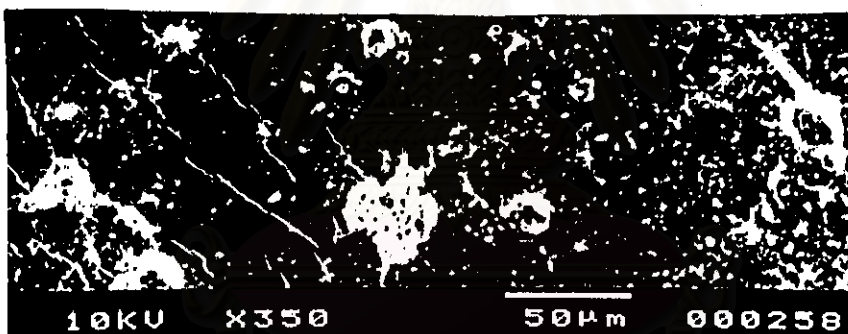


(5 เดือน)

รูปที่ 4.16 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 5% ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขนเป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

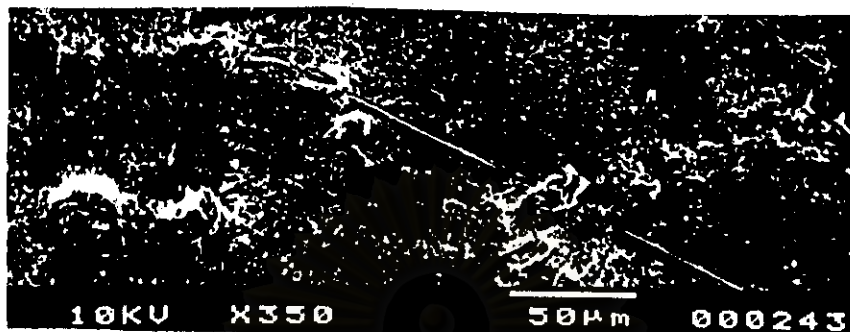


(3 เดือน)



(5 เดือน)

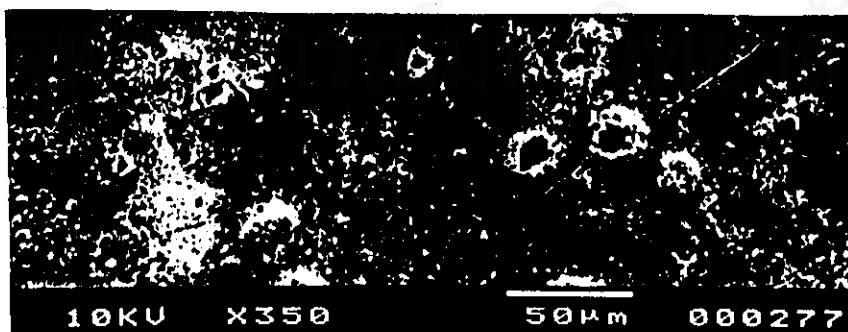
รูปที่ 4.17 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)

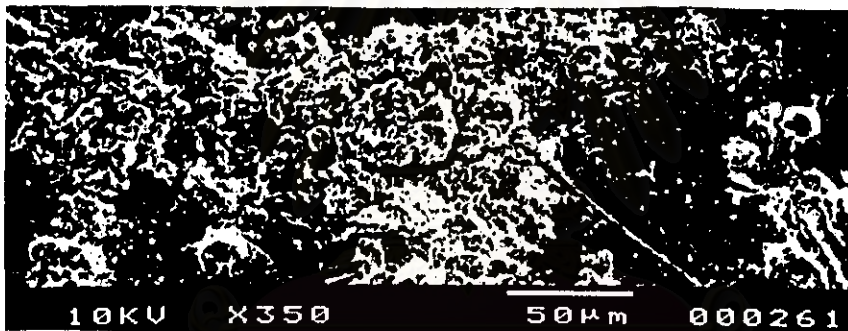


(5 เดือน)

รูปที่ 4.18 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)



(5 เดือน)

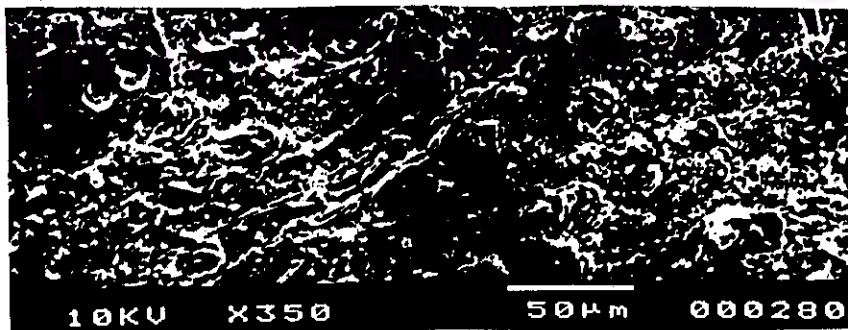
รูปที่ 4.19 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 10% ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย
เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

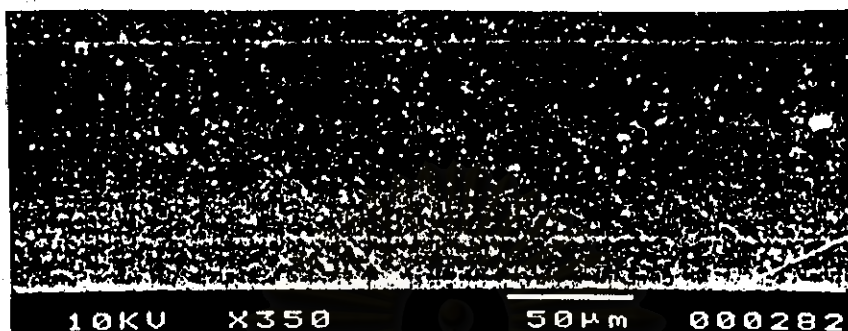


(3 เดือน)

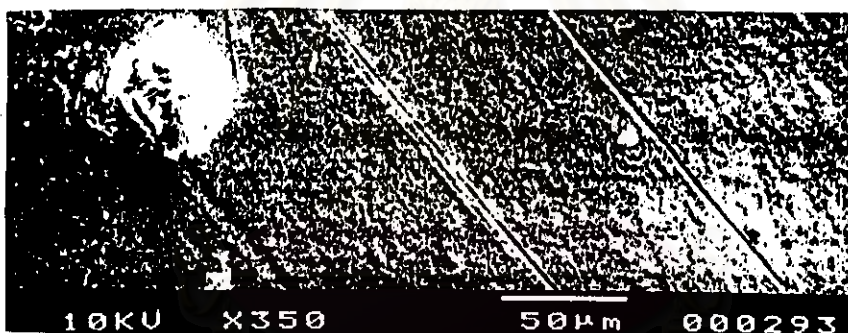


(5 เดือน)

รูปที่ 4.20 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย
เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)



(5 เดือน)

รูปที่ 4.21 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

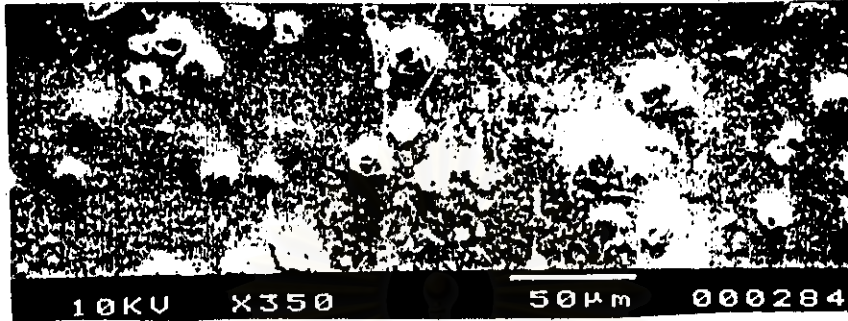


(3 เดือน)



(5 เดือน)

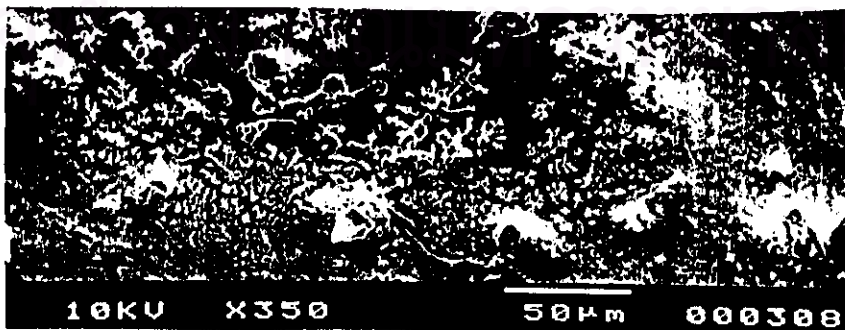
รูปที่ 4.22 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S5% ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา
เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

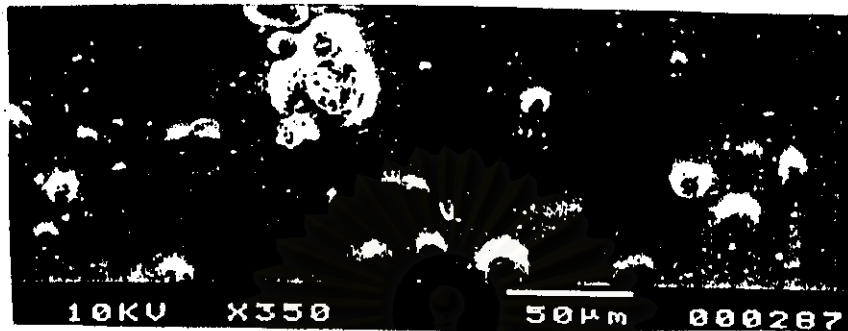


(3 เดือน)



(5 เดือน)

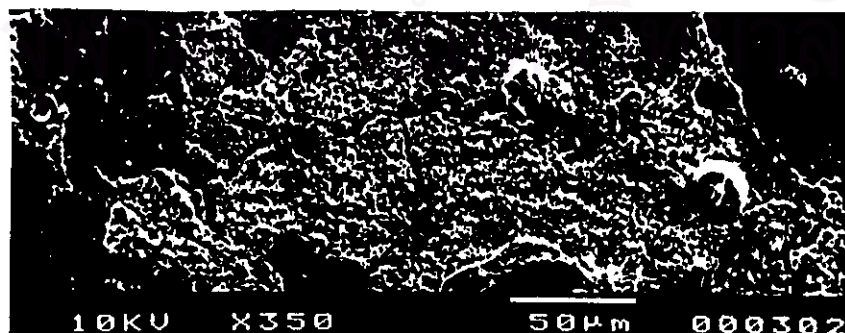
รูปที่ 4.23 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 5% ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา
เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)

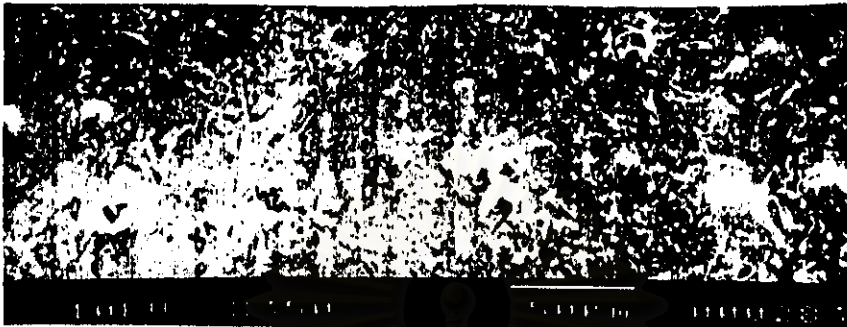


(3 เดือน)



(5 เดือน)

รูปที่ 4.24 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 5% ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา
เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)

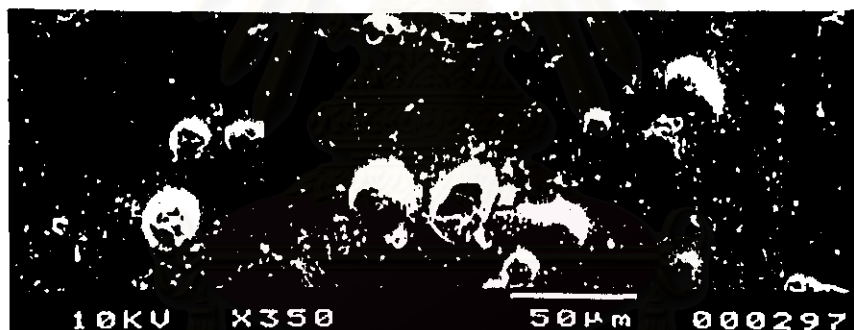


(5 เดือน)

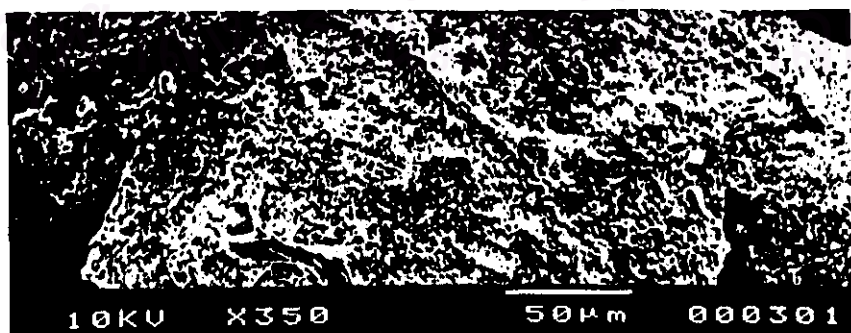
รูปที่ 4.25 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 10 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา
เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน



(1 เดือน)



(3 เดือน)



(5 เดือน)

รูปที่ 4.26 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE-S 026 H 10% ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา
เป็นเวลา 1 เดือน, 3 เดือน และ 5 เดือน

4.3.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์ม

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 และ รูปที่ 4.27 พบว่า เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการย่อยสลายทั้งการฝังดินและการวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น น้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมแป้งแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ผสมแป้งที่ผ่านการไฮโดรลิจิสต์ด้วยกรดมีแนวโน้มลดลงแต่ลดลงน้อยมากแทบไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระยะเวลาการทดลองที่จำกัด

การที่น้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มที่ผสมแป้งลดลงแม้ว่าจะน้อยมากน่าจะเป็นผลมาจากโลหะหรือน้ำในดินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสารเปอร์ออกไซด์นี้จะเข้าไปกระตุ้นโมเลกุลของพลาสติกให้เกิดการสลายตัว ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง นอกจากนี้การมีผสมแป้งอยู่ทำให้จุลินทรีย์สามารถปล่อยเอนไซม์มาย่อยแป้งได้เกิดเป็นรูพรุนบนผิวพลาสติก ทำให้พื้นผิวพลาสติกที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมมีมากขึ้น จึงถูกย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่า intrinsic viscosity ของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ฝังดินบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	Intrinsic Viscosity					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	1.44	1.42	1.43	1.42	1.40	1.41
1 เดือน	1.44	1.42	1.43	1.41	1.39	1.40
2 เดือน	1.43	1.40	1.41	1.41	1.37	1.38
3 เดือน	1.43	1.38	1.38	1.39	1.33	1.35
4 เดือน	1.42	1.35	1.35	1.36	1.30	1.30
5 เดือน	1.41	1.31	1.30	1.31	1.26	1.28

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ข. ผังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

ระยะเวลา ในการ ข่อยตลาข	Intrinsic Viscosity					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	1.44	1.42	1.43	1.42	1.40	1.41
1 เดือน	1.44	1.41	1.43	1.41	1.38	1.40
2 เดือน	1.44	1.40	1.41	1.40	1.36	1.38
3 เดือน	1.43	1.38	1.40	1.37	1.34	1.36
4 เดือน	1.42	1.36	1.37	1.35	1.31	1.33
5 เดือน	1.40	1.34	1.35	1.34	1.28	1.30

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ระยะเวลา ในการ ข่อยตลาข	Intrinsic Viscosity					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	1.44	1.42	1.43	1.42	1.40	1.41
1 เดือน	1.44	1.42	1.43	1.42	1.39	1.40
2 เดือน	1.43	1.40	1.41	1.41	1.38	1.37
3 เดือน	1.42	1.39	1.39	1.40	1.36	1.36
4 เดือน	1.41	1.37	1.36	1.38	1.34	1.33
5 เดือน	1.41	1.36	1.34	1.36	1.30	1.31

ตารางที่ 4.8 คำนำน้หนักโมเลกุลของพีดัมที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ผังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	น้ำหนักโมเลกุล $\times 10^{-4}$					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	3.040	2.983	3.011	2.983	2.926	2.954
1 เดือน	3.040	2.983	3.011	2.954	2.897	2.926
2 เดือน	3.011	2.926	2.954	2.954	2.841	2.869
3 เดือน	3.011	2.869	2.869	2.897	2.729	2.785
4 เดือน	2.983	2.785	2.785	2.813	2.646	2.646
5 เดือน	2.954	2.673	2.646	2.673	2.536	2.591

ข. ผังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน

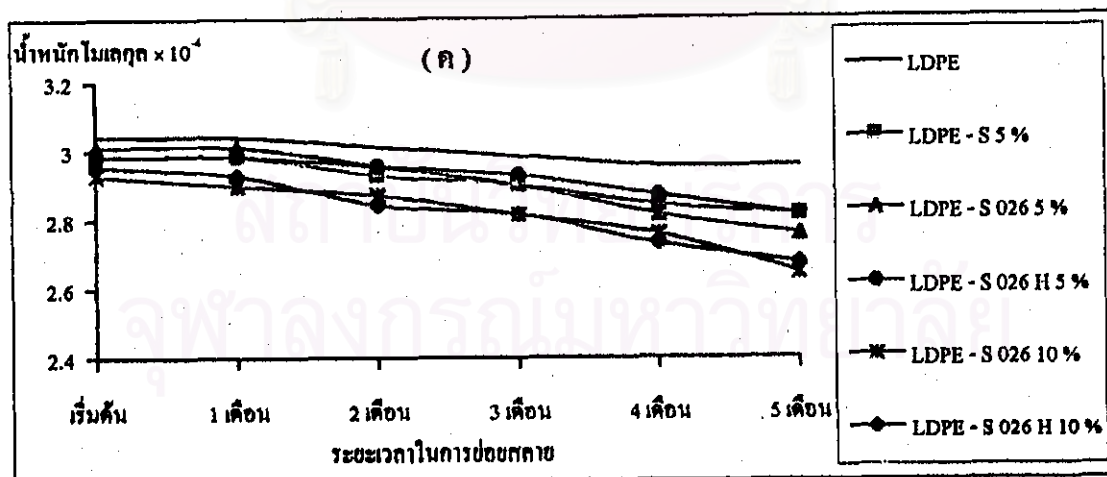
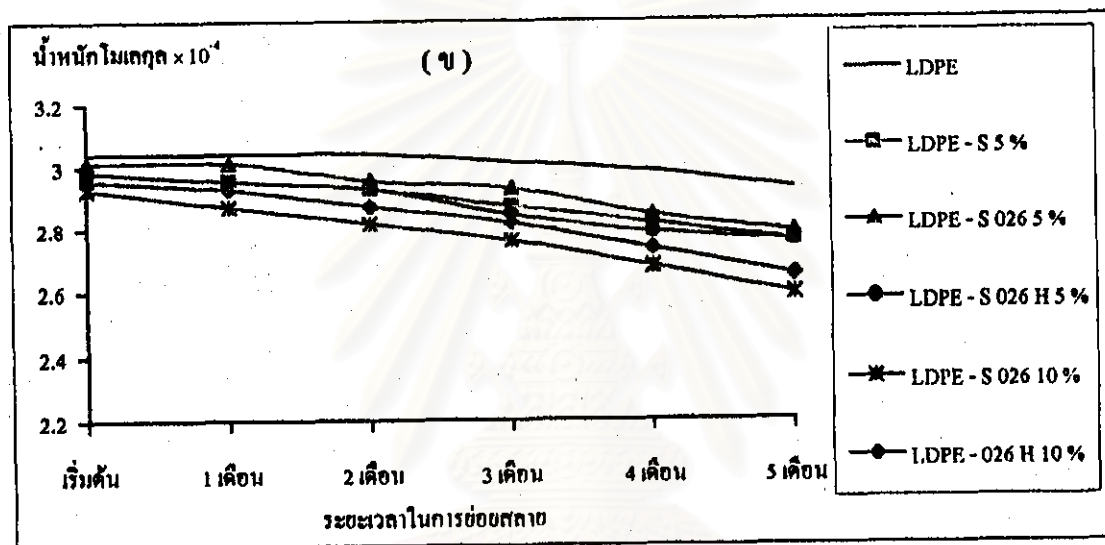
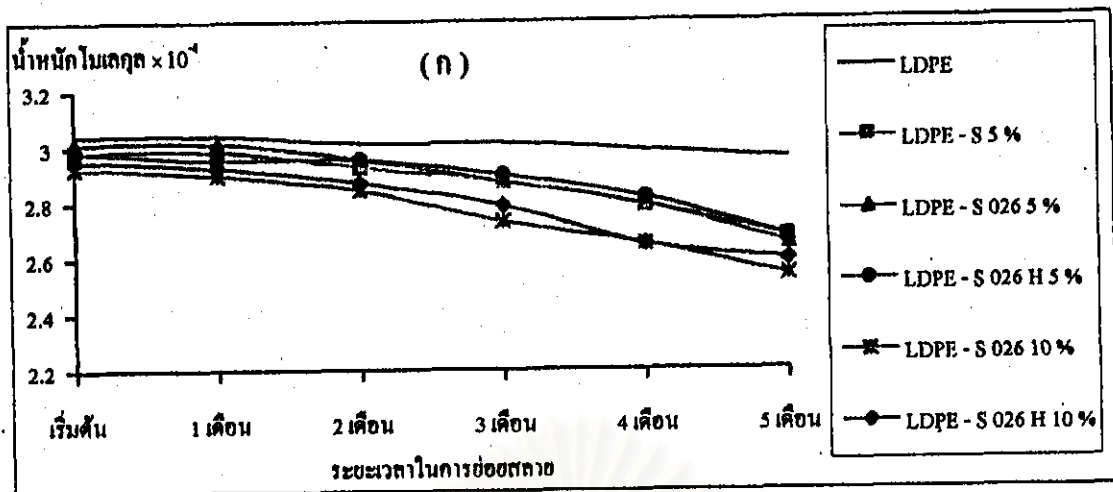
ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	น้ำหนักโมเลกุล $\times 10^{-4}$					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	3.040	2.983	3.011	2.983	2.9265	2.954
1 เดือน	3.040	2.954	3.011	2.954	2.869	2.926
2 เดือน	3.040	2.926	2.954	2.926	2.8136	2.8690
3 เดือน	3.011	2.869	2.926	2.8418	2.757	2.813
4 เดือน	2.983	2.813	2.841	2.785	2.673	2.729
5 เดือน	2.926	2.757	2.785	2.757	2.591	2.646

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ระยะเวลา ในการ ย่อยสลาย	น้ำหนักโมเลกุล $\times 10^{-4}$					
	LDPE	LDPE - S 5 %	LDPE - S 026 5 %	LDPE - S 026 H 5 %	LDPE - S 026 10 %	LDPE - S 026 H 10 %
เริ่มต้น	3.040	2.983	3.011	2.983	2.926	2.954
1 เดือน	3.040	2.983	3.011	2.983	2.897	2.926
2 เดือน	3.011	2.926	2.954	2.954	2.869	2.841
3 เดือน	2.983	2.897	2.897	2.926	2.813	2.813
4 เดือน	2.954	2.841	2.813	2.869	2.757	2.729
5 เดือน	2.954	2.813	2.757	2.813	2.646	2.673

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

ก. ฝังดินบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน

ข. ฝังดินบริเวณ บ้านพักอาศัย เขต บางเขน

ค. วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา