

การเตรียมและสมบัติของฟิล์ม PP/EMA ที่มีซีโอไลต์เอเป็น
สารตัวเติมเพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด

PREPARATION AND PROPERTIES OF PP/EMA FILM WITH
ZEOLITE A FILLER FOR PACKAGING OF FRESH PRODUCES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเตรียมและสมบัติของฟิล์ม PP/EMA ที่มีซีโอไลต์เอเป็น
สารตัวเติมเพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด

PREPARATION AND PROPERTIES OF PP/EMA FILM WITH
ZEOLITE A FILLER FOR PACKAGING OF FRESH PRODUCES



b.00265981
i.....

TB00272

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION AND PROPERTIES OF PP/EMA FILM WITH
ZEOLITE A FILLER FOR PACKAGING OF FRESH
PRODUCE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


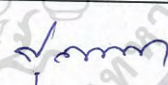
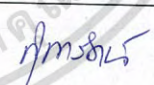
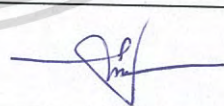
หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและสมบัติของฟิล์ม PP/EMA ที่มีซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติม
 เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด
 Preparation and Properties of PP/EMA Film with Zeolite A Filler For
 Packaging of Fresh Produces

ชื่อนักศึกษา นางสาวนิสากร วัชรระ รหัสนักศึกษา 55050708
 นางสาวนุชบา และไหม รหัสนักศึกษา 55050709
 นางสาวณัฐธราเนตร อีรฤทธิ์เฉลิม รหัสนักศึกษา 55050710

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ถตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน กรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
รศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและสมบัติของฟิล์ม PP/EMA ที่มีซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติม เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิสากร	วัชระ	รหัสนักศึกษา 55050708
	นางสาวนุชบา	และไหม	รหัสนักศึกษา 55050709
	นางสาวณัฐธราเนตร	ธีรฤทธิเฉลิม	รหัสนักศึกษา 55050710
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยเอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EMA) โดยมีซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติม เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด โดยศึกษาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PP/EMA เป็น 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 55/45 และ 50/50 และผลของการเติมซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก โดยทำการผสมด้วยสูตรเครื่องผสมแบบปิด และทำการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัด นำฟิล์มที่ได้มาตรวจสอบโดยใช้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี (DSC) เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (TGA) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ (UTM) การวัดมุมสัมผัส และศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ ผลการศึกษาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PP/EMA พบว่าการเพิ่มปริมาณ EMA ทำให้วัฏภาคของ EMA มีการกระจายที่ดี (Good distribution) ในวัฏภาคต่อเนื่องของ PP แต่มีการกระจายตัวที่ไม่ดี (Poor dispersion) เนื่องจากทั้งสองวัฏภาคมีความเข้ากันได้ต่ำ EMA จึงไม่รบกวนการเกิดผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม และการเพิ่มปริมาณ EMA จึงทำให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงและค่า Young's Modulus ลดลง เพราะ EMA มีความเป็นอสัณฐานสูงและยืดหยุ่นคล้ายยาง แต่ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้น เพราะ EMA เป็นวัฏภาคอสัณฐานที่มีขั้ว และให้ผลที่สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสที่มีค่าลดลง ในฟิล์มที่มีการเติมซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก (PP50MA50Z20) พบว่าอนุภาคของซีโอไลต์เอส่วนใหญ่มีการกระจายตัวที่ดี และส่วนใหญ่กระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยวอยู่ในวัฏภาคของ EMA จึงไม่รบกวนการเกิด

ผลึกของ PP และทำให้ค่าความแข็งแรงดึง, ยืดมอดูลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของ PP50MA50Z20 มีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์มสูตร PP50MA50 โดยความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ ซีโอไลต์เอ ฟิล์มพอลิโพรพิลีน เอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation and Properties of PP/EMA Film with Zeolite A Filler For Packaging of Fresh Produces		
Students	Miss Nisakorn Watchara	Student ID 55050708	
	Miss Nudsaba Laehmai	Student ID 55050709	
	Miss Nattharanet Treeraritchalerm	Student ID 55050710	
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Assistance Professor Dr. Suparat Rukchonlatee		
Co-Advisor	Associate Professor Dr. Tawan Sooknoi		

Abstract

This research focused on the improvement of water vapor permeability property of polypropylene (PP) film with ethylene methyl acrylate copolymer (EMA) and zeolite A as filler for packaging application of fresh produces. The PP/EMA ratios studied were 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 55/45 and 50/50 and the zeolite A content was 20% by weight. The compounds were prepared using an internal mixer and the films were fabricated using a compression molding machine. Then, all films were investigated using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), differential scanning calorimetry (DSC), thermal gravimetric analysis (TGA), scanning electron microscope (SEM), universal testing machine (UTM), contact angle measurement and water vapor permeability (WVP) analyzer. From the effect of PP/EMA ratio, it was found that an increase in EMA contents resulted in good distribution but poor dispersion of EMA phase in PP continuous phase. This was due to low compatibility between these two phases. Therefore, crystallization of PP in the blends was not affected by the presence of EMA. Additionally, tensile strength and Young's modulus of PP/EMA blends were decreased with EMA loading because of high amorphous and so flexible structure of EMA. However, the WVP of PP/EMA blend

films was increased with EMA because EMA was a polar amorphous structure and this related with decreasing contact angle of the blends. In the PP/EMA blend film with zeolite A 20%wt (PP50MA50Z20), it was found that most of zeolite A particles were well dispersed and distributed in EMA phase and therefore they did not disturb crystallization of PP. As results, tensile strength, Young's modulus and % elongation at break of PP50MA50Z20 film were as good as those of PP50MA50 blend film. In addition, the WVP of PP/EMA blend films was increased when filling 20% zeolite A.

Keywords : Water vapor permeation, Zeolite A, Polypropylene film, Ethylene methyl acrylate copolymer (EMA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ เป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ และรศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย อาจารย์ที่ปรึกษา โครงการพิเศษที่ได้ให้คำปรึกษา จัดหาสารเคมีที่ใช้สำหรับดำเนินงาน สอนทักษะการทำงาน เสนอแนะแนวทางแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างดำเนินงาน ตลอดจนตรวจแก้โครงการพิเศษ ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนนที่ ช่วยให้คำแนะนำในประเด็นต่าง ๆ เพื่อเพิ่มเติมหรือปรับแก้ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นางสาวกฤษณา มรรคผล และนายณัฐพงศ์ มากมีทรัพย์ นักศึกษาปริญญาโทที่ให้คำแนะนำในการดำเนินงานและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ สารเคมี และอาคารสถานที่สำหรับปฏิบัติงาน เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ ข้อมูลและเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้บริการในการตรวจวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณบริษัท ครอบครั้ว เพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการ การทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมาหากมี ข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นิสากร วัชระ
นุชบา และไหม
ณัฐธราเนตร ชีรฤทธิ์เฉลิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว	4
2.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับรักษาคุณภาพผลิตผล	8
2.2.1 การซีมผ่านของก๊าซ	9
2.2.2 อัตราการซีมผ่านของไอน้ำ	10
2.2.3 ความต้องการทางบรรจุภัณฑ์ของผลิตผลสด	11
2.3 พอลิโพรพิลีน	13
2.4 เอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์	15
2.5 ซีโอไลต์เอ	16
2.6 พอลิเมอร์ผสม	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	23
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	24
3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์	24
3.3.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร PP/EMA	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร PP/EMA/Zeolite A	24
3.4 การเตรียมฟิล์ม	25
3.4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการกดอัด	25
3.5 การตรวจสอบหุ้ฟงักซันของฟิล์มด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปก โทรสโกปี	25
3.6 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึก	26
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณซีไอไลต์เอในฟิล์ม	26
3.8 การศึกษาสัณฐานวิทยา	27
3.8.1 การกระจายตัวของ EMA	27
3.8.2 การกระจายตัวของซีไอไลต์เอในฟิล์ม	27
3.9 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ.....	27
3.9.1 ความหนาของฟิล์ม	27
3.9.2 สมบัติการรับแรงดึง.....	28
3.10 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ	29
3.11 การทดสอบมุ่มสัมผัส	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	30
4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ PP/EMA	30
4.1.1 การตรวจสอบหุ้ฟงักซันในฟิล์ม PP/EMA	30
4.1.2 การศึกษาการกระจายตัวของ EMA ในฟิล์ม PP/EMA	32
4.1.3 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณ ผลึก	34
4.1.4 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	35
4.1.5 การทดสอบวัดมุ่มสัมผัสของพอลิเมอร์ผสม PP/EMA	37
4.1.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PP/EMA	38
4.2 การศึกษาผลของการมีซีไอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก ในฟิล์ม PP50MA50.....	39
4.2.1 การตรวจสอบหุ้ฟงักซันของฟิล์ม PP/EMA/Zeolite A	39
4.2.2 การตรวจสอบปริมาณของซีไอไลต์เอในสูตรพอลิเมอร์ผสม	40
4.2.3 การศึกษาการกระจายตัวของซีไอไลต์เอในฟิล์ม PP50MA50Z20	41
4.2.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม PP50MA50Z20	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP50MA50Z20	42
4.2.6 การทดสอบมุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ	42
4.2.7 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PP50MA50Z20	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	56
ภาคผนวก ค	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบสมบัติบางประการของ EVA และ EMA	2
2.1 ชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก	6
2.2 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Non-Climacteric	7
2.3 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Climacteric	7
2.4 ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ	10
2.5 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ	10
2.6 ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกับการใช้งานที่เหมาะสม	13
3.1 สมบัติบางประการของ PP	22
3.2 สมบัติบางประการของ EMA	22
3.3 สมบัติบางประการของ Zeolite A	22
3.4 พอลิเมอร์ผสมสูตรทั้งหมดโดยน้ำหนัก	24
4.1 สูตรพอลิเมอร์ผสม PP/EMA และความหนาฟิล์ม	30
4.2 T_m และ T_c ของความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	35
4.3 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ.....	42
4.4 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	42
4.5 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	43
4.6 ค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ	43

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การหายใจของพืช	5
2.2 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขป ทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน	6
2.3 โครงสร้างของ PP	13
2.4 โครงสร้างของ EMA	15
2.5 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีผสมเข้ากันได้ (Miscible)	18
2.6 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีที่ผสมเข้ากันไม่ได้	19
3.1 ตำแหน่งสำหรับวัดความหนาของฟิล์ม	27
3.2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่าง	28
4.1 FTIR Spectra ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ และ EMA.....	31
4.2 กราฟแสดงดัชนีคาร์บอนิล กับปริมาณ EMA ในฟิล์ม PP/EMA.....	32
4.3 ภาพ SEM พื้นที่ตัดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการสกัดวัฏภาคของ EMA ออก (กำลังขยาย 1000 เท่า)	33
4.4 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP60MA40	34
4.5 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP/EMA (a, b)	36
4.5 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP/EMA (c)	37
4.6 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสูตรต่าง ๆ.....	38
4.7 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	39
4.8 FTIR Spectra ของ Zeolite A, ฟิล์มสูตร PP50MA50Z20 และ PP50MA50	39
4.9 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50Z20	40
4.10 ภาพ SEM อนุภาคซีโอไลต์เอ	41
4.11 ภาพ SEM พื้นที่ตัดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตร PP50MA50Z20 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

“ผักและผลไม้” นับเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศอย่างมหาศาล โดยในแต่ละปี ไทยมียอดการส่งออกผัก ผลไม้ ทั้งรูปของสด แช่เย็น แช่แข็ง และแห้ง รวม 3-4 หมื่นล้านบาทต่อปี และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 15-20% ซึ่งเป็นเพราะภูมิประเทศเหมาะสมการเพาะปลูกอีกทั้ง ผลผลิตผักผลไม้ของไทยมีความหลากหลาย และต่อเนื่องตลอดปี ทำให้มีความได้เปรียบทางด้าน ประเภทสินค้า และมีความยืดหยุ่นด้านปริมาณการส่งออก ทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ รสชาติดี เป็นที่นิยม และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสูญเสียของ ผลผลิตเกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งและการขาย เป็นจำนวนมาก คิดเป็นประมาณ 35% ของมูลค่า โดยรวมความสูญเสียที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจ การประยุกต์ใช้ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ตลอดจนเทคนิคการยืดอายุผลผลิตผลเพื่อรักษาคุณภาพให้คง เดิม [1]

อายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเอทิลีน (ในพืชผลบางชนิด) และที่สำคัญ คือ ไอน้ำ เนื่องจากพืชผล ทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ มีการหายใจโดยใช้ก๊าซออกซิเจน คายก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำออกมา หากปล่อยให้พืชผลอยู่ในบรรยากาศปกติ พืชผลยังสามารถ หายใจได้ตามปกติ กระบวนการสุกและการเกิดการชราตามวัฏจักร [1] หากต้องการชะลอการสุก และการชราของพืชผล ควรทำให้บรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิต่ำ แต่ปริมาณก๊าซ ออกซิเจนต้องไม่น้อยจนเกินไป ไม่เช่นนั้นจะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน นั่นคือ เกิดการหมัก ซึ่งจะทำให้พืชผลที่จัดเก็บจะมีกลิ่นที่เปลี่ยนไป

ในปัจจุบันนิยมใช้พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ในการบรรจุภัณฑ์สำหรับการเก็บรักษา ผักผลไม้สด เนื่องจากมีข้อดี คือ ราคาถูก ปลอดภัยกับอาหารเพราะพอลิเอทิลีนเฉื่อยต่อปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิต่ำ แต่มีข้อเสียบางประการได้แก่ มีการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มี ขั้ว ซึ่งส่งผลให้เมื่อพืชคายน้ำออกมาจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะบรรจุภัณฑ์ เพิ่มขึ้น แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ อาจทำให้พืช เน่าเสียได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงมีการเจาะรูที่บรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยในการระบายไอน้ำและก๊าซออกซิเจน แต่ การเจาะรูส่งผลให้ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ลดลง ฉีกขาดง่าย และขาดความสวยงาม ดังนั้นจึงมี งานวิจัยเพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำได้โดยไม่ต้องมีการเจาะรู [2]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของนันทวรรณ ม่วงมี [3] ได้มีการทดลองเตรียมฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยมีการเติมซีโอไลต์เอ (Zeolite A) ที่มีรูพรุน มีขั้วสูง และมีสมบัติดูดซึมน้ำได้ดีมาผสมร่วมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เพื่อเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ แต่เนื่องจากความมีขั้วที่แตกต่างกันระหว่างซีโอไลต์เอ และ LDPE ทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวไม่ดี จึงได้นำเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer, EVA) ซึ่งมีขั้วมาผสมเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์ม LDPE เนื่องจาก EVA สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ LDPE และมีส่วนที่เป็นขั้วของไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate, VA) ซึ่งสามารถผสมเข้ากับซีโอไลต์เอได้ดีอีกด้วย จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE : EVA ที่ไม่มีซีโอไลต์เอ มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP) สูงกว่าฟิล์ม LDPE และเมื่อมีการเติมซีโอไลต์เอลงไป พบว่าฟิล์ม LDPE:EVA ที่มีซีโอไลต์เออยู่จะมีค่า WVP สูงกว่าทั้งฟิล์ม LDPE และ LDPE:EVA ที่ไม่มีซีโอไลต์เอ ทั้งนี้เนื่องจากความมีขั้วของ EVA และซีโอไลต์เอซึ่งดูดซับไอน้ำได้ดี จึงช่วยเพิ่มสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอย่างมาก โดยที่ยังมีสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างจากฟิล์ม LDPE มากนัก

ต่อมามงานวิจัยของ ฐิตินันท์ ศิริจันทร์นันทน์ [4] ได้ทำการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ด้วยเอทิลีนเมทิลอะคริเลตโคพอลิเมอร์ (Ethylene methyl acrylate copolymer, EMA) และซีโอไลต์เอ เนื่องจาก EMA มีสมบัติบางประการที่ดีกว่า EVA ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบสมบัติบางประการของ EVA และ EMA

สมบัติ	EVA	EMA
อุณหภูมิในการขึ้นรูป (Processing range)	สูงสุด 230°C	150 – 325°C
เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability)	ต่ำ	ดีเยี่ยม
กัดกร่อน (Corrosive)	กัดกร่อน	ไม่กัดกร่อน
ว่องไวต่อความชื้น (Moisture sensitive)	ไม่ว่องไวต่อความชื้น	ไม่ว่องไวต่อความชื้น

จากความได้เปรียบทางด้านเสถียรภาพทางความร้อน และอุณหภูมิในการขึ้นรูปของ EMA งานวิจัยดังกล่าวจึงได้มีการใช้ EMA เปรียบเทียบกับการใช้ EVA ซึ่งผลการวิจัยพบว่า EVA และ EMA มีการกระจายตัวในวัฏภาคของ LDPE ได้ดี โดย EMA ช่วยเพิ่มวัฏภาคอสัณฐานและความมีขั้วให้กับพอลิเมอร์ผสมได้เช่นเดียวกับ EVA

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบรรจุภัณฑ์สำหรับพืชผลทางการเกษตรให้มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยเลือกใช้โพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการวิจัยแทน LDPE ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ เนื่องจากโครงสร้างของ PP มี $-CH_3$ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า H ทำให้การเคลื่อนของสายโซ่ยาวกว่าจึงได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และมีความรูปร่างที่ดีกว่า LDPE [5] โดยในงานวิจัยจะทำการใช้ PP, EMA และซีโอไลต์เอในการเตรียมฟิล์ม เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนต่าง ๆ ของ PP/EMA และการเติมซีโอไลต์เอ เพื่อใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ EMA ในอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 55:45 และ 50:50 โดยน้ำหนัก และซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนักเป็นองค์ประกอบ
2. ขึ้นรูปฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยกระบวนการกดอัด (Compression)
3. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
4. ศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM)
5. ศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของฟิล์มด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM)
6. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) และเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA)
7. ศึกษาสมบัติพื้นผิวโดยการทดสอบมุมสัมผัส ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส
8. ศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มด้วยเครื่อง Water vapor permeability analyzer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงอิทธิพลของการใช้ PP และสามารถผลิตฟิล์มที่มีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับพืชผลทางการเกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น และนำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ ต่อไป

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว

ผักและผลไม้แม้ว่าจะเก็บเกี่ยวออกจากต้นแล้วยังคงเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ การสุก ดังนั้นการเก็บรักษาให้ผลิตผลอยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อชะลอเมแทบอลิซึมของผลิตผล ซึ่งได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบของบรรยากาศ และปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมที่อยู่รอบ ๆ ผลิตผลนั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผล (ผักและผลไม้) ผักและผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตที่หลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและชีวเคมีตลอดเวลา ดังนั้นผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจะดำรงสภาพอยู่เหมือนเดิมนั้นจึงเป็นไปได้ เพราะมีทั้งปัจจัยภายในของผลิตผลเอง คือ การหายใจ โดยหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตผลยังคงหายใจต่อไป โดยใช้ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคายความร้อนออกมา มีการคายน้ำและสูญเสียน้ำหนัก และยังมีปัจจัยภายนอกที่จะส่งเสริมให้ผลิตผลนั้น ๆ เสื่อมสภาพลง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการสูญเสียของผลิตผล

1. การคายน้ำ

พืชและผลิตผลสดต่าง ๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะที่เดียวกันปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าปริมาณความชื้นภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าผลิตผลจะมีเนื้อเยื่อโครงสร้างต่าง ๆ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ได้แก่ ชั้นของ Epidermis รวมทั้งไข (Wax) และ Cutin ที่เคลือบผิวอยู่ แต่ผลิตผลจำเป็นต้องมีช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ปากใบ และ Lenticels เพื่อถ่ายเทอากาศนำเอาก๊าซออกซิเจนเข้าไปสำหรับการหายใจ และระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสูญเสียน้ำจากผลิตผลจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลนอกจากจะทำให้น้ำหนักลดลงแล้ว ยังทำให้รสชาติของผลิตผลเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (Texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวยุบไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค

2. การหายใจ

กระบวนการชีวเคมีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือดำรงชีวิตเอาไว้ และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้นการ

หายใจจึงเป็นการดึงเอาอาหารสะสมออกไปจากผลิตภัณฑ์ตลอดเวลา คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ผู้บริโภคจึงลดลงเรื่อย ๆ รสชาติอาจเปลี่ยนแปลงด้วย [6]

การหายใจของพืชสดมี 3 ขั้นตอน คือ

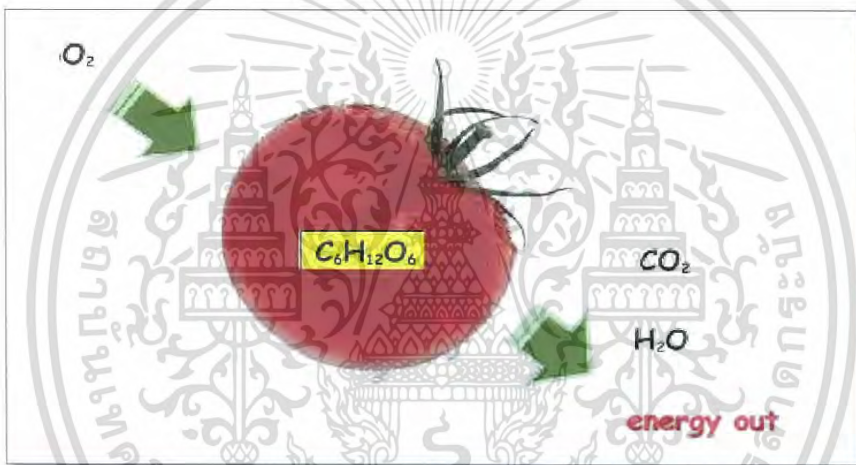
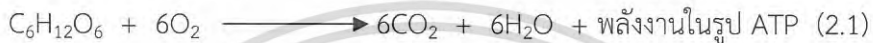
1. การย่อยคาร์โบไฮเดรตพวกที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลาย ๆ โมเลกุล ให้กลายเป็นโมเลกุลเดี่ยว

2. ขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นให้เป็นการดไฟรูวิก

3. ขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไฟรูวิก และกรดอินทรีย์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซ

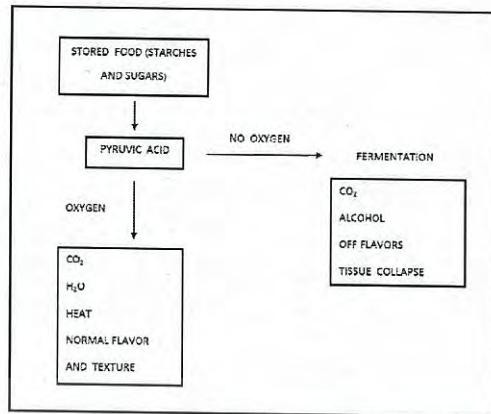
คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ซึ่งเกิดขึ้นในการหายใจของผลิตภัณฑ์หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

สรุปได้เป็นสมการอย่างง่าย คือ



รูปที่ 2.1 การหายใจของพืช [7]

โดยการหายใจในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนสมบูรณ์จะได้ปริมาณ ATP (Adenosine triphosphate) ต่อโมเลกุลน้ำตาลมากกว่าการหายใจในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนน้อย หรือไม่มีก๊าซออกซิเจน [8]



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขป ทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน [8]

อัตราการหายใจของพืชหลังการเก็บเกี่ยว เป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปพืชที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น พืชอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวได้นาน

รูปแบบการหายใจของพืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจที่ไม่เท่ากัน ซึ่งแบ่งตามชนิดของพืชดังนี้ [8]

1. Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากผลไม้แก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงมาก เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกอัตราการหายใจจะสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งการเพิ่มอัตราการหายใจนี้จะเพิ่มอย่างรวดเร็วและสูงมากด้วย เมื่อสุกเต็มที่แล้วอัตราการหายใจจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย ฉะนั้นผลไม้พวกนี้สามารถเก็บแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ภายหลังเก็บเกี่ยว เช่น มะเขือเทศ ถั่วฝักยาว

2. Non- Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่ไม่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากผลไม้แก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงในระยะเก็บเกี่ยว หลังเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คืออัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติคงที่ อายุการเก็บรักษาค่อนข้างยาว ฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลไม้ยังไม่แก่จัดเต็มที่ จะได้ผลไม้ที่มีรสชาติเหมือนเดิมตลอดไป จึงต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้แก่จัด เช่น แตงกวา ส้ม มะนาว เงาะ ลำไย สับปะรด

ตารางที่ 2.1 ชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก [10]

Climacteric	Non- Climacteric
น้อยหน่า ถั่วฝักยาว ขนุน มะเขือเทศ ท้อ สาลี่ สาเก พลับ ฝรั่ง ละครุด มะละกอ แอปเปิ้ล กีวี อะโวคาโด มะม่วง แตงโม แตงลาย บลูเบอร์รี่ เนคทารีน แอปริคอต มะเดื่อฝรั่ง	พริก มะกอก ลำไย มะเขือ องุ่น มะนาว ทับทิม ส้ม แตงกวา สับปะรด พุทรา โกโก้ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แบล็คเบอร์รี่ เชอร์รี่ ส้มเขียวหวาน ลิ้นจี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Non- Climacteric [9]

ผลไม้	พันธุ์	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการหายใจ (mg.CO ₂ /kg.hr) Non-Climacteric ตลอดเวลาแก่และสุก
องุ่น	Vi 5061	20	15
มะนาว	Eureka	20	5
ส้ม	Valencia	21	13
สับปะรด	Caynne	15	21

ตารางที่ 2.3 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Climacteric [9]

ผลไม้	พันธุ์	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการหายใจ (mg.CO ₂ /kg.hr)	
			ต่ำสุด	สูงสุด
แอปเปิล	Barnley seedling	23	10	16
อโวคาโด	Fuerte	20	35	155
กล้วย	Gros Michel	20	20	60
มะม่วง	Kent	20	15	22
ท้อ	Alberta	20	25	35
สาลี	Bartlett	20	8	23
มะเขือเทศ	Grand rapids	18	8	20

3. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมี

องค์ประกอบเคมีอื่น ๆ ของพืชมีเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสร้างหรือการเสื่อมสลายตัวของสารสี (Pigment) การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การเพิ่มขึ้นของปริมาณลิกนิน (Lignin) ในผลิตผลที่มีเส้นใยมาก เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ล้วนนำไปสู่การสูญเสียของผลิตผลทางใดทางหนึ่งด้วยกันทั้งสิ้น

ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสูญเสียของผลิตผล

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมินั้นมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในผลิตผลทุกอย่าง และมีผลต่อบริการอื่น ๆ ที่อยู่ภายนอกด้วย ในด้านของผลิตผลเอง อุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ให้เกิดเร็วขึ้น ดังนั้นการหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านอื่น ๆ จะเกิดเร็วขึ้น ส่งผลทำให้ผลิตผลเกิดการเสียหายง่าย

2. ความชื้น

ปริมาณไอน้ำในอากาศนอกจากจะเป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลแล้ว ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ อีกด้วย เช่น ในสภาพที่ความชื้นสูงจะช่วยกระตุ้นในการงอกในหอมและกระเทียม นอกจากนั้นเชื้อราบนผิวของผลิตผล สามารถเจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย การเก็บรักษาจึงต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้พอเหมาะ ไม่ให้มีการสูญเสียน้ำจากพืชมากเกินไป

3. องค์ประกอบของบรรยากาศ

ในบรรยากาศปกติมีก๊าซออกซิเจน (O_2) อยู่ประมาณ 21% ซึ่งจำเป็นสำหรับการหายใจของผลิตผลในการเก็บรักษา ถ้ามีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดได้ และถ้ามีปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้ผลิตผลเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน (Anaerobic) ทำให้ผลิตผลเสียหายได้ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหายใจ หากมีการสะสมในการเก็บรักษามากเกินไป อาจทำให้เกิดการผิดปกติในการหายใจ และทำให้ผลิตผลเสียหายได้ นอกจากนี้ยังมีก๊าซเอทิลีน ซึ่งอาจเกิดจากการผลิตของผลิตผลเองจะกระตุ้นและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ได้ [7]

2.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับรักษาคุณภาพผลิตผล

ฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้ในการบรรจุในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด ซึ่งชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ขึ้นกับการนำไปใช้งานที่ต่าง ๆ กัน ที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น

-พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นฟิล์มที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่าน ป้องกันการผ่านของไอน้ำได้

-พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) มีลักษณะโปร่งใสกว่า LDPE สามารถใช้ทำเป็นถุงได้และ ใช้ทำถาด สามารถใช้ความร้อนในการปิดผนึกได้

-พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) ฟิล์มประเภทนี้สามารถให้ไอน้ำและก๊าซผ่านไปได้ นิยมใช้กันมากในการปิดด้านบนของถาดโฟมที่ใช้ใส่ผลิตผลสด แต่ฟิล์มชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับในการทำถุง

-Rubber hydrochloride หรือ Pliofilm เป็นแผ่นฟิล์มที่มีความแข็งแรงมาก ใช้เป็นถุงที่บรรจุผักและผลไม้สดที่มีน้ำหนักมากอากาศ ความชื้นผ่านไปได้ยากมาก ถ้าใช้ต้องมีการเจาะรูเพื่อระบายอากาศ และความชื้น ป้องกันการผ่านของไอน้ำได้ดี [11]

-เซลโลเฟน (Cellophane) มีใช้กันอยู่หลายชนิด อาจใช้เป็นด้านบนปิดถาดโฟม ทำเป็นถุง มีลักษณะโปร่งแสง ไม่สามารถทำให้ติดกันด้วยความร้อนได้ ยอมให้ความชื้นผ่านได้

ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นพลาสติกในการห่อผลิตผลสดกันมากขึ้น โดยแผ่นพลาสติกจะช่วยในการป้องกัน และรักษาผลิตผลให้อยู่ได้นาน โดยทั่วไปแผ่นพลาสติกจะช่วยให้เกิดสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ผลิตผล (Microclimate) เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ซึ่งต้องคำนึงถึงสมบัติด้านการซึมผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติการซึมผ่านของฟิล์มขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผลิต พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันจัดเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline) ในส่วนของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบหรือส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) จะเป็นส่วนที่เมยอมให้ก๊าซ หรือไอน้ำซึมผ่าน ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) สายโซ่พอลิเมอร์จะอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) การเคลื่อนที่ของสายโซ่จะถูกจำกัด ปริมาตรอิสระ (Free volume) จะถูกจำกัดเช่นกัน แต่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว สายโซ่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระมากขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอิสระ การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญมากต่อความสามารถของโมเลกุลที่จะแพร่ผ่านวัสดุ

ความแตกต่างของความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซของพอลิเมอร์ ขึ้นกับ

- ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการซึมผ่านของก๊าซ
- ความสามารถในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันของสายโซ่พอลิเมอร์
- อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันพอลิเมอร์ต่อการละลายได้ของก๊าซในส่วนที่เป็นอสัณฐานของสายโซ่พอลิเมอร์

ความสามารถในการซึมผ่านจะลดลง ถ้าส่วนของความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ส่วนการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์โดยการยืด (Stretching) ฟิล์ม เป็นการเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกและลดความสามารถในการซึมผ่านลง [12]

2.2.1 การซึมผ่านของก๊าซ

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซ (Gas permeability) เพื่อเลือกชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้วัสดุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมาก ควรเลือกว่าวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน $2 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$ ส่วนวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านก๊าซดีพอควรจะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน $20\text{-}30 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$ สำหรับผักและผลไม้ที่ต้องใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านก๊าซได้ดี โดยทั่วไปจะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน $2000 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$ [13]

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ [14]

ชนิดของพลาสติก	ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (cc. 25 μm^2 .atm.day)	ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (cc. 25 μm^2 .atm.day)
พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET)	52 – 130	180 – 390
พอลิสไตรีน (PS)	10,000 – 260,000	2,600 – 7,700
พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	620 – 2,248	4,263 – 8,138
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	3,900 – 13,000	7,000 – 77,000
พอลิพรอพิลีน (PP)	1,300 – 6,400	7,700 – 21,000

2.2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

การเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) ต้องระมัดระวังปัญหาที่เกิดจากหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุ และปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันไอน้ำได้ดีจะช่วยลดปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มักเกิดปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะ และในทางกลับกันวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้มักเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์แห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging agent) ในฟิล์มพลาสติกหรือการเจาะรูเล็ก ๆ เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกจากภาชนะ [7]

ตารางที่ 2.5 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ [15]

ชนิดของพลาสติก	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g. 25 μm^2 .day ที่ 38°C, 90%RH)
พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET)	16 – 20
พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	80 – 500
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	4.7
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	16 – 24
พอลิพรอพิลีน (PP)	11

2.2.3 ความต้องการทางบรรจุกัญช์ของผลิตผลสด

การเลือกวัสดุและภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้สด จะต้องพิจารณาสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. สมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซ

วัสดุและภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้สด จะต้องยอมให้ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าออกได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับอัตราการหายใจและคายน้ำของพืช โดยต้องป้องกันมิให้ปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไปเนื่องจากจะทำให้พืชขาดออกซิเจนในการหายใจ และป้องกันมิให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชคายออกมาปริมาณมากเกินไปเพื่อป้องกันการสะสมจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนเกิดการหมักและทำลายเซลล์ของพืชได้

2. สมบัติด้านการซึมผ่านของไอน้ำ

วัสดุและภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้สด จะต้องยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราการหายใจและคายน้ำของพืชแต่ละชนิด หากพืชที่มีอัตราการหายใจและคายน้ำในปริมาณมากภาชนะบรรจุต้องยอมให้ไอน้ำผ่านออกไปได้ดี เพื่อป้องกันการสะสมของไอน้ำภายในภาชนะจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวแล้วกลั่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งทำให้พืชผลเน่าเสียได้เร็วขึ้น หากพืชหายใจเข้า ภาชนะบรรจุกัญช์ควรให้ไอน้ำผ่านได้น้อย เพื่อป้องกันการเหี่ยวเฉาของพืช

3. สมบัติเชิงกล

วัสดุและภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้สด จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ และสามารถป้องกันแรงกระทำจากภายนอก ที่ทำให้ผักผลไม้บอบช้ำได้ สมบัติเชิงกลดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผักผลไม้สด ผักผลไม้สดที่มีเนื้ออ่อนและเกิดการบอบช้ำได้ง่าย เช่น องุ่น สตรอเบอร์รี่ ผักใบชนิดต่าง ๆ ย่อมต้องการภาชนะบรรจุที่มีความแข็งแรงสูงกว่าผักผลไม้เนื้อแข็งหรือผลไม้ที่มีเปลือกแข็ง เช่น ส้มโอ มังคุด ขิง ข่า เป็นต้น

4. สมบัติทนทานต่อน้ำ

วัสดุและภาชนะบรรจุสำหรับผักและผลไม้สดบางประเภทจำเป็นต้องทนทานน้ำได้ดีระหว่างขนส่งและจัดจำหน่าย ภาชนะบรรจุผักและผลไม้สดมักสัมผัสกับน้ำ เช่น น้ำจากการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ น้ำจากการฉีดหรือพรมเพื่อรักษาความสด หากวัสดุนั้นดูดซับน้ำได้ จะต้องยังคงความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งาน

5. สมบัติทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ

เนื่องจากการเก็บรักษาผักและผลไม้สดที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา วัสดุและภาชนะบรรจุจำเป็นต้องทนทานอุณหภูมิต่ำได้ดี

6. ความยืดหยุ่น (Flexibility)

เนื่องจากขนาดและรูปร่างของผักและผลไม้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ การออกแบบบรรจุกัญช์ควรเลือกใช้วัสดุที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้บางส่วน เพื่อหลีกเลี่ยงการเปราะแตกของบรรจุกัญช์

7. ความโปร่งใส (Transparence)

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการมองเห็นและสัมผัสผักและผลไม้สดก่อนการตัดสินใจเลือกซื้อ วัสดุและภาชนะบรรจุต้องโปร่งใส เพื่อให้ผู้บริโภคได้มองเห็นสินค้าได้อย่างชัดเจน

8. ส่งเสริมการตลาด

ภาชนะบรรจุที่เลือกใช้นอกจากจะทำหน้าที่ด้านการเก็บรักษาแล้ว ควรส่งเสริมการจัดการและการตลาดด้วย เช่น กล่องกระดาษหรือลังไม้ที่ใช้ขนส่งผลไม้ ควรออกแบบทั้งโครงสร้างและกราฟิกให้สามารถใช้เป็นภาชนะสำหรับการจำหน่ายปลีกได้ เช่น ถุงตาข่ายบรรจุส้ม 1 กิโลกรัม จะออกแบบให้มีแถบคล้ายริบบิ้นติดที่หัวและท้ายของถุง เพื่อหิ้วถุงได้สะดวก เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์ยืดอายุ (Active Packaging)

การสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ไม่ว่าจะเนื่องจากโรค การเปลี่ยนแปลงทาง สรีระของผักผลไม้จากการหายใจหรือสูญเสียน้ำ หรือจากการเกิดบาดแผล ย่อมส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคของประชากร ซึ่งนับวันจำนวน ประชากรมากขึ้น ขณะที่พื้นที่ทางการเกษตรกลับลดน้อยลง

หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้ในการบรรจุผลผลิตการเกษตร เพื่อยืดอายุ ผลผลิตให้นานมากขึ้นได้แก่ การทำบรรจุภัณฑ์ยืดอายุ (Active Packaging)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เป็นนวัตกรรมการควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งโดยมากใช้สารประกอบเคมี ที่มีสมบัติพิเศษในการดูดหรือคายก๊าซบางชนิด ได้แก่ สารดูดออกซิเจน สารดูดเอทิลีน (เป็นก๊าซที่เกิดจากผลไม้ ทำให้ผลไม้สุก) สารดูดกลิ่น สารควบคุมความชื้น สารควบคุมคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยทำหน้าที่ปกป้องอาหารและขณะเดียวกันก็ควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอม หรือสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ผ่านเข้า-ออกจากภาชนะบรรจุให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของอาหารหรือ ผลผลิตนั้น ๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพ

ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสามารถแบ่งตามลักษณะเทคโนโลยีได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. Sachet-based technology คือ การใช้สารดูดหรือคายก๊าซ โดยบรรจุในซองเล็ก ๆ (Packet หรือ Sachet) และ Sachet จะถูกใส่เพิ่มในภาชนะบรรจุหลักของอาหาร ซึ่งใช้งานแพร่หลายในอาหารอบแห้งต่าง ๆ ขนมเค้ก หรือเนยแข็ง

2. Plastic packaging as media คือ การผสมสารดูดหรือคายก๊าซในพลาสติกหรือฟิล์มที่เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรง ได้แก่ ฟิล์มที่มีสารผสมเพื่อยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ แบคทีเรียในอาหาร หรือการใช้ฟิล์มพลาสติกผสมด้วยสารดูดออกซิเจนเป็นซีล (Seal) ด้านในของฝาขวดเบียร์ [16]

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภทใดนั้น ต้องเลือกให้เหมาะกับอาหารที่ต้องการบรรจุ ดังตารางที่ 2.6

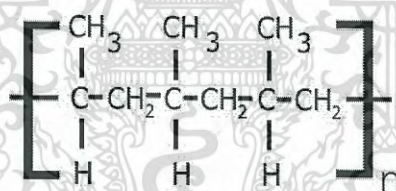
ตารางที่ 2.6 ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกับการใช้งานที่เหมาะสม

ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ	ประโยชน์การใช้งาน
ดูดหรือลดปริมาณออกซิเจน	อาหารทั่วไป และอาหารที่ผ่านการอบ
เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	อาหารที่เกิดราได้ง่าย
ควบคุมความชื้น	ผลิตผลจากพืชสวน และอาหารแห้ง
ดูดหรือลดเอทิลีน	ผลิตผลจากพืชสวน
เพิ่มเอทานอล	อาหารที่ผ่านการอบ

2.3 พอลิโพรพิลีน

ข้อมูลทั่วไปของพอลิโพรพิลีน (PP)

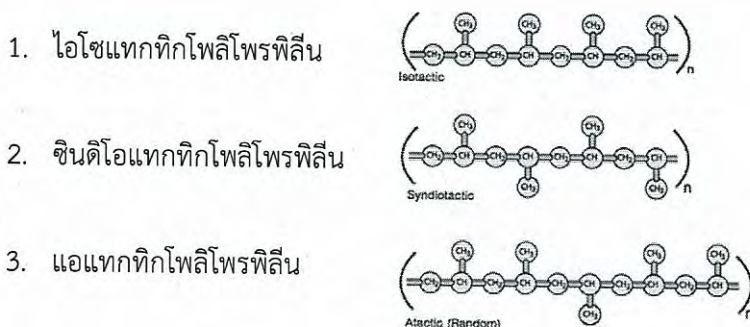
- ชื่อทางเคมี (Chemical Name) : Poly(1-methyl ethylene)
- ชื่อพ้อง (Synonyms) : Polypropylene, Polipropene 25 [USAN], Propylene polymers, 1-Propene homopolymer
- สูตรเคมี : $(C_3H_6)_n$
- สูตรโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ PP

พอลิโพรพิลีน หรือพีพีเทอร์โมพลาสติกประเภทโพลีโอเลฟิน ผลิตจากโพรพิลีนมอนอเมอร์ เป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และสารเคมีต่าง ๆ ยกเว้น ไฮโดรคาร์บอนและคลอรีนเทตไฮโดรคาร์บอน

การแบ่งตามโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่



โพลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทกติก (Isotactic) นำมาผลิตเป็นพลาสติกใช้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมทิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงกันข้ามกับชนิดแอแทกติก (Atactic) ที่จะมีความเหนียวมากกว่า เนื่องจากหมู่เมทิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนชนิดซินดีโอแทกติก (Syndiotactic) หมู่เมทิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งแรงน้อยกว่า แต่จะทนทานมากกว่าชนิดไอโซแทกติก (Isotactic)

สมบัติบางประการของโพลิโพรพิลีน

- มีความแข็งแรง ความเปราะและแตกง่ายน้อยกว่า HDPE และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า LDPE มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปง่าย มีความทนทานมากสามารถทำเป็นบานพับในตัว

- เมื่อไม่ได้ผสมสีมีลักษณะขาวขุ่น ไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน (PS)

- มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย ในช่วง $0.855 - 0.946 \text{ g/cm}^3$ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน

- มีจุดหลอมเหลวสูง $130-171^{\circ}\text{C}$ จึงสามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100°C) ได้

- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง

- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก ได้แก่ กรด ต่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการพองตัว อ่อนนิ่ม หรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมี ที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนหรือไฮโดรคาร์บอน ทั้งชนิดอะโรมาติกและอะลิฟาติก

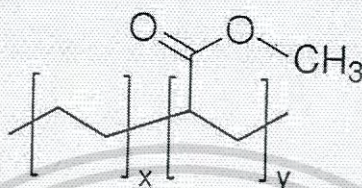
- ภาชนะที่ทำจาก PP ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก ได้รับการจำแนกชนิดของพลาสติก เพื่อนำกลับไปเวียนทำใหม่ (Recycle) มีสัญลักษณ์เป็นเลข 5 ซึ่งหมายถึง Resin identification code 5

[17]

2.4 เอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์

ข้อมูลทั่วไปของเอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EMA)

- สูตรโมเลกุล : $C_6H_{10}O_2$
- น้ำหนักโมเลกุล : 114.1424 g/mol
- สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ EMA [19]

ลักษณะทั่วไปของ EMA

- เป็นของแข็ง ไม่มีสี เป็นพิษ ไม่ละลายน้ำ
- EMA เป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟิน ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีนกับเมทิลอะครีเลต (Methyl acrylate, MA) โดยทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายใต้ความดันสูง โดยมีการฉีดมอนอเมอร์เมทิลอะครีเลตเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ที่มีก๊าซเอทิลีนเพื่อผลิตโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม

สมบัติบางประการของ EMA

- ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.942-0.945
- มอดุลัสยืดหยุ่น เท่ากับ 83 MPa
- ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก เท่ากับ 11 MPa
- ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เท่ากับ 11 MPa
- ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด เท่ากับ 740%
- อุณหภูมิในการขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีด 93 - 327°C

การประยุกต์ใช้งาน

EMA เป็นหนึ่งในอัลฟาโอเลฟินโคพอลิเมอร์ที่มีเสถียรภาพ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน เช่น

- ใช้เป็น Tie layer เพื่อเพิ่มการยึดติดกับพอลิโอเลฟิน (Polyolefin), ไอโอโนเมอร์

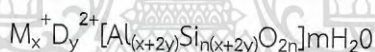
(Ionomer), พอลิเอสเทอร์ (Polyester), พอลิคาร์บอเนต (PC), PET ชนิดการจัดเรียงโมเลกุล (OPET) และ PP ชนิดจัดเรียงโมเลกุล (OPP)

- ท่อที่มีความยืดหยุ่นโดยมีความต้านทานต่อการแตกและความทนแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ (Low-temperature impact strength) ที่ดี
- EMA ถูกนำมาผสมกับ LDPE, PP, PS, Nylon และ PC เพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็งแรง กระแทก ความเหนียว สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิว และการยึดติดเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความแข็งแรงลดลง
- นิยมใช้ในงาน Extrusion coating เนื่องจาก EMA มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี [18,19]

2.5 ซีโอไลต์เอ

ข้อมูลทั่วไปของซีโอไลต์เอ

ซีโอไลต์เป็นสารประกอบออลูมิโนซิลิเกต มีโครงสร้างเป็นรูพรุนสามมิติและมีลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) ที่มีออกซิเจน 4 ตัวล้อมรอบ การแทนที่ Si ด้วย Al ทำให้เกิดความไม่สมดุลของประจุ จึงต้องมีประจุบวกเพื่อทำให้เกิดความสมดุลของประจุ สูตรเคมีของซีโอไลต์ เป็นดังนี้



โดยที่ $M_x^+ D_y^{2+}$ คือ ประจุบวกสมดุล (Charge balance cation)

ซีโอไลต์เป็นสารที่มีรูพรุนจึงมีพื้นที่ผิวมากคือ ประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม ในโครงสร้างของผลึกซีโอไลต์จะมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งมีไอออนประจุบวกและโมเลกุลของน้ำอยู่ในโพรงช่องว่างนี้ ลักษณะของช่องว่างและโพรงที่เชื่อมต่อกันของซีโอไลต์จะเป็นตัวการสำคัญในการกำหนดสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของซีโอไลต์ในการแลกเปลี่ยนไอออนและดูดซับสาร

ซีโอไลต์เอ มีสูตรทางเคมีคือ $Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)] \cdot 27H_2O$ โดยมีอัตราส่วนระหว่างช่องว่างต่อปริมาตรเท่ากับ 0.47 อัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่อออลูมิเนียมเท่ากับ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 4.2 อังสตรอม

การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอ ทำโดยใช้กระบวนการทำให้เป็นเจลคล้ายกับซีโอไลต์อื่น ๆ ทั่วไป โดยใช้โซเดียม (นิยมใช้โซเดียมอะลูมิเนต) และซิลิกา (นิยมใช้โซเดียมซิลิกา) ผสมกันในสารละลายที่ทำให้เป็นเจล ซึ่งสารละลายเหล่านั้น ได้แก่ สารละลายของอัลคาไล เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือสารละลายเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) เอมีน หรือสารละลายอินทรีย์ที่มีขี้ผึ้ง เมื่อผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเจลแล้ว จะนำเจลที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70-300°C จะได้ผลึกของซีโอไลต์เอที่อยู่ในรูปแบบของโซเดียมไอออน (Na^+)

สมบัติบางประการของซีโอไลต์เอ

- การดูดน้ำ (Desiccants) เนื่องจากซีโอไลต์เอมีอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ซึ่งมีความเป็นขั้วสูง จึงสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีเช่น น้ำ และเมื่อดูดซับน้ำแล้วจะเกิดอันตรรกิริยากับน้ำได้เป็นอย่างดี
- การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchangers) ซีโอไลต์เอมีขั้วทำให้ดูดน้ำได้ น้ำที่อยู่ในซีโอไลต์เอ จึงเปรียบเสมือนไอออนบวกที่ถูประจุลบในโครงสร้างของซีโอไลต์เอ โดยน้ำที่อยู่ในซีโอไลต์เอนั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ตลอดเวลาดังสมการ



ไฮดรอนิยมไอออนนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการแลกเปลี่ยนซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดเฉพาะกับซีโอไลต์ที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งดูดซับน้ำได้ดี เช่น ซีโอไลต์เอ

- การคัดแยกโมเลกุล (Molecular sieves) เมื่อทำให้ซีโอไลต์แห้งโดยการไล่น้ำออกแล้วซีโอไลต์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการดูดซับสารชนิดต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมอัตราส่วนระหว่างความเป็นขั้วของซีโอไลต์ และ สารหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เช่น ซีโอไลต์ที่มีขั้วสูง (มีอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมต่ำ) ซีโอไลต์จึงมีสมบัติในการคัดแยกโมเลกุล

ซีโอไลต์เอ เป็นซีโอไลต์ที่น่าสนใจ เนื่องจากมีโครงสร้างแบบซูเปอร์เคจ (Supercage) เหมาะกับการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Specio-specific catalysis) พื้นที่ภายในของโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมีมากในการที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนสาร ขนาดของรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะมีความเฉพาะเจาะจง (Selectivity) ในการจำกัดขนาดของโมเลกุลที่จะเข้าออก นอกจากนี้ยังใช้งานอย่างกว้างขวางในการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนสารและแลกเปลี่ยนไอออนได้อีกด้วย และเนื่องจากการที่ซีโอไลต์เอมีความเป็นขั้วสูง และมีความเป็นรูพรุนขนาดเล็กจึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับน้ำได้ดี [20,21]

2.6 พอลิเมอร์ผสม

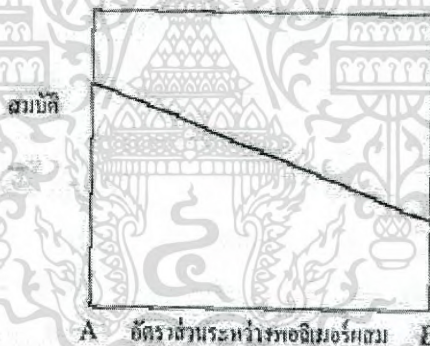
การผสม (Blending) เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยอาจจะเป็นการผสมกับพอลิเมอร์ ชนิดอื่น ๆ หรือ ผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อให้ได้สมบัติที่หลากหลายตามความต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้ รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน

เกิดเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม โดยไม่ต้องเสียเวลาในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งต้องใช้เวลาและอาจต้องใช้ต้นทุนสูงในการสังเคราะห์

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ คือ ความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าในระดับโมเลกุล ไม่แสดงการแยกเฟสเมื่อทำการผสม ซึ่งความเข้ากันได้จะขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ มวลโมเลกุล สัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง และสภาวะของการผสม โดยขึ้นกับวิธีการผสม อุณหภูมิ และเวลา [23,24]

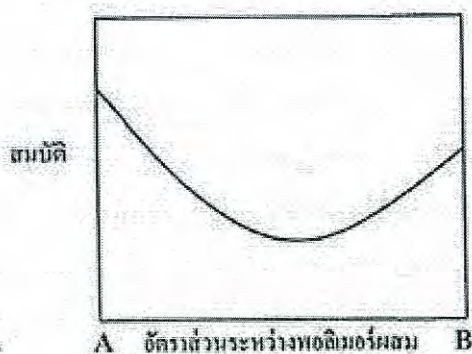
พอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้ (Miscible blend) หมายถึงพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ใกล้เคียงกันเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นวัฏภาคเดียวกัน โดยทั่วไปสมบัติที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมทั้งสองในพอลิเมอร์ผสม ทำให้กราฟที่ได้เป็นเส้นตรงหรืออย่างน้อยที่สุดเป็นเส้นโค้งสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีผสมเข้ากันได้ (Miscible) [24]

2. พอลิเมอร์ที่ไม่ผสมเข้ากัน (Immiscible blend) หมายถึงพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นบ่งชี้ความสามารถในการละลายต่างกัน ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่ผสมเข้ากันได้ และแยกออกเป็นแต่ละวัฏภาคโดยแต่ละวัฏภาคจะมีการดึงดูดกันเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดบริเวณที่อ่อนแอด้วยเหตุนี้จึงเกิดการเสียหายได้แม้ในกรณีที่มีความเค้นต่ำมาก ๆ ทั้งทางกล ทางความร้อน และทางเคมี จากนั้นสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะลดต่ำลงมากกว่าพอลิเมอร์เดิมที่นำมาผสม



รูปที่ 2.6 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในกรณีที่ผสมเข้ากันไม่ได้ [24]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทวรรณ ม่วงมี [3] ทำการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) โดยใช้อัตราส่วน 100/0, 85/15, 80/20 และ 75/25 และใช้ซีโอไลต์เอ 0–25% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาผลของกระบวนการผสมสูตรฟิล์มด้วยเครื่องผสมเกลียวหนอนคู่โดยเปรียบเทียบสูตรที่เตรียมโดยผสม LDPE, EVA และซีโอไลต์เอ พร้อมกันกับการผสมจากสูตรเข้มข้นของ EVA กับซีโอไลต์เอ พบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากสูตรเข้มข้นของ EVA กับซีโอไลต์เอ ทำให้ซีโอไลต์เอส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ EVA และมีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ เนื่องจากการผสมซีโอไลต์เอ ที่มีขั้วกับ EVA ที่มีหมู่ไวนิลอะซิเตตที่มีขั้วเหมือนกัน ทำให้เข้ากันได้และกระจายตัวได้ดี จากการศึกษาการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม เมื่อเติมซีโอไลต์เอ และ EVA ในปริมาณสูงส่งผลให้มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงด้วย เนื่องจากการมี EVA ในปริมาณสูงทำให้สามารถใส่ซีโอไลต์เอได้มากขึ้น โดยผลของฟิล์มสูตร 80/20 มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์ม LDPE 29% และเมื่อเติมซีโอไลต์เอ 25% ฟิล์มสูตร LE(80/20)Z25 มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์ม สูตร 80/20 60% และ สูงกว่าฟิล์ม LDPE สูตร 100/0 ถึง 106%

Marais และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต (VA) ต่างกัน โดยใช้วิธีการหล่อแบบสารละลาย (Casting solution) พบว่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ VA เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของหมู่ที่มีขั้วของ Carbonyl group นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ ลงใน EVA พบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างสม่าเสมอเมื่อเทียบกับปริมาณ VA ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ที่มีขั้วเข้าไปสร้างพันธะกับพอลิไวนิลคลอไรด์สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของ VA เป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ โดยเข้าไปทำให้ความเป็นผลึกลดลงส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐิตินันท์ ศิริจันทนันท์ [4] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ด้วย เอทิลีนเมทิลอะครีเลตโคพอลิเมอร์ (EMA) และซีโอไลต์เอ เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด โดยศึกษา อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม LDPE/EMA เป็น 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ทำการผสม ด้วยเครื่องผสมระบบปิด ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด พบว่า มีการกระจายตัวของ EMA ที่ดี โดยพบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ EMA ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากและค่า Young's Modulus ที่มีค่าน้อยกว่าฟิล์ม LDPE และน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ EMA ฟิล์มสูตร L70E30 มีค่า WVP สูงกว่าสูตรอื่น ๆ การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ (20% โดยน้ำหนัก) พบว่าซีโอไลต์เอกระจายตัวได้ดีในวัสดุภาคที่มี ขั้วของ EMA โดยฟิล์มสูตร L80M20Z20 มีค่า WVP มากกว่าฟิล์ม LDPE 180% แม้มีสมบัติความ แข็งแรงดึงต่ำกว่าฟิล์ม LDPE แต่มีค่าอยู่ในช่วงที่รับได้ในงานบรรจุภัณฑ์ ความสามารถในการซึมผ่าน ของไอน้ำสามารถเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มวัสดุภาคสัญญาณที่มีขั้วให้แก่ฟิล์มพอลิเมอร์และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมี การเติมซีโอไลต์เอ

ธัญวิทย์ ช่อนภู และศิริธร ดีเสมอ [19] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำ ของฟิล์ม LDPE ด้วย EVA / เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH) และซีโอไลต์เอ โดย อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVA/EVOH เป็น 80/20/0, 80/15/5, 80/10/10, 80/10/15 และ 80/0/20 โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของการใช้ซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่า เมื่อ ปริมาณ EVA เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก, ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และค่า Young's Modulus มี แนวโน้มลดลงจากฟิล์ม LDPE เนื่องจาก EVA มีสมบัติคล้ายยางจึงมีความยืดหยุ่น แต่ปริมาณความ เป็นผลึกของ LDPE ไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้น ปริมาณความเป็นผลึกมี แนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก EVOH สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนทำให้มีโครงสร้างที่แข็ง โดยมีค่าความ แข็งแรงดึง ณ จุดคราก, ความแข็งแรงดึงจุดขาดมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์ม LDPE แต่ค่า Young's Modulus สูงกว่า LDPE การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE/EVA/EVOH ทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มที่มีผลึกมาก นั้นมีขั้วมาก ส่วนฟิล์มที่มี อสัณฐานมาก มีขั้วน้อย ทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างสัญญาณวิทยาและ ความมีขั้ว ค่าการซึมผ่านไอน้ำสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเติมซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก เพราะความมี รุพรุนและมีขั้วสูงของซีโอไลต์เอ

Lasagaba'ster และคณะ [25] ได้ศึกษาการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ได้จากการผสม PP กับ EVOH โดยมีอัตราส่วนของ PP/EVOH ได้แก่ 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ซึ่งผลการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EVOH การซึมผ่านไอน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Extinction coefficients, ϵ) ของน้ำที่แทรกในฟิล์มมีค่ามากขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและหมู่ไฮดรอกซิลของ EVOH ผลจาก การศึกษาสัญญาณวิทยาพบว่าขนาดของ EVOH มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นรูพรุนบริเวณผิวสัมผัสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PP และ EVOH เมื่อปริมาณ EVOH มากขึ้น ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของผลึก ใน PP และ EVOH ความมีรูพรุนนี้ช่วยในการซึมผ่านของไอน้ำ แต่กลไกหลักของการซึมผ่านไอน้ำ ขึ้นกับความมีขั้วของ EVOH

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ สำหรับพืชผลทางการเกษตรให้มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยเลือกใช้พอลิโพรพิลีน เนื่องจาก โครงสร้างมี $-CH_3$ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า H ทำให้การเคลื่อนของสายโซ่ยากกว่าจึงได้ฟิล์มที่มีความ แข็งแรงดี มีความใส และ มีความรูปที่ดีกว่า LDPE [5] ร่วมกับการใช้ซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติม โดย มีการเพิ่มวัฏภาคที่มีขั้วได้แก่ EMA เพื่อเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของซีโอไลต์ใน PP อัน เนื่องจากความมีขั้วที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยจะทำการผสม PP, EMA และซีโอไลต์เอใน อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ได้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เกรด 1125NA จากบริษัทไทยโพลีเอทิลีน จำกัด
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ PP

สมบัติ	PP	หน่วย
ดัชนีการไหล (Melt flow Index, 230°C /2.16 Kg)	11.2	g/10 min
มอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)	1517	MPa

2. เอทิลีนเมทิลอะคริเลตโคพอลิเมอร์ (Ethylene methyl acrylate copolymer, EMA)
เกรด Elvaloy[®] AC 1224 จากบริษัท ดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ EMA

สมบัติ	EMA	หน่วย
หมู่แทนที่/ปริมาณ ในโคพอลิเมอร์	MA /24.0	%wt
ดัชนีการไหล (190°C /2.16 kg)	2.0	g/10 min
ความหนาแน่น (Density)	0.944	g/cm ³
จุดหลอมเหลว (Melting point)	91	°C

3. ซีโอไลต์เอ (Zeolite A) เกรดการค้า จากบริษัท พีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ Zeolite A

สมบัติ	Zeolite A	หน่วย
ลักษณะ	ผงละเอียด	-
สี	ขาว	-
ความเป็นผลึก	99	%
ความหนาแน่น (Bulk density)	366	g/L
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	2-5 และ < 10 (90%)	µm
ความแข็ง	4-5	Mohs

4. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N₂) จากบริษัทลินเด้ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
5. เอทานอล (Ethanol) เกรดการค้า
6. ซิลีน (Xylene) เกรดการค้า จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer, รุ่น MX500-D75L90; Chareon Tut Co., Ltd.)
2. เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding machine, รุ่น LP 20; Lab tech engineering Co., Ltd.)
3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder, รุ่น Bosco A600; Bosco Engineering Co., Ltd.)
4. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM รุ่น JSM-5410LV; LLOYD Instrument Co., Ltd.)
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM รุ่น EVO[®] MA10; Carl Zeiss Co., Ltd.)
6. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR, รุ่น FTIR; Becthai spectrum Gx; PerkinElmer Co., Ltd.)
7. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC, รุ่น DSC7; PerkinElmer Co., Ltd.)
8. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeation analyzer, รุ่น 7002; Illinois Instrument Co., Ltd.)
9. เครื่องทดสอบมุมสัมผัส (Contact angle system, รุ่น OCA20; Dataphysics Co., Ltd.)
10. เครื่องปั๊มลม (รุ่น BEBICON 400; Hitachi Co., Ltd.)
11. เครื่องชั่งละเอียด
12. ไมโครมิเตอร์
13. คีม
14. ตู้อบลมร้อน
15. กระบอกใส่ไนโตรเจน
16. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
17. อ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner, รุ่น 136H; Densply neytech Co., Ltd.)
18. แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสาร
19. ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตรเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสม โดยทำการผสมดังตารางที่ 3.4 ตารางที่ 3.4 พอลิเมอร์ผสมสูตรทั้งหมดโดยน้ำหนัก

สูตรที่	สูตร	ปริมาณสาร (% โดยน้ำหนัก)	
		PP	EMA
1	PP100MA0	100	-
2	PP90MA10	90	10
3	PP80MA20	80	20
4	PP70MA30	70	30
5	PP60MA40	60	40
6	PP55MA45	55	45
7	PP50MA50	50	50

3.3.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร PP/EMA

ซึ่งส่วนผสมของ PP และ EMA ให้ได้ตามสัดส่วนตามตารางที่ 3.4 เขย่าเพื่อให้เกิดการผสมกันของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด จากนั้นทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

- ปริมาณสารรวม 300 g
- อุณหภูมิ 220°C
- ความเร็วรอบ 60 rpm
- เวลาในการผสม 20 min

จากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ได้มาบดให้เป็นชิ้นเล็กละเอียด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีกดอัดต่อไป

3.3.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร PP/EMA/Zeolite A

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร PP/EMA/Zeolite A ทำได้โดยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/EMA ให้ได้สัดส่วนเป็น 50/50 และให้มีซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่องเช่นเดียวกับการผสมดังข้อ 3.3.1.1 จากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ได้มาบดให้เป็นชิ้นเล็กละเอียด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีกดอัดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมฟิล์ม

3.4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการกดอัด

นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบด ทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการกดอัด โดยกดอัด 2 รอบต่อฟิล์ม 1 แผ่น (เนื่องจากการกดอัดจากเม็ดบดไม่สามารถได้แผ่นฟิล์มที่บางและหนาสม่ำเสมอ) โดยสภาวะของเครื่องกดอัด ดังนี้

การกดอัดครั้งที่ 1 เพื่อขึ้นแผ่นที่มีความหนา 2 mm โดยใช้กรอบโลหะหนา 2 mm ในการควบคุมความหนาให้สม่ำเสมอ

- อุณหภูมิในการกดอัด 220°C
- อุณหภูมิในการหล่อเย็น 14-18°C
- ความดันในการกดอัด 2400 psi
- เวลาในการอุ่นแม่พิมพ์ 7 min
- เวลาในการอุ่นพอลิเมอร์ 10 min
- เวลาในการกดอัด 7 min
- เวลาในการหล่อเย็น 7 min

การกดอัดครั้งที่ 2 เพื่อทำให้แผ่นหนา 2 mm เป็นฟิล์มที่มีความหนา 40-60 μm

- อุณหภูมิในการกดอัด 220°C
- อุณหภูมิในการหล่อเย็น 14-18°C
- ความดันในการกดอัด 2400 psi
- เวลาในการอุ่นแม่พิมพ์ 5 min
- เวลาในการอุ่นพอลิเมอร์ 8 min
- เวลาในการกดอัด 5 min
- เวลาในการหล่อเย็น 5 min

3.5 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

นำแผ่นฟิล์มที่เรียบ มาทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) โดยใช้ Transmission mode ในช่วงเลขคลื่น 400 cm^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 4000 cm^{-1} จากนั้นคำนวณหาอัตราส่วนความเข้มระหว่าง Absorbance ของพีค C=O Stretching ที่ 1739 cm^{-1} กับพีค Absorbance ของ C-H Rocking ที่ 997

3.6 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึกและปริมาณผลึก

ทำการตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิการตกผลึก (T_c) และปริมาณผลึกด้วยเครื่อง DSC โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ครั้งที่อุณหภูมิในช่วง $50 - 220^\circ\text{C}$ ด้วยอัตราการให้ความร้อน ความเย็น 10°C ต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจน (N_2) น้ำหนักตัวอย่าง 5-10 มิลลิกรัม นำข้อมูลที่ได้มาหาค่า T_m , T_c และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP ตามมาตรฐาน ASTM E794 [26] นำค่า Heat of fusion (ΔH_f) มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\Delta H_f \text{ (J/g)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}} \quad (3.1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^\circ} \times \frac{100}{100} \quad (3.2)$$

(% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่มีอยู่จริง)

เมื่อ ΔH_f คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึก

ΔH_f° คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PP ที่มีความเป็นผลึก 100% มีค่า 207 J/g และ ของ EMA (ใช้ค่าของ PE) ที่มีค่าเท่ากับ 293 J/g [27]

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณซีโอไลต์เอในฟิล์ม

ทำการหาปริมาณซีโอไลต์เอที่มีอยู่ในฟิล์ม โดยใช้เครื่อง TGA ซึ่งกำหนดสภาวะที่ทดสอบดังนี้

น้ำหนักของฟิล์มที่ใช้	7-10 mg
อัตราการให้ความร้อน	$20^\circ\text{C}/\text{min}$
อุณหภูมิ	$30-550^\circ\text{C}$
- ภายใต้บรรยากาศ N_2	$30-450^\circ\text{C}$
- ภายใต้บรรยากาศ Air zero	$450-550^\circ\text{C}$

3.8 การศึกษาพื้นฐานวิทยา

3.8.1 การกระจายตัวของ EMA

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด $1 \times 3 \text{ cm}^2$ แล้วนำไปแช่ในโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานเย็น จากนั้นนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างแช่ในขวดรูปชมพู่ที่มีตัวทำละลายไซลีนปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในอ่างอัลตราโซนิกควบคุมอุณหภูมิ 40°C และเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อสกัด EMA ออกจากชิ้นงาน [28] จากนั้นนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบด้วยทองคำแล้วนำพื้นที่ตัดขวางไปทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของ EMA ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

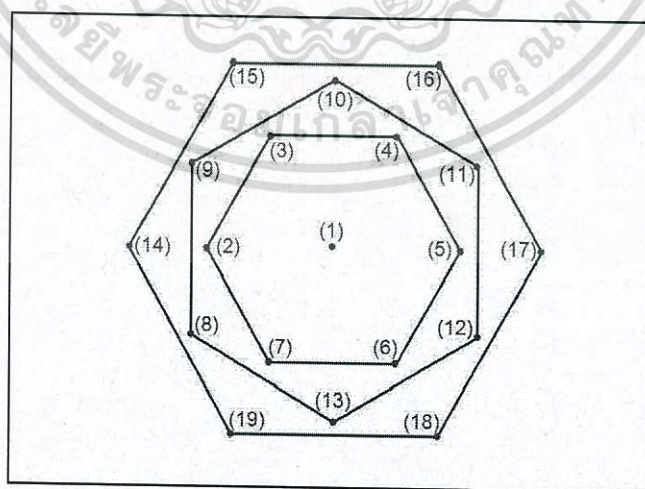
3.8.2 การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ

ศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด $1 \times 3 \text{ cm}^2$ แล้วนำไปแช่ในโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานเย็น จากนั้นเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำพื้นที่ตัดขวางไปทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.9 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

3.9.1 ความหนาของฟิล์ม

วัดความหนาของฟิล์มทุกสูตรที่ขึ้นรูปโดยใช้ไมโครมิเตอร์ ทั้งหมด 19 จุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



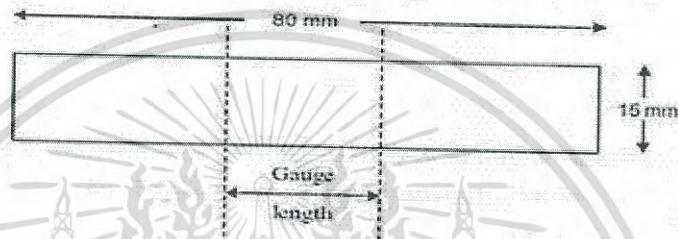
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งสำหรับวัดความหนาของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 สมบัติการรับแรงดึง

การทดสอบการรับแรงดึงเพื่อหาความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่า Young's modulus ตามมาตรฐาน ASTM D882 [29] โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Lode cell) 100 N
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 100 mm/min
- ระยะในการจับชิ้นงาน (Gauge length) 25 mm



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่าง

ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด, ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่า Young's modulus สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break)} = F_{\text{at break}} / A \quad (3.3)$$

$$\text{ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)} = \frac{(l_{\text{at break}} - l_0) \times 100}{l_0} \quad (3.4)$$

$$\text{ค่า Young's modulus} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$F_{\text{at break}}$	= แรงดึงยึดชิ้นงาน ณ จุดขาด
	A	= พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)
	$l_{\text{at break}}$	= ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด
	l_0	= ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length) เท่ากับ 25 mm

หมายเหตุ ค่ายังมอดูลัสคำนวณที่ความเครียด 0.5 และ 0.9%

3.10 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

ส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เพื่อทำการหาปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากฟิล์มด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อพื้นที่ของฟิล์มพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ ที่อุณหภูมิ 38°C ความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ 90% โดยวิธี Transfer time method โดยใช้เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ตัดชิ้นงานฟิล์มให้มีขนาด $6 \times 6 \text{ cm}^2$ ตามมาตรฐาน ASTM F 1249 [30]

3.11 การทดสอบมุมสัมผัส

นำพอลิเมอร์ผสมมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดโดยใช้แม่พิมพ์ขนาด $40 \times 40 \times 6 \text{ mm}^3$ และใช้สภาวะในเครื่องกดอัดดังนี้

- อุณหภูมิในการกดอัด 220°C
- อุณหภูมิในการหล่อเย็น $14-18^\circ\text{C}$
- ความดันในการกดอัด 2400 psi
- เวลาในการอุ่นแม่พิมพ์ 7 min
- เวลาในการอุ่นพอลิเมอร์ 7 min
- เวลาในการกดอัด 15 min
- เวลาในการหล่อเย็น 15 min

จากนั้นทำการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบบริเวณพื้นที่ผิวตัดขวางของชิ้นงาน ใช้ปริมาณหยดน้ำ $2 \mu\text{L}$ ทำการบันทึกค่ามุมสัมผัสเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที วัดมุมที่หยดน้ำกระทำกับผิววัสดุด้วยเครื่อง Contact angle system ตามมาตรฐาน ASTM D5946 [31]

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยเอทิลีนเมทิลอะคริเลตโคพอลิเมอร์ (EMA) โดยมีซีโอโลต์เอเป็นสารตัวเติม เพื่องานบรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตสดทางการเกษตร โดยศึกษาอัตราส่วนผสมพอลิเมอร์ผสม PP/EMA และศึกษาผลของการเติมซีโอโลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก โดยผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ PP/EMA

การศึกษาค่าผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ PP/EMA ที่มีต่อฟิล์มที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการกดอัด โดยควบคุมฟิล์มให้มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 40-60 μm แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สูตรพอลิเมอร์ผสม PP/EMA และความหนาฟิล์ม

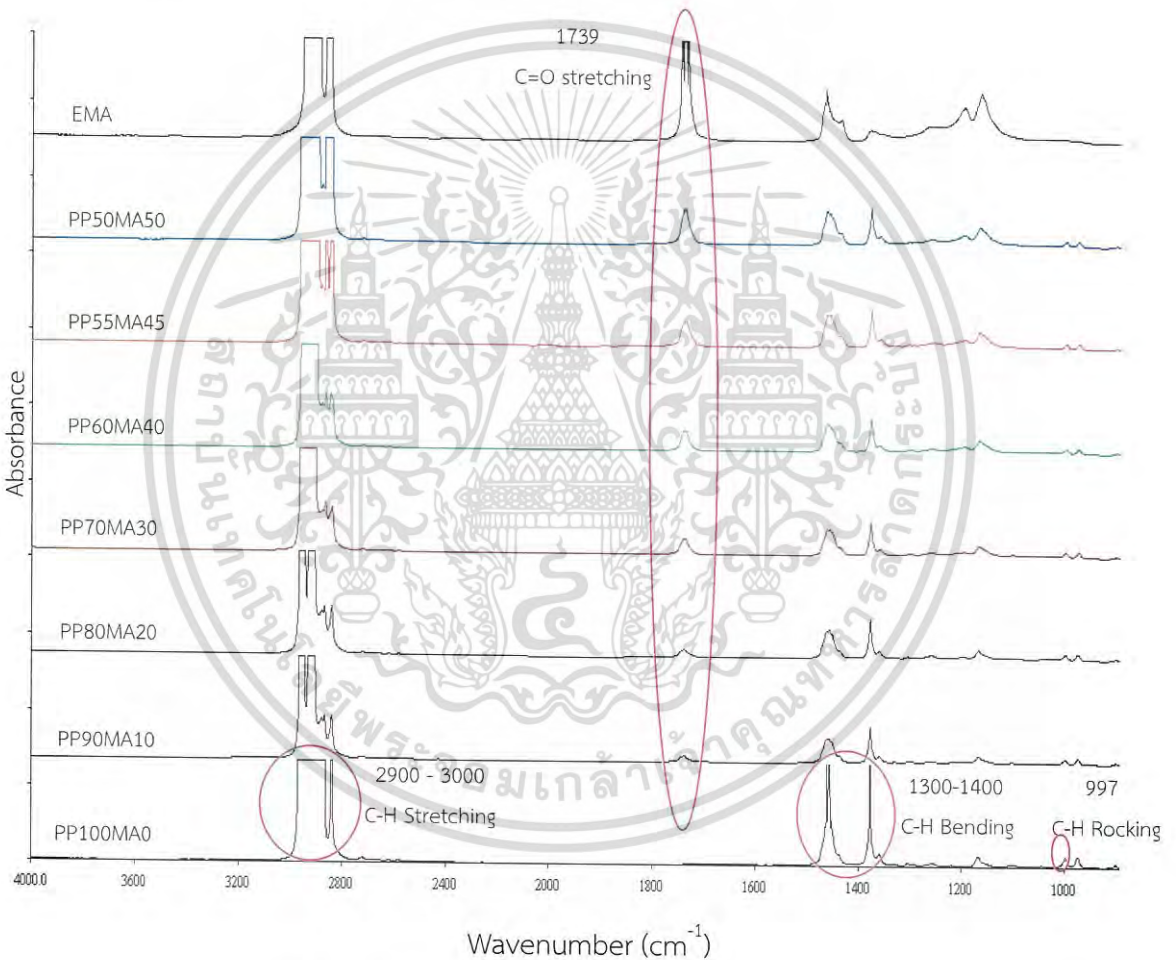
สูตร	อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมโดยน้ำหนัก		ความหนาเฉลี่ย (μm)
	PP	EMA	
PP100MA0	100	0	60 \pm 3
PP90MA10	90	10	55 \pm 3
PP80MA20	80	20	50 \pm 2
PP70MA30	70	30	45 \pm 3
PP60MA40	60	40	45 \pm 3
PP55MA45	55	45	40 \pm 3
PP50MA50	50	50	40 \pm 2

4.1.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในฟิล์ม PP/EMA

การตรวจสอบปริมาณหมู่ฟังก์ชันในฟิล์ม PP/EMA ที่เตรียมผ่านกระบวนการผสม และขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้ว ทำโดยใช้เทคนิค FTIR จากรูปที่ 4.1 แสดง FTIR Spectra ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ และ EMA โดย FTIR Spectrum ของฟิล์ม PP (PP100MA0) พบว่าปรากฏพีดที่สำคัญคือ C-H Stretching ในช่วง 2900-3000 cm^{-1} C-H Bending ในช่วง 1300-1400 cm^{-1} และ C-H Rocking ที่ 997 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีดที่แสดงองค์ประกอบของ PP ส่วน FTIR Spectra ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่มีการเติม EMA พบว่าปรากฏพีด

C=O Stretching ที่ 1739 cm^{-1} เพิ่มเข้ามา ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ EMA และพีดดังกล่าวมีความเข้มของการดูดกลืนมากขึ้นตามปริมาณของ EMA ที่สูงขึ้น

อย่างไรก็ตามสังเกตเห็นว่า พีด C-H Stretching จาก FTIR Spectra ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ เป็นพีดหัวตัด เช่นเดียวกับพีด C=O Stretching ของ EMA ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปมีความหนาสูงทำให้องค์ประกอบที่มีอยู่มาก คือ C-H ใน PP และ EMA และ C=O ใน EMA มีความเข้มของพีดสูง ซึ่งคาดว่าหากขึ้นรูปฟิล์มให้บางลงจะทำให้ความเข้มของพีดทั้งสองลดลง แต่จะทำให้พีด C=O Stretching ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความเข้มลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้สังเกตเห็นพีดค่อนข้างยาก และส่งผลต่อความแม่นยำในการหาค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl index, CI)



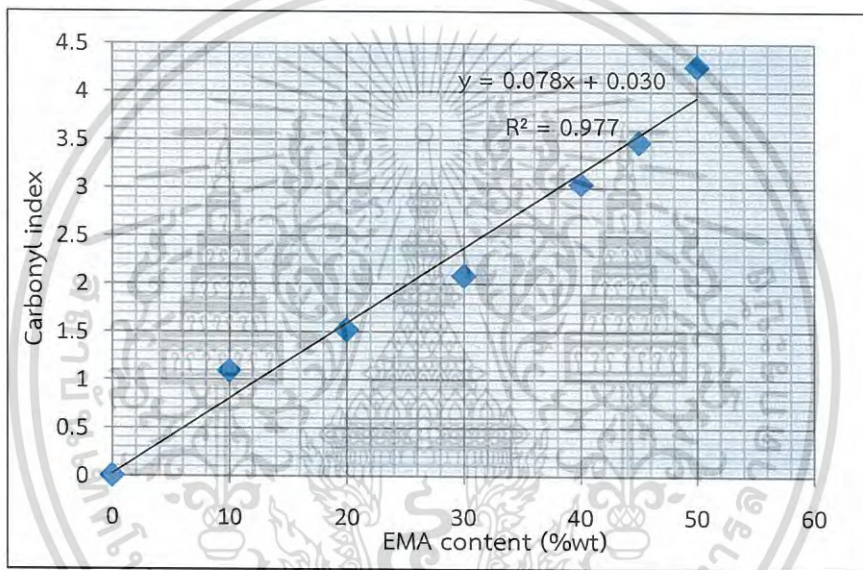
รูปที่ 4.1 FTIR Spectra ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ และ EMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในฟิล์มแต่ละสูตร โดยใช้การคำนวณหาจากค่าดัชนีคาร์บอนิล แสดงดังสมการที่ 4.1

$$\text{ดัชนีคาร์บอนิล} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C=O Stretching ที่ } 1739 \text{ cm}^{-1}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H Rocking ที่ } 997 \text{ cm}^{-1}} \quad (4.1)$$

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์ม PP/EMA พบว่าเมื่อปริมาณของ EMA มากขึ้น ค่าดัชนีคาร์บอนิลเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามปริมาณของ EMA ที่ต้องการในแต่ละสูตรที่ผสมลงไป



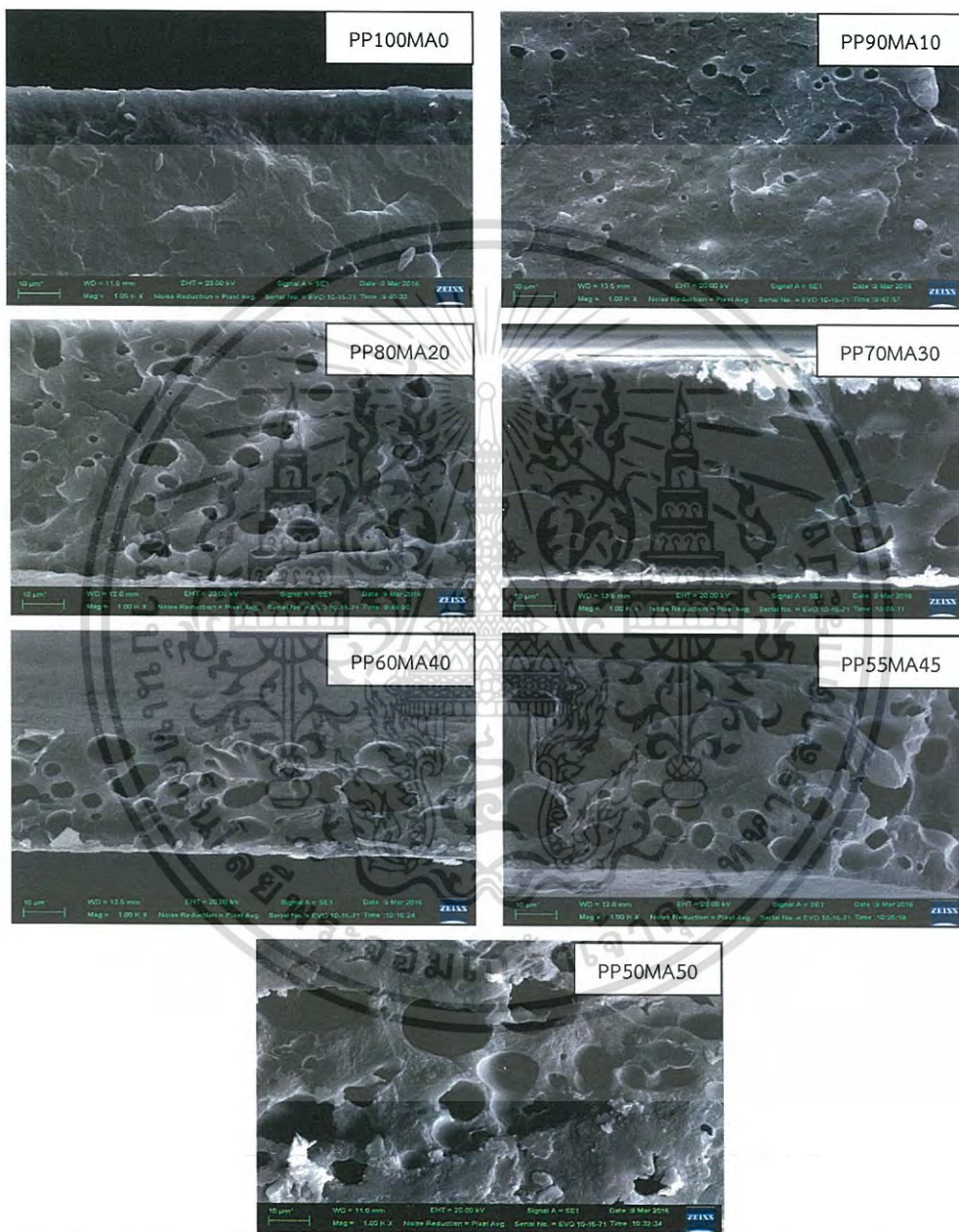
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงดัชนีคาร์บอนิล กับปริมาณ EMA ในฟิล์ม PP/EMA

4.1.2 การศึกษาการกระจายตัวของ EMA ในฟิล์ม PP/EMA

จากการศึกษาการกระจายตัวของ EMA โดยการสกัดวัฏภาคของ EMA ออกจากชิ้นงานด้วย Xylene ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจวิเคราะห์โดยเทคนิค SEM ผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4.3 พบว่าฟิล์ม PP ที่ผ่านการสกัดยังคงเป็นฟิล์มเนื้อแน่นไม่เกิดช่องว่างขึ้น แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย ณ สภาวะดังกล่าวไม่สามารถละลาย PP ส่วนในฟิล์มสูตรที่มีการเติม EMA พบว่าเกิดเป็นช่องว่างเนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดการสกัดวัฏภาคของ EMA ออก และในสูตรที่มีการเพิ่มปริมาณของ EMA มากขึ้น แสดงว่าวัฏภาค EMA มีการกระจายที่ดี (Good distribution) ในวัฏภาคต่อเนื้อของ PP แต่ EMA ไม่แตกออกเป็นขนาดเล็ก นั่นคือมีการกระจายตัวที่ไม่ดี (Poor dispersion) เมื่อปริมาณ EMA เพิ่มขึ้น เห็นได้จากการมีช่องว่างที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาค่า Solubility parameter ของ PP [32] และ EMA [33] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.2 และ 9.7 (cal/cm³)^{1/2} ตามลำดับ พบว่าทั้งสองวัสดุภาคมีค่าต่างกันมาก เนื่องจากโครงสร้างของ PP ซึ่งมีความแตกต่างกับ EMA คือความแข็งที่มากกว่า และมีขั้วที่ต่ำกว่า EMA ทำให้การผสมเข้ากัน Distribution และ Dispersion ของ EMA เกิดได้ไม่ดี

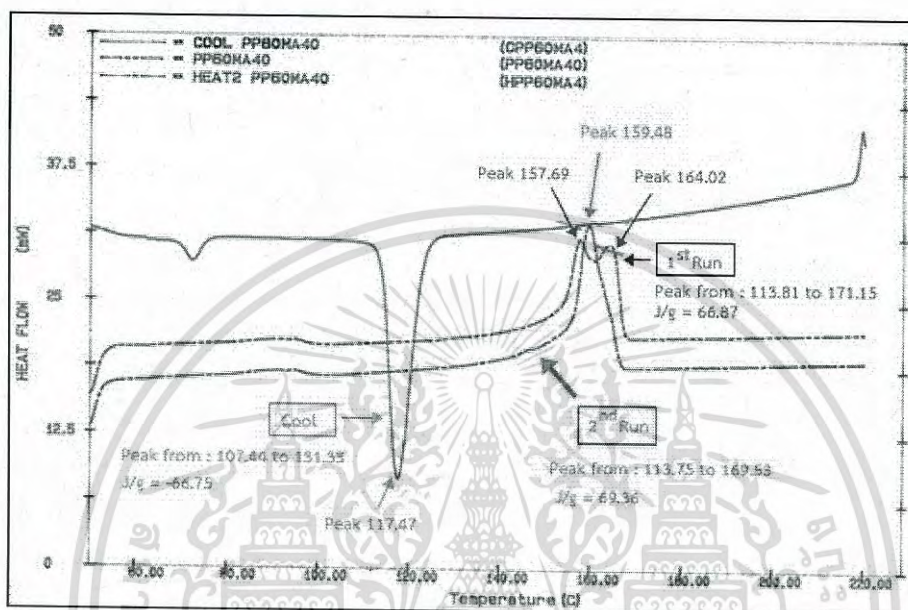


รูปที่ 4.3 ภาพ SEM พื้นที่เกิดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการสกัดวัสดุภาคของ EMA ออก (กำลังขยาย 1000 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึก

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค DSC โดยพบว่า เทอร์โมแกรมของฟิล์มพอลิเมอร์ทุกสูตร (ภาคผนวก ก) มี T_m ของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม 2 ค่า ตัวอย่าง DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP60MA40 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP60MA40

จากรูปที่ 4.4 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP60MA40 ในการตรวจสอบครั้งที่ 1 (First run) พบพิกัด T_m ของ PP 2 ค่า ได้แก่ ที่ 157°C และ 164°C แสดงว่า PP มีความหลากหลายของขนาดผลึกที่ชัดเจน [34] โดยรายงาน ค่า T_m ที่ตำแหน่งอุณหภูมิสูงกว่า ในตารางที่ 4.2

ในการตรวจสอบครั้งที่ 2 (Second run) ปรากฏพิกัด T_m ของ PP เพียง 1 ค่า ซึ่งคาดว่า การควบคุมอัตราการเย็นตัวในเครื่อง DSC ที่คงที่ จึงทำให้ได้ขนาดผลึกของ PP ที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ความร้อนในการหลอมผลึก (Heat of fusion) ทั้งการตรวจสอบครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีการกดอัด ไม่ได้เหนี่ยวนำให้เกิดการจัดเรียงตัวของผลึกเพิ่มขึ้น

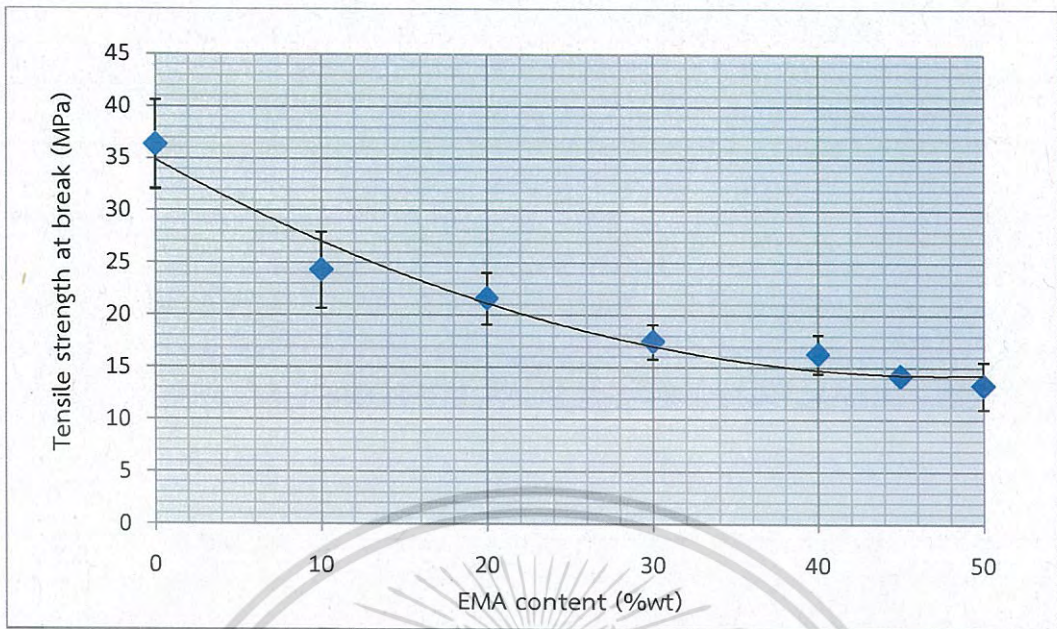
ตารางที่ 4.2 T_m และ T_c และความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

สูตร	T_m ของ PP ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ของ PP ($^{\circ}\text{C}$)	X_c ของ PP (%)
PP100MA0	160	119	50
PP90MA10	163	117	54
PP80MA20	164	116	50
PP70MA30	163	118	57
PP60MA40	164	117	54
PP55MA45	164	118	45
PP50MA50	164	117	53

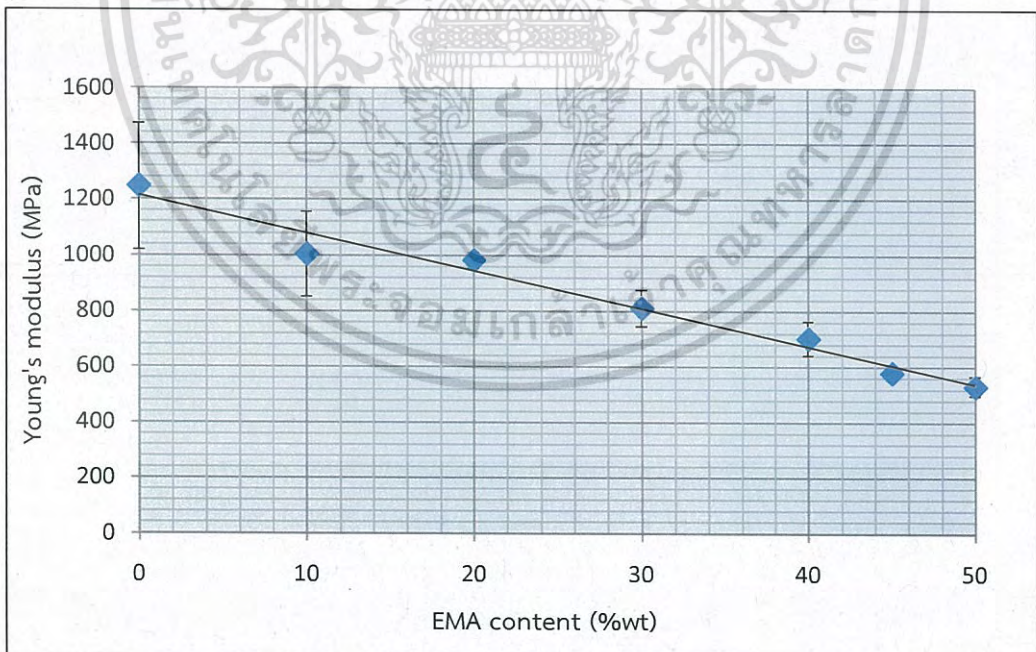
จากตารางที่ 4.2 ฟิล์ม PP (PP100MA0) มี T_m ที่ 160°C , T_c ที่ 119°C และมีร้อยละการเกิดผลึกเป็น 50 เมื่อเพิ่มปริมาณของ EMA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม เป็น 10-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยังคงปรากฏที่ T_m และ T_c ของ PP ที่ตำแหน่งใกล้เคียงที่เดิม ($160-164^{\circ}\text{C}$) และมีร้อยละการเกิดผลึกของ PP ที่ใกล้เคียงกับฟิล์ม PP (PP100MA0) ในส่วนของ EMA พบ T_m ที่ 75°C , T_c ที่ 70°C และ ร้อยละการเกิดผลึกเป็น 15 แต่เมื่ออยู่ในระบบพอลิเมอร์ผสม T_m ของ EMA สังเกตเห็นได้ค่อนข้างยาก ดังปรากฏในภาคผนวก ก. ทั้งนี้เนื่องจาก EMA เป็นวัฏภาคกระจาย ขาดความต่อเนื่องในระบบ ทำให้มีโอกาสในการเกิดผลึกได้น้อยมาก และเนื่องจากในระบบพอลิเมอร์ผสม PP และ EMA มีความเข้ากันได้ต่ำ EMA จึงไม่รบกวนการเกิดผลึกของ PP

4.1.4 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP/EMA พบว่า PP มีความสามารถในการรับแรงได้มาก ทั้งนี้เนื่องจาก PP เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก มีร้อยละการเกิดผลึกสูงถึง 50 มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบมีโครงสร้างที่เคลื่อนที่ยากขึ้นจากการมีหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) เป็นหมู่ข้างเคียง และเมื่อเพิ่มปริมาณ EMA พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PP/EMA มีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และ ยังมอดูลัสลดลง เนื่องจาก EMA เป็นโคพอลิเมอร์ที่มีความเป็นอสัณฐานสูง เมื่ออยู่ในพอลิเมอร์ผสม EMA ไม่สามารถเกิดผลึกได้หรือเกิดได้น้อยมาก (จากหัวข้อที่ 4.1.3) จึงมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง ทำให้ความสามารถในการรับแรงก่อนเกิดการเสียหายของ PP/EMA น้อยกว่า PP ในขณะเดียวกัน ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (อยู่ในช่วง 4-8%) เนื่องจากแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคของ PP ที่ไม่มีขั้ว และ EMA ที่มีขั้ว ไม้ดี ความสามารถในการเข้ากันได้ของ PP และ EMA ต่ำ สังเกตได้จากผลการกระจายตัวของ EMA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค SEM (รูปที่ 4.3)

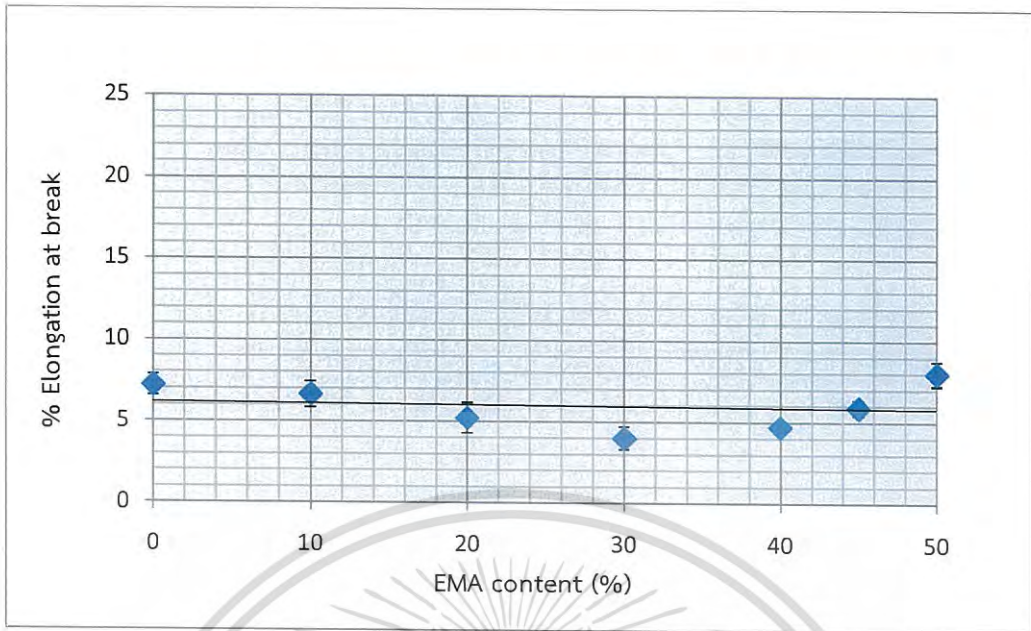


(a) ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของฟิล์ม PP/EMA



(b) ย้ังมอดูลัสของฟิล์ม PP/EMA

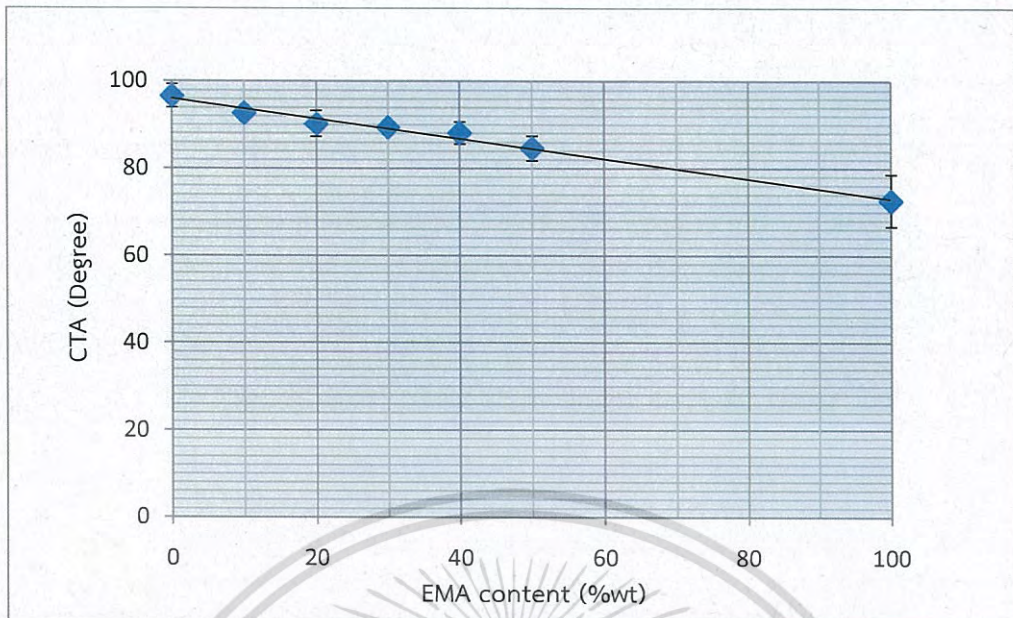
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของฟิล์ม PP/EMA
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP/EMA

4.1.5 การทดสอบวัดมุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสม PP/EMA

การวัดมุมสัมผัสเป็นการทดสอบเพื่อหาความมีขี้ของพอลิเมอร์ผสมทางอ้อม โดยทำการวัดมุมสัมผัสระหว่างน้ำกับพื้นที่ตัดขวางของชิ้นงาน ซึ่งหากค่ามุมสัมผัสที่ได้มีค่าต่ำแสดงว่าชิ้นงานมีความสามารถในการเปียกหรือความชอบน้ำที่สูงกว่าชิ้นงานที่มีค่ามุมสัมผัสสูง ผลการทดสอบการวัดมุมสัมผัสของน้ำกับพื้นที่ตัดขวางของชิ้นงานสูตรต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าชิ้นงานสูตรที่มีการเติม EMA มีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่า PP และเมื่อเพิ่มปริมาณ EMA มากขึ้น ค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงในเชิงเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าดัชนีคาร์บอนิลที่มีค่าเพิ่มขึ้นในเชิงเส้นตรงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเติม EMA ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน C=O ที่มีขี้ทำให้ชิ้นงานสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำ หรือมีความชอบน้ำมากกว่า PP ซึ่งไม่มีขี้ และการเพิ่มปริมาณของ EMA มากขึ้นทำให้ความมีขี้ของพอลิเมอร์ผสมสูงขึ้น มีความสามารถในการเปียกและความชอบน้ำจึงมากขึ้นด้วย

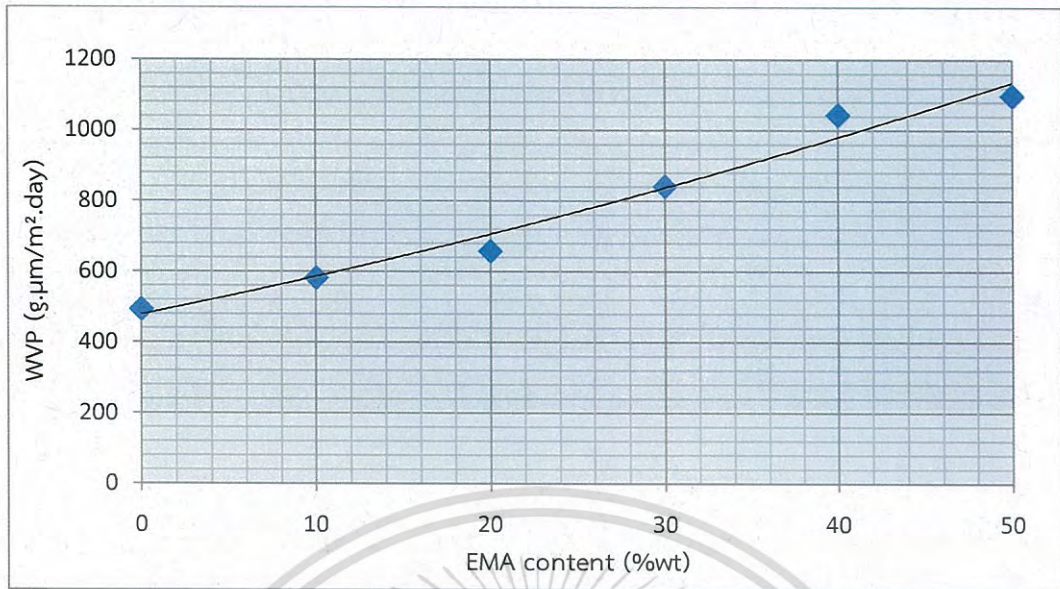


รูปที่ 4.6 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสูตรต่าง ๆ

4.1.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PP/EMA

จากการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม โดยใช้เครื่องทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ ภายใต้อุณหภูมิ 38°C ความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ 90% ซึ่งผลการทดสอบนี้ได้รายงานเป็นค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeation, WVP) เพื่อแก้ไขปัญหาในเรื่องความหนาที่ไม่เท่ากันของฟิล์มซึ่งส่งผลกับการซึมผ่านไอน้ำ

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตรต่าง ๆ พบว่าฟิล์มสูตรที่มีการเติม EMA มีค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์ม PP (PP100MA0) เนื่องจากการเติม EMA เพิ่มความเป็นอสัณฐานในพอลิเมอร์ผสม (อภิปรายในหัวข้อที่ 4.1.3) และเพิ่มความมีขั้ว ยืนยันจากผลการทดสอบมุมสัมผัสในหัวข้อที่ 4.1.5 จึงทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการเปียก และชอบน้ำมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ EMA มากขึ้น ทำให้ค่าความสามารถการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีส่วนที่เป็นอสัณฐานและขั้วสูงขึ้น



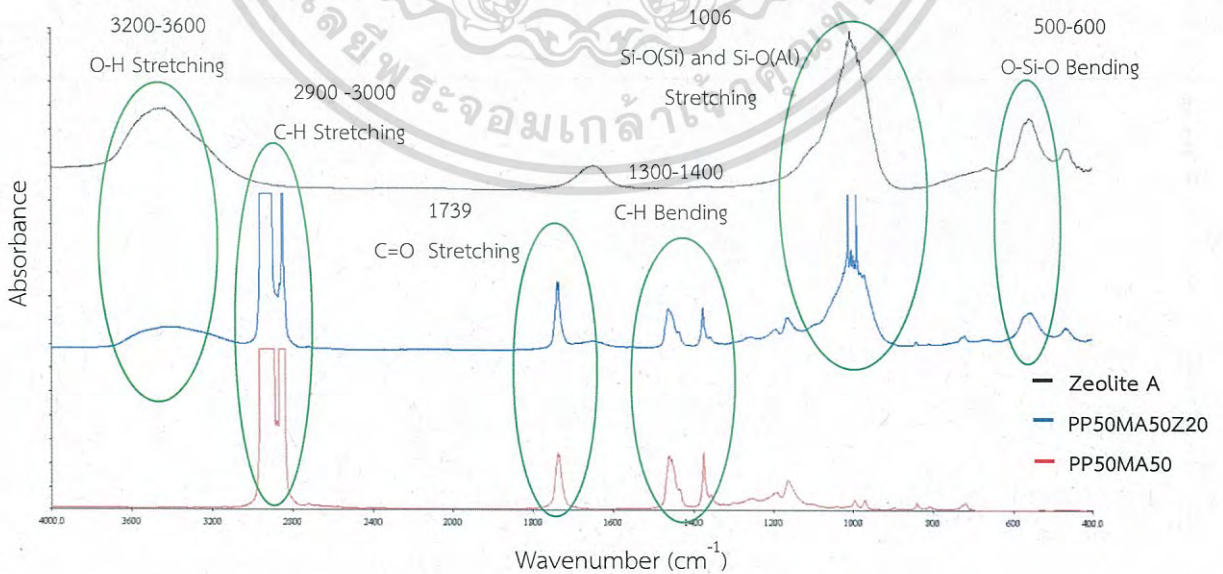
รูปที่ 4.7 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

4.2 การศึกษาผลของการมีซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก ในฟิล์ม PP50MA50

การศึกษาผลของการมีซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ เลือกฟิล์มสูตร PP50MA50 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีปริมาณของ EMA มาก

4.2.1 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม PP/EMA/Zeolite A

การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม PP/EMA/Zeolite A ที่เตรียมผ่านกระบวนการผสม และขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้ว ทำโดยใช้เทคนิค FTIR ซึ่งฟิล์มที่เตรียมได้มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 50 µm



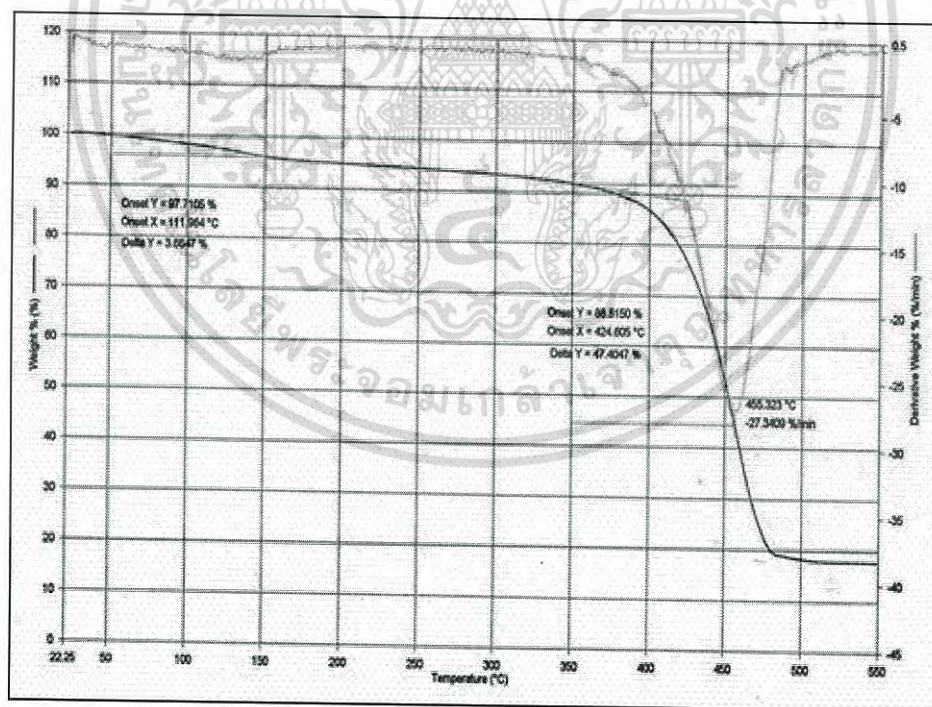
รูปที่ 4.8 FTIR Spectra ของ Zeolite A, ฟิล์มสูตร PP50MA50Z20 และ PP50MA50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ตรวจสอบพบสเปกตรัมที่ได้แสดงสัญญาณหมู่ฟังก์ชันของทุกองค์ประกอบที่อยู่ในฟิล์มสูตร PP50MA50Z20 คือ พบ C-H Stretching ในช่วง $2900-3000\text{ cm}^{-1}$ และ C-H Bending ในช่วง $1300-1400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ PP และ EMA พบ C=O Stretching ที่ 1739 cm^{-1} ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ EMA และพบ Si-O(Si), Si-O(Al) Stretching ที่ 1006 cm^{-1} กับ O-Si-O Bending ที่ $500-600\text{ cm}^{-1}$ [35] ซึ่งเป็นองค์ประกอบของซีโอไลต์เอ พบ O-H Stretching ในช่วง $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ จากน้ำที่ติดอยู่กับโครงสร้างของซีโอไลต์เอ [36]

4.2.2 การตรวจสอบปริมาณของซีโอไลต์เอในสูตรพอลิเมอร์ผสม

การตรวจสอบปริมาณซีโอไลต์เอในพอลิเมอร์ผสม โดยเทคนิค TGA ในบรรยากาศ N_2 ที่อุณหภูมิ $30-450^\circ\text{C}$ และในบรรยากาศ Air Zero ที่อุณหภูมิ $450-550^\circ\text{C}$ พบว่าฟิล์ม PP50MA50Z20 มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ $50-150^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นการสลายตัวของน้ำที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของซีโอไลต์เอ คิดเป็น 3.6% และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ $350-450^\circ\text{C}$ เป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ PP และ EMA ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน คิดเป็น 78.7% และพบว่ามีปริมาณของเหลือเท่ากับ 17.7% ซึ่งเป็นของซีโอไลต์เอที่ปราศจากน้ำในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณซีโอไลต์เอที่ใส่เข้าไปในการเตรียมสูตรผสม (คือ 20%) เพราะเป็นซีโอไลต์เอที่มีน้ำถูกดูดซับอยู่ในโครงสร้าง

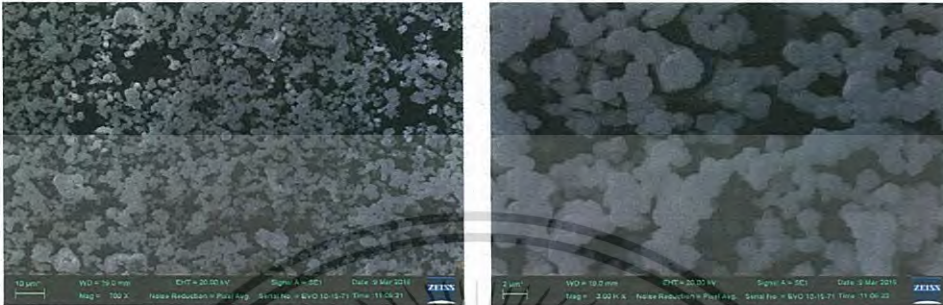


รูปที่ 4.9 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50Z20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์ม PP50MA50Z20

รูปที่ 4.10 แสดงอนุภาคของซีโอไลต์เอจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 700 และ 3000 เท่า พบว่าซีโอไลต์เอมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และมีขนาดประมาณ 2 μm และอยู่ในลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน



(a) กำลังขยาย 700 เท่า

(b) กำลังขยาย 3000 เท่า

รูปที่ 4.10 ภาพ SEM อนุภาคซีโอไลต์เอ



(a) ก่อนสกัด EMA

(b) หลังสกัด EMA

รูปที่ 4.11 ภาพ SEM พื้นที่ตัดขวางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตร PP50MA50Z20 (กำลังขยาย 1000 เท่า)

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์มสูตร PP50MA50Z20 ที่มีการเติมซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก รูปที่ 4.11 (a) แสดงภาพ SEM พื้นที่ตัดขวางของฟิล์มที่ไม่ผ่านการสกัดตัวภาคของ EMA ออก พบว่าซีโอไลต์เอมีการกระจายทั่วบริเวณ และส่วนใหญ่กระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยวที่มีลักษณะและขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับใน รูปที่ 4.10

รูปที่ 4.11 (b) แสดงภาพ SEM พื้นที่ตัดขวางของฟิล์มที่ผ่านการสกัดตัวภาคของ EMA ออกโดยใช้ Xylene โดยช่องว่างที่เกิดขึ้นในฟิล์มเป็นบริเวณที่ EMA ถูกสกัดออกไป พบว่าเมื่อสกัด EMA ออก ปริมาณซีโอไลต์เอที่เหลืออยู่ในรูปมีปริมาณน้อยลงและซีโอไลต์เอที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่อยู่ในช่องว่าง จึงสามารถยืนยันได้ว่าซีโอไลต์เอชอบอยู่กับตัวภาคของ EMA มากกว่าตัวภาคต่อเนื่องของ PP ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากโครงสร้างของ EMA มีส่วนที่มีขั้วจึงสามารถเข้ากันกับซีโอไลต์เอซึ่งมีขั้วสูงได้ดี และช่วยให้เกิดการกระจายตัวของซีโอไลต์เอที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึกของฟิล์ม PP50MA50Z20

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม PP50MA50Z20 ด้วยเทคนิค DSC แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 พบว่าฟิล์ม PP50MA50Z20 มี T_m และ T_c ของ PP ใกล้เคียงกันกับฟิล์ม PP (PP100MA0) และฟิล์ม PP50MA50 แสดงว่าซีไอโอดีเอไม่รบกวนการเกิดผลึกของ PP เนื่องจากซีไอโอดีเอส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ EMA ทำให้มีความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์ม PP50MA50Z20 ใกล้เคียงกับฟิล์ม PP (PP100MA0) และฟิล์ม PP50MA50

ตารางที่ 4.3 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีไอโอดีเอ

สูตร	T_m ของ PP ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ของ PP ($^{\circ}\text{C}$)	X_c ของ PP (%)
PP100MA0	160	119	50
PP50MA50	164	117	53
PP50MA50Z20	165	116	47

4.2.5 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม PP50MA50Z20

จากผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม พบว่าฟิล์ม PP50MA50Z20 มีความแข็งแรงดึงยังมอดุลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์ม PP50MA50 เนื่องจากฟิล์มทั้งสองมีความเป็นผลึกของ PP ใกล้เคียงกันและ แรงยึดติดระหว่างวัฏภาคของ PP และ EMA ต่ำ อันเนื่องจากข้อที่แตกต่างกัน ซึ่งซีไอโอดีเอส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ EMA ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลใด ๆ ของฟิล์ม PP50MA50Z20

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีไอโอดีเอ

สูตร	ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)	ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	ยังมอดุลัส (MPa)
PP100MA0	36.3±4.3	7.2±0.7	1247±226
PP50MA50	13.3±1.2	8.0±0.7	532±34
PP50MA50Z20	12.5±0.4	8.5±0.9	493±33

4.2.6 การทดสอบมุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีซีไอโอดีเอ

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์ผสมสูตร PP50MA50Z20 ที่มีการเติมซีไอโอดีเอ 20% โดยน้ำหนักกับสูตร PP50MA50 ที่ไม่มีการเติมซีไอโอดีเอ พบว่าพอลิเมอร์ผสมสูตรที่มีการเติมซีไอโอดีเอมีค่ามุมสัมผัสต่ำกว่าสูตรที่ไม่มีการเติมซีไอโอดีเอ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมซีไอโอดีเอ

เอทีมีซีวสูงเข้าไปทำให้ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างน้ำกับพอลิเมอร์ผสมสูตรที่มีซีไอไลต์เอ ดีขึ้นความสามารถในการเปียกมากขึ้น ค่ามุมสัมผัสจึงมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.5 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมที่มีและไม่มีการเติมซีไอไลต์เอ

สูตร	ค่ามุมสัมผัส (องศา)
PP100MA0	96.6±2.7
PP50MA50	85.3±2.4
PP50MA50Z20	81.8±2.8

4.2.7 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PP50EMA50Z20

จากตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์ม PP50MA50Z20 มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากที่สุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากฟิล์ม PP100MA0 ถึง 164% และจากฟิล์ม PP50MA50 19% เป็นผลมาจากการมีอยู่ของ EMA ซึ่งเป็นอสัณฐานที่มีซีว ร่วมกับการมีซีไอไลต์เอที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน และมีซีวสูง ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างฟิล์มกับไอน้ำได้ดีขึ้น เพราะมีความสามารถในการเปียกมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสที่ลดลง ปรากฏในหัวข้อที่ 4.2.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีและไม่มีการเติมซีไอไลต์เอ

สูตร	ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (g.µm/m ² .day)
PP100MA0	493
PP50MA50	1099
PP50MA50Z20	1303

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิโพรพิลีน (PP) เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ สำหรับนำมาใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้สด ซึ่งในงานวิจัยได้มีการนำเอาเอทิลีนเมทิลอะคริเลตโคพอลิเมอร์ (EMA) เข้ามาผสมกับ PP เพื่อเพิ่มความเป็นออสัญฐานที่มีขั้วให้กับฟิล์ม และมีการเติมสารตัวเติมคือซีโอไลต์เอซึ่งมีขั้วสูงและมีรูพรุนเข้าไป เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม จากการทดสอบสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

การศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PP/EMA (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 55/45 และ 50/50) พบว่าการเพิ่มปริมาณ EMA ทำให้วัฏภาคของ EMA แยกตัวและกระจายตัวไม่ดีในวัฏภาคต่อเนื่องของ PP ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสองวัฏภาคมีความเข้ากันได้ต่ำ EMA จึงไม่รบกวนการเกิดผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ทำให้ได้อุณหภูมิการหลอมผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์ม PP (PP100MA0) ในด้านของสมบัติเชิงกล การเพิ่มปริมาณ EMA ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึงและค่า Young's Modulus ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์ม PP เนื่องจาก EMA มีโครงสร้างที่มีความเป็นออสัญฐานสูงและยืดหยุ่นคล้ายยาง ทำให้มีความสามารถในการรับแรงน้อยกว่า PP ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้นเมื่อมีการเติม EMA ซึ่งเป็นวัฏภาคออสัญฐานที่มีขั้วในปริมาณมากขึ้น ให้ผลที่สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสที่มีค่าลดลง

การศึกษาผลของการมีอยู่ของซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก (PP50MA50Z20) พบว่าซีโอไลต์เอส่วนใหญ่มีการแยกตัวและกระจายตัวที่ดีอยู่ในวัฏภาคของ EMA ซึ่งเป็นวัฏภาคที่มีขั้ว ทำให้อุณหภูมิการหลอมผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP ในฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอไลต์เอ (PP50MA50Z20) มีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ (PP50MA50) นอกจากนี้การที่ซีโอไลต์เอกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ EMA ยังทำให้ค่าความแข็งแรงดึง, Young's Modulus และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของ PP50MA50Z20 มีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์ม PP50MA50 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีซีโอไลต์เอซึ่งสอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสที่ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การผสมพอลิเมอร์สูตร PP/EMA ควรมีการปรับความเร็วรอบให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของ EMA ในวัฏภาคต่อเนื่อง PP

2. อาจใช้สารช่วยผสม เช่น พอลิโพรพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิกแอนไฮดราต (PP-g-MA) เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ของ PP กับ EMA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เว็บไซต์รวบรวมผลงานวิจัยที่มีศักยภาพสูงจากฝีมือนักวิจัยไทย. 2558. บรรณจุภัณฑ์พลาสติก
ชีวภาพสำหรับยืดอายุผักและผลไม้.[Online]. Available :
<http://research2biz.com/PSD43211>.
- [2] เนตรนภา ลามอ และเบญจวรรณ ตานนท์. 2548. “สมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของ
ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์
โซเดียมเอ.” โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] นันทวรรณ ม่วงมี. 2554. “การปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแอลดีพีอีด้วยอีวีเอและ
ซีโอไลต์เอ.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] จูตินันท์ ศิริจันทน์. 2557. “สมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมแอลดีพีอี/อีเอ็มเอ/ซีโอไลต์เอ เพื่อ
ใช้งานบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. กรุงเทพฯ : เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์.
- [6] จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพานนท์. 2558. การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลัง
การเก็บเกี่ยว. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>.
- [8] Pantastico, E.B. 1975. Postharvest Physiology Handling and Utilization of
Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. Westport CT : The AVI
Publishing Company.
- [9] จิรา ณ หนองคาย. 2534. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและดอกไม้. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์แมสเวลล์ลิซซิง.
- [10] Li, C. Kong, Q. Zhao, J. Zhao, D. Fan, Q. and Xia, Y. 2004. “Crystallization of
Partially Miscible Linear Low-Density Polyethylene/Poly(Ethylene-Co-
Vinyl Acetate) Blends.” *Material Letter*. 58 : 3613-3617.
- [11] สายชล เกตุษา. 2528. สรีวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและ
อบรมแห่งชาติ.
- [12] รุ่งนภา วิสิษฐอุดการ. 2540. เอกสารประกอบการสอนการประเมินอายุการเก็บรักษาของ
อาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- [13] ดนัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2535. **ปฏิบัติการภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [14] Zagory, D. and Kader, A.A. 1988. "Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce." *Food Technology*. 42 : 70-77.
- [15] Paine, F.A. and Paine, H.Y. 1992. **A Handbook of Food Packaging**. Glasgow : Chapman&Hall.
- [16] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2558. **นวัตกรรมยืดอายุผักผลไม้**. [Online]. Available:
<https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/84>.
- [17] Freedom Bellejoyes. 2558. **Polypropylene**. [Online]. Available :
<http://arceehchan-freedom.blogspot.com/2012/10/polypropylene.html>.
- [18] Staff of Modern Plastics Magazine. 1994. **Plastics Handbook**. New York : McGraw-Hill.
- [19] Dupont. 2558. **Elvaloy® AC resins** [Online]. Available :
<https://www.dupont.com>.
- [20] ตะวัน สุขน้อย. 2550. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาชีโพลีเอสเตอร์และสารประกอบที่มีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [21] Gates, B.C. 2011. **Catalytic Chemistry**. [Online]. Available :
http://www.Chemistry.ohio-state.ed/woodward/chem_754.htm.
- [22] Marais, S. Bureau, E. Gouanve, F. Salem, E.B. Hirata, Y. Andrio, A. Cabot, C. and Atmani, H. 2004. "Transport or Water And Gases through EVA/PVC Blend Film- Permeation And DSC Investigation." *Journal of Polymer Testing*. 23 : 475- 486.
- [23] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2558. **พอลิเมอร์เบลนด์**. [Online]. Available :
archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2554/chem20954sg_ch1.pdf.2558.
- [24] สมศักดิ์ วงมงคลชัย. 2547. **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ : บั๊คเน็ต.
- [25] Lasagaba' ster, A. Barral, L. Ares A, and Bouza, R. 2009. "Application of FTIR Spectroscopy to Determine Transport Properties and Water- Polymer Interactions in Polypropylene (PP)/Poly(Ethylene-Co-Vinyl Alcohol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (EVOH) Blend Films: Effect of Poly(Ethylene-Co-Vinyl Alcohol) Content And Water Activity.” *Polymer* 50 : 2981-2989.
- [26] American Standard for Testing and Materials. 2006. **Standard Test Method for Melting And Crystallization Temperatures by Thermal Analysis.** ASTM E794. Annual Book of ASTM Standard 14.02., Philadelphia.
- [27] Brand Rawlings. 2558. **Heats of fusion of 100% crystalline polymer.** [Online]. Available :
<http://willson.cm.utexas.edu/.../Crystallinity%20in%20Polymers>.
- [28] Faker, M. Razavi, M.K.A. Ghaffari, M. and Seyyedi, S.A. 2008. “Rheology, Morphology And Mechanical Properties of Polyethylene/Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (PE/EVA) Blends.” *European Polymer Journal*. 44 : 1834-1842.
- [29] American Standard for testing and Material. 1998. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.** ASTM D882. Annual Book of ASTM Standard 08.01., Philadelphia.
- [30] American Standard for testing and Material. 2011. **Standard Test Method for Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using A Modulated Infrared Sensor.** ASTM F1249. Annual Book of ASTM Standard 14.02., Philadelphia.
- [31] American Standard for testing and Material. 2003. **Standard Test Method for Coronatreated Polymer Film Using Water Contact Angle Measurements.** ASTM D5946. Annual Book of ASTM Standard 14.02., Philadelphia.
- [32] Joseph, G. and Cristopher, C. 2558. **Consumable analytical plasticware comprising high-solubility plastics.** [Online]. Available :
<http://www.google.com/patents/EP2525909A1?cl=en.2559>.
- [33] John, B. 2558. **Solubility Parameters: Theory and Application.** [Online]. Available :
<http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v03/bp03-04.html>.
- [34] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2558. **DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PLA โดยเติม T80 ที่ปริมาณต่าง ๆ** [Online]. Available.
http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/132423/45435bf28dd45e079064d6ca9e5cob36?Resolve_DOI=10.14457/CMU.the.2011.345.

- [35] M. Wtodez, K. Magdalena, B. Katarzyna. 2011. "FT-IR Studies of Zeolites from Different Structural groups." *Chemik*. 65 : 667-674.
- [36] ตะวัน สุขน้อย. 2557. เอกสารประกอบการเรียนวิชาสเปกโทรสโกปี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

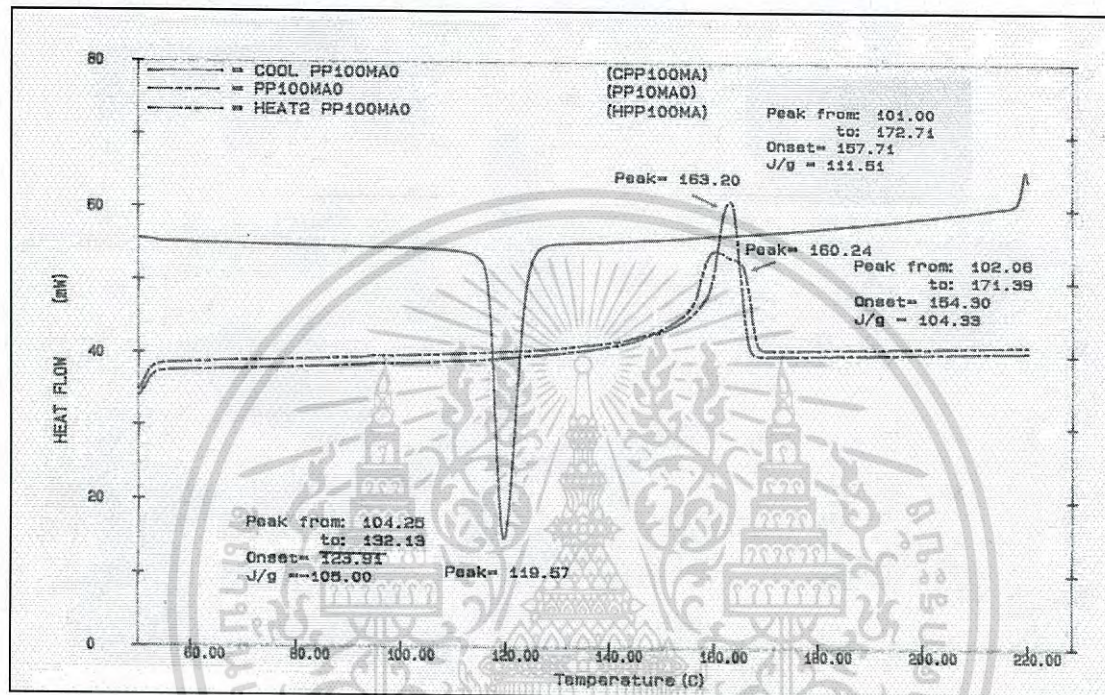


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

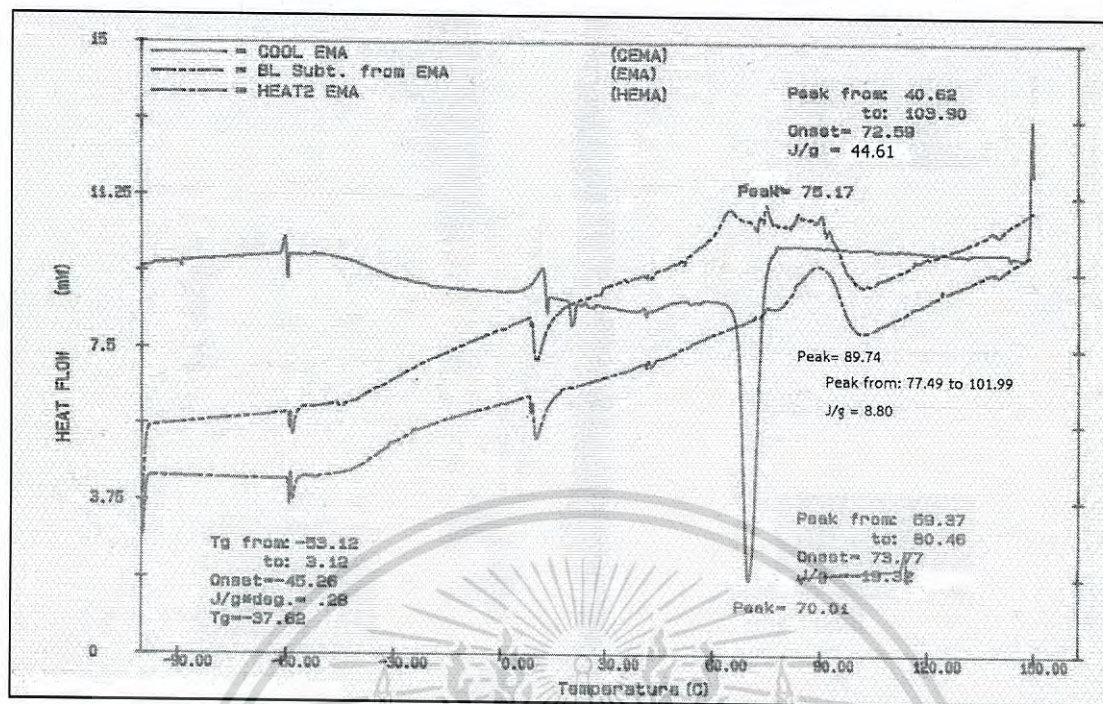
การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

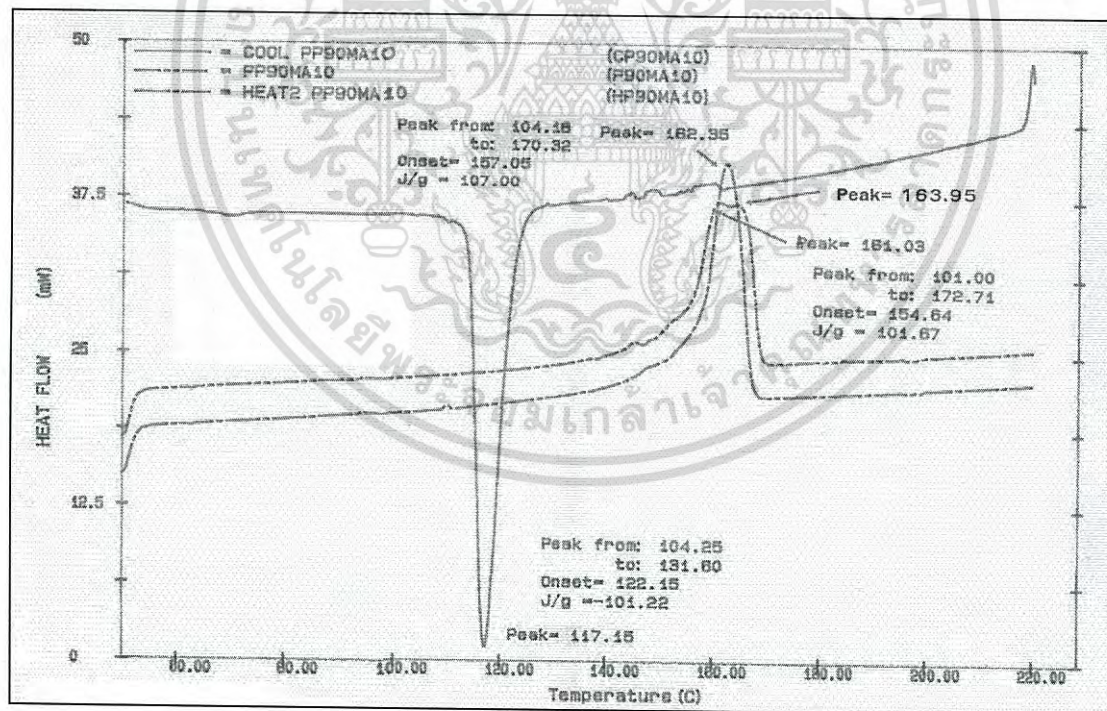


รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

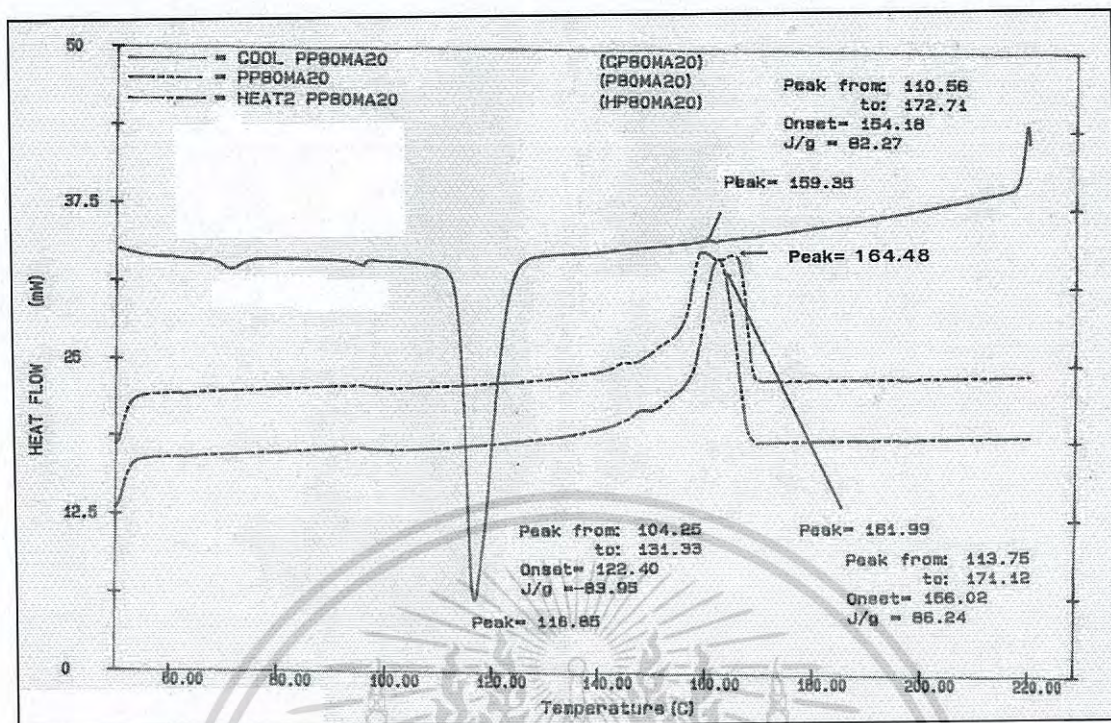


รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EMA

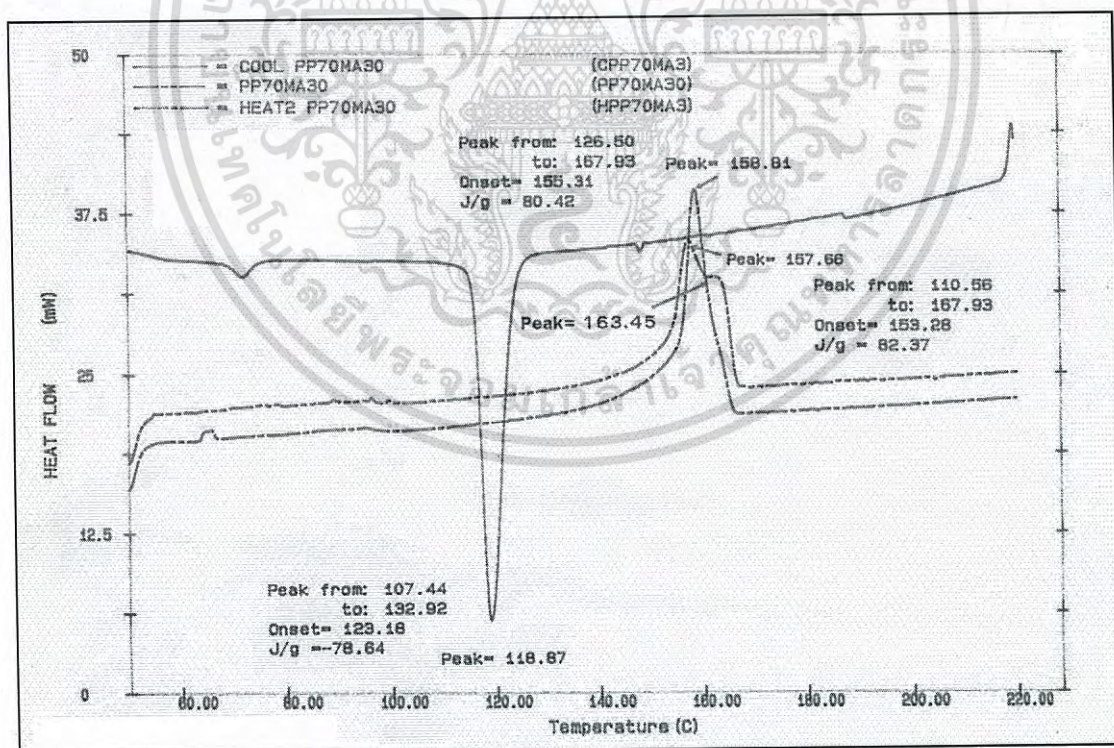


รูปที่ ก.3 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP90MA10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

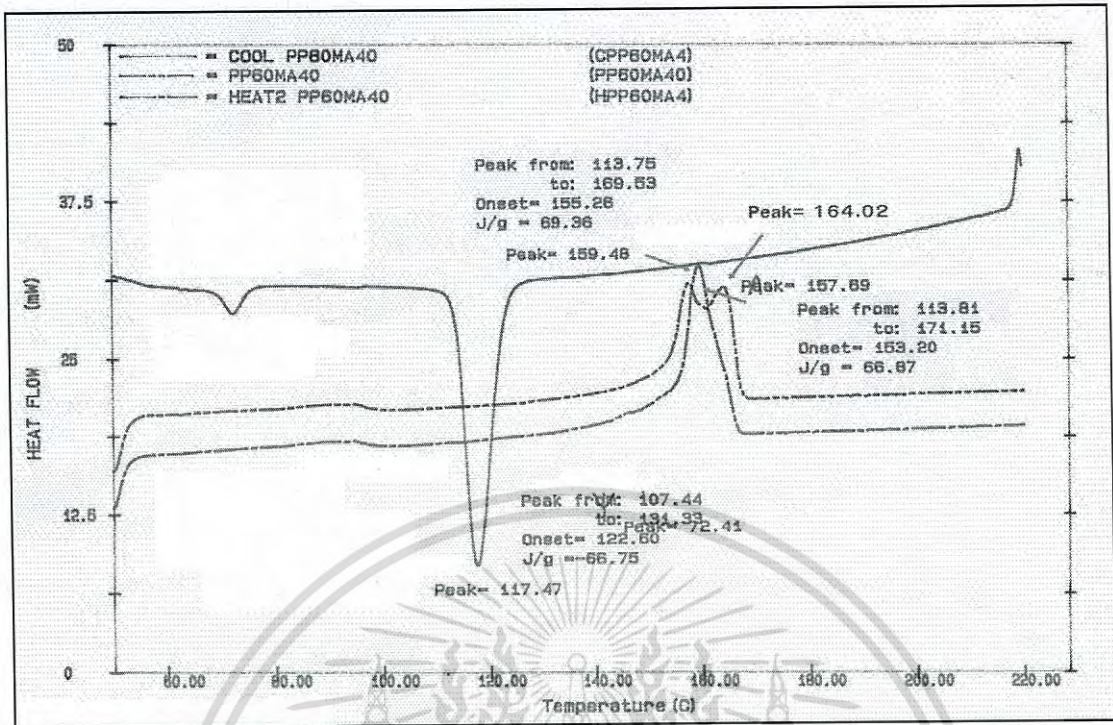


รูปที่ ก.4 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP80MA20

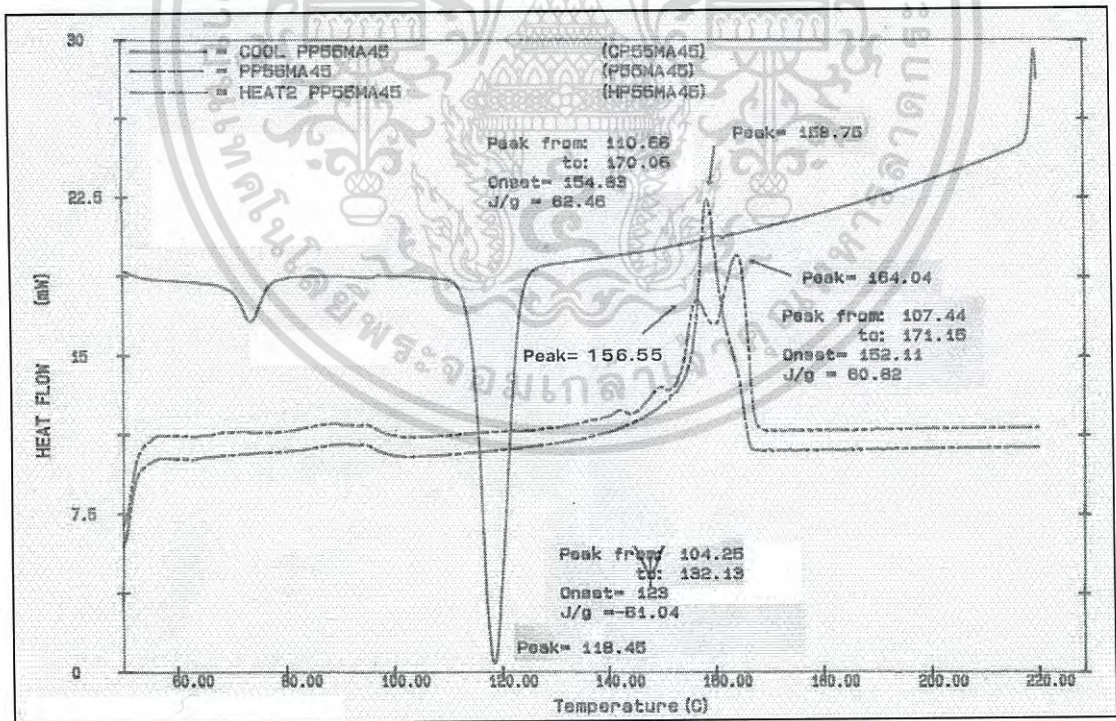


รูปที่ ก.5 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP70MA30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

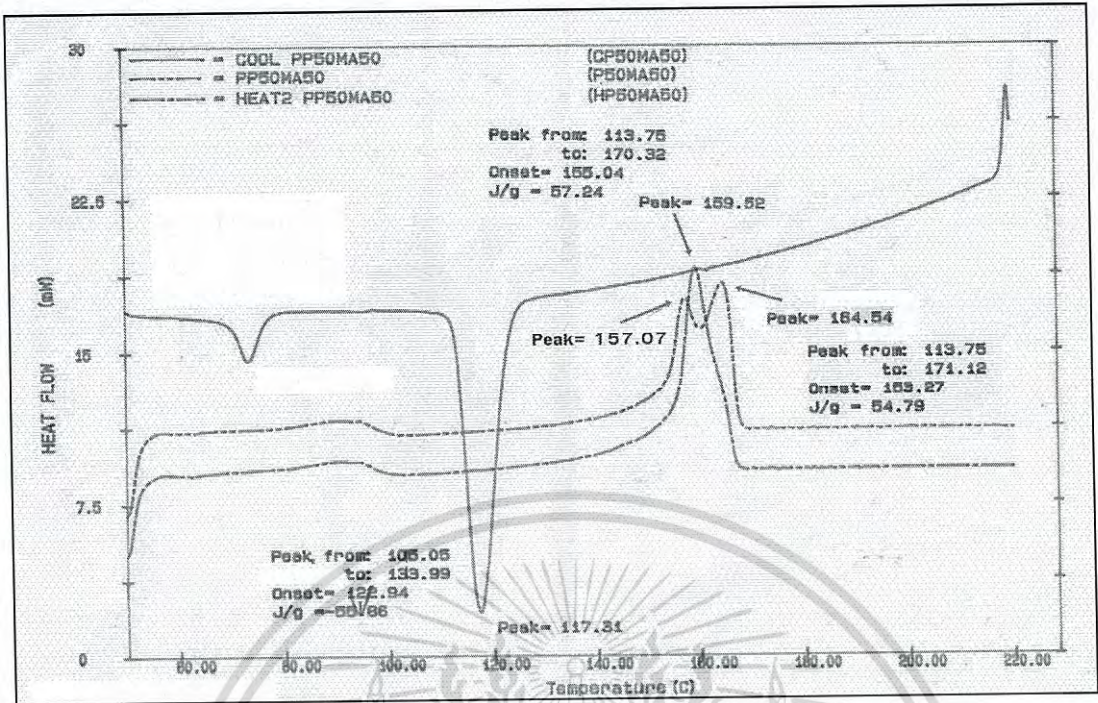


รูปที่ ก.6 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP60MA40

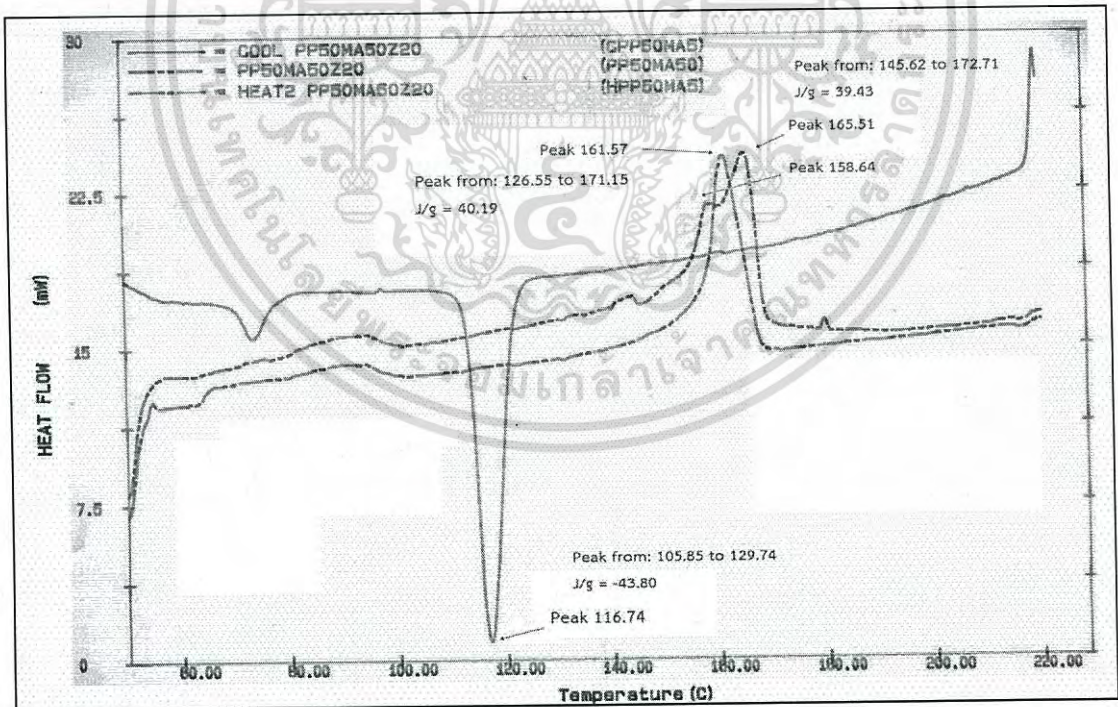


รูปที่ ก.7 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP55MA45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50



รูปที่ ก.9 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50Z20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง

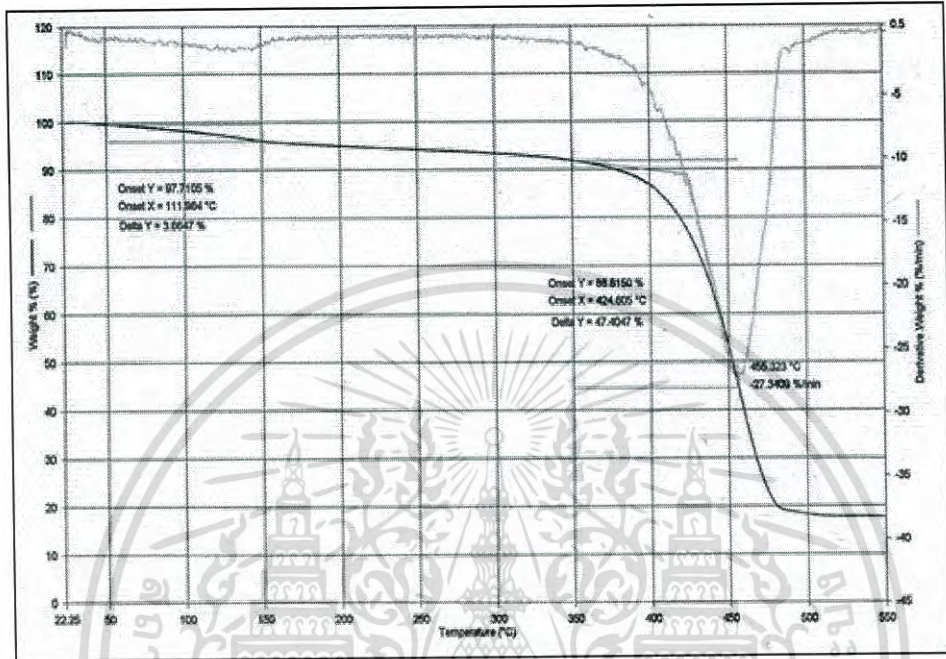
ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง

Samples	Thickness (μm)	WVTR ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	WVP ($\text{g} \cdot \mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)
PP100MA0	51.9	9.5	493
PP90MA10	49.7	11.7	581
PP80MA20	48.0	13.7	658
PP70MA30	48.1	17.5	842
PP60MA40	40.5	25.8	1045
PP50MA50	35.0	31.4	1099
PP50MA50Z20	46.7	27.9	1303

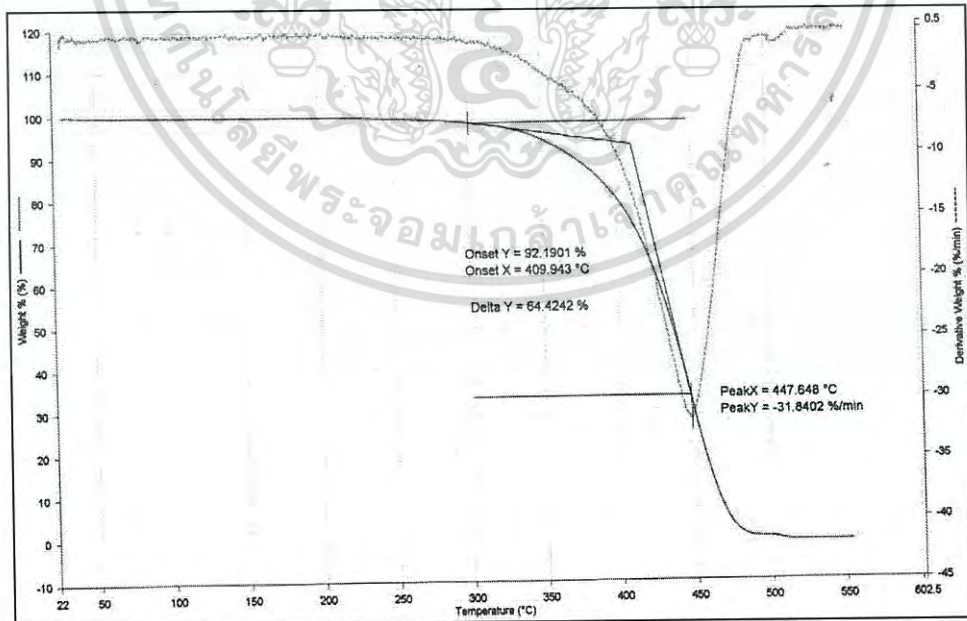
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบการตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน



รูปที่ ค.1 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50Z20



รูปที่ ค.2 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม PP50MA50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้