

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเจลาติน

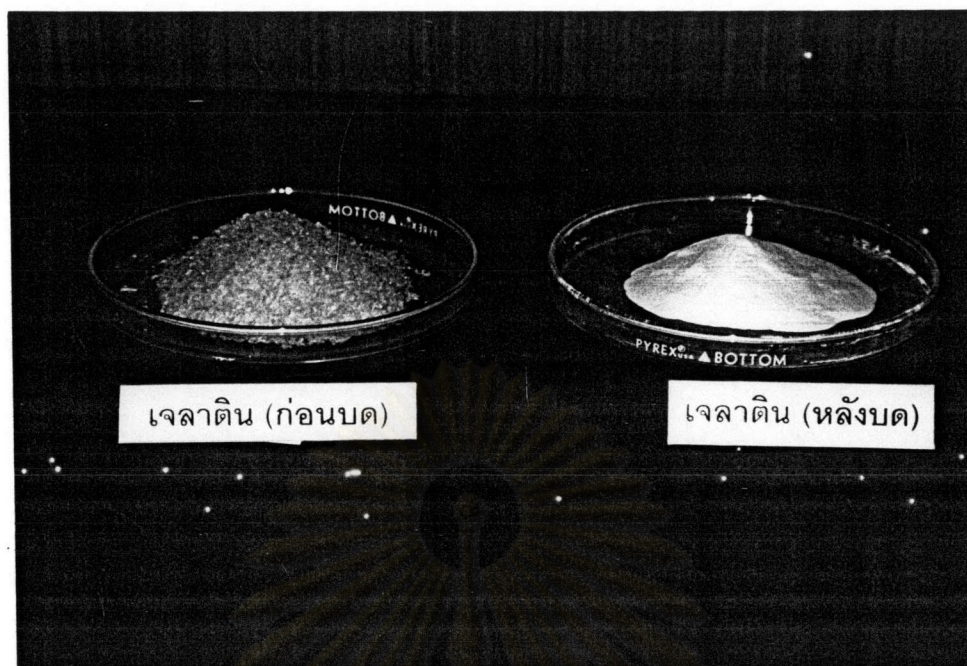
เจลาตินที่นำมาใช้เป็นตัวเติมในงานวิจัยนี้ถูกนำมาตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทั้งโครงสร้างทางเคมี สมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น รูปร่างลักษณะ ขนาดของอนุภาค และสมบัติทางความร้อน

4.1.1 สมบัติทางกายภาพของเจลาติน

รูปร่าง ลักษณะ และขนาดอนุภาค

เจลาตินที่ได้มาจากบริษัท โกดัก มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่ง หยาบ ขนาดไม่สม่ำเสมอ มีความยาวประมาณ 3-5 มิลลิเมตร และมีสีออกเหลือง ซึ่งภายหลังจากการบดด้วยหม้อบดแล้วร่อนด้วยตะแกรง (seive) ขนาด 120 เมช จะได้เจลาตินที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง มีขนาดโดยประมาณ 100-125 ไมโครเมตร และมีสีอ่อนลง มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากแบบแท่ง เป็นผงที่มีลักษณะเป็นเกล็ด (flakes) เล็กๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

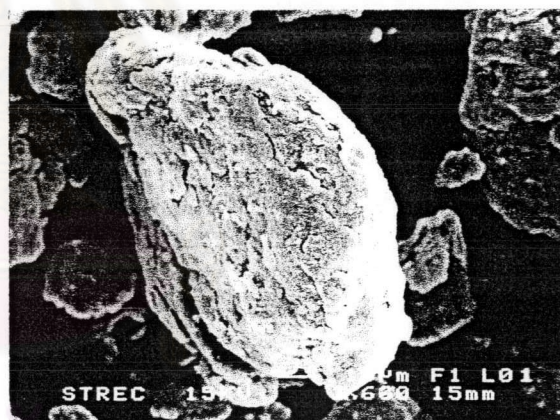
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างเจลาตินก่อนบดและหลังบด



(ก)



(ข)

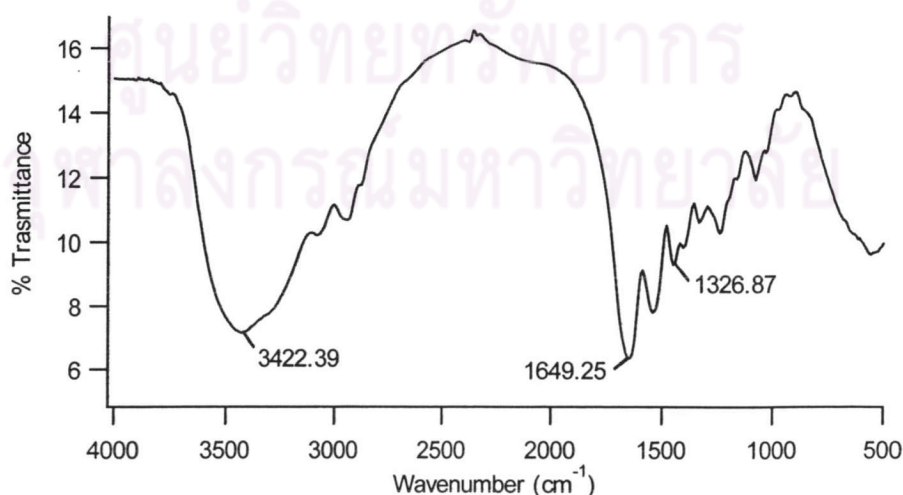
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเจลาติน ที่ผ่านการบดแล้วที่กำลังขยาย (ก) 100 และ (ข) 600 เท่า

ความหนาแน่น


จากการทดสอบหาความหนาแน่นของเจลาตินด้วยพิกโนมิเตอร์ โดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) เป็นตัวทำละลาย พบว่าเจลาตินมีความหนาแน่นประมาณ 1.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งคำนวณได้จากสูตร 3.1

4.1.2 โครงสร้างทางเคมีของเจลาติน

ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเจลาตินด้วย FT-IR สเปกโทรสโกปี ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงว่าเจลาตินมีโครงสร้างเป็นสารประเภทโปรตีน ที่มีกรดอะมิโนหลายชนิด มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ $(-NH-CHR-CO-)_n$ โดยหมู่ R จะมีโครงสร้างแตกต่างกัน ไปขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนที่มาต่อเชื่อมกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นหมู่ไกลซีน (G) โพรลีน (P) และไฮดรอกซีโพรลีน (H) มาเชื่อมต่อกันในลักษณะที่เรียกว่า “เทอร์พอลิเมอร์” (terpolymer) หรือ $(-G-P-H)_n$ นั่นเอง ดังจะเห็นได้จากพีก (peak) ที่ตำแหน่ง 3422.39 cm^{-1} แสดงถึง N-H stretching และพีกที่ตำแหน่ง 1649.25 cm^{-1} และที่ตำแหน่ง 1326.87 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) และ C-N stretching ซึ่งเป็นพีกที่แสดงถึงลักษณะโครงสร้างที่เป็นพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีน นอกจากนี้ยังพบพีกในตำแหน่งอื่นๆอีก อาทิเช่น พีกที่ตำแหน่งประมาณ 1400 ซึ่งแสดงถึง C-C stretching ในหมู่อะโรมาติก (aromatic) ซึ่งหมู่ดังกล่าวนี้เองแสดงถึงกรดอะมิโนชนิด ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) หรือ ไทโรซีน (tyrosine) และพีกที่ตำแหน่ง 1340-1260 แสดงถึงส่วนที่เป็นอะโรมาติกเอมีน (aromatic amine) ของหมู่โพรลีน (proline) ที่มาเชื่อมต่อกันในโมเลกุล ดังแสดงโครงสร้างของอะมิโนทั้ง 18 ชนิดในรูปที่ 4.4 นั่นเอง



รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทางเคมีของเจลาตินด้วย FT-IR สเปกโทรสโกปี

Name	Structure	Symbol	Intramolecular Interaction Character	
Alanine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ala (or A)	Nonpolar, hydrophobic side groups	
Phenylalanine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Ph} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Phe (F)		
Valine	$\begin{array}{c} \text{CH}(\text{CH}_3)_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Val (V)		
Leucine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Leu (L)		
Isoleucine	$\begin{array}{c} \text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ile (I)		
Methionine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Met (M)		
Proline	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{HN}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Pro (P)		
Tryptophane	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HC} \\ \\ \text{CH}_2-\text{C} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$ 	Trp (W)		
Glycine	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gly (G)		Polar, hydrophilic side groups
Serine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ser (S)		
Cysteine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{SH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Cys (C)		
Threonine	$\begin{array}{c} \text{CH}(\text{CH}_3)\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Thr (T)		
Tyrosine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Tyr (Y)		
Asparagine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Asn (N)		
Glutamine	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gln (Q)		
Histidine	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{CH} \\ \backslash \quad / \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_2-\text{C} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	His (H)*		
Lysine	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_4\text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Lys (K)	Basic side groups	
Arginine	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_3\text{NHC}(\text{NH})\text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Arg (R)		
Aspartic acid	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Asp (D)	Acidic side groups	
Glutamic acid	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Glu (E)		

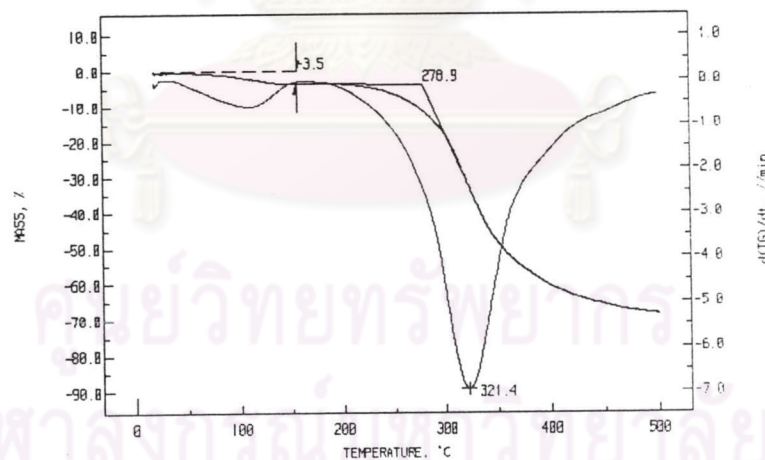
* A borderline amino acid which, at pH 7.0, functions more as a polar, hydrophilic unit than a basic residue.

4.1.3 สมบัติทางความร้อนของเจลาติน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาติน ด้วยกัน 2 เทคนิค คือ Thermogravimetric Analysis (TGA) และ Differential Scanning Calorimetry (DSC)

4.1.3.1 Thermogravimetric analysis (TGA)

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของเจลาตินด้วย TGA ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า เจลาตินแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงถึงการสูญเสียน้ำหนักอันเกิดจากความชื้นที่มีอยู่ในเจลาติน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปเรื่อยๆพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก จนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของเจลาตินนั่นเอง ดังนั้นเมื่อนำเจลาตินมาผสมและขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก ที่อุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส พบว่า ณ อุณหภูมิการขึ้นรูปดังกล่าว เจลาตินจะยังคงสภาพเป็นอนุภาคของแข็ง กระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก โดยไม่เกิดการสลายตัวไป

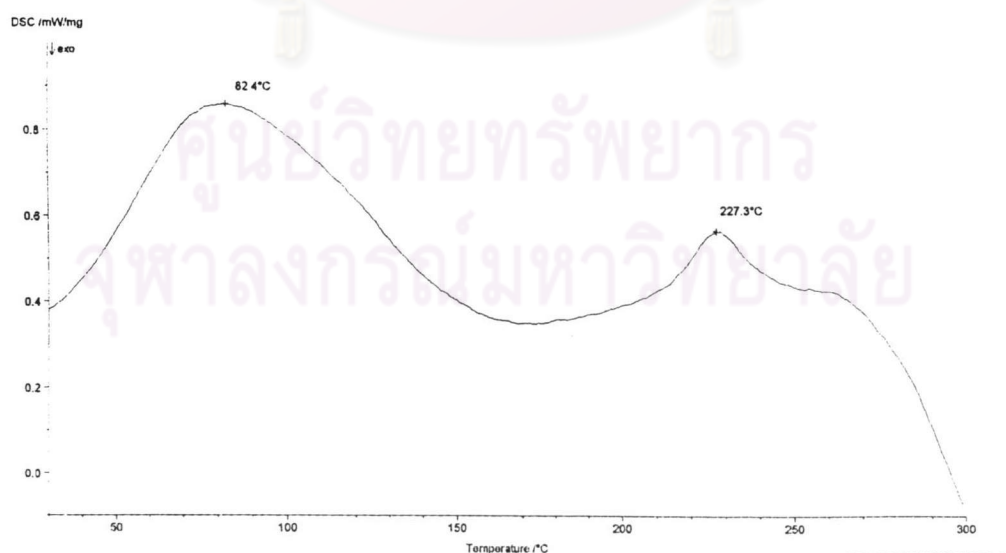


รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมแสดงผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของเจลาตินด้วยเทคนิค TGA

4.1.3.2 Differential scanning calorimeter (DSC)

เจลาตินถูกวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) และพลังงานความร้อนของการหลอมเหลว (heat of fusion, ΔH_f) จากรูปที่ 4.6 พบว่า เจลาตินมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ประมาณ 227.3 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิการหลอมเหลวของเจลาตินนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในเจลาตินหรือปริมาณความชื้นที่เจลาตินดูดซึมเอาไว้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา²⁷ พบว่าถ้าเจลาตินอยู่ในภาวะที่แห้งมากหรือมีปริมาณความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ เจลาตินจะมีอุณหภูมิการหลอมเหลวประมาณ 230 องศาเซลเซียส และเมื่อปริมาณความชื้นในเจลาตินเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิการหลอมเหลวของเจลาตินจะลดลง เช่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 %RH เจลาตินสามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวของเจลาตินลดลงจาก 230 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของเจลาตินในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 300 องศาเซลเซียส พบว่าเจลาตินมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 230 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงถึงปริมาณความชื้นของเจลาตินซึ่งมีน้อยมาก เนื่องจากก่อนการตรวจสอบได้ทำการอบเจลาตินที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงนั่นเอง ซึ่งเมื่อนำมาผสมและขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก ที่อุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส พบว่า ณ อุณหภูมิการขึ้นรูปดังกล่าว เจลาตินจะยังคงสภาพเป็นอนุภาคของแข็ง กระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก โดยไม่เกิดการหลอมเหลว



รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมแสดงผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของเจลาตินด้วยเทคนิค DSC

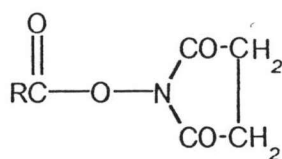
4.2 สมบัติของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอสเทอร์ของกรดลอริก

ในการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเจลาตินและพลาสติก LLDPE นั้น ทำโดยการปรับปรุงความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ ในที่นี้คือเจลาติน โดยการเติมหมู่ที่มีความไม่ชอบน้ำลงในโครงสร้างของเจลาตินด้วยวิธีการทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์ของกรดไขมันซึ่งเป็นส่วนที่แสดงถึงความไม่ชอบน้ำ ซึ่งทั้งนี้ได้มีการสังเคราะห์เอสเทอร์ของกรดไขมัน คือเอสเทอร์กรดลอริก (N-Hydroxysuccinimide of Lauric Acid) ขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ในการดัดแปรเจลาติน ดังนั้นผลของการดัดแปรเจลาตินด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้แสดงโครงสร้างของเอสเทอร์ของกรดลอริกและเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรแล้วด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และสมบัติทางความร้อนของเอสเทอร์ของกรดลอริกและเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรแล้วด้วยเทคนิค TGA และ DSC

4.2.1 โครงสร้างของเอสเทอร์ของกรดลอริก (N-Hydroxysuccinimide of Lauric Acid)

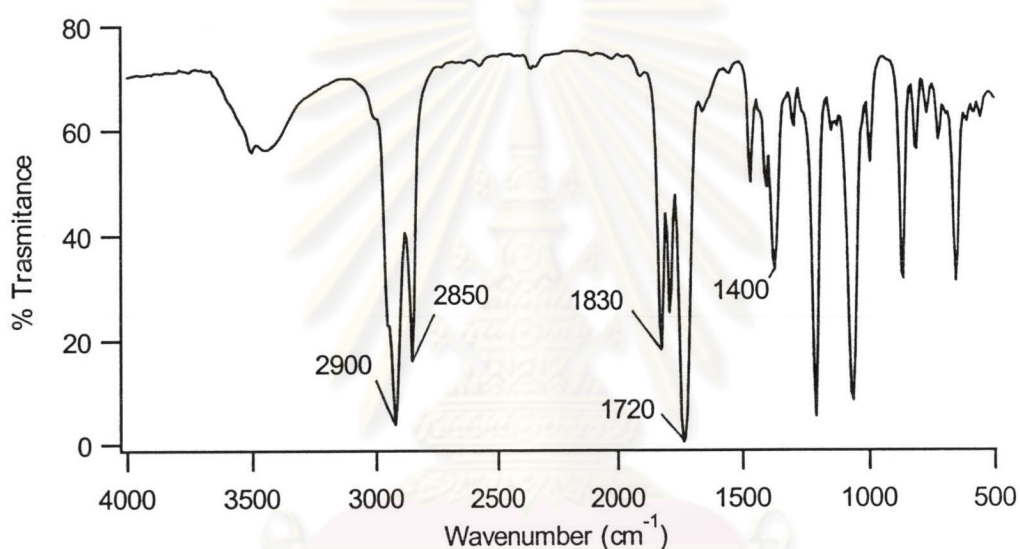
ในขั้นตอนแรกของการดัดแปรเจลาตินให้มีความไม่ชอบน้ำด้วยเอสเทอร์ของกรดลอริก ต้องทำการสังเคราะห์เอสเทอร์ของกรดลอริก คือ N-Hydroxysuccinimide Ester of Lauric Acid ขึ้นมาก่อน ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของ คือ N-Hydroxysuccinimide Ester ของกรดลอริกนี้ ด้วย FTIR ปรากฏพีค (peak) ของอินฟราเรดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น (wavenumber) สำคัญๆดังนี้

ช่วงความยาวคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
2850-2900	CH_2 stretching
1830	R-C(=O)-O
1720	carbonyl group (C=O)
1400	C-N stretching



เมื่อ R คือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$

รูปที่ 4.7 โครงสร้างทางเคมีของ N-Hydroxysuccinimide of Lauric Acid



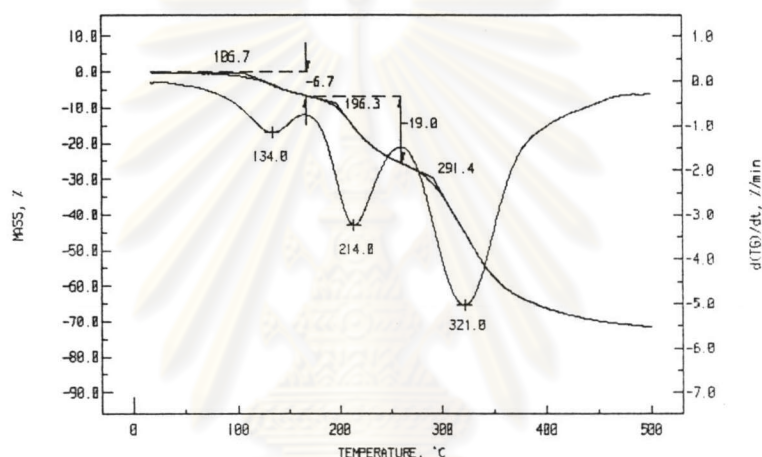
รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ N-Hydroxysuccinimide Ester ของกรดลอริก ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี

4.2.2 สมบัติทางความร้อนของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมัน

4.2.2.1 Thermogravimetric analysis (TGA)

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอสเทอร์ของกรดลอริก เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ส่วนประกอบของเจลาตินภายหลังการดัดแปร และหาอุณหภูมิการสลายตัว ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญต่อการขึ้นรูปและการนำไปใช้งาน เนื่องจากวัสดุควรจะมีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิขณะนำไปใช้งาน

รูปที่ 4.9 แสดงผลการตรวจสอบเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยเทคนิค TGA พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักทั้งหมด 3 ช่วง โดยช่วงแรกเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งคาดว่าเกิดจากการสูญเสียความชื้น และการเปลี่ยนแปลงในส่วนที่ 2 แสดงถึงส่วนที่เป็น N-Hydroxysuccinimide of Lauric Acid ที่สังเคราะห์ขึ้น และส่วนสุดท้ายเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นเจลาติน ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส ซึ่งจะพบว่าเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีมีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าเจลาตินที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1.3.1

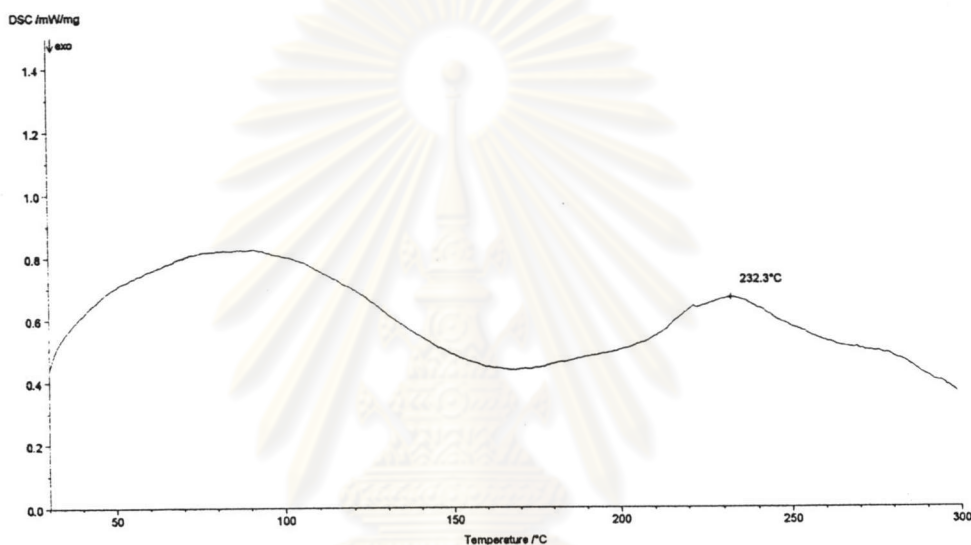


รูปที่ 4.9 ไดอะแกรมแสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยเทคนิค TGA

4.2.2.2 Differential scanning calorimeter (DSC)

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยเทคนิค DSC เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลว ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญต่อการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจะมีการดูดพลังงานเพื่อใช้ในการสลายพันธะของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีเกิดขึ้น โดยมีการดูดพลังงานเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรก คาดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการหลอมเหลวของเอสเทอร์ของกรดลอริกที่นำมาทำปฏิกิริยากับเจลาติน ซึ่งพบว่ามีอุณหภูมิการหลอมเหลวประมาณ 75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ

ในช่วงที่สองเป็นการดูพลังงานเพื่อใช้ในการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมี ซึ่งก็คืออุณหภูมิการหลอมเหลวนั่นเอง พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของเจลาตินนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 230 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของเจลาตินที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรทางเคมี เนื่องจากส่วนของเอสเทอร์ของกรดลอริกที่นำมาทำปฏิกิริยากับเจลาตินเกิดการหลอมเหลวไปก่อนแล้ว จึงเหลือแต่เฉพาะส่วนของเจลาตินอยู่ อุณหภูมิการสลายตัวในส่วนนี้จึงเท่ากัน



รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมแสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาตินที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยเทคนิค DSC

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 สมบัติของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้ ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

1. ฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน ที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม PE-g-MA
2. ฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน ที่เติมสารช่วยผสม PE-g-MA

ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถทำการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ผ่านการตัดแปรด้วยเอสเทอร์ของกรดลอริกได้ เนื่องจากเจลาตินที่ผ่านการตัดแปรด้วยเอสเทอร์ของกรดลอริก จะเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิการขึ้นรูป ทำให้เจลาตินที่ผ่านตัดแปรโดยวิธีนี้หลอมเหลวติดกับลูกกลิ้งของเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง จนไม่สามารถดึงออกมาเป็นฟิล์มได้ ทั้งนี้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำลงนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากเอสเทอร์ของกรดลอริก (N-Hydroxysuccinimide Ester of Lactic acid) ที่ใช้ในการตัดแปรทางเคมีของเจลาตินนั้นมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ต่ำ เพียง 75 องศาเซลเซียส

โดยฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้มีความหนาไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตร และมีลักษณะผิวเรียบด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งมีลักษณะหยาบกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง (two roll mill) ซึ่งจะทำให้พลาสติกส่วนที่สัมผัสกับลูกกลิ้งมีความเรียบ ส่วนด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับลูกกลิ้งจะมีลักษณะขรุขระกว่าเล็กน้อย

จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะของฟิล์มพลาสติกเพื่อศึกษาถึงผลของปริมาณของเจลาตินและปริมาณของสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเนื้อพลาสติก LLDPE และเจลาติน

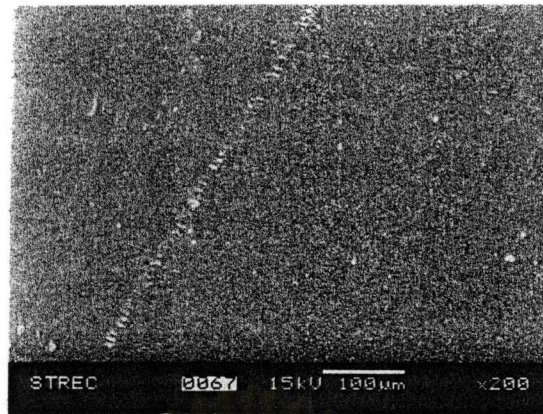
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

ทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้ โดยทำการศึกษาถึงผลของปริมาณเจลาติน และผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการเข้ากันได้ โดยสังเกตจากลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกด้วยเทคนิค SEM

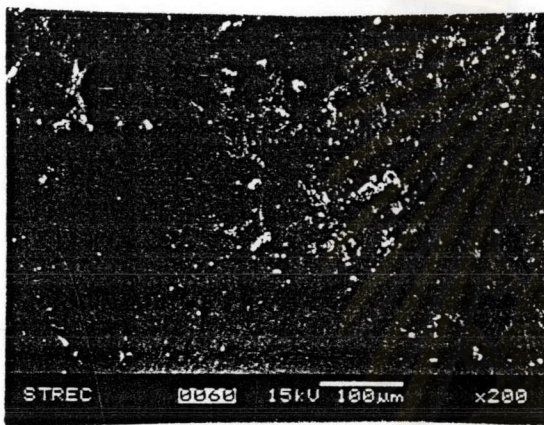
ผลของปริมาณเจลาติน

ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินในกรณีที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม จะทำการเปรียบเทียบผลปริมาณเจลาตินที่ผสมอยู่ในเนื้อพลาสติกที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกเพียงอย่างเดียว จากการพิจารณาด้วยสายตาพบว่า ฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม จะสังเกตเห็นอนุภาคของเจลาตินกระจายอยู่ในเนื้อพลาสติก ทำให้ผิวของฟิล์มมีลักษณะขรุขระเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่ได้ผสมเจลาตินซึ่งจะมีผิวที่เรียบ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของเจลาตินมากขึ้น จะสังเกตเห็นอนุภาคของเจลาตินได้ชัดเจนยิ่งขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้การเติมเจลาตินยังทำให้ฟิล์มพลาสติกที่ได้มีสีเหลืองอ่อนๆ อันเนื่องมาจากสีของเจลาตินนั่นเอง โดยฟิล์มจะมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของเจลาตินที่เติมลงไป

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกด้วย SEM พบว่ามีอนุภาคของเจลาตินกระจายอยู่บริเวณผิวของฟิล์ม โดยจะมีจำนวนมากขึ้น เมื่อสัดส่วนของเจลาตินเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดประมาณ 125 ไมโครเมตร ซึ่งเท่ากับ 0.125 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของฟิล์มที่ 0.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 ไมโครเมตร จะเห็นว่าอนุภาคของเจลาตินมีขนาดเล็กกว่าความหนาของฟิล์มครึ่งหนึ่ง ทำให้อนุภาคของเจลาตินแทรกตัวอยู่ในเนื้อพลาสติกได้ แต่จะเห็นว่ามีอนุภาคของเจลาตินโผล่ออกมาที่บริเวณผิวของฟิล์มด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวของเจลาตินในเนื้อพลาสติกเป็นไปไม่ได้ไม่ดันทัน ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือในการผสมขึ้นรูป และค่าดัชนีการไหลของพลาสติก (melt flow index) กล่าวคือ เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิดที่มีผิวของลูกกลิ้งที่เรียบ ทำให้การผสมไม่ดีเท่ากับการใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (twin screw extruder) และเนื่องจากดัชนีการไหลของพลาสติกที่ใช้คือ LLDPE มีค่าต่ำ คือ 2 กรัมต่อ10นาที่ ซึ่งแสดงถึงความหนืดของพลาสติกที่สูง ทำให้เมื่อเติมเจลาตินลงไป อนุภาคจึงเกิดการกระจายตัวได้ยาก



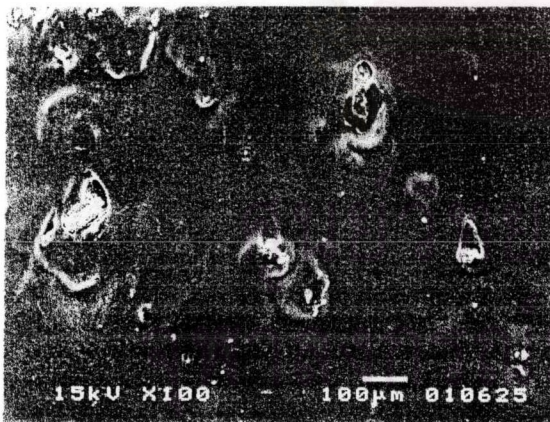
(ก)



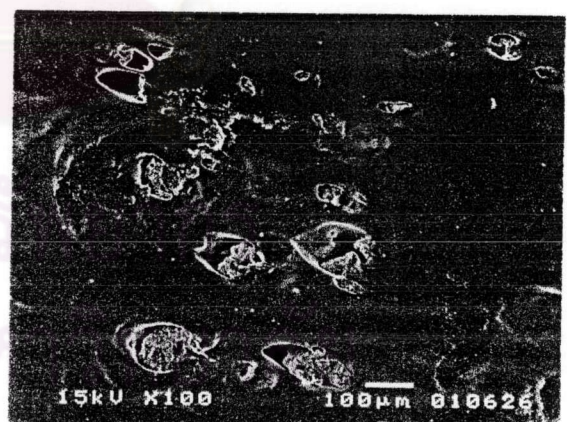
(ข)



(ค)



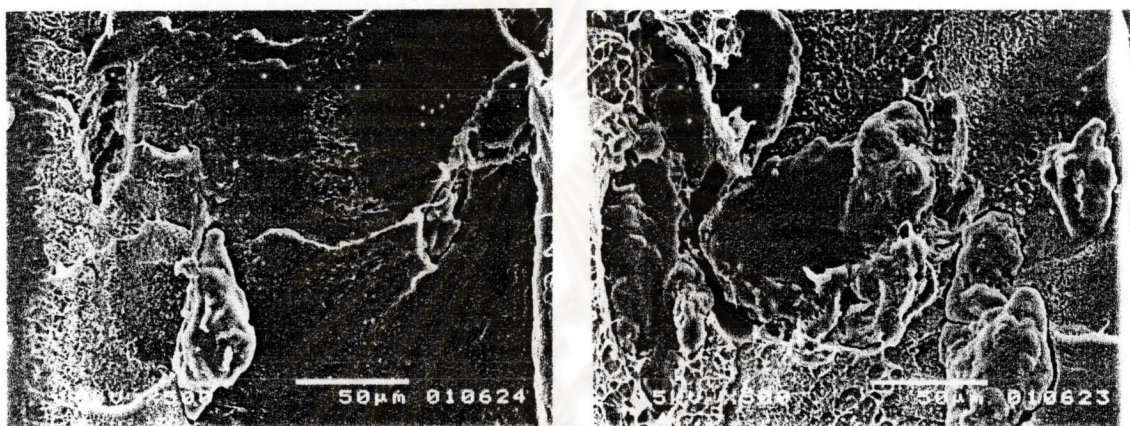
(ง)



(จ)

รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม (ก) 0% เจลาติน (ข) 5% เจลาติน (ค) 10% เจลาติน (ง) 15% เจลาติน (จ) 20% เจลาติน

และจากการส่องดูภาคตัดขวางของฟิล์ม จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติกมีช่องว่างอยู่ นั่นแสดงว่าเจลาตินและเนื้อพลาสติก LLDPE มีการยึดติดระหว่างกันที่ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงความสามารถในการยึดติดระหว่างกัน เพื่อให้มีความสามารถในการเข้ากันได้ดีขึ้น อันจะส่งผลต่อสมบัติด้านอื่นๆ ต่อไป ทั้งนี้สามารถทำได้โดยการเติมสารช่วยผสม พอลิเอทิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) และทำการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเจลาตินกับพลาสติก LLDPE ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณ (ก) 5 และ (ข) 20% โดยน้ำหนัก

ผลของปริมาณสารช่วยผสม

ในการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสม จะเลือกพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นฟิล์มพลาสติกที่มีสมบัติโดยรวมด้านอื่นๆ ที่ยอมรับได้ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติความทนแรงดึง และความสามารถในการย่อยสลาย ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

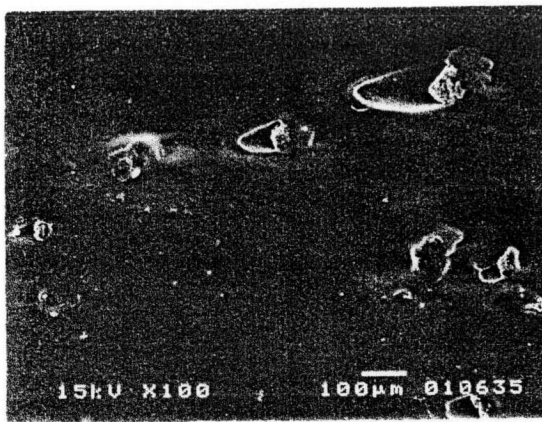
จากการพิจารณาด้วยสายตา พบว่าฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่มีการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันระหว่างเจลาตินและ LLDPE โดยการเติมสารช่วยผสม PE-g-MA นั้น จะเห็นว่าฟิล์มดังกล่าวมีผิวที่มีความเรียบเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีสารช่วยผสม

และจะสังเกตเห็นอนุภาคของเจลาตินบนพื้นผิวของฟิล์มได้น้อยลง นอกจากนั้นยังพบว่าฟิล์มพลาสติกที่ได้จะมีสีขาวขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม

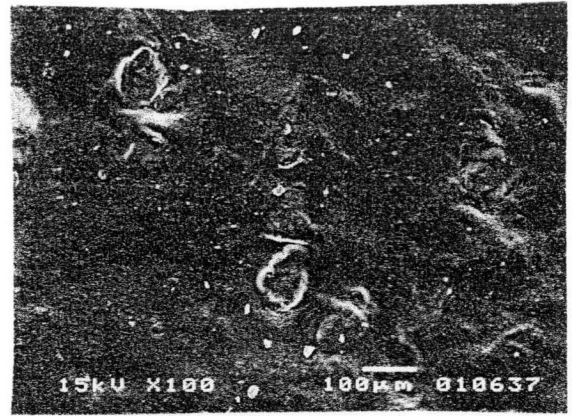
และจากการตรวจสอบด้วย SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าบริเวณผิวของฟิล์มไม่ค่อยปรากฏอนุภาคของเจลาตินโผล่ออกมาหรือมีเป็นจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม และจากรูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วย SEM ของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน 10% ที่เติมสารช่วยผสม PE-g-MA 15% โดยน้ำหนักของเจลาตินที่กำลังขยาย 1,500 เท่า จะเห็นว่าอนุภาคของเจลาตินยึดติดกับเนื้อพลาสติกได้ดีขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าบริเวณรอบๆอนุภาคของเจลาตินไม่มีช่องว่างเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสม PE-g-MA จะช่วยให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติก LLDPE ได้ดีขึ้น โดยส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนจะยึดติดกับเนื้อพลาสติก LLDPE ที่เป็นเมทริกซ์ ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน และส่วนที่เป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ NH_2 ที่มีอยู่บริเวณปลายสุดของสายโซ่เจลาตินหรือที่หมู่ไลซีน (lysine) ที่เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งในเจลาติน ดังแสดงในรูป 4.15



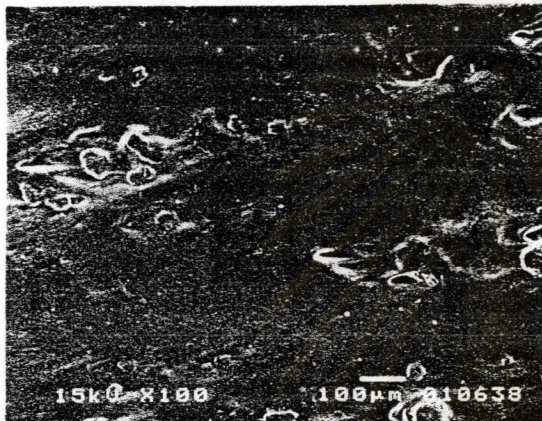
คุรุญวิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



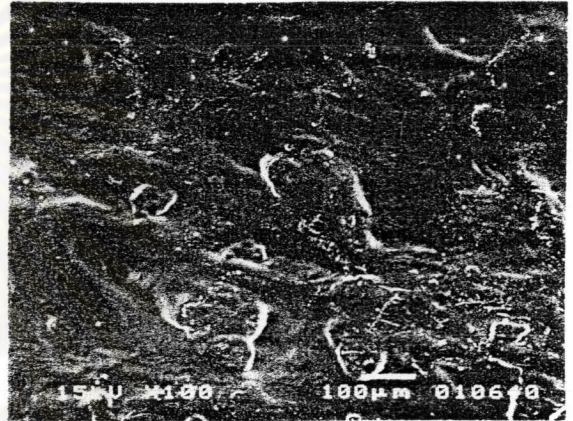
(ก)



(ข)

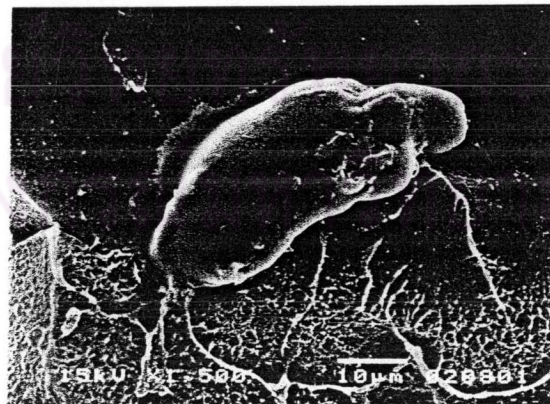


(ค)

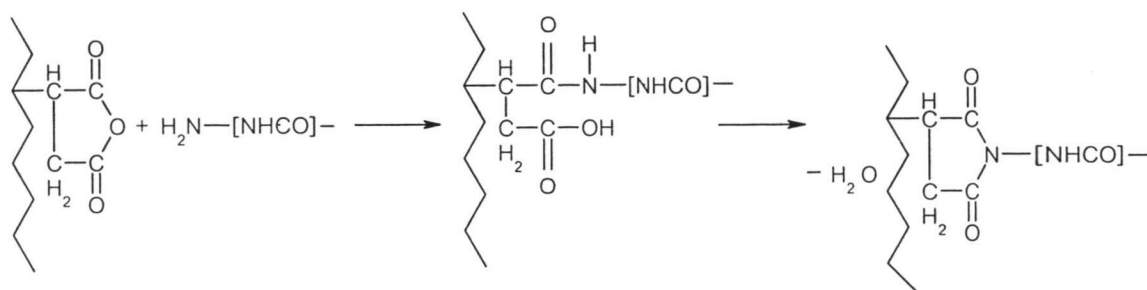


(ง)

รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายด้วย SEM ของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณ 10% โดย น้ำหนักที่เติมสารช่วยผสมที่ปริมาณต่างๆกัน (ก) 0% PE-g-MA (ข) 5% PE-g-MA (ค) 10%PE-g-MA (ง) 15% PE-g-MA



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักที่มี สารช่วยผสม PE-g-MA 15% โดยน้ำหนักของเจลาตินที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.15 ปฏิกริยาระหว่างพอลิเอทิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์กับเจลาติน

4.3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE ผสมเจลาติน

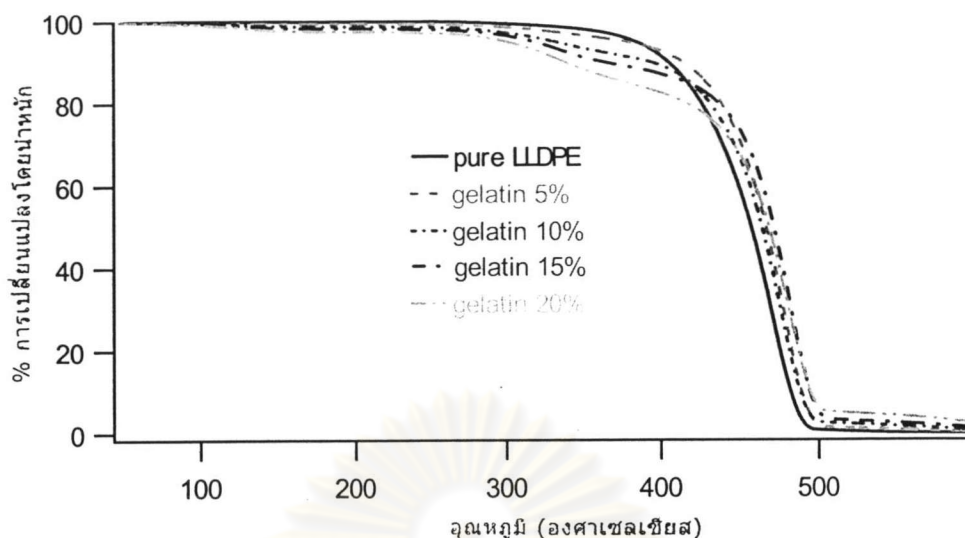
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน ด้วยกัน 2 เทคนิค คือ Thermogravimetric analysis เพื่อวิเคราะห์หาค่าประกอบของวัสดุและเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลหรือน้ำหนักของสารตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และ Differential scanning calorimetry สำหรับวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

4.3.2.1 Thermogravimetric Analysis (TGA)

วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินทั้งชนิดที่มีสารช่วยผสมและไม่มีสารช่วยผสมด้วยเทคนิค TGA เพื่อศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของฟิล์ม ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกตลอดจนการนำฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้ไปใช้งาน โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลของปริมาณเจลาตินและปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ประเภทดังนี้

ผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติก

การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินแสดงในรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.16 ไดอะแกรมแสดงผลการตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติกด้วยเทคนิค TGA ที่ปริมาณเจลาตินต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (%) ของฟิล์มพลาสติกผสม เจลาตินที่ปริมาณต่าง ๆ กัน

ปริมาณเจลาติน (%โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก(°C)		การสูญเสียน้ำหนัก(%)		ส่วนที่เหลือ อยู่ที่ 500°C (%)
	ช่วงแรก	ช่วงที่สอง	350 °C	450 °C	
0(LLDPE)	-	429.80	98.05	58.52	0.101
5	307.98	445.54	96.52	70.79	1.77
10	297.95	444.53	93.46	72.46	2.77
15	297.70	453.96	91.26	73.36	4.71
20	293.78	454.14	88.33	76.42	6.04

จากรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.1 พบว่าการเติมเจลาตินลงไปในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น มีผลให้ฟิล์มพลาสติก LLDPE มีอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นเจลาตินลดลง ตามปริมาณเจลาตินที่มากขึ้น

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สอง ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นพลาสติก LLDPE พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติกมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยที่ปริมาณ

เจลาติน 5 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิการสลายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น 15.74 องศาเซลเซียส และเมื่อมีปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็น 10 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิการสลายตัวจะเพิ่มขึ้น 14.73 24.16 และ 24.34 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเจลาตินสามารถส่งผลให้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น แม้ว่าเจลาตินจะมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ประมาณ 270.9 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นก็ตาม ซึ่งคาดว่า การเติมเจลาตินลงไปมีผลทำให้ฟิล์มพลาสติกต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อสลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเจลาตินนั่นเอง

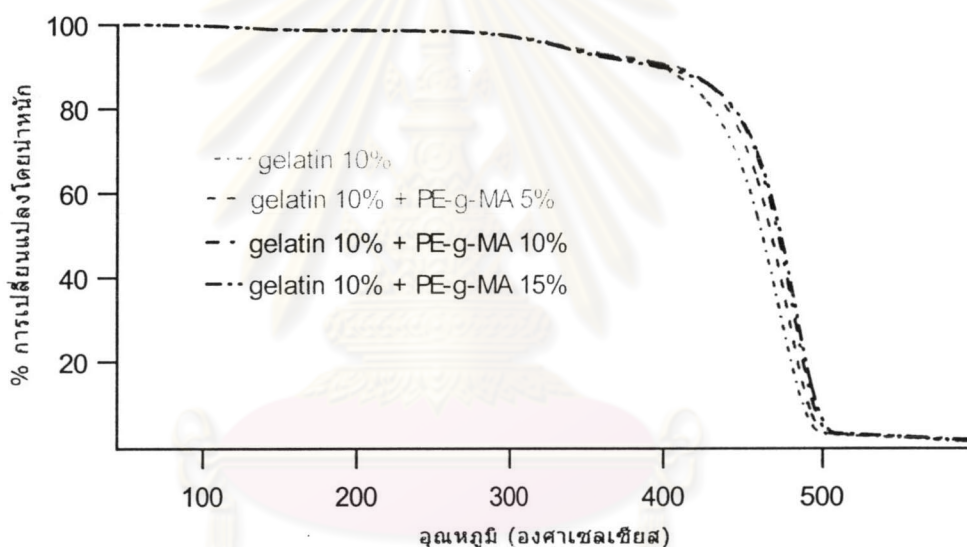
และเมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในช่วงแรกที่อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นเจลาติน พบว่าเมื่อปริมาณเจลาตินมากขึ้น จะทำให้น้ำหนักของฟิล์ม LLDPE ลดลงตามปริมาณของเจลาตินที่เติมลงไป ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินในช่วงแรกเป็นผลมาจากเจลาตินที่เติมลงไปนั่นเอง

ส่วนที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติก LLDPE พบว่า เมื่อสัดส่วนของเจลาตินมากขึ้น การสูญเสียน้ำหนักของฟิล์ม LLDPE จะลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าปริมาณเจลาตินมีผลทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็น LLDPE เพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวสุดท้าย (final decomposition temperature) จะเห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักลดลงจนเกือบเป็นศูนย์สำหรับฟิล์มพลาสติกที่ไม่การเติมเจลาตินเนื่องโมเลกุลของ LLDPE จะสลายตัวกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำจนหมด แต่ในกรณีที่มีการเติมเจลาติน จะพบว่าไม่มีการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมด เนื่องจากยังคงเหลือส่วนที่เป็นขี้เถ้าจากการเผาไหม้เจลาตินหลงเหลืออยู่นั่นเอง ทั้งนี้ปริมาณส่วนที่เหลืออยู่ จะมีมากขึ้นตามปริมาณของเจลาตินที่เติมลงไปเช่นกัน

ผลของปริมาณของสารช่วยผสมที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติก

ในการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติกนี้ จะเลือกพิจารณาเฉพาะฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมต่อการใช้งานดังที่สังเกตจากสมบัติเชิงกลที่จะกล่าว

ถึงในหัวข้อต่อไป จากรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารช่วยผสม (PE-g-MA) ที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติก ที่มีปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ต่างๆ กัน คือ 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักของเจลาติน พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรก (first T_d onset) ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงถึงการสลายตัวของเจลาติน มีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 290 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเปรียบเทียบที่ปริมาณเจลาติน 10% เท่ากัน ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สอง ซึ่งเป็นของพลาสติก LLDPE ที่มีผลของสารช่วยผสม PE-g-MA เข้ามาเกี่ยวข้อง พบว่าเมื่อมีการเติมปริมาณสารช่วยผสมมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวในช่วงที่สองนี้เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าปริมาณสารช่วยผสมมีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติก เนื่องจากสารช่วยผสม PE-g-MA มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าทั้งเจลาตินและพลาสติก LLDPE คือมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 450.81 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 ไดอะแกรมแสดงผลการตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติกด้วยเทคนิค TGA ที่มีปริมาณสารช่วยผสมต่างๆกัน

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (%) ของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน ที่ปริมาณสารช่วยผสมต่างๆ กัน

ปริมาณสารช่วยผสม (%โดยน้ำหนักของ เจลาติน)	อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก(°C)		การสูญเสียน้ำหนัก (%)		ส่วนที่หลง เหลืออยู่ที่ 500°C (%)
	ช่วงแรก	ช่วงที่สอง	350 °C	450 °C	
0	297.95	444.53	93.46	77.49	2.77
5	285.10	451.60	93.94	76.98	2.79
10	296.20	456.91	93.45	74.26	2.80
15	285.85	459.37	93.21	73.78	2.82

เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะเป็นค่าที่ยืนยันผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มพลาสติก จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นเจลาติน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบที่ปริมาณของเจลาตินที่เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของส่วนที่เป็นพลาสติก LLDPE พบว่าที่ช่วงอุณหภูมินี้ จะมีการลดลงของน้ำหนักฟิล์ม LLDPE น้อยลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่มากขึ้น ซึ่งแสดงว่าที่อุณหภูมิที่เท่ากัน สารช่วยผสมจะช่วยทำให้ฟิล์มพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยลง กล่าวคือมีเสถียรภาพทางความร้อนของการสลายตัวมากขึ้นนั่นเอง และที่อุณหภูมิการสลายตัวสุดท้ายที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าส่วนที่เหลืออยู่ จะมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าส่วนที่หลงเหลืออยู่นี้ เป็นชิ้นเล็กๆจากการเผาไหม้เจลาติน ซึ่งในกรณีนี้ใช้ปริมาณเจลาติน 10 เปอร์เซ็นต์เท่ากันนั่นเอง ในขณะที่ส่วนของ LLDPE และสารช่วยผสมจะสลายตัวกลายเป็นไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด

4.2.2.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ฟิล์มพลาสติก LLDPE ถูกวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณเจลาติน และปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) พลังงานความร้อนของการหลอมเหลว (heat of fusion, ΔH_f) และปริมาณความเป็นผลึก (degree of crystallinity)

ผลของปริมาณเจลาตินต่อ T_m , T_c และ ΔH_f ของการหลอมเหลวของฟิล์มพลาสติก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินด้วยเทคนิค DSC นี้ได้ทำการวิเคราะห์ฟิล์มพลาสติกที่มีปริมาณเจลาติน 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนักเช่นเดียวกับเทคนิค TGA ดังแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19 และตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเติมเจลาตินลงไปมีผลให้อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก โดยพบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ทุกปริมาณเจลาตินมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่ได้เติมเจลาติน ซึ่งแสดงว่าปริมาณเจลาตินไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึก

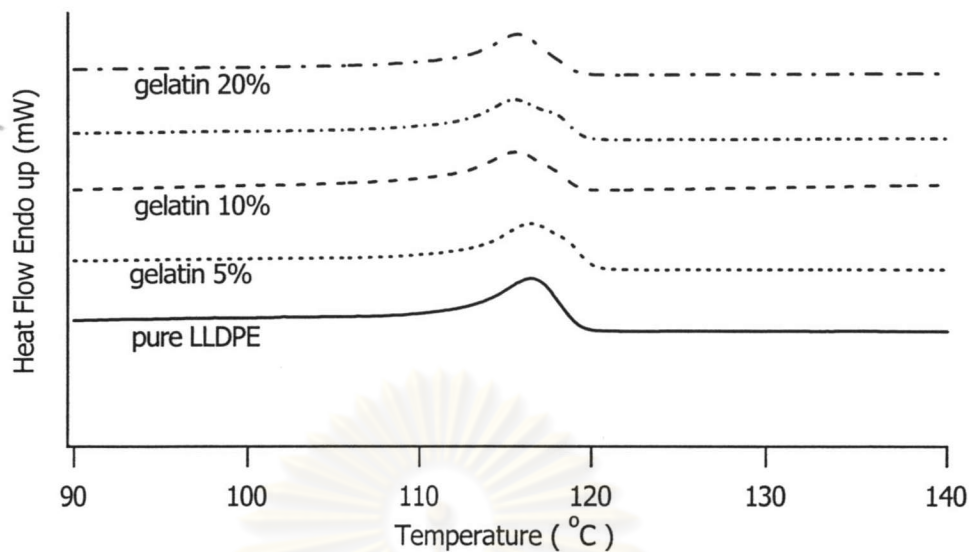
แต่เมื่อพิจารณาพลังงานการหลอมเหลว (ΔH_f) ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณความเป็นผลึก ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Degree of Crystallinity (\%)} = \frac{\Delta H_f^*}{\Delta H_f^\circ} \times 100 \quad (4.1)$$

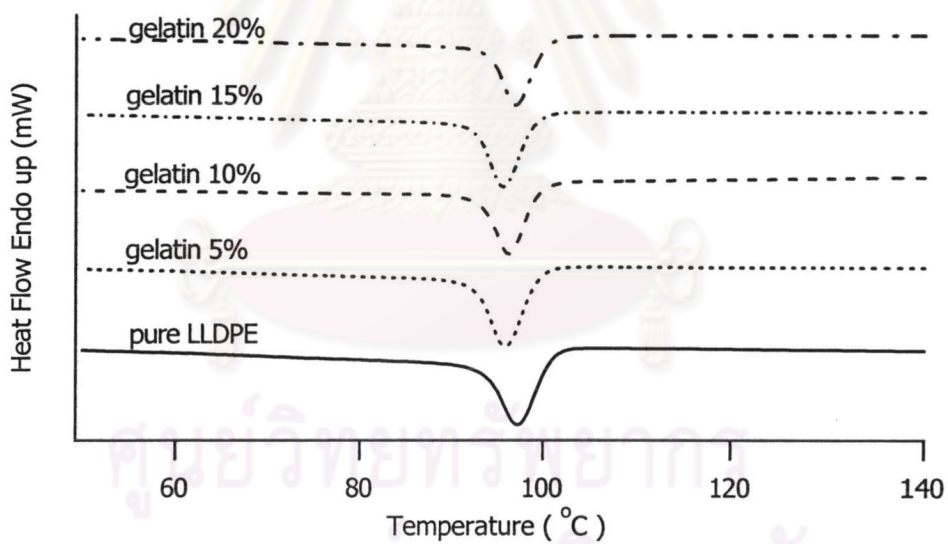
เมื่อ ΔH_f^* คือ พลังงานการหลอมเหลวของ LLDPE ที่ได้จากการทดลอง

ΔH_f° คือ พลังงานการหลอมเหลวของผลึก LLDPE ที่ 100 %

ซึ่งพบว่า ΔH_f ของฟิล์มพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเจลาตินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งคาดว่าอนุภาคของเจลาตินที่เติมลงไปจะประพฤติตัวเสมือนนิวเคลียส (nuclei) หรือแกนของผลึก ซึ่งสามารถชักนำให้เกิดผลึกในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ได้มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.18 ไดอะแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มพลาสติกที่ปริมาณเจลาตินต่างๆกัน



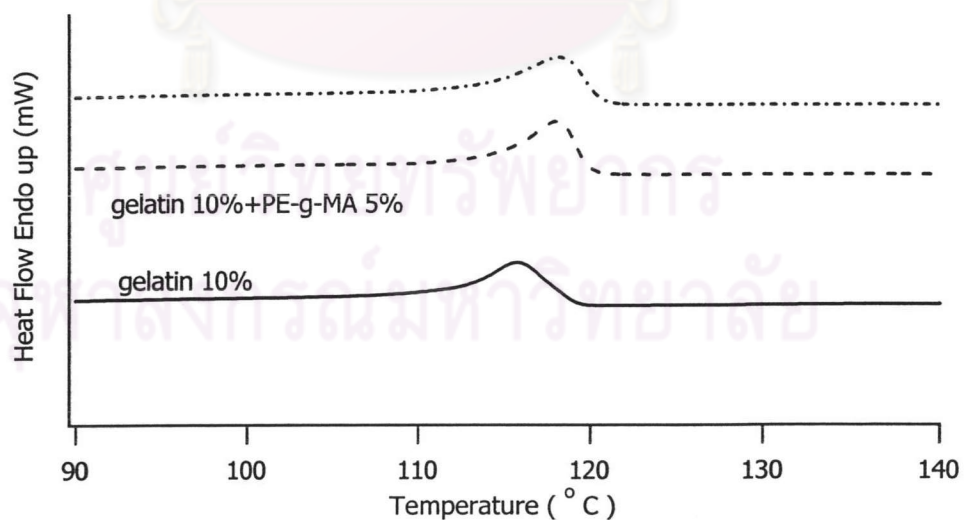
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของฟิล์มพลาสติกที่ปริมาณต่างๆกัน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มพลาสติกที่มีปริมาณเจลาตินต่าง ๆ กัน

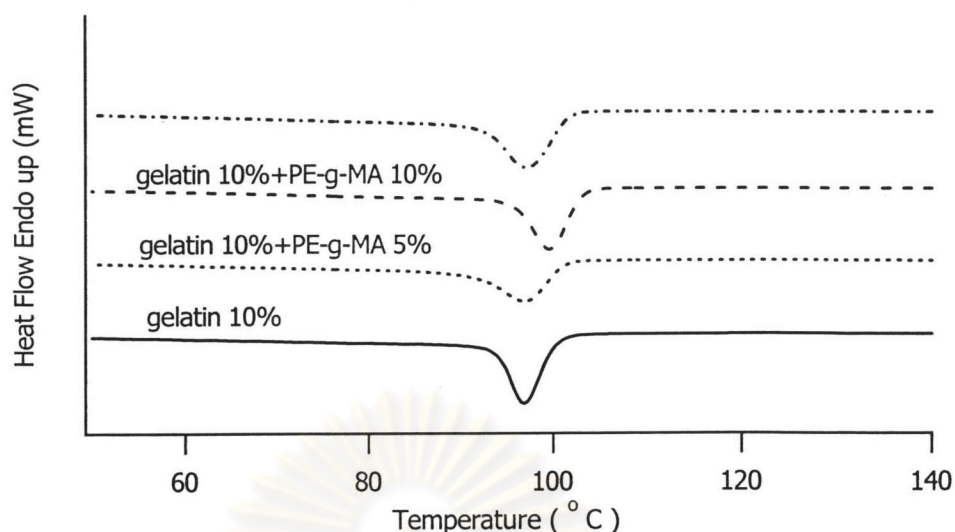
ปริมาณเจลาติน (% โดยน้ำหนัก)	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)		ปริมาณความเป็นผลึก(%)	
			J/g (total)	J/g (LLDPE)	$\Delta H_f^\circ = 276$ J/g	
					(total)	(LLDPE)
0(LLDPE)	116.53	97.27	34.74	34.74	12.59	12.59
5	116.53	95.93	36.65	38.58	13.28	13.98
10	115.70	96.26	34.90	38.78	12.64	14.05
15	115.53	95.60	32.28	37.98	11.68	13.76
20	115.87	96.93	33.97	42.47	12.31	15.39

ผลของปริมาณสารช่วยผสมต่อ T_m , T_c และ ΔH_f ของการหลอมเหลวของฟิล์มพลาสติก

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารช่วยผสม PE-g-MA ด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC นี้ได้เลือกทำการวิเคราะห์ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินปริมาณ 10% โดยน้ำหนักที่เติมสารช่วยผสม 5 10 และ 15 %โดยน้ำหนักของเจลาติน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ,4.21 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักที่ปริมาณสารช่วยผสมต่าง ๆ กัน 5 10 และ 15%โดยน้ำหนักของเจลาติน



รูปที่ 4.21 อุณหภูมิการเกิดผลึกของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักที่ปริมาณสารช่วยผสมต่างๆกัน 5 10 และ 15% โดยน้ำหนักของเจลาติน

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก

ปริมาณสารช่วยผสม PE-g-MA (% โดยน้ำหนักของเจลาติน)	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)		ปริมาณความเป็นผลึก (%)	
			J/g	J/g	$\Delta H_f^\circ = 276$ J/g	
			(total)	(LLDPE)	(total)	(LLDPE)
0	115.70	96.27	34.90	38.78	12.64	14.05
5	117.03	96.93	30.93	34.56	11.21	12.52
10	118.03	99.60	36.20	40.64	13.12	14.72
15	118.20	97.26	39.87	44.96	14.45	16.29

จากรูปที่ 4.20, 4.21 และตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก พลังงานการหลอมเหลวและปริมาณความเป็นผลึกของฟิล์มพลาสติกดังกล่าว พบว่าปริมาณสารช่วยผสมมีผลต่อทั้งอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกโดยเมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกเพิ่มขึ้นตามลำดับ กล่าวคือสารช่วยผสมจะทำให้เกิดผลึกได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ณ อุณหภูมิการเกิดผลึกที่สูงขึ้นนั้น จะมีอัตราการเติบโตของผลึก (growth

rate) มากกว่าอัตราการก่อผลึก (nucleation rate) เมื่อเปรียบเทียบกับ ณ อุณหภูมิการเกิดผลึกที่ต่ำลงนั้นจะทำให้อัตราการก่อผลึก (nucleation rate) มากกว่าอัตราการเติบโตของผลึก (growth rate) ดังนั้นสารช่วยผสมจะทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิการหลอมเหลวสูงขึ้น

ส่วนปริมาณความเป็นผลึกของฟิล์มพลาสติก พบว่าปริมาณความเป็นผลึก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสมที่เติมลงไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารช่วยผสม PE-g-MA จะทำให้เจลาตินมีความเข้ากันได้กับเนื้อพลาสติก LLDPE ได้ดีขึ้น โดยการทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับหมู่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ในสารช่วยผสม และส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนในสารช่วยผสมก็จะเกิดพันธะแวนเดอร์วาลส์กับ LLDPE ซึ่งเป็นเมทริกซ์ ดังนั้นอนุภาคของเจลาตินจึงไม่ขัดขวางการเกิดผลึกในฟิล์มพลาสติก พลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

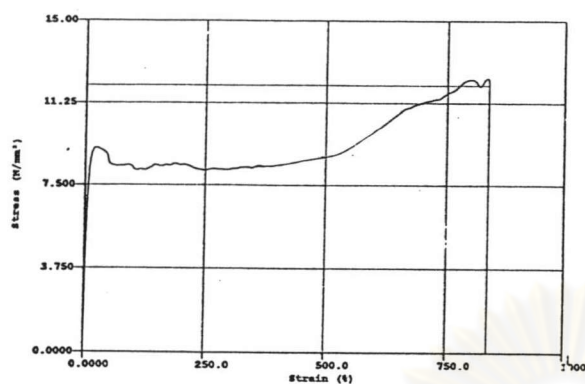
4.3 สมบัติความทนแรงดึง (Tensile Properties)

ทดสอบสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่มีสารช่วยผสม และไม่มีสารช่วยผสม เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่มีตัวเติม ตามมาตรฐาน ASTM D 882 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับทดสอบฟิล์มพลาสติก โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณของเจลาติน และปริมาณของสารช่วยผสม ที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟิล์มพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ซึ่งผลการทดลองที่ได้คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยจากชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นงาน

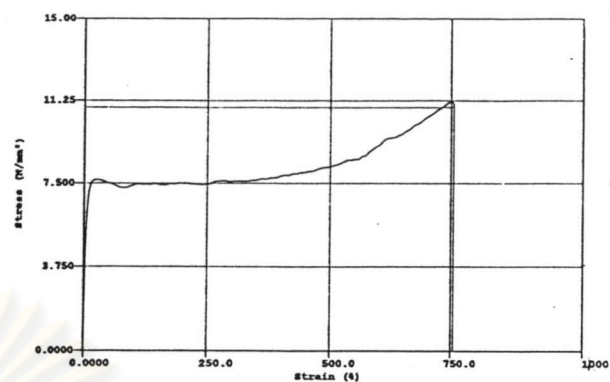
ผลของปริมาณเจลาติน

เมื่อพิจารณาฟิล์มพลาสติก LLDPE จากลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด ในรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าเส้นกราฟในช่วงแรกมีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งมีความชันสูง ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) โดยในช่วงนี้ความเครียดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเค้น จากนั้นเส้นกราฟเริ่มมีลักษณะโค้ง พร้อมทั้งเกิดจุดคราก (yield point) ซึ่งเป็นจุดที่แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก (plastic deformation) ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานอย่างถาวร หลังจากจุดครากเส้นกราฟจะเริ่มมีค่าคงที่ในช่วงหนึ่ง ซึ่งในช่วงนี้ อาจเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้เส้นกราฟค่อยๆ สูงขึ้นเนื่องจากต้องใช้แรงมากขึ้นในการยืดดึง จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งเป็นจุดสูงสุด แล้วเส้นกราฟจะลดลงอย่างรวดเร็วจนขาด

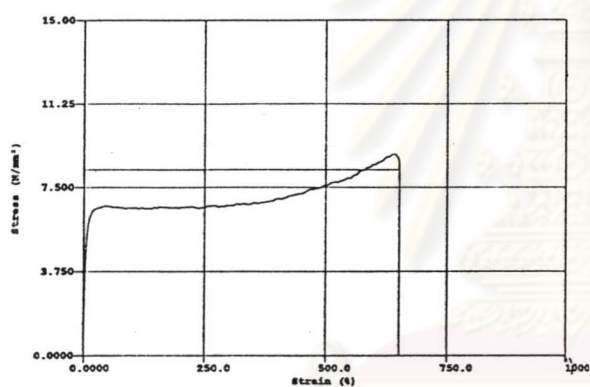
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



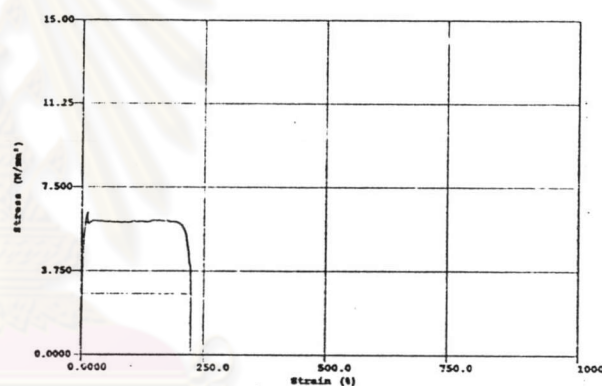
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของฟิล์มพลาสติก
ที่ปริมาณเจลาตินต่างๆกัน (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 20%

ซึ่งเมื่อเติมเจลาตินลงไปปริมาณ 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด จะมีลักษณะคล้ายกับฟิล์มพลาสติกLLDPE ที่ไม่ได้เติมเจลาติน แต่จะมีความแตกต่างกันที่ ความชันของกราฟในช่วงแรก ซึ่งแสดงถึงความอดดัด จะเพิ่มขึ้น และเส้นกราฟภายหลังจุดคราก จะมีลักษณะคงที่ในระยะหนึ่งแล้วค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ระยะในการเพิ่มสูงขึ้นเป็นไปน้อยกว่า เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินไปขัดขวางการจัด

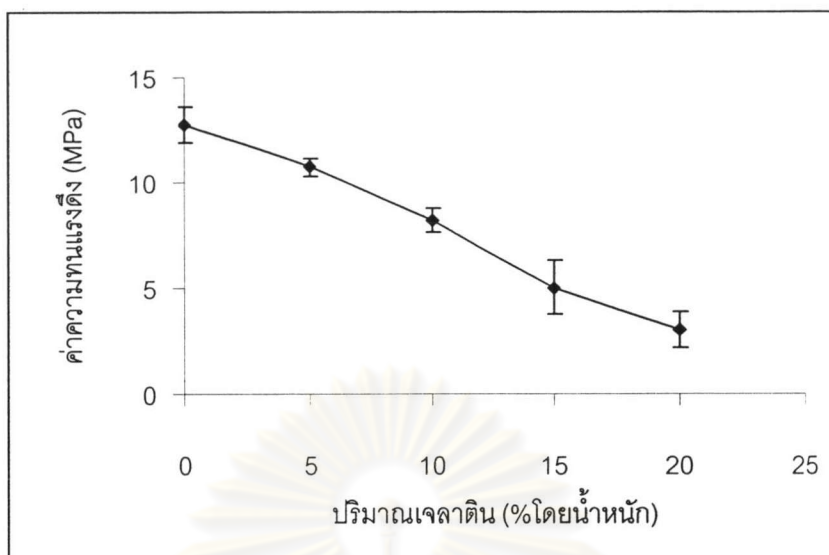
เรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นบางส่วน ซึ่งทำให้มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุล LLDPE ได้น้อยกว่าในกรณีที่ไม่ได้เติมเจลาตินนั่นเอง

และที่ปริมาณเจลาตินสูงขึ้นที่ 15 และ 20% โดยน้ำหนัก ภายหลังจากจุดคราก พลาสติก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เนื่องจากเนื้อพลาสติก LLDPE ถูกแทรกอยู่ด้วยอนุภาคของเจลาตินเป็นปริมาณมาก อนุภาคของเจลาตินจะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้เนื้อที่ของพลาสติก LLDPE ที่ถูกยึดตั้งไม่สามารถเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลได้ เส้นกราฟจึงคงที่ในระยะหนึ่งและจะไม่เพิ่มสูงขึ้นแต่จะลดลงอย่างรวดเร็วจนขาด

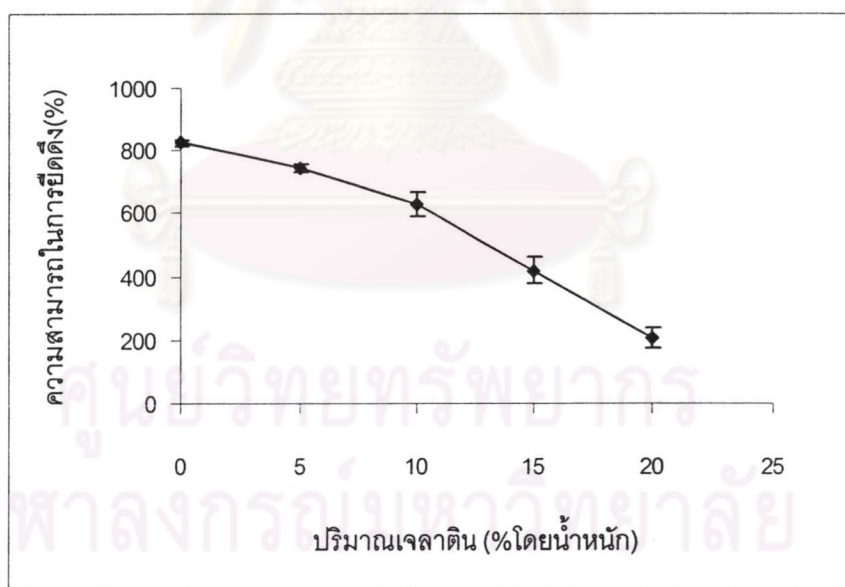
สำหรับผลของปริมาณเจลาตินต่อค่าความทนแรงดึงแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งจะพบว่าความทนแรงดึง จะลดลงตามสัดส่วนของเจลาตินที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินมีแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อพลาสติกที่เป็นเมทริกซ์ไม่ดีพอ การถ่ายโอนแรงระหว่างเฟส (phase) จึงเป็นไปได้ไม่ดี ทำให้ค่าความทนแรงดึงลดลงนั่นเอง

ถ้าพิจารณาที่ความสามารถในการยึดตั้งที่จุดขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่าความทนแรงดึง กล่าวคือ ความสามารถในการยึดตั้งจะลดลงตามปริมาณของเจลาตินที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเจลาตินที่เติมลงไปเปรียบเสมือนสิ่งแปลกปลอมในวัสดุ และเนื่องจากความสามารถในการยึดติดระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติกที่ต่ำ เมื่อถูกแรงดึงจึงทำให้เนื้อพลาสติกที่ถูกอนุภาคของเจลาตินแทรกอยู่ เกิดการแยกตัวออกจากกันได้ง่าย จึงส่งผลให้ความสามารถในการยึดตั้งลดต่ำลง

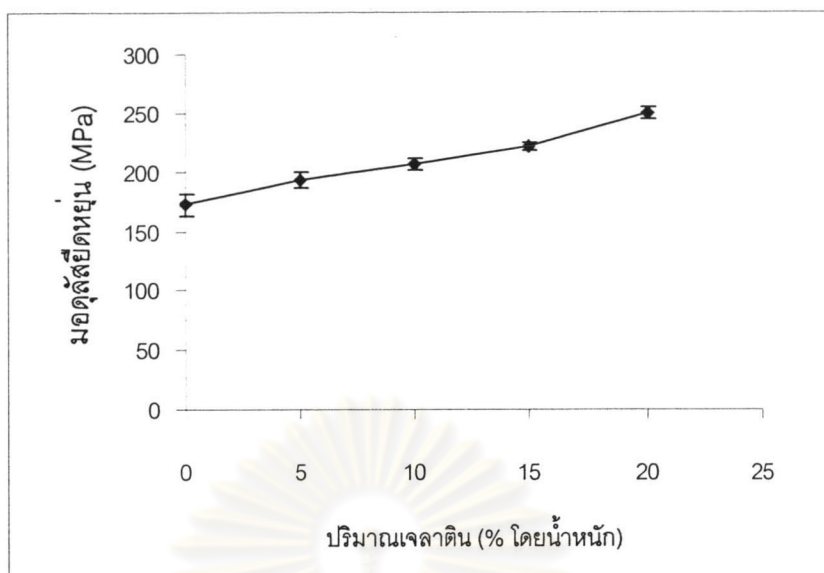
สำหรับค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ของฟิล์มพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อมีปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้น มอดุลัสจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินแข็งเปราะ ไม่มีความยืดหยุ่น มีค่ามอดุลัสสูงถึงประมาณ 3 GPa²⁷ เมื่ออนุภาคของเจลาตินแทรกอยู่ภายในเนื้อพลาสติก LLDPE ซึ่งเป็นเมทริกซ์ ก็จะทำให้ค่ามอดุลัสของวัสดุโดยรวมมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามกฎการผสมนั่นเอง



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อค่าความทนแรงดึง



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อความสามารถในการยึดน้ำที่จุดขาด



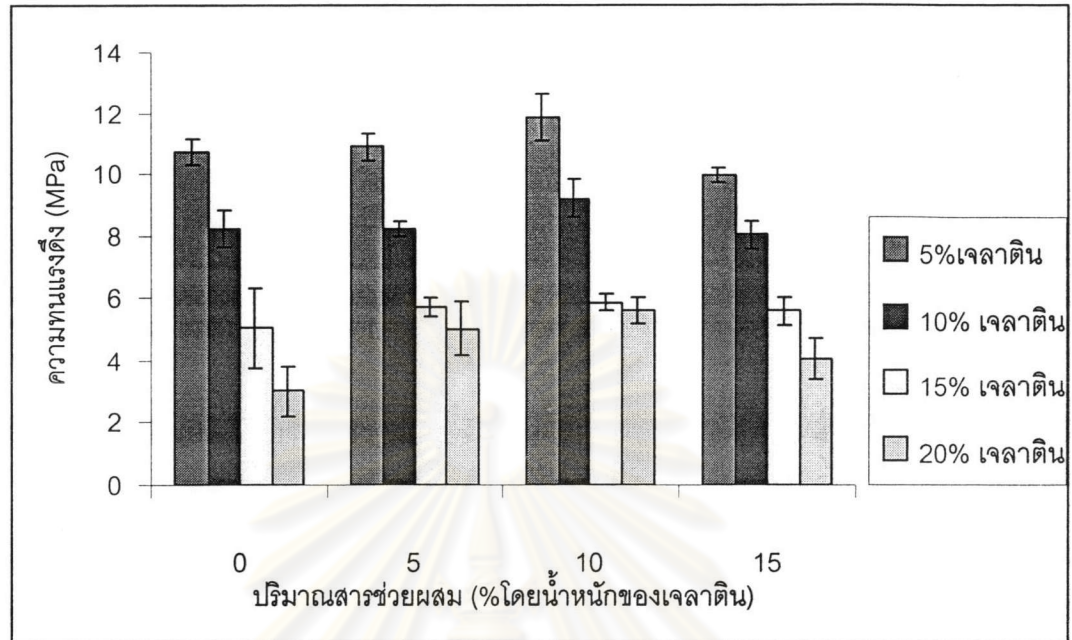
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

ผลของปริมาณสารช่วยผสม

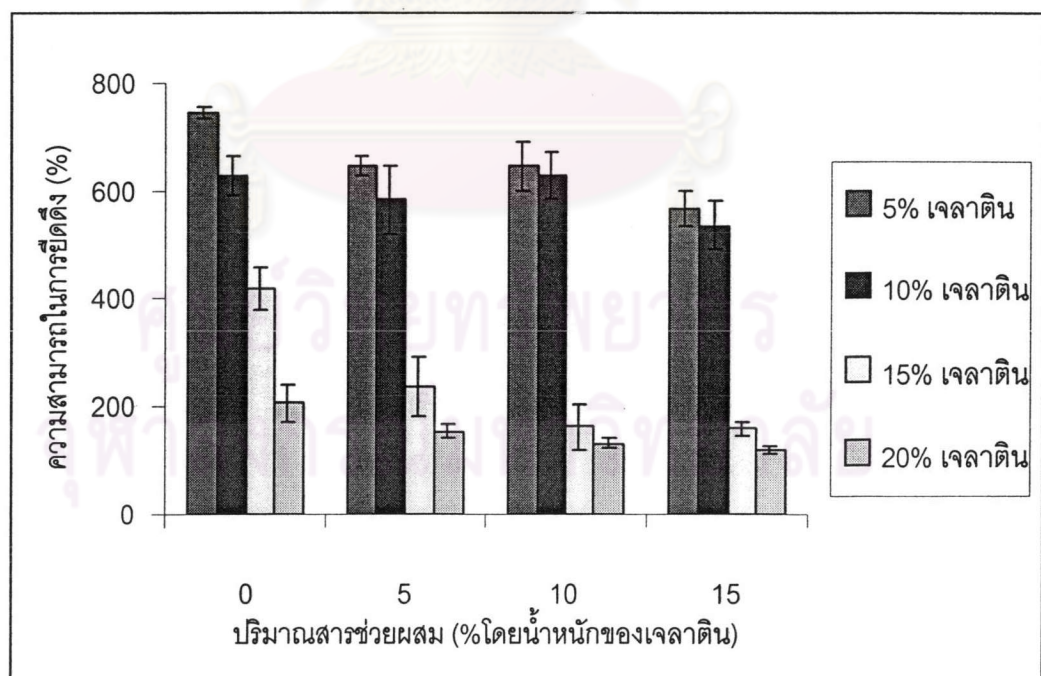
เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินและเนื้อพลาสติกมีความสามารถในการเข้ากันได้หรือมีแรงยึดติดระหว่างกันที่ต่ำ ทำให้สมบัติความทนต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดดึงมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่มีตัวเติม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงความสามารถในการยึดติดระหว่างกันของเจลาตินกับพลาสติก LLDPE โดยการใช้สารช่วยผสม พอลิเอทิลีน กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) ซึ่งผลจากการปรับปรุงความสามารถในการยึดติดระหว่างกันของเจลาตินกับพลาสติก LLDPE โดยการใช้สารช่วยผสมนี้ จากรูปที่ 4.26 พบว่าสารช่วยผสมมีผลทำให้ฟิล์มพลาสติกมีความสามารถทนต่อแรงดึงที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนของสารช่วยผสมจะสามารถยึดติดหรือเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติก LLDPE ที่เป็นเมทริกซ์ (matrix) ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน และส่วนที่เป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ NH_2 ที่มีอยู่ในเจลาตินเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์. ดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 4.15 หัวข้อที่ 4.2 จึงทำให้อนุภาคของเจลาตินและพลาสติก LLDPE มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีความทนแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม

แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการยืดดึงที่จุดขาด) จากรูปที่ 4.27 พบว่าสารช่วยผสมมีผลทำให้ความสามารถในการยืดดึงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสม PE-g-MA (Fusabond MB-226) มีความสามารถในการยืดดึงของตัวเองที่ต่ำมากซึ่งมีค่าเพียง 190 เปอร์เซ็นต์

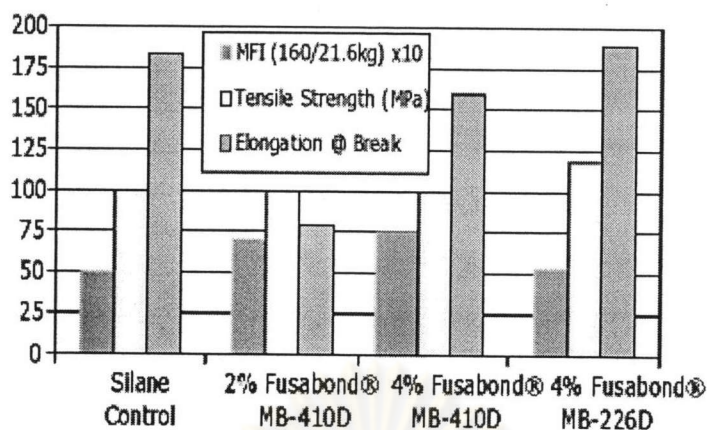
ดังแสดงในรูปที่ 4.28 เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการยึดดึงของ LLDPE ที่มีค่าสูงถึง 800 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่าความทนแรงดึง

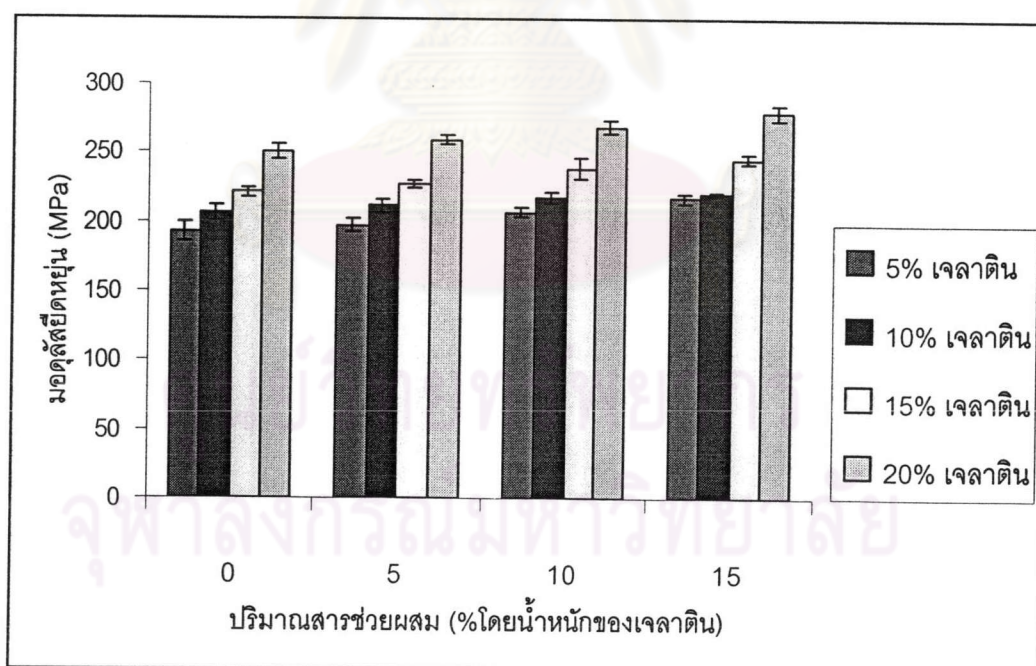


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการยึดดึงที่จุดขาด



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสามารถในการยึดติดของสารช่วยผสมชนิดต่างๆ²⁸

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าถึงแม้สารช่วยผสมจะมีผลในเชิงบวกต่อความสามารถในการทนแรงดึงและค่ามอดุลัสยืดหยุ่น แต่จะมีผลในเชิงลบต่อความสามารถในการยึดติดของฟิล์มพลาสติก ดังนั้นการใช้สารช่วยผสมอาจไม่มีความจำเป็นนักเมื่อต้องการใช้งานที่เน้นสมบัติความสามารถในการยึดติด



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

สำหรับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพลาสติกที่มีการเติมสารช่วยผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.29 พบว่าสารช่วยผสมมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมจะทำหน้าที่เชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติก LLDPE การเกิดพันธะระหว่างกันนี้ทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหวได้ยาก ค่ามอดุลัสจึงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปริมาณสารช่วยผสมมากขึ้นก็จะทำให้ค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติกเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้ (Biodegradation Test)

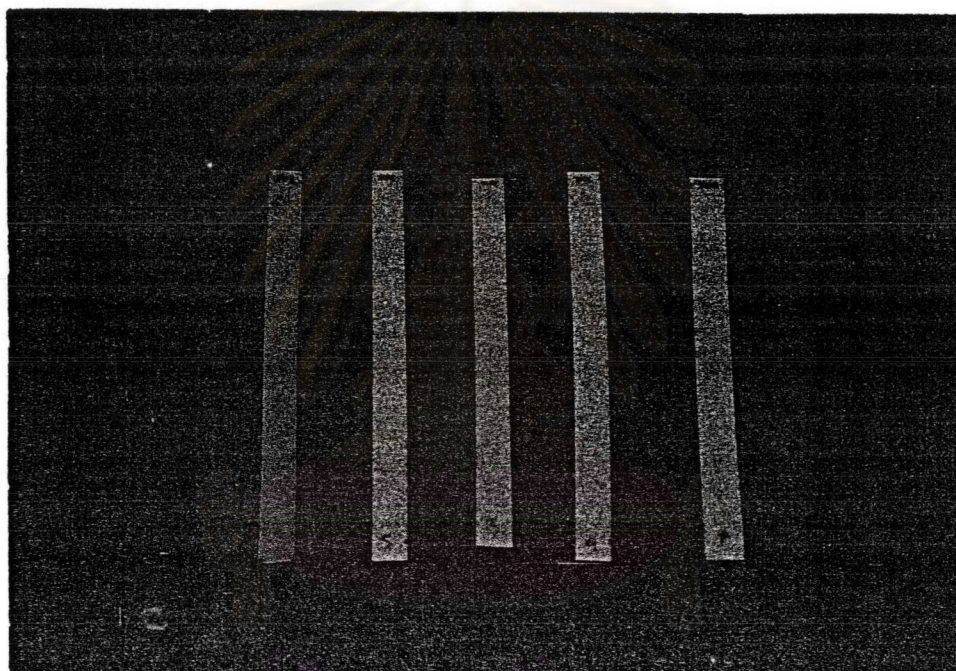
จากการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยวิธีการใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) และวิธีการใช้เอนไซม์ (enzymatic degradation) ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ และเป็นวิธีที่ให้ผลการทดสอบที่รวดเร็วกว่าการปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองตามธรรมชาติ พบว่าการใช้เอนไซม์จะให้ผลการทดลองในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากการนำเอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์มาใช้ย่อยสลายสารตัวเดิมที่มีอยู่ในพลาสติกโดยตรง ส่วนวิธีการใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่งนั้นเป็นการให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำเสียบริโภคสารตัวเดิม ซึ่งในที่นี้คือ เจลาติน เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเหล่านั้น ซึ่งวิธีนี้อาจจะมีความจำเพาะเจาะจงน้อยกว่าวิธีแรก เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียมียูอยู่หลายชนิดนั่นเอง

4.4.1 ความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกโดยวิธี Activated Sludge

จากการติดตามผลความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้ 2 ชนิด คือ ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ไม่เติมสารช่วยผสม กับ ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่เติมสารช่วยผสม ซึ่งได้ทำการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป (% weight loss) ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่อง SEM และสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายตามเวลาที่กำหนด เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลาย และทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณเจลาติน อิทธิพลของปริมาณสารช่วยผสม และอิทธิพลของระยะเวลาในการย่อยสลาย ที่มีต่อสมบัติต่างๆที่กล่าวข้างต้นสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

4.4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

จากการตรวจสอบลักษณะของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge ด้วยสายตา ดังแสดงในรูปที่ 4.30 พบว่าฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินภายหลังจากการย่อยสลาย จะมีลักษณะเป็นฝ้าขาว และมีความขุ่นขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย ซึ่งคาดว่าเกิดจากปริมาณจุลินทรีย์ในระดับไมครอนที่เกิดจากการย่อยสลายเจลาตินโดยจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในน้ำเสียระบบ activated sludge นั้นเอง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ค่าดัชนีหักเห (refractive index) ของฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายเปลี่ยนไปจากเดิม ทำให้ฟิล์มพลาสติกมีความขุ่น ฝ้า เกิดขึ้นในบริเวณที่มีอนุภาคของเจลาตินกระจายอยู่ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อมีปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.30 ภาพถ่ายฟิล์มพลาสติกที่ปริมาณเจลาตินต่างๆกัน 0 5 10 และ 15% เรียงลำดับจากซ้ายไปขวาภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge เป็นเวลา 4 สัปดาห์
ผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

จากการศึกษาถึงผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลาย ซึ่งทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่าที่ปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้น จะทำให้พื้นผิวของฟิล์มพลาสติกมีจุลินทรีย์มากขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ที่เป็นเช่นนี้เพราะเจลาตินที่อยู่บริเวณผิวของฟิล์มถูกจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำเสียบริโภคไปนั่นเอง ซึ่งการเกิดจุลินทรีย์ขึ้น

บนผิวของวัสดุ เป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของพลาสติกทำให้จุลินทรีย์สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้เกิดการสลายตัวของพลาสติกได้ต่อไป

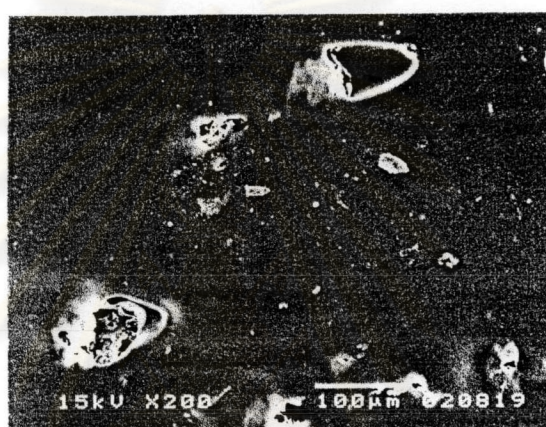
ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณของสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการย่อยสลาย ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกทั้งก่อนและภายหลังการย่อย ในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่มีปริมาณของสารช่วยผสม (PE-g-MA) ต่างๆกัน คือ 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก

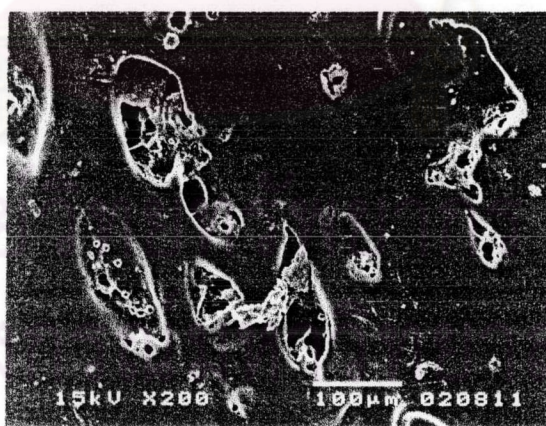
จากรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าภายหลังจากการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ฟิล์มพลาสติกที่ผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่มีปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น จะช่วยหนุนเหนี่ยวความสามารถในการย่อยสลาย โดยสังเกตได้จากปริมาณและขนาดรูพรุนจะน้อยลง ตามสัดส่วนของปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสมมีผลต่อความสามารถในการยึดติดกันระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติกนั่นคือทำให้เฟสทั้งสองยึดติดกันได้ดีขึ้น ทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเข้าไปสัมผัส (attack) และบริโภคเจลาตินได้ง่าย



(ก)

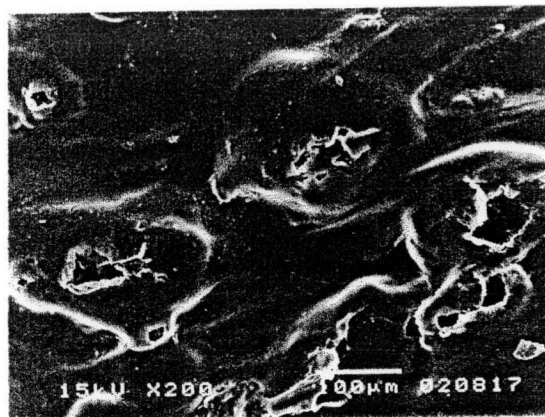


(ข)

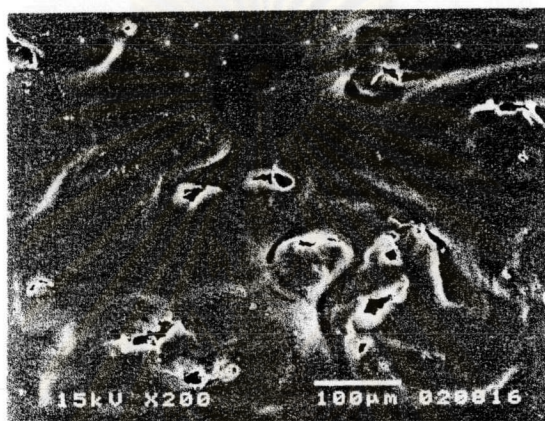


(ค)

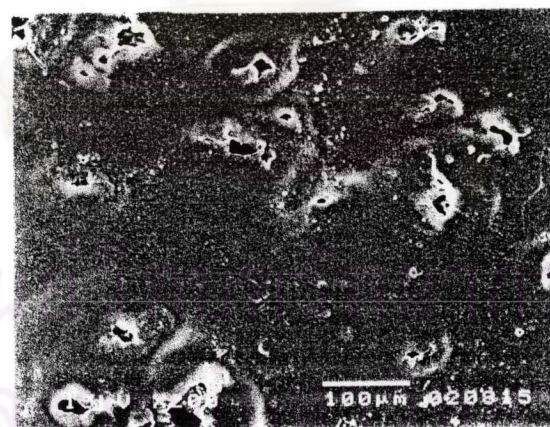
รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายด้วย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกผสมเถ้าดินที่ปริมาณต่างๆ ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge เป็นเวลา 4 สัปดาห์
(ก) 5% เถ้าดิน (ข) 10% เถ้าดิน (ค) 20% เถ้าดิน



(ก)



(ข)



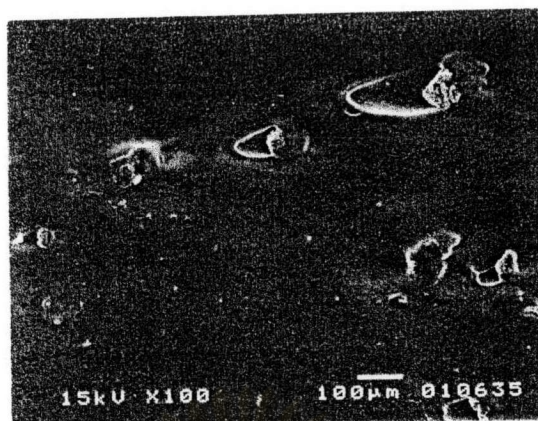
(ค)

รูปที่ 4.32 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% ที่มีปริมาณสารช่วยผสม
 ต่างๆกัน ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge เป็นเวลา 4 สัปดาห์
 (ก) 5% PE-g-MA (ข) 10% PE-g-MA (ค) 15% PE-g-MA

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ Activated Sludge ต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

จากการศึกษาถึงผลของปริมาณเจลาติน และปริมาณสารช่วยผสม ที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม ซึ่งก็คือ ระยะเวลาในการทดสอบนั่นเอง ในการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge จะทำการทดสอบเป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์ โดยจะทำการตรวจสอบสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 1 สัปดาห์ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.33

จากรูปจะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ ฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักจะมีพื้นผิวที่มีรูพรุนเกิดขึ้นแต่เป็นจำนวนน้อย และเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง 4 สัปดาห์ จะพบว่าปริมาณและขนาดของรูพรุนมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินในน้ำเสียนานขึ้น จะทำให้ฟิล์มพลาสติก มีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของฟิล์มมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้เวลานานขึ้น จะทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปบริเวณอนุภาคของเจลาตินที่อยู่บริเวณพื้นผิวได้มากขึ้นนั่นเอง และจะเป็นเช่นเดียวกันนี้ สำหรับฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณอื่นๆ คือ 5 15 และ 20 % โดยน้ำหนักด้วย แต่ในกรณีของฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่มีสารตัวเติม จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ผิวของฟิล์มเลย เนื่องจากฟิล์มมีความเรียบมากทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในโมเลกุลได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายด้วย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน 10 % โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน (ก) 0 สัปดาห์ (ข) 1 สัปดาห์ (ค) 4 สัปดาห์

4.4.1.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติก

เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป เป็นค่าที่สามารถบ่งบอกถึงการลดลงของน้ำหนักโดยรวมของฟิล์มพลาสติกผสมสารตัวเติม เนื่องจากอนุภาคของสารตัวเติมถูกบริโภคโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำหนักโดยรวมของฟิล์มพลาสติกที่ลดลง สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ น้ำหนักที่สูญเสียไป} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลาย

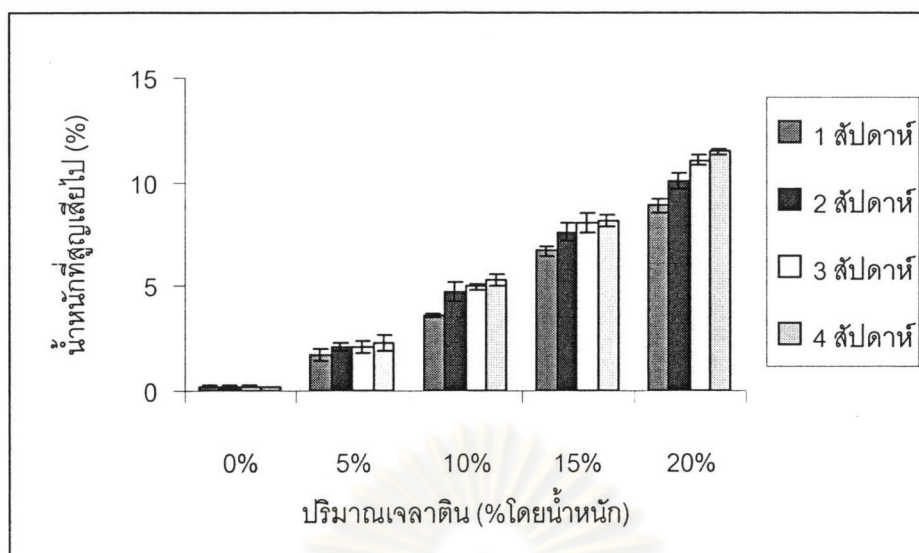
B คือ น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลาย

จากผลการทดลองสามารถอธิบายเพื่อแสดงถึงผลของปริมาณเจลาติน ปริมาณของสารช่วยผสม และผลของระยะเวลาในการทดสอบที่มีต่อน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกที่สูญเสียไป

ผลของปริมาณของเจลาตินต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นว่าน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินจะลดลงมากขึ้น เมื่อปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์จะเข้าไปบริโภคเจลาตินที่แทรกตัวอยู่บนผิวของฟิล์มพลาสติกได้มากขึ้นตามปริมาณเจลาตินที่มีอยู่ในฟิล์มพลาสติก เมื่ออนุภาคของเจลาตินถูกบริโภคไป น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ที่จะเห็นว่าอนุภาคของเจลาตินถูกบริโภคไปโดยจุลินทรีย์ ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 4.4.1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักรั่วที่สูญหายไปของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลาย ด้วยวิธี Activated Sludge ที่ปริมาณแคลเซียมและระยะเวลาต่างๆ กัน

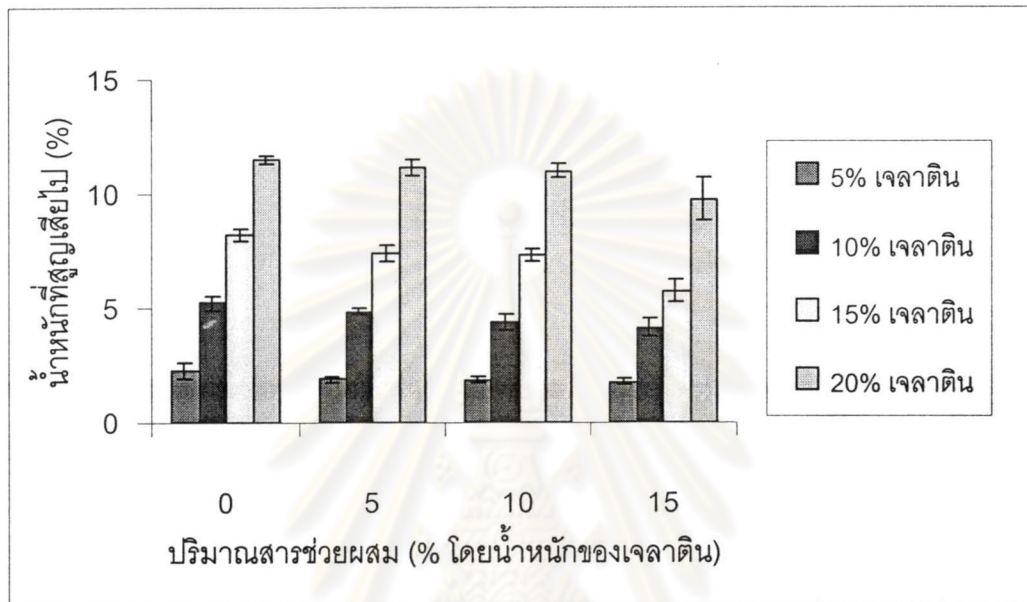
และจะเห็นว่าฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่มีการเติมแคลเซียม มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 0.05% ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมาก คือลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นหลังจากการอบเพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์มพลาสติกจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักไปบ้างเนื่องจากการอบไล่ความชื้น

สำหรับฟิล์มพลาสติกที่มีการเติมแคลเซียมที่ปริมาณแคลเซียม 5 % มีการสูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 2% และเมื่อมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณแคลเซียม 20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักถึง 12% ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 สัปดาห์

ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรั่วที่สูญหายไป

ในการศึกษาผลของปริมาณสารช่วยผสม จะพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมแคลเซียมที่ปริมาณ 10 % และเติมสารช่วยผสมปริมาณต่างๆ กัน ที่ 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแคลเซียมภายหลังการย่อยสลายเป็นระยะเวลาสูงสุด 4 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.35 ซึ่งจะพบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมลงไป จะทำให้การสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกลดน้อยลง คือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรั่วที่สูญหายไปลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกผสมแคลเซียม 10% ที่ไม่ได้

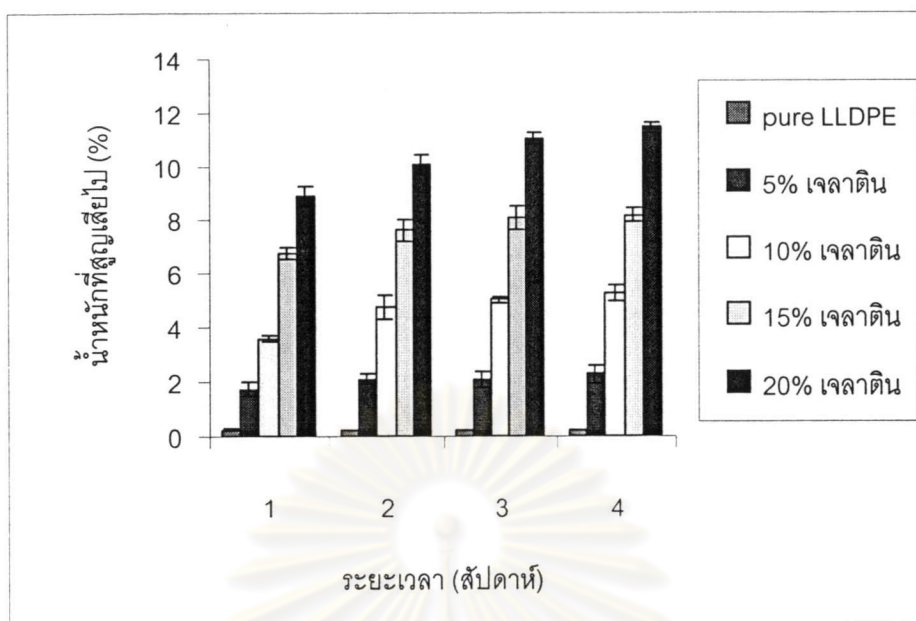
เติมสารช่วยผสม โดยที่ปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น จาก 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเจลาติน จะทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไปลดลงไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากสารช่วยผสมมีส่วนช่วยปรับปรุงความสามารถในการยึดติดกันระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติก LLDPE ซึ่งจะสังเกตได้จากภาพถ่ายด้วย SEM ว่าอนุภาคของเจลาตินโผล่ออกมาที่บริเวณผิวน้อยลง จุลินทรีย์จึงเข้าไปบริเวณนี้ได้ยาก จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักของเจลาตินลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 4.35 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายฟิล์มพลาสติกด้วยวิธี Activated Sludge ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป

การศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการทดสอบการย่อยสลาย สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.36 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำการย่อยสลายมากขึ้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติกจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายด้วย SEM รูปที่ 4.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินจะมีรูพรุนเกิดขึ้นมากตามลำดับ เนื่องจากเจลาตินถูกบริโภคไปโดยจุลินทรีย์นั่นเอง



รูปที่ 4.36 ไดอะแกรมแสดงผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหายไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

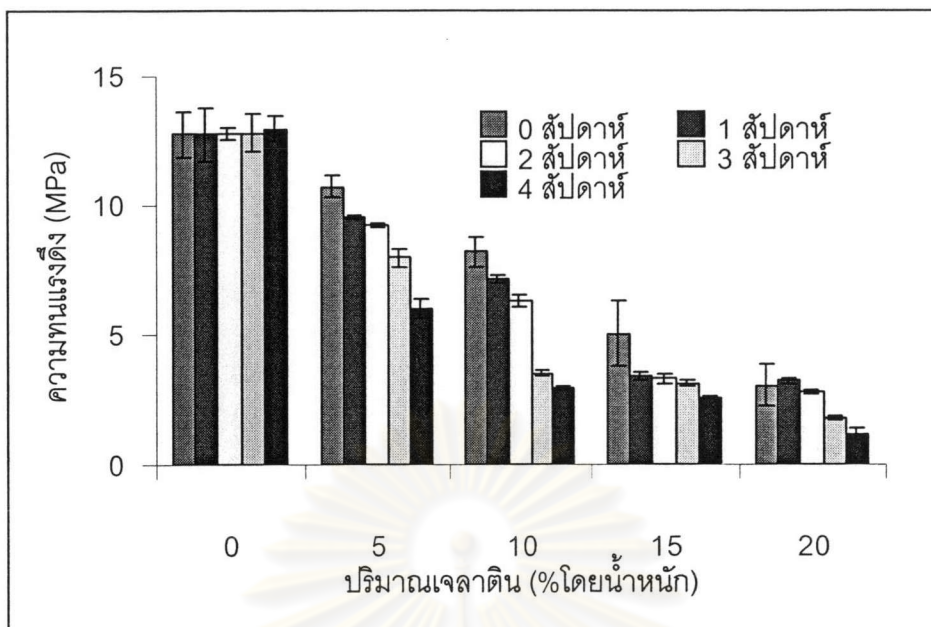
4.4.1.3 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties)

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้วัดความสามารถในการย่อยสลายของวัสดุ คือ สมบัติความทนต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสมบัติความทนต่อแรงดึงนี้เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำฟิล์มพลาสติกไปใช้งาน และจะสอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบด้วย SEM และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติก ซึ่งพบว่าภายหลังจากการย่อยสลายจะมีผลให้สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านด้วยกัน ทั้งผลของปริมาณเจลาติน ผลของปริมาณสารช่วยผสม และผลของระยะเวลาในการทำกรย่อยสลาย ซึ่งผลการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง จะแสดงในรูปของค่าความทนแรงดึง ความสามารถในการยืดดึงที่จุดขาด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

ผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก

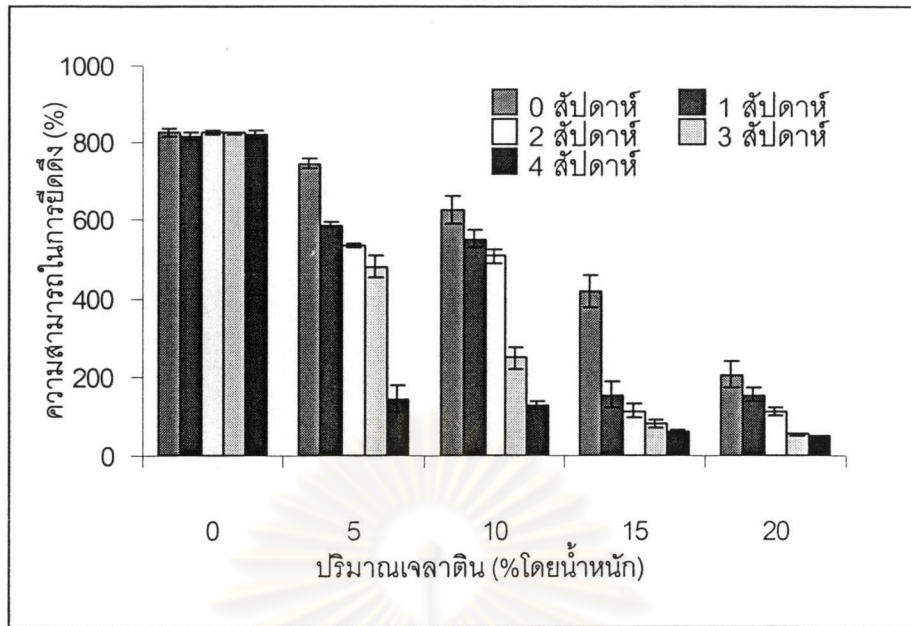
จากรูปที่ 4.37 ซึ่งแสดงค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆ กัน ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge พบว่าค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกมีค่าลดลงตามปริมาณของเจลาตินที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับในกรณีของฟิล์มพลาสติกที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย แต่ทั้งนี้ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายจะมีค่าน้อยลง กว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลายอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังจากการย่อยสลายจะเกิดรูพรุนขึ้นที่ผิวของฟิล์มพลาสติก ในบริเวณที่อนุภาคของเจลาตินถูกบริโภคไป ซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะส่งผลให้ฟิล์มพลาสติกเกิดการขาดได้ง่ายขึ้นนั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

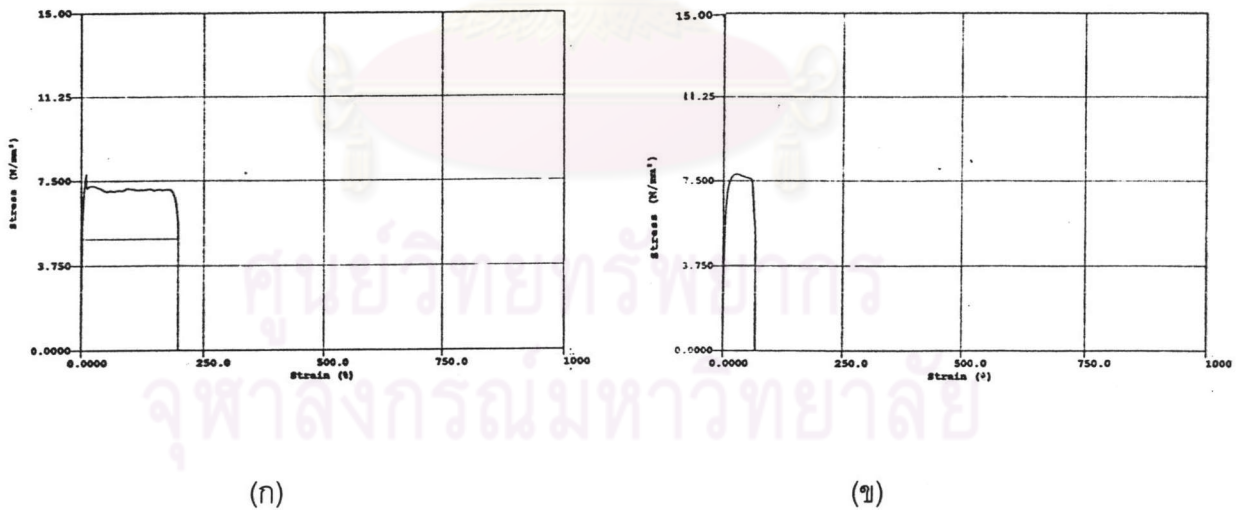


รูปที่ 4.37 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆกันภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge

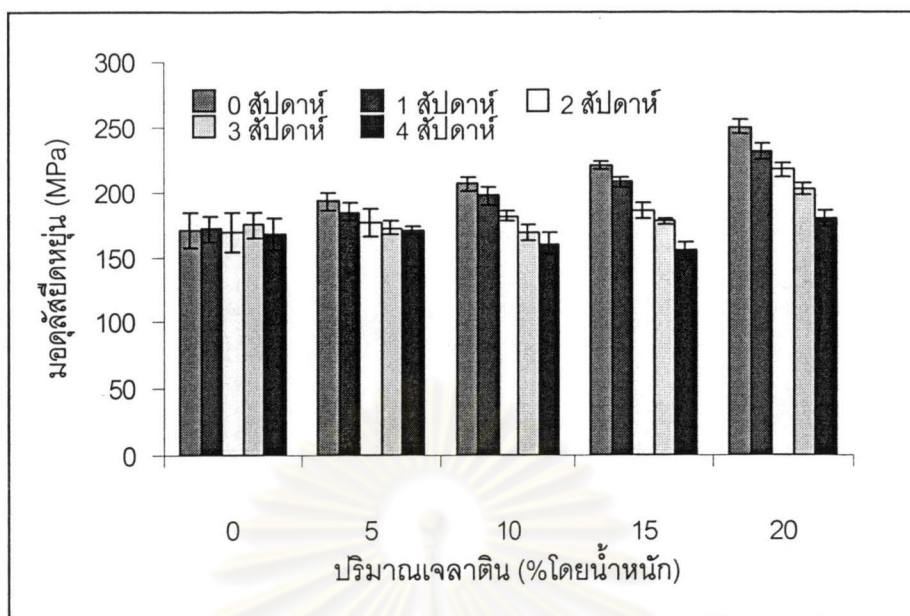
สำหรับผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อความสามารถในการยึดดึงที่จุดขาด ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 คือ ที่ปริมาณเจลาตินต่างๆ ที่ 5 และ 10 % ค่าความสามารถในการยึดดึงจนขาด จะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อมีปริมาณเจลาตินสูงๆ ที่ 15 และ 20% จะทำให้ ค่าความสามารถในการยึดดึง ลดลงอย่างมาก ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำการย่อยสลายนานขึ้นก็จะทำให้ ค่าความสามารถในการยึดดึงลดลงอีกด้วย และถ้าพิจารณาจากลักษณะเส้นกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.39 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟหลังจากจุดครากไปแล้ว จะไม่เพิ่มสูงขึ้นเช่นในกรณีของฟิล์มพลาสติกที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินที่ถูกบริโภคไปโดยจุลินทรีย์ ทำให้เกิดเป็นรูพรุนกระจายอยู่โดยทั่วไป ซึ่งเมื่อฟิล์มพลาสติกถูกยึดดึงรูที่เกิดขึ้นจะเกิดการขยายตัวกลายเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆและแยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการขาดของฟิล์มได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.38 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อความสามารถในการยึดดึงของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆกัน



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของฟิล์มพลาสติกที่ปริมาณเจลาตินต่างๆกันภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge (ก) 5% เจลาติน (ข) 20% เจลาติน



รูปที่ 4.40 โดอะแกรมแสดงค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินปริมาณต่างๆกัน ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge

สำหรับค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติกภายหลังจากการย่อยสลายด้วย activated sludge ดังแสดงในรูปที่ 4.40 พบว่าฟิล์มพลาสติกจะมีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของเจลาติน เช่นเดียวกันกับในกรณีก่อนการย่อยสลายเนื่องจากเจลาตินที่เติมลงไปเป็นสารที่มีความแข็ง เปราะ และมีค่ามอดุลัสสูงมากจึงทำให้ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินมีค่ามอดุลัสที่สูงขึ้นตามปริมาณของเจลาตินที่เติมลงไป แต่ทั้งนี้เมื่อให้ระยะเวลาในการย่อยสลายก็จะทำให้มอดุลัสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลาย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากภายหลังจากการย่อยสลายในน้ำเสีย อนุภาคของจะถูกย่อยสลายไปโดยจุลินทรีย์และแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณของเจลาตินลดน้อยลง และอาจเป็นเพราะเจลาตินดูดซึมน้ำที่ใช่เป็นตัวกลางระหว่างฟิล์มพลาสติกกับจุลินทรีย์ ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไฮดรอกซ์ ในฟิล์มพลาสติก สายโซ่โมเลกุลจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและเกิดการเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจึงมีค่าลดลง

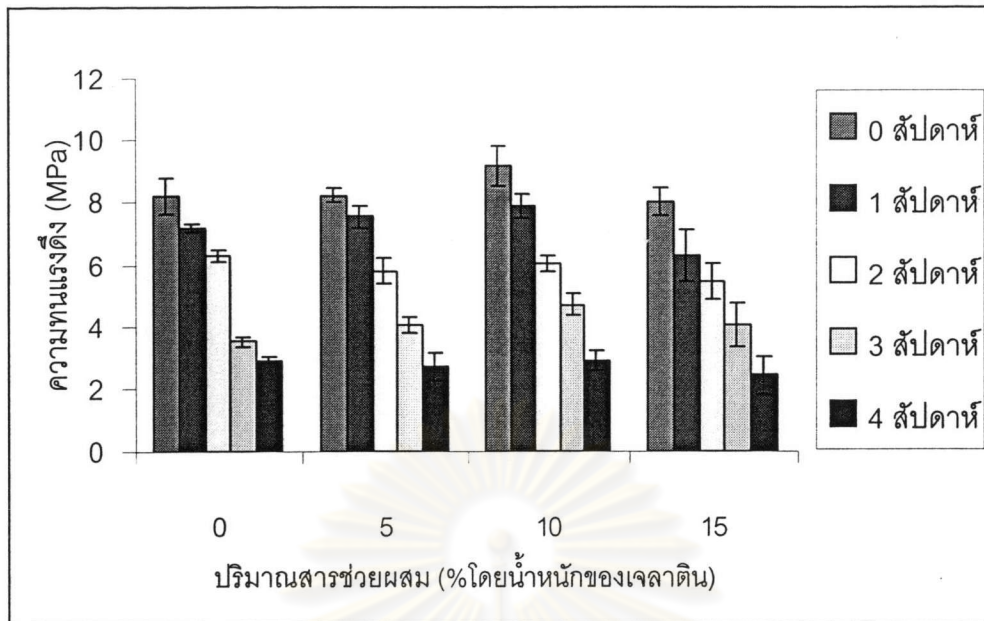
ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟิล์มพลาสติกภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge

ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารช่วยผสม ได้ทำการพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10%โดยน้ำหนัก ซึ่งเติมสารช่วยผสม 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเจลาติน ดังแสดง

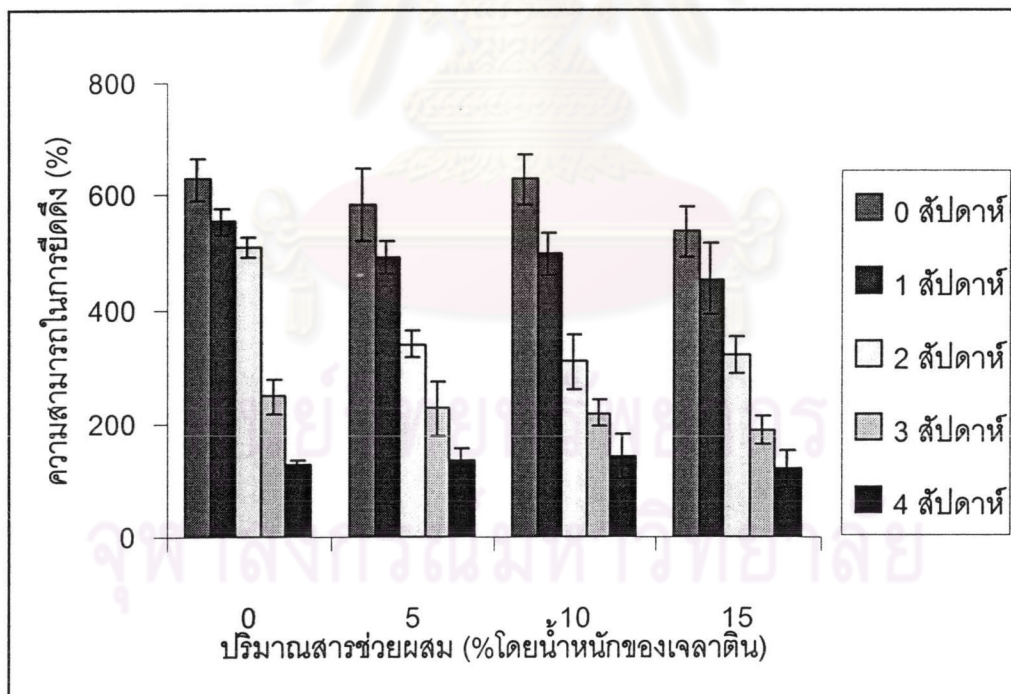
ในรูปที่ 4.41 ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสมมากขึ้น จะช่วยหน่วงการลดลงของค่าความทนแรงดึงได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าสารช่วยผสมจะช่วยหน่วงเหนี่ยวความสามารถในการย่อยสลายได้นั่นเอง โดยจะพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปการลดลงของค่าความทนแรงดึงเป็นไปน้อยกว่าในกรณีที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสมทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อเมตริกซ์คือ LLDPE ได้ดีขึ้น ซึ่งการยึดกันระหว่างสองเฟสนี้ทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียไม่สามารถเข้าไปทำการบริโภคส่วนของเจลาตินได้ จึงเกิดการลดลงของค่าความทนแรงดึงที่น้อยลงนั่นเอง โดยในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณสารช่วยผสมที่มีประสิทธิภาพในการช่วยผสมที่ดีที่สุดคือ ที่ปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของเจลาติน เนื่องจากที่ปริมาณสารช่วยผสม 15% กลับพบว่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกลดลงมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ไม่มีสารช่วยผสม

ในด้านของความสามารถในการยึดดึงที่จุดขาด พบว่าก่อนการย่อยสลายนั้นสารช่วยผสมจะมีผลให้ความสามารถในการยึดดึงลดลง เนื่องจากสารช่วยผสม PE-g-MA เองมีค่า elongation ที่ต่ำมากเพียง 190% ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งเมื่อผ่านการย่อยสลายจะทำให้ค่าความสามารถในการยึดดึงลดลงเช่นเดียวกัน แต่การทั้งนี้จะสังเกตเห็นได้จากรูปที่ 4.42 ว่าการลดลงของค่าความสามารถในการยึดดึงเป็นไปน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม กล่าวคือสารช่วยผสมมีส่วนในการหน่วงเหนี่ยวการย่อยสลาย เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง

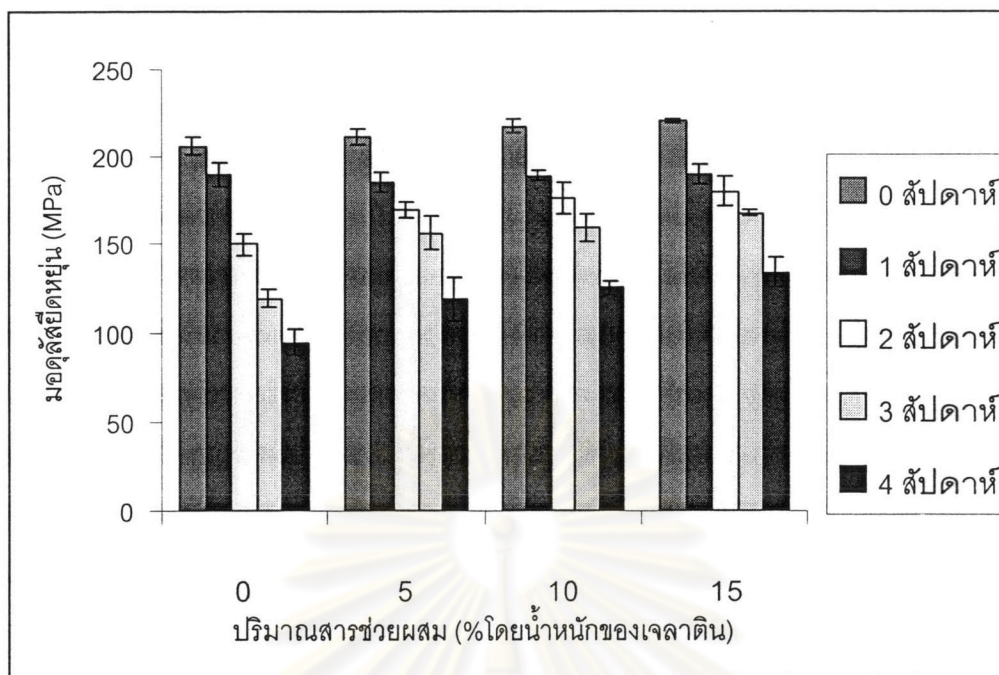
สำหรับค่ามอดุลัส ภายหลังจากการย่อยสลาย แสดงในรูปที่ 4.43 พบว่าสารช่วยผสมมีผลให้ฟิล์มพลาสติกมีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีก่อนการย่อยสลาย โดยค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารช่วยผสม เนื่องจากสารช่วยผสมมีผลให้ค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้นดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3 แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาภายหลังจากการย่อยสลายฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินและสารช่วยผสมด้วยวิธีการใช้ activated sludge พบว่าค่ามอดุลัสจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการย่อยสลาย แต่การลดลงของค่ามอดุลัสเป็นไปน้อยกว่าในกรณีที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม เนื่องจากสารช่วยผสมมีผลให้ LLDPE และเจลาตินมีการยึดเกาะระหว่างกันดีขึ้น ทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเข้าไปทำลายพันธะภายในโมเลกุลของเจลาตินและระหว่างโมเลกุลของเจลาตินกับเนื้อพลาสติก LLDPE ได้ยาก สายโซ่โมเลกุลจึงเกิดการเคลื่อนไหวได้จำกัด ค่ามอดุลัสจึงลดลงไม่มากนัก



รูปที่ 4.41 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge



รูปที่ 4.42 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่าความสามารถในการยืดดึงของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge



รูปที่ 4.43 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge ที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟิล์มพลาสติก

จากรูปที่ 4.37 ถึง 4.43 พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge เพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติความทนแรงดึง คือ ค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ค่าความสามารถในการยึดดึงที่จุดขาด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่นค่อยๆ ลดลงตามลำดับ เนื่องจากเมื่อใช้ระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำเสียซึ่งมีจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียอยู่ ทำให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรานั้นมีโอกาสที่จะเข้าไปย่อยสลายพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของเจลาตินได้มากขึ้น สมบัติความทนแรงดึงดังกล่าวจึงมีค่าลดลงนั่นเอง

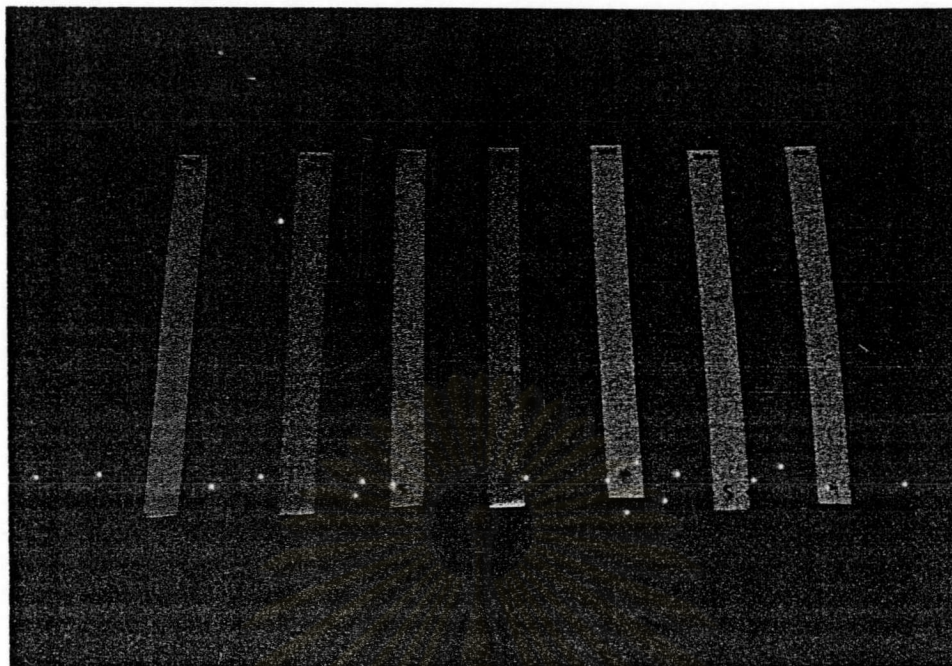
4.4.2 ความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ (Enzymatic Degradation)

ในการย่อยสลายฟิล์มพลาสติกโดยการใช้อินไซม์นั้น เนื่องจากโครงสร้างของเจลาตินเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนหลายชนิดมาต่อเข้าด้วยกันจนกลายเป็นโมเลกุลใหญ่ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อินไซม์ชนิดที่สามารถย่อยโปรตีนหรือที่เรียกว่าเอนไซม์ Protease ซึ่งทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความรวดเร็วกว่าการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge ภายหลังจากการย่อยสลายได้ทำการติดตามผลของความสามารถในการย่อยสลายโดยการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกด้วย SEM ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป และสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก เช่นเดียวกันกับการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge นอกจากนี้ยังทำการศึกษาถึงผลของปริมาณเจลาติน ผลของปริมาณสารช่วยผสม และผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วย

4.4.2.1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

จากการสังเกตและพิจารณาด้วยสายตา พบว่าฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้อินไซม์มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกันกับฟิล์มที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge คือ จะมีลักษณะเป็นฝ้าขาวและมีความขุ่นขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย เช่นเดียวกันกับกรณีของการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge ดังรูปที่ 4.44

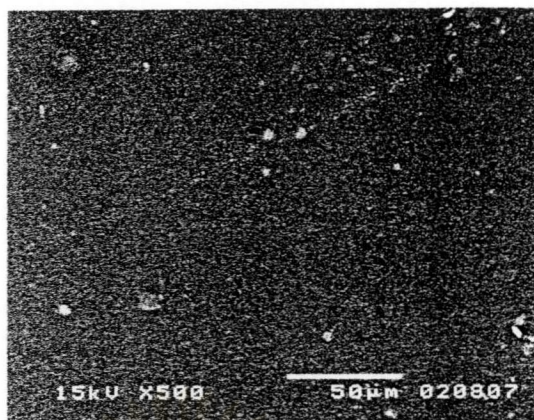
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



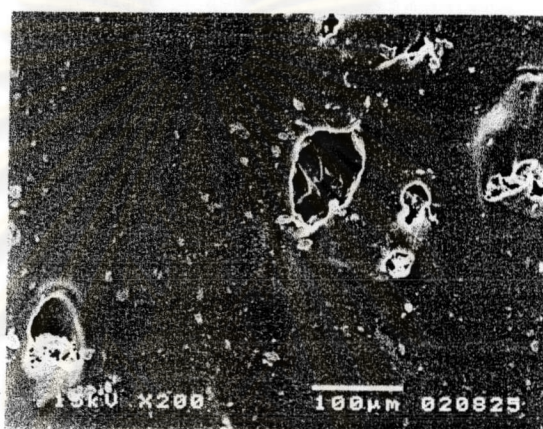
รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์
ที่ระยะเวลาต่างกัน 0 ถึง 6 ชั่วโมงเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา

ผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

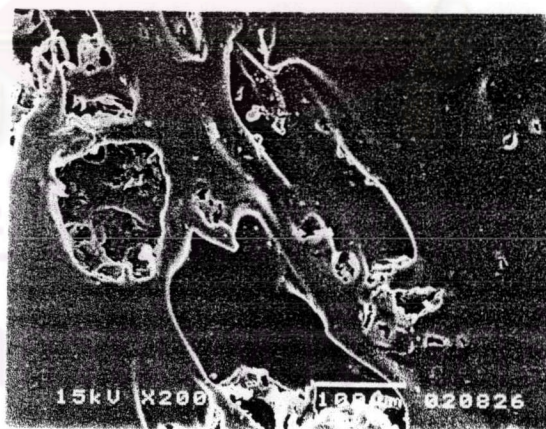
จากการศึกษาถึงผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ ซึ่งทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.45 พบว่าพื้นผิวของฟิล์มภายหลังการย่อยสลายมีรูพรุนเกิดขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปตามการกระจายตัวของอนุภาคเจลาติน ซึ่งเมื่อปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้น จะทำให้พื้นผิวของฟิล์มพลาสติกมีรูพรุนมากขึ้นเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะเอนไซม์ protease สามารถย่อยเจลาตินซึ่งมีโครงสร้างเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่เกิดจากกรดอะมิโนหลายชนิดต่อกัน ที่กระจายอยู่ที่ผิวของฟิล์มพลาสติก ซึ่งการเกิดรูพรุนขึ้นบนผิวของวัสดุ เป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของพลาสติกทำให้จุลินทรีย์สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้เกิดการสลายตัวของพลาสติกต่อไป



(ก)



(ข)



(ค)

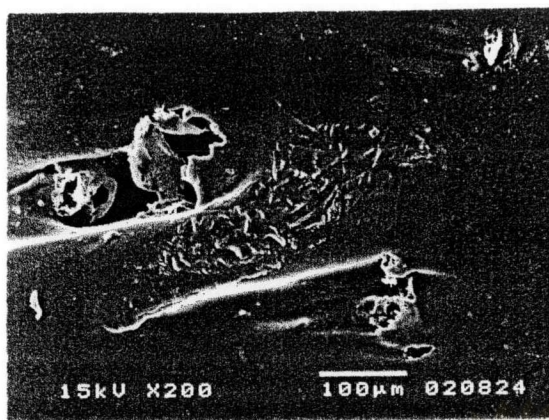
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆ ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ก) 0% เจลาติน (ข) 5% เจลาติน (ค) 20% เจลาติน

ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

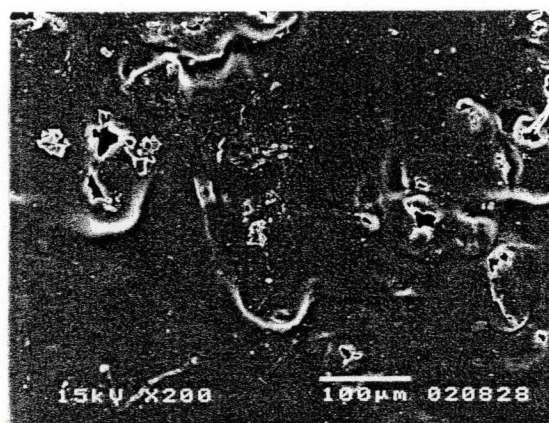
ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาถึงผลของปริมาณของสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการย่อยสลาย ซึ่งดูได้จากลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกทั้งก่อนและภายหลังการย่อย ในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่มีปริมาณของสารช่วยผสม (PE-g-MA) ต่างๆกัน คือ 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.46 จะเห็นว่าภายหลังจากการย่อยสลายเป็นระยะเวลาสูงสุด 6 ชั่วโมง ฟิล์มพลาสติกที่ผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่มีปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น จะช่วยหน่วงเหนี่ยวความสามารถในการย่อยสลาย โดยสังเกตได้จากปริมาณและขนาดรูพรุนจะน้อยลง ตามสัดส่วนของปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสมมีผลต่อความสามารถในการยึดติดกันระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติกทำให้เจลาตินและ LLDPE เฟสยึดติดกันได้ดีขึ้น ทำให้มีอนุภาคของเจลาตินที่บริเวณผิวของฟิล์มที่น้อยกว่าในกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยผสม ทำให้เอนไซม์เข้าไปสัมผัส และย่อยเจลาตินได้ยาก

ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



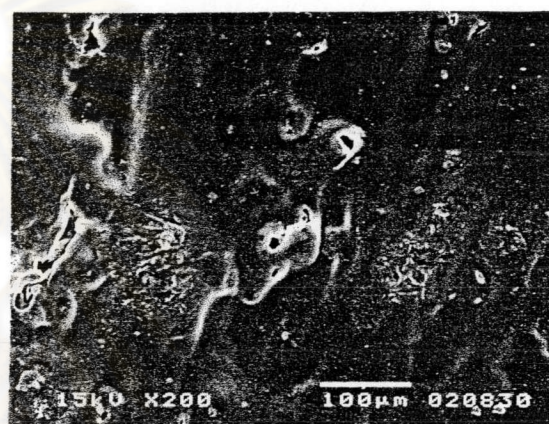
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.46 ภาพถ่ายด้วย SEM ของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% ที่เติมปริมาณสารช่วยผสม
ต่าง ๆ กัน ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์เป็นเวลา 6 ชม. (ก) 0% PE-g-MA
(ข) 5% PE-g-MA (ค) 10% PE-g-MA (ง) 15% PE-g-MA

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

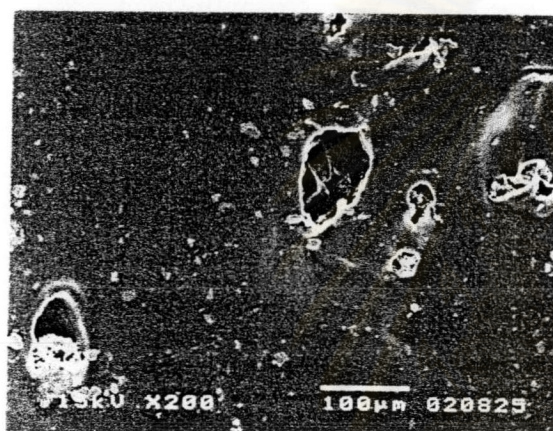
ในการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ จะทำการทดสอบ
เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง โดยจะทำการตรวจสอบสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 1 ชั่วโมง ดัง
จะเห็นได้จากรูปที่ 4.47



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.47 ภาพถ่ายด้วยเครื่อง SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน 10 % โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธี การใช้เอนไซม์ เป็นระยะเวลา ต่างๆ กัน (ก) 0 ชม. (ข) 2 ชม. (ค) 4 ชม. (ง) 6 ชม.

จากรูปจะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักจะมีพื้นผิวที่มีรูพรุนเกิดขึ้นแต่เป็นจำนวนน้อย และเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง 6 ชั่วโมงจะพบว่าปริมาณและขนาดของรูพรุนมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีเอนไซม์นานขึ้น จะทำให้ฟิล์มพลาสติก มีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของฟิล์มมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้เวลานานขึ้น จะทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยอนุภาคของเจลาตินที่อยู่บริเวณพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยดูจากปริมาณและขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่มีสารตัวเติม จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ผิวของฟิล์มเลยแม้ว่าจะใช้เวลานานขึ้นก็ตาม เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้เป็น

เอนไซม์ย่อยโปรตีนจึงมีความจำเพาะเจาะจงสำหรับสารที่มีโครงสร้างเป็นโปรตีนเท่านั้น เอนไซม์จึงไม่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติก LLDPE ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และจะเป็นเช่นเดียวกันนี้ สำหรับฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณอื่นๆ คือ 5 15 และ 20 % โดยน้ำหนักด้วย

4.4.2.2 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป (% Weight Loss) ของฟิล์มพลาสติก

เปอร์เซนต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป จะแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักโดยรวมของฟิล์มพลาสติกผสมสารตัวเติม เนื่องจากอนุภาคของสารตัวเติมถูกย่อยโดยเอนไซม์ ซึ่งน้ำหนักโดยรวมของฟิล์มพลาสติกที่ลดลง สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสียไป (\%)} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลาย

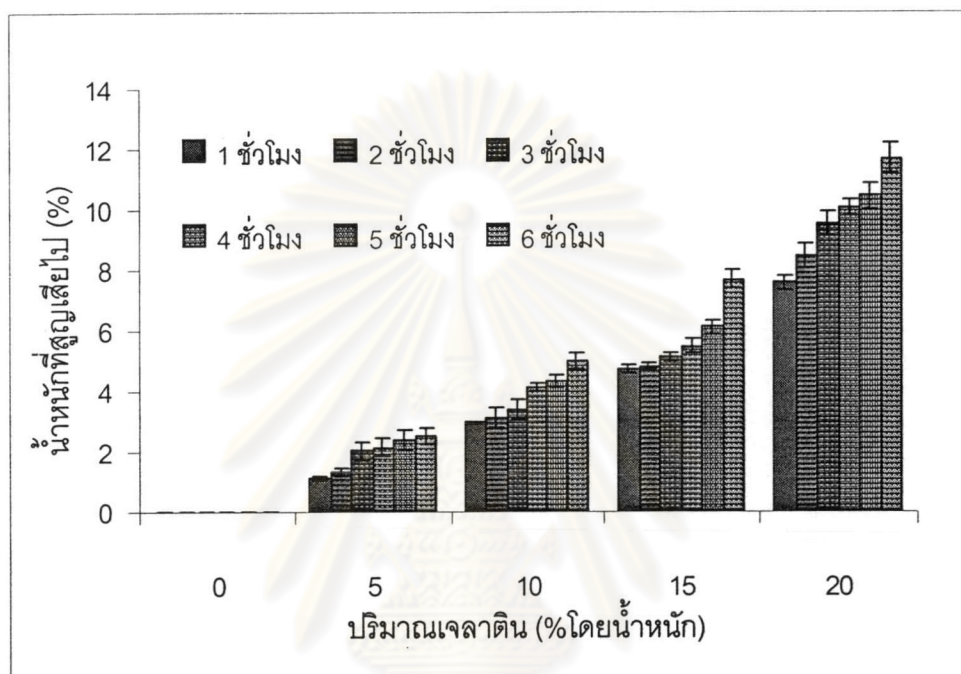
B คือ น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลาย

จากผลการทดลองสามารถอธิบายเพื่อแสดงถึงผลของปริมาณเจลาติน ปริมาณของสารช่วยผสม และผลของระยะเวลาในการทดสอบที่มีต่อน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกที่สูญเสียไป

ผลของปริมาณของเจลาตินต่อเปอร์เซนต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.48 พบว่า เปอร์เซนต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติกหลังการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ protease มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับกรณีของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge จากรูปจะเห็นว่าน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินจะลดลงมากขึ้น เมื่อปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ เจลาตินเพิ่มมากขึ้นนั้น เอนไซม์จะมีบริเวณหรือจำนวนโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้เป็นจำนวนมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ที่จะเห็นว่าอนุภาคของเจลาตินถูกย่อยสลายไป ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 4.4.2.1 ซึ่งเมื่ออนุภาคของเจลาตินถูกย่อยสลายไปก็ทำให้น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกลดลงตามไปด้วย

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลกับการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge พบว่าฟิล์มพลาสติกที่มีเจลาติน 20 % ที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ 6 ชั่วโมง จะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป ใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกแบบเดียวกันที่ย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปประมาณ 12% ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวิธีการใช้เอนไซม์จะให้ผลการย่อยสลายที่รวดเร็วกว่าวิธีการใช้ activated sludge



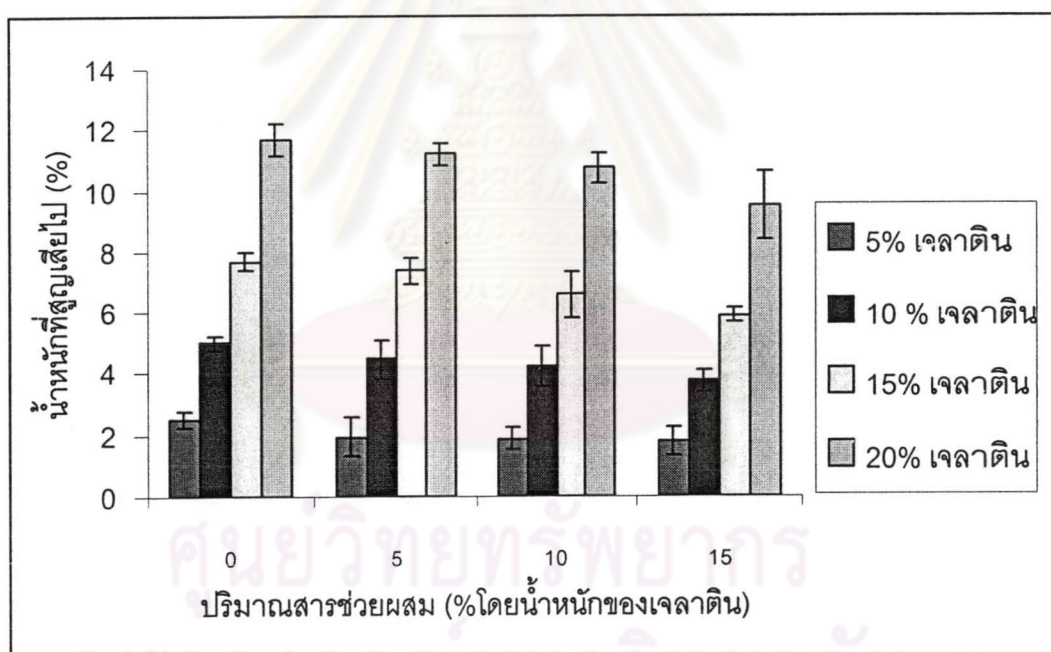
รูปที่ 4.48 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ ที่ปริมาณเจลาตินและระยะเวลาต่างๆ กัน

จากรูปจะเห็นว่าฟิล์มพลาสติก LLDPE ที่ไม่มีการเติมเจลาติน ไม่มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นเลย เนื่องจากเอนไซม์ protease ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายพลาสติก LLDPE ได้ซึ่งเป็นไปตามผลที่พบจากภาพถ่ายด้วย SEM เช่นกัน

ถ้าพิจารณาที่ระยะเวลาในการย่อยสลายที่ 6 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มพลาสติกที่มีการเติมเจลาตินที่ปริมาณเจลาติน 5% มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 2-3 % และเมื่อมีปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเจลาติน 20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักถึง 12 %

ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป

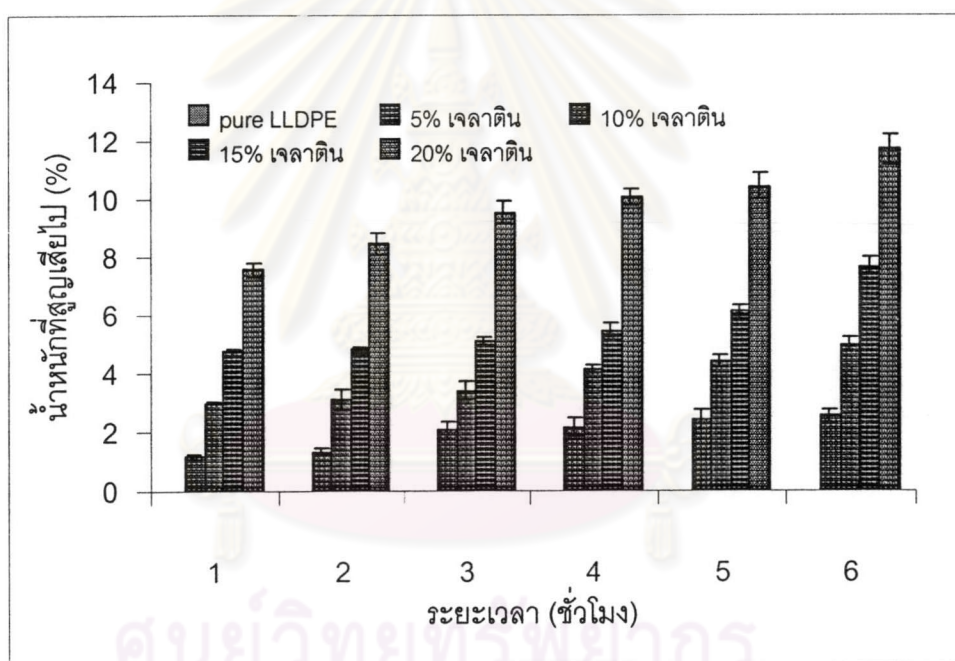
ในการศึกษาผลของปริมาณสารช่วยผสม จะพิจารณาที่ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่เติมสารช่วยผสมปริมาณต่างๆ กัน ที่ 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเจลาติน จากรูปที่ 4.49 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมลงไป จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% ที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม โดยที่ปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น จาก 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเจลาติน จะทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไปลดลง เนื่องจากสารช่วยผสมมีส่วนช่วยปรับปรุงความสามารถในการยึดติดกันระหว่างอนุภาคของเจลาตินกับเนื้อพลาสติก LLDPE ซึ่งจะสังเกตได้จากภาพถ่ายด้วย SEM ว่าอนุภาคของเจลาตินไหลออกมาที่บริเวณผิวน้อยลง เอนไซม์จึงเข้าไปย่อยสลายได้ยาก จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักของเจลาตินลดลง



รูปที่ 4.49 ไดอะแกรมแสดงน้ำหนักที่สูญเสียไปภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่มีปริมาณสารช่วยผสมต่างๆกัน

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป

การศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆกัน ทั้งกรณีที่มีสารช่วยผสมและไม่มีสารช่วยผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.50 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำการย่อยสลายมากขึ้น จะทำให้น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกลดลงมากขึ้น เนื่องจากเจลาตินถูกย่อยโดยเอนไซม์ ซึ่งสามารถยืนยันผลได้จากภาพถ่ายด้วย SEM รูปที่ 4.47 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินจะมีรูพรุนเกิดขึ้นมากเมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกลดลง ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปของฟิล์มพลาสติกมีค่าลดลง เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้น



รูปที่ 4.50 ไดอะแกรมแสดงผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆ

4.4.2.3 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties)

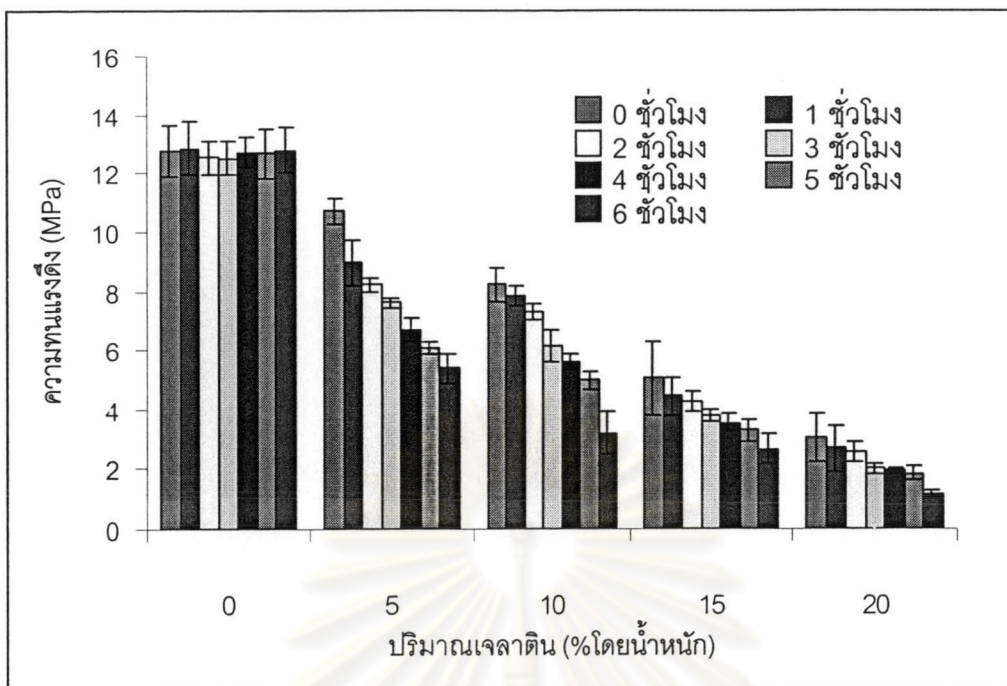
สำหรับสมบัติความทนต่อแรงดึง ก็เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge

ผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก

จากรูปที่ 4.51 ซึ่งแสดงค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกผสม เจลาตินที่ปริมาณต่างๆ กัน ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ พบว่า ค่าความทนแรงดึง ของฟิล์มพลาสติกมีค่าลดลง ตามปริมาณของเจลาตินที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับในกรณีของฟิล์มพลาสติกที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย แต่ทั้งนี้ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายจะมีค่าน้อยลงกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังจากการย่อยสลายจะเกิดรูพรุนขึ้นที่ผิวของฟิล์มพลาสติก ในบริเวณที่อนุภาคของเจลาตินถูกย่อยไปซึ่งเปรียบเสมือนตำหนิ (defect) ในวัสดุ ดังนั้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำจะทำให้รูพรุนเกิดการขยายตัวไปตามทิศทางของแรงดึง จนมีขนาดใหญ่ขึ้น และแยกตัวออกจากกันในที่สุด ทำให้เกิดการขาดของฟิล์มได้ง่าย กล่าวคือพลาสติกมีความทนแรงดึงลดลงนั่นเอง

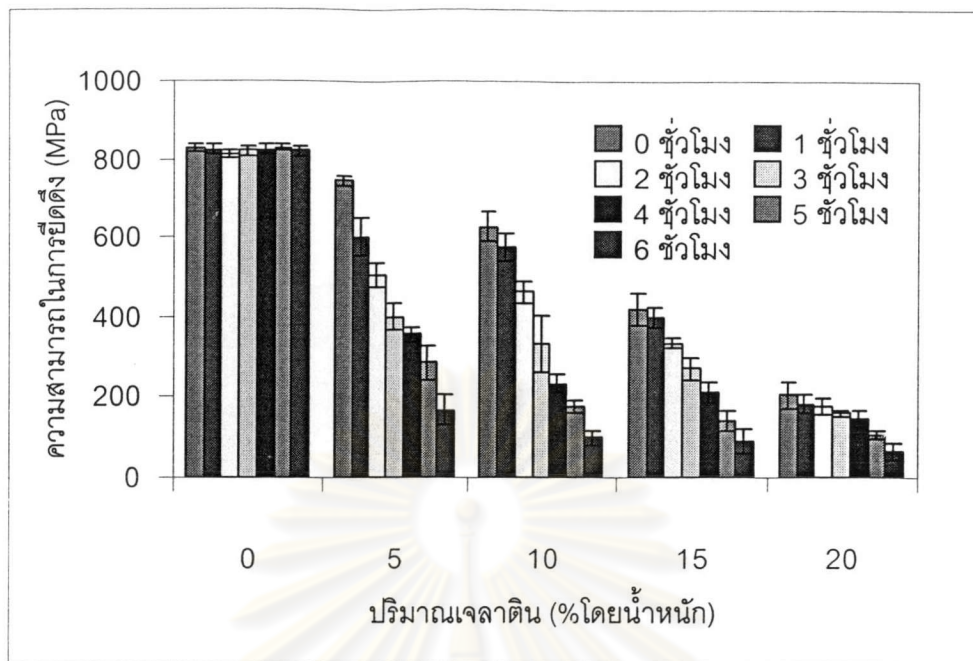
และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลายที่ปริมาณเจลาตินเท่ากัน พบว่า ภายหลังจากการย่อยสลายจะทำให้ สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสัมพันธ์กับผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วย SEM และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป ดังที่กล่าวมาแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

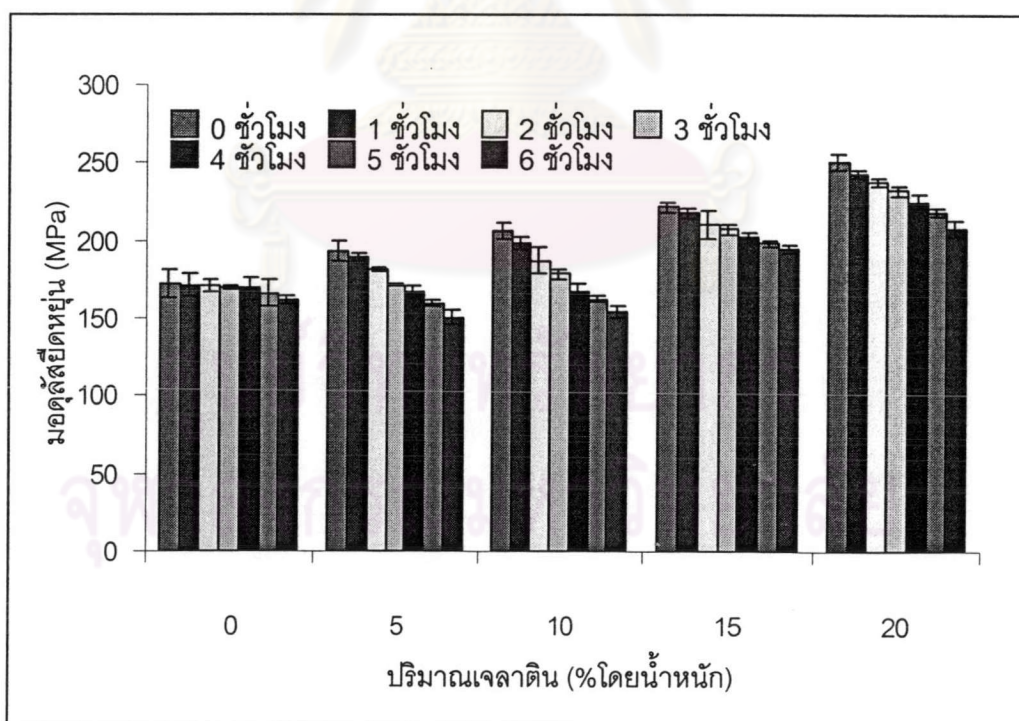


รูปที่ 4.51 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณเจลาตินที่มีต่อค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆกันภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์

สำหรับผลของปริมาณของเจลาตินที่มีต่อความสามารถในการยืดดึงจนขาด (elongation at break) ดังแสดงในรูปที่ 4.52 ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ ที่ปริมาณเจลาตินต่ำๆ ที่ 5 และ 10 % ค่าความสามารถในการยืดดึงจะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อมีปริมาณเจลาตินสูงๆ ที่ 15 และ 20% จะทำให้ ค่าความสามารถในการยืดดึงลดลงอย่างมาก ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำการย่อยสลายนานขึ้นก็จะทำให้ ค่าความสามารถในการยืดดึงลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเจลาตินที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ทำให้เกิดเป็นรูพรุนกระจายอยู่โดยทั่วไป ซึ่งเมื่อฟิล์มพลาสติกถูกยืดดึง รูที่เกิดขึ้นจะเกิดการขยายตัวกลายเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และแยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการขาดของฟิล์มได้ง่ายขึ้นเช่นเดียวกันกับในกรณีที่ทำการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้ activated sludge



รูปที่ 4.52 ไดอะแกรมแสดงค่าความสามารถในการยึดดึงของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาติน ที่ปริมาณต่างๆกันภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์



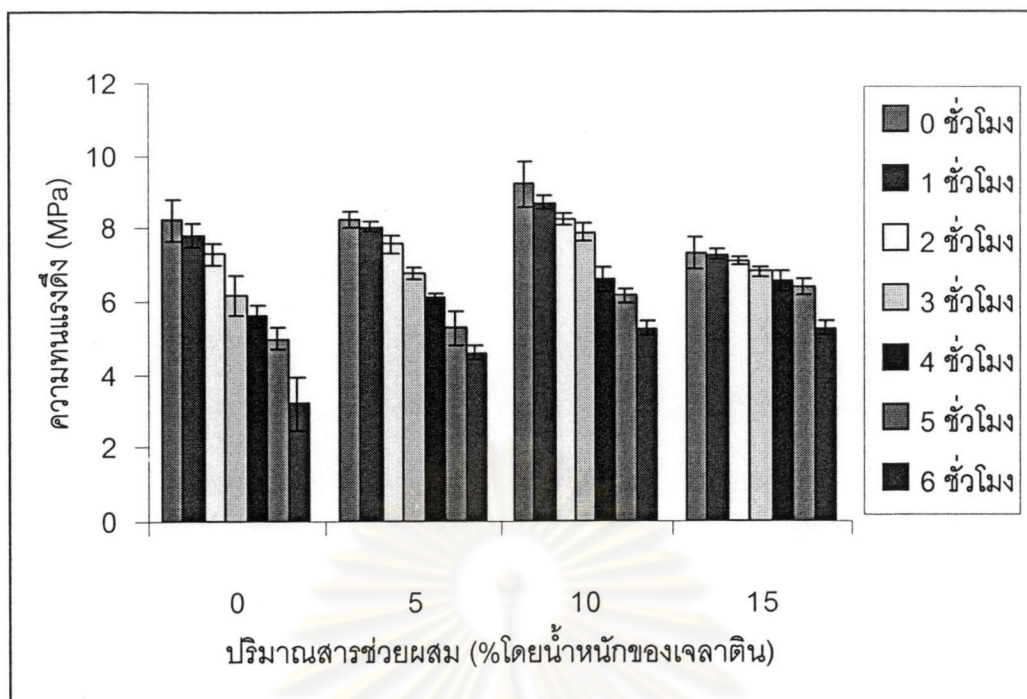
รูปที่ 4.53 ไดอะแกรมแสดงค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติก LLDPE ผสมเจลาตินที่ปริมาณต่างๆกัน ภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์

สำหรับค่ามอดุลัสของฟิล์มพลาสติกภายหลังการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ดังแสดงในรูปที่ 4.53 ก็เป็นเช่นเดียวกันกับภายหลังการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge พบว่าฟิล์มพลาสติกจะมีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของเจลาติน เช่นเดียวกันกับในกรณีก่อนการย่อยสลายเนื่องจากเจลาตินที่เติมลงไปเป็นสารที่มีความแข็ง เปราะ และมีความอดุลัสสูงมากจึงทำให้ฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินมีค่ามอดุลัสที่สูงขึ้นตามปริมาณของเจลาตินที่เติมลงไป แต่ทั้งนี้เมื่อให้ระยะเวลาในการย่อยสลายก็จะทำให้มอดุลัสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกก่อนการย่อยสลายที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากภายหลังการย่อยสลายโดยการให้เอนไซม์ อนุภาคของจะถูกย่อยสลายไป ทำให้ปริมาณของเจลาตินลดน้อยลง และอาจเป็นเพราะเจลาตินดูดซึมน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางระหว่างฟิล์มพลาสติกกับจุลินทรีย์ ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไฮเซอริในฟิล์มพลาสติก สายไซโมเลกุลจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและเกิดการเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจึงมีค่าลดลง

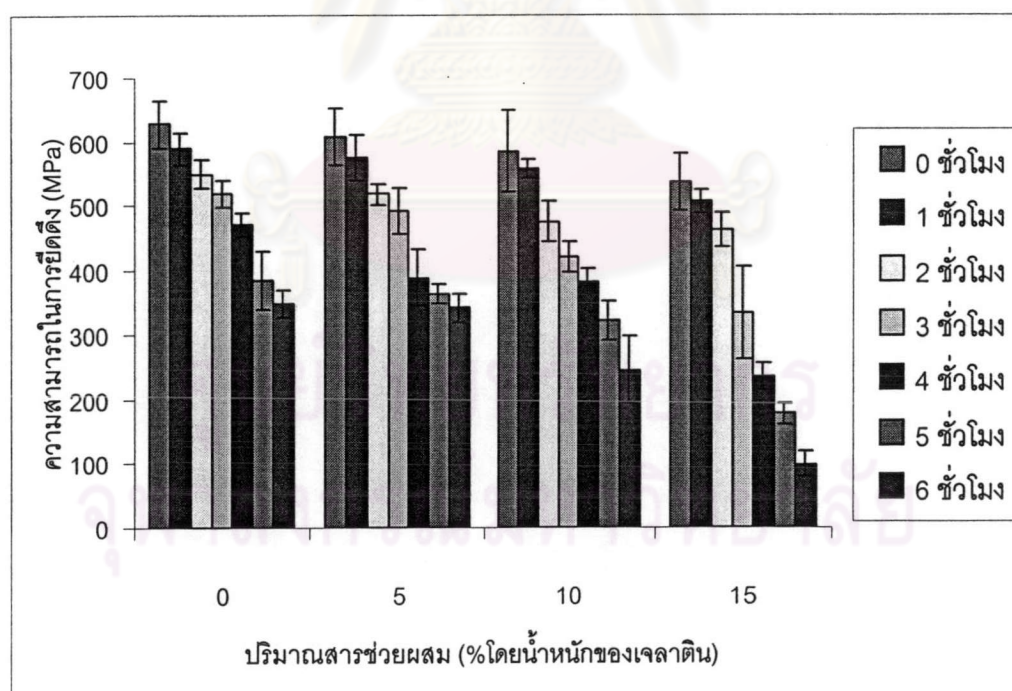
ผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติความทนแรงดึงภายหลังการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

เมื่อพิจารณาฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนัก ที่เติมสารช่วยผสม 5 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเจลาติน ในด้านของสมบัติความทนแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ protease ดังแสดงในรูปที่ 4.54 ถึง 4.56 พบว่าฟิล์มพลาสติกมีค่าความทนแรงดึงที่ลดลง และความสามารถในการยึดดึงลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อมสลายของวัสดุ โดยจะลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เติมลงไป สำหรับค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเจลาติน ทั้งนี้การลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสมบัติต่างๆ จะแปรผันไปตามระยะเวลาในการย่อยสลาย ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

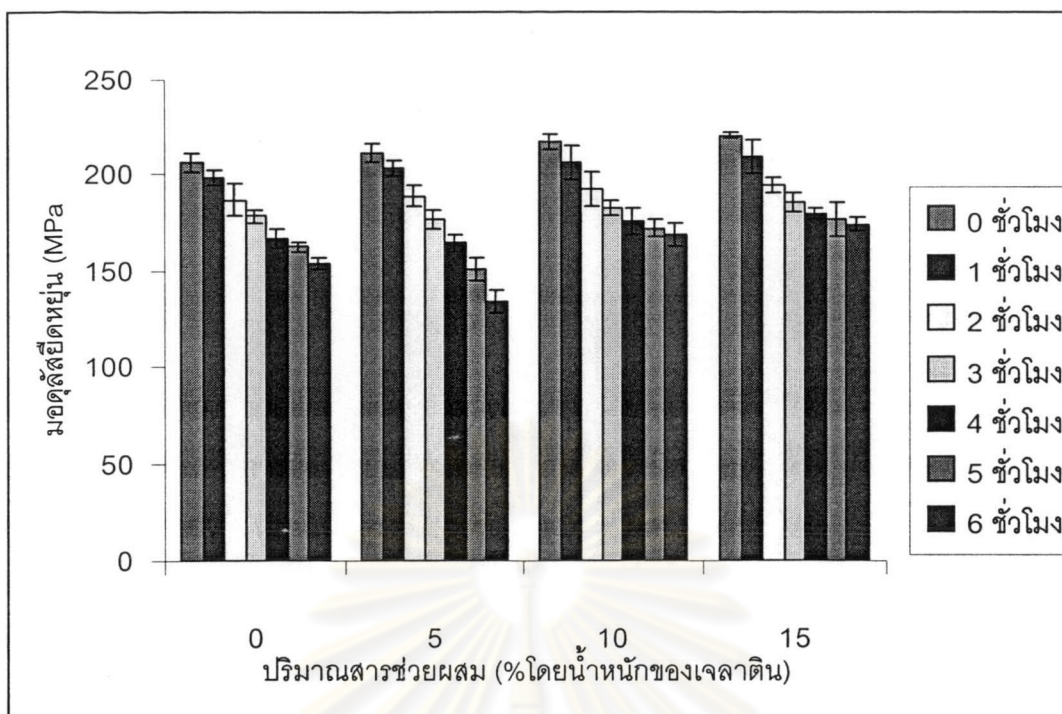
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.54 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่าความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์



รูปที่ 4.55 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์



รูปที่ 4.56 ไดอะแกรมแสดงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาติน 10% โดยน้ำหนักภายหลังจากการย่อยสลายด้วยวิธีการใช้เอนไซม์

ผลของระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่มีต่อสมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติก

จากผลทดลองในรูปที่ 4.51 ถึง 4.56 พบว่า ระยะเวลาในการทดสอบ มีผลต่อสมบัติความทนแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์มพลาสติกผสมเจลาตินทั้งที่มีและไม่มีสารช่วยผสม เช่นเดียวกับการย่อยสลายด้วยวิธี Activated Sludge ทั้งนี้ เมื่อระยะเวลาในการทดสอบมากขึ้น จะทำให้ค่าความทนแรงดึง ค่าความสามารถในการยึดดึงและค่ามอดุลัส ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ