

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่
ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอโลต์เอเพื่องานเกษตรกรรม

4 122



นางสาวชนิดา สำเภาวมาลัย
นางสาวจิตติมา สุวรรณรังษี
นางสาวปิยวดี จันใด

รฟ.
๒๕/๑๖
๑๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107750
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b.....12210560
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties of LDPE Packaging Film Filled with Calcium Carbonate
and Zeolite A for Agricultural Uses



A Special Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทปี 2005 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง สมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสม
แคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์เอเพื่องานเกษตรกรรม

นักศึกษา นางสาวชนิดา ลำภาวมาลัย
นางสาวฐิติมา สุวรรณรังษี
นางสาวปิยวดี จันได

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	
กรรมการ	ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์	
กรรมการ	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง สมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
ที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์เอเพื่องานเกษตรกรรม

นักศึกษา นางสาวชนิดา ลำเกาวมาลย์
นางสาวจิตติมา สุวรรณรังษี
นางสาวปิยวดี จันใด

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภาวรัตน์ รักษลาธิ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกล และการซึมผ่านไอน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือซีโอไลต์เอ (Zeolite A) เป็นสารตัวเติม ปริมาณ CaCO_3 ที่ใช้คือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณ Zeolite A ที่ใช้คือ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การผสมสูตรทำโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกและนำไปขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อในสภาวะหลอมเหลว แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาศึกษาสมบัติต่างๆ พบว่าสารตัวเติมที่ใช้ไม่มีผลต่อความเป็นผลึกของฟิล์ม เมื่อปริมาณ CaCO_3 เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีค่าความเค้น ณ จุดครากคงที่ ค่ายังมอดุลัสและค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าลดลง เปรียบเทียบกับที่ 5% ฟิล์มที่ใช้ Zeolite A ให้ค่ายังมอดุลัสและค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์มที่ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Properties of LDPE Packaging Film Filled with Calcium Carbonate and Zeolite A for Agricultural Uses
Name	Miss Chanida Sumpaowamal Miss Titima Suwanrungsri Miss Piyawadee Chandai
Departure	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic	2005
Special Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Suparat Rukchonlatee

Abstract

This research focused on mechanical and water vapor permeability properties of low density polyethylene (LDPE) mixed with calcium carbonate (CaCO_3) or Zeolite A (used as fillers). CaCO_3 contents were 5,10,15 and 20% by weight and Zeolite loading was 5% by weight. All sample were mixed using a twin-screw extruder and ground using a grinding machine. Thin films were shaped using melt casting film technique, and then various properties of thin film specimens were determined. It was found that CaCO_3 and Zeolite A had no effect on film crystallinity. Tensile strength at yield was constant, modulus and water vapor permeability of film increased, elongation at break and tear strength were decreased with increasing filler contents. For comparative studies at 5% filler loading, zeolite A-filled LDPE film showed greater modulus and higher water vapor permeability than CaCO_3 -filled LDPE film.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากความช่วยเหลือของหลายฝ่าย คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ ตลอดจนกำลังใจและคำแนะนำต่างๆซึ่งเป็นผลทำให้คณะผู้จัดทำมีความประทับใจ และอยากจะขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งเสียสละเวลาอันมีค่ากับโครงการพิเศษนี้ กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แจงข้อบกพร่อง ดูแลเอาใจใส่ ตรวจสอบแก้ไขจนโครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย และ ผศ.ดร. ชลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์คณะกรรมการที่กรุณาตรวจสอบข้อบกพร่อง ชี้แจงแนวทางที่ถูกต้องในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆที่ใช้ปฏิบัติในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีพลาสติก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ช่วยดูแลเอาใจใส่และคอยเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเ็นยามเหนื่อยล้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ จนงานสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการนี้ไปถึงจุดหมายได้อย่างสมบูรณ์

ชนิดา สำเภาบาลย์

ฐิติมา สุวรรณรังษี

ปิยวดี จันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บรรจุกฎหมายเพื่อรักษาคุณภาพผักและผลไม้	4
2.2 การออกแบบภาชนะบรรจุสำหรับผู้บริโภค	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มพลาสติก	6
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	10
2.6 ซีโอไลต์เอ	11
2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับซีโอไลต์	13
2.8 แคลเซียมคาร์บอเนต	14
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแคลเซียมคาร์บอเนต	17
2.10 การขึ้นรูปฟิล์ม	18
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการดำเนินงาน	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน	22
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม	23
3.3.3 การตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม	25
3.3.3.1 การวัดความกว้างและความหนาของฟิล์มตัวอย่าง	25
3.3.3.2 การตรวจสอบปริมาณที่แน่นอนของสารตัวเติม	25
3.3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	25
3.3.3.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	25
3.3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	
3.3.3.5.1 สมบัติความแข็งแรงดึง	26
3.3.3.5.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด	26
3.3.3.6 การศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	27
4.2 ปริมาณสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง	28
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	29
4.4 ลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติมในแผ่นฟิล์ม	30
4.5 สมบัติเชิงกล	31
4.6 การซึมผ่านไอน้ำ	37
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	9
รูปที่ 2.2 โครงสร้างซีไอไลต์เอ	12
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต	14
รูปที่ 2.4 กระบวนการทำฟิล์ม	19
รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพลาสติก	24
(a) เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว	
(b) ชุดดึงฟิล์ม	
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์	26
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 และซีไอไลต์ เอ เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	31
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดครากกับปริมาณ CaCO_3	32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสกับปริมาณ CaCO_3	32
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับปริมาณ CaCO_3	33
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดกับปริมาณ CaCO_3	33
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดครากกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง	35
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง	35
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง	36
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง	36
รูปที่ 4.10 ค่า WVTR กับปริมาณ CaCO_3 ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	38
รูปที่ 4.11 ค่า WVP กับปริมาณ CaCO_3 ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่	7
ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในงานวิจัย	20
ตารางที่ 3.2 สมบัติซีโอไลต์เอ ที่ใช้ในงานวิจัย	21
ตารางที่ 3.3 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในงานวิจัย	22
ตารางที่ 3.4 สัดส่วนน้ำหนัก LDPE, ซีโอไลต์เอ และ แคลเซียมคาร์บอเนต	23
ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรของฟิล์ม LDPE ที่ใช้ในการทดลองนี้	27
ตารางที่ 4.2 ความกว้างและความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มในแต่ละสูตร	27
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง	28
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	29
ตารางที่ 4.5 ค่า WVTR และ WVP ของฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 และซีโอไลต์ เอ ปริมาณ 5%wเป็นสารตัวเติม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านเกษตรกรรม รายได้ส่วนหนึ่งของประเทศได้มาจากผลผลิตทางการเกษตร เพื่อส่งจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ มูลค่าการส่งออกของผลไม้ไทยมีมากเมื่อเทียบกับสินค้าอุตสาหกรรม แต่มีก่ประสบปัญหาในการผลิตและส่งออกหลายประการ เช่น ปัญหาคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ปัญหาการแข่งขัน ปัญหาระเบียบสุขอนามัย ปัญหาการขนส่งที่มีค่าระวางสูงและไม่เพียงพอ ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ต้องพยายามหาทางแก้ไข โดยมีการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตโดยการปรับโครงสร้างการผลิต การถ่ายเทเทคโนโลยีที่เหมาะสมแก่เกษตรกร การควบคุมขั้นตอนการผลิต การรับรองคุณภาพผลผลิต ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ดังนั้นจะต้องดูแลผลผลิตที่ได้จนกระทั่งขนส่งไปสู่ผู้บริโภค [1]

นอกจากการดูแลผลผลิตที่ได้แล้วจะต้องควบคุมการเก็บรักษา และจัดส่งเพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในการจัดส่งแต่ละครั้งมีคุณภาพที่คงที่ โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและสามารถช่วยส่งเสริมทางด้านการตลาด เพื่อเพิ่มคุณค่าให้แก่สินค้าได้ด้วย

ปัจจุบันในการดูแลผลผลิตที่ได้ยังไม่มีการพัฒนามากนัก ถุงพลาสติกที่นำมาใช้ห่อหุ้มผักผลไม้ที่อยู่บนดิน มีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อปกป้องผลผลิตจากสภาวะภายนอกเท่านั้น ไม่สามารถช่วยในการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซได้ดีพอ จึงส่งผลทำให้ผลผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย แต่ถ้าจะปรับปรุงฟิล์มต่างๆ ใ้ให้มีการซึมผ่านไอน้ำได้ดีก็ต้องทำการเจาะรู ซึ่งจะมีผลทำให้แมลงเข้ามาทำลายผลผลิตได้ง่าย

สำหรับบรรจุภัณฑ์ของสดต่างๆ ก็มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาและการจัดส่งซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ดีจะต้องรักษาคุณภาพของสินค้าไม่ให้เปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้จากรากและมีการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา จากการสูญเสียน้ำทำให้น้ำหนักที่จะขายได้ขาดหายไป แล้วยังทำให้รูปร่างลักษณะของผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปในทางลบทำให้ขายไม่ได้ราคาและอาจทำให้รสชาติของผลผลิตนั้นๆ เปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบันได้มีการนำเอาตู้เย็นและพลาสติกห่อของ เช่น พอลิเอทิลีน มาใช้ร่วมกันจะสามารถยืดอายุพืช ผักและผลไม้ได้ การเก็บผลผลิตโดยใช้ตู้เย็นควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา เพราะถ้าหากอุณหภูมิภายในที่เก็บรักษาขึ้นลงไม่สม่ำเสมอผลผลิตจะสูญเสียน้ำออกมาจนกระทั่งอากาศรอบๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำอยู่ตามภาชนะบรรจุ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอากาศก็จะรับไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ได้อีกเรื่อยๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำมากไป สภาพที่เก็บรักษาจะขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียได้ง่าย [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยการใช้สารตัวเติมซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ ซีโอไลต์เอ และแคลเซียมคาร์บอเนตเนื่องจาก ซีโอไลต์เอ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ซึ่งมีความเป็นขั้วสูง จึงสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีเช่น น้ำ และเมื่อดูดซับน้ำแล้วจะเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้เป็นอย่างดี [3] โดยจะทำให้เกิดการซึมผ่านไอน้ำบริเวณรูพรุนและบริเวณรอยต่อระหว่างอนุภาค ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้เกิดการซึมผ่านไอน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างอนุภาคเท่านั้น แต่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและราคาถูก [4] เนื่องจากสารตัวเติมทั้งสองชนิดนี้สามารถเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำได้โดยไม่ต้องทำการเจาะรูทำให้สามารถป้องกันแมลงได้อีกด้วย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับนำมาห่อหุ้มผัก และผลไม้ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีกำจัดแมลงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ปลอดภัยและเป็นการลดต้นทุนการผลิตด้วย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีขึ้นแตกต่างจากฟิล์มทั่วไปกล่าวคือ หากมีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำที่ดีพอจะสามารถควบคุมปริมาณน้ำ ทำให้เกิดสมดุลของน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ส่งผลให้เกิดการยืดอายุการเก็บรักษาพืช ผัก และผลไม้ที่ทำการขนส่งไปยังต่างประเทศ เพื่อให้ผู้บริโภคแน่ใจว่าพืช ผักและผลไม้ที่รับประทานนั้นมีคุณภาพ สดเหมือนใหม่และยังคงคุณค่าทางโภชนาการอย่างสมบูรณ์

โดยปริมาณสารตัวเติมส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม กล่าวคือ ถ้าใช้ปริมาณสารตัวเติมมากจะทำให้ระบายน้ำได้มากแต่จะส่งผลทำให้ขึ้นรูปยาก [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณของสารตัวเติมที่เหมาะสมในการปรับปรุงฟิล์มพลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้สารตัวเติมสองประเภทคือ แคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์เอ ในปริมาณต่างๆกันเพื่อเปรียบเทียบ โดยทำการผลิตฟิล์มชนิดอัดรีด แล้วนำมาศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ เพื่อหาปริมาณของสารตัวเติมที่เหมาะสม ในการนำมาปรับปรุงแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพื่อนำมาใช้ในงานห่อหุ้มผัก และผลไม้ หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการผสม LDPE กับ ซีโอไลต์เอ ในอัตราส่วน 95:5 และ LDPE กับแคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 100:0 ถึง 80:20
2. นำพอลิเมอร์ที่ได้ในแต่ละสูตรไปขึ้นรูปเพื่อผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ตัวอย่าง
3. นำแผ่นฟิล์มที่ได้ในแต่ละสูตรไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการซึมผ่านไอน้ำ และสัณฐานวิทยา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบปริมาณที่เหมาะสมของสารตัวเติมที่ใช้ในการนำมาผสมกับ LDPE เพื่อผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ให้มีสมบัติตามต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในงานด้านเกษตรกรรม
2. ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรประเภทผักและผลไม้มีคุณภาพมากขึ้น ผลผลิตต่อไร่สูงและถ้านำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ได้ยาวนานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพผักและผลไม้

ผลิตผลสดยังคงมีชีวิต มีการหายใจ คายน้ำ มีรูปทรงแตกต่างกันไป บรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องสามารถปกป้องคุ้มครองผลิตผลขณะเก็บรักษา ขนส่ง และกระจายไปสู่ผู้บริโภคได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ในระหว่างขั้นตอนการลำเลียงขนส่งอาจเกิดความเสียหายต่างๆ ก่อนถึงมือผู้บริโภคได้ อาทิ ความบอบช้ำจากการกระแทก ภัยจากโรคและแมลง เป็นต้น การเก็บเกี่ยวและการบรรจุเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะช่วยชะลอความเสียหายที่อาจเกิดจากการกระทบกระแทกได้

บรรจุภัณฑ์ที่ดีสำหรับผลิตผลสดควรจะต้องมีความแข็งแรงและทนต่อสภาพความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นตลอดเส้นทาง การลำเลียงขนส่ง การเก็บในคลังสินค้าและการจัดจำหน่าย มีความสามารถปกป้องความเสียหายที่อาจเกิดกับผลิตผลภายในภาชนะบรรจุ มีขนาดน้ำหนักบรรจุ และรูปร่างเป็นที่ยอมรับของตลาด และมีความเหมาะสมต่อการลำเลียงขนส่ง สามารถช่วยลดการคายน้ำของผลิตผลได้ ช่วยระบายความร้อนและถ่ายเทอากาศได้ดี มีรูปแบบที่ง่ายและสะดวกต่อการขึ้นรูป รวมไปถึงการบรรจุและการปิดผนึก ตลอดจนการปฏิบัติงานอื่นๆ เช่น การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษและง่ายต่อการทำลาย นำมาใช้ซ้ำหรือเวียนสู่การผลิตใหม่และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ดีควรช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าและช่วยโฆษณาสินค้าได้ด้วย มีรูปลักษณะที่สวยงาม และมีราคาประหยัดคุ้มค่า [6] สมบัติที่สำคัญของวัสดุบรรจุหรือภาชนะบรรจุที่จะต้องนำมาพิจารณามีดังนี้คือ

1. การซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) [2, 7-8]

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อเลือกชนิดวัสดุที่จะนำมาใช้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ควรเลือกวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (O_2) ไม่เกิน $2 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24\text{hr}$. ส่วนวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีพอควรจะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนประมาณ $20-30 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24\text{hr}$. สำหรับผักและผลไม้สดต้องวัสดุที่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี โดยทั่วไปค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าตั้งแต่ $2000 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24\text{hr}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

การเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จากค่า WVTR ต้องระมัดระวังปัญหาที่เกิดขึ้นจากหยดน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ และปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันไอน้ำได้ดีจะลดปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มักเกิดปัญหาการเกิดหยดน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ ในทางกลับกันวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้มักเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์แห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging agent) ในฟิล์มพลาสติกหรือการเจาะรูเล็กๆ เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกจากภาชนะ

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) [9]

ที่อุณหภูมิใดๆ สภาพอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดได้ 100% ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น อากาศจะสามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณสูง และเมื่อถึงระดับสูงสุดคือ 100%RH ไอน้ำส่วนเกินจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก ถูกลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่มีไอน้ำในอากาศมากกว่าระดับสูงสุดที่อากาศจะรองรับได้ ณ อุณหภูมินั้น สภาวะเช่นนี้มีความสำคัญมากในบรรจุภัณฑ์ที่ขาดการถ่ายเทอากาศหรือมีการถ่ายเทอากาศไม่เพียงพอซึ่งจะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว

2.2 การออกแบบภาชนะบรรจุสำหรับผู้บริโภค [7]

การออกแบบภาชนะบรรจุหรือหีบห่อสำหรับผู้บริโภคอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การระบายอากาศ การใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกห่อผลิตภัณฑ์นั้น พลาสติกแต่ละ

ชนิดมีความสามารถในการยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้แตกต่างกัน โดยตามปกติฟิล์มยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึมผ่านเข้าออกได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน (O_2) ดังนั้นอัตราการสะสมของ CO_2 จากการหายใจจึงน้อยกว่าอัตราการหายไปของ O_2 และถ้า O_2 ถูกใช้ไปจนหมดจากบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ จะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์และ CO_2 อาจทำให้เซลล์ของพืชตาย ผักและผลไม้จะส่งกลิ่นที่ผิดปกติ รสชาติเปลี่ยน และเกิดการเน่าเสีย แผ่นพลาสติกหรือถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุควรมีรูระบายอากาศ การบรรจุในถุงควรมีรูอย่างน้อย 2-4 รู ขนาด 1/4-1/8 นิ้ว เพื่อระบายอากาศ ผลผลิตจะไม่ขาด O_2 และไม่เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และ CO_2 ขณะวางขายในสภาพที่อุณหภูมิสูง ในบางครั้งการเก็บรักษาในสภาพถุงที่ไม่มีรูอาจเกิดผลดี เพราะเกิดสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ แตกต่างไปจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศปกติ (Modified atmosphere) ขึ้นมาได้แต่ควรระมัดระวังการเกิดกลิ่นที่ผิดปกติหรือมีรสชาติของแอลกอฮอล์เกิดขึ้น

2. ความชื้น ผักและผลไม้ที่มีน้ำหรือความชื้นอยู่สูงถึง 75-95% จะอยู่ในลักษณะที่สมดุลกับบรรยากาศได้เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่สูงถึง 95% ขึ้นไป โดยปกติผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วจะแห้งเหี่ยวอย่างรวดเร็วเพราะในบรรยากาศทั่วไปมีความชื้นต่ำ ทำให้เซลล์เกิดการเสีयरูปร่างและการหดตัว การเก็บผักและผลไม้ไว้ในภาชนะที่เหมาะสมจะยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นาน พลาสติกที่ห่อผักและผลไม้สดจะทำให้ความชื้นข้างในรอบๆผักและผลไม้สูงและอาจสูงถึง 100% ดังนั้นจึงต้องเจาะรูถุงพลาสติกเพื่อให้ไอน้ำในถุงพลาสติกได้ออกไปข้างนอกเป็นการช่วยปรับความชื้นในถุงพลาสติกให้เหมาะสม

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับฟิล์มพลาสติก

ในปัจจุบันนี้มีผลิตภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ที่ทำจากพลาสติกหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride, PVC) แต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ นอกจากนี้ PE ยังยอมให้ O_2 ซึมผ่านได้ดี จึงทำให้มี O_2 เพียงพอให้พืชหายใจ และ CO_2 ที่พืชคายออกมาก็ซึมผ่านได้ง่าย

S. Artes และคณะ (2001) [10] ทำการทดลองนำแผ่นฟิล์ม LDPE และ PVC ที่มีความหนาต่างกันมาห่อผักบร็อกโคลี่ โดยการทดลองได้ควบคุมปริมาณ O_2 , CO_2 และอุณหภูมิ พบว่าผักบร็อกโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์ม PVC มีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นมากกว่าในฟิล์ม LDPE ถึง 60 เท่าและแผ่นฟิล์ม LDPE กับ PVC ที่มีความหนา 15 μm เหมาะที่จะนำมาห่อผักบร็อกโคลี่ในขณะขนส่งและจัดเก็บในชั้นจำหน่ายแต่ในปัจจุบันได้มีข้อห้ามจากการใช้ฟิล์ม PVC ห่ออาหารในยุโรป ฉะนั้นฟิล์ม LDPE จึงเหมาะที่จะใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่สุด

W.R. Hale และคณะ (2001) [5] ทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) ที่มี $CaCO_3$ เป็นสารตัวเติมและฟลูออโรพอลิเมอร์ (Fluoropolymer) เป็นสารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) พบว่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความพรุนต่อความคดเคี้ยว (Porosity/Tortuosity) พื้นที่ผิว (Surface area) เปอร์เซ็นต์ความพรุนและจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น

C. Devallencourt และคณะ (2002) [11] ทำการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ โดยใช้ฟิล์ม LDPE แล้วเติมไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate, VA) ในปริมาณ 4.5%, 19%, 50% และ 70%w/w VA ตามลำดับ แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) พบว่าถ้าเติม VA ในปริมาณที่มากขึ้น อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของสารจะลดลง หรือส่วนที่เป็นออสัณฐานจะมากขึ้น ในการทดลองนี้มีการทดสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy, IR) เพื่อตรวจสอบว่ามีไอน้ำซึมผ่านฟิล์มหรือไม่ พบว่าถ้าใส่ VA น้อย ทำให้ไอน้ำซึมผ่านฟิล์มไม่ได้ โดยในการทดสอบจะเป็นในกรณี 4.5%w/w VA ผลของเทคนิค IR ไม่แสดงพีกของน้ำ ดังนั้นต้องใส่ VA ตั้งแต่ 19%w/w VA ผลของเทคนิค IR จึงจะแสดงพีกของน้ำได้ จากงานวิจัยนี้พอสรุปได้ว่า ปริมาณของไอน้ำที่ซึมผ่าน Ethylene-co-vinyl acethylene (EVA) นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณ VA ที่เติม พบว่าการเติม VA ที่ 19%w/w VA สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำจะคงที่ แต่ถ้ามีการเติม VA มากกว่า 19%w/w VA สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ VA ที่เติมลงไป

R.B. Habilunnisa และคณะ (2001) [12] ทดสอบการเก็บรักษาผักของภายในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE และ PP ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่ต่างกัน ภายในบรรจุภัณฑ์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ให้แตกต่างจากบรรยากาศปกติและเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณ O_2 จะลดลง แต่ปริมาณ CO_2 จะเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ สามารถเก็บรักษาผักของได้นาน 25 วันและน้ำหนักของผักของจะลดลง 0.06% และสูญเสียคุณค่าทางอาหารเพียงเล็กน้อย

2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [13]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขา (Branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ $-CH_2-$ ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียกได้ว่าพอลิเอทิลีนความดันสูง (High pressure polyethylene) เพราะกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมากซึ่งแตกต่างจาก HDPE และ LLDPE จึงทำให้พอลิเอทิลีนมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 แบบดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่

	โครงสร้างของสายโซ่	ความเป็นผลึก	กระบวนการผลิต	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
LDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งมาก	$\cong 50\%$	ใช้ความดันสูง	0.912 – 0.94
LLDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งมาก	$> 50\%$	ใช้ความดันต่ำ	0.92 – 0.94
HDPE	เชิงเส้น	$< 90\%$	ใช้ความดันต่ำ	> 0.958

การเตรียมวัตถุดิบหรือมอนอเมอร์ เอทิลีนมอนอเมอร์ และโวนิลมอนอเมอร์อื่นๆที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเกือบทั้งหมดมาจากน้ำมันดิบ หรือปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งในน้ำมันดิบส่วนมากจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัว ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงนำเอาไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัวมาผ่านกระบวนการการแตกสลายโมเลกุล (Catalytic cracking) เพื่อดึงเอาไฮโดรเจนออกมาเกิดความไม่อิ่มตัวในโมเลกุล โดยใช้ตัวเร่ง คือ ซิลิกา และอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ $450 - 550\text{ }^{\circ}\text{C}$

อุตสาหกรรมเตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำทำได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้ความดันสูงมาก $1,000 - 3,000$ บรรยากาศ และอุณหภูมิ $80 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบอนุมูลอิสระในรูปของออกซิเจนที่ปะปนอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยหรือเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) หรือเอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและคายความร้อนออกมาเป็นจำนวนมาก ถ้าควบคุมไม่ดีอาจเกิดระเบิดอย่างรุนแรงได้ ถ้าต้องการให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากๆ ต้องใช้มอนอเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เพราะสารปนเปื้อนเช่น ไฮโดรเจนและอะซีทีลีน (C_2H_2) ทำหน้าที่เป็นตัวย่ำลูกโซ่ได้ พอลิเอทิลีนอาจเตรียมในสารละลายโดยใช้เบนซีนหรือคลอโรเบนซีนเป็นตัวทำละลายภายใต้ภาวะของปฏิกิริยา (ความดันและอุณหภูมิ) เช่นเดียวกันกับกรณีที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย

สมบัติทางกายภาพแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณโซ่สาขากล่าวคือ ถ้ามีปริมาณโซ่สาขามากจะมีความเป็นผลึกต่ำ ความหนาแน่นต่ำ จุดหลอมเหลว (T_m) และความแข็งลดลง ความหนาแน่นต่ำทำให้การแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นของพอลิเมอร์สูง การเตรียมโดยใช้ความดันสูงจะทำให้มีความเป็นผลึกปานกลาง มีจุดหลอมเหลว ประมาณ $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่น $0.91 - 0.94\text{ g/cm}^3$ ไม่ละลายในสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) และไฮโดรเจนเตตไฮโดรคาร์บอน (Hydrogenated hydrocarbon) เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) และไดคลอโรเอทิลีน (Dichloroethylene) นอกจากนี้แล้วพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเยี่ยมแต่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป สามารถทนทานต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เช่น พอลิเอทิลีน ทนกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่กับกรดไนตริก ณ ภาวะเดียวกันจะเปลี่ยนเป็นสีดำ (Charred) ที่ผิว ด้วยเหตุนี้พอลิเอทิลีนจึงนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุกรดแก่รวมทั้งกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ได้ดี

สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่า “ถุงเย็น” มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหัดและฟิล์มยืด ขวดน้ำและฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มแทงทะลุและการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ LDPE ป้องกันความชื้นได้พอสมควรแต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างทั่วไป นอกจากนี้ LDPE ยังปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยวและของทอด เมื่อใส่ถุงเย็นธรรมชาติคุณภาพของจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปราะฝุ่น

เมื่อให้พอลิเมอร์สัมผัสกับแสงแดดและออกซิเจนเป็นเวลานานๆ พอลิเมอร์นี้จะเสื่อมคุณภาพลงได้ เช่น จะสูญเสียความแข็งแรง ความสามารถในการยืดหยุ่นและความสามารถต่อการสึกหรอและฉีกขาด ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการสูญเสียเทอร์เชียรีไฮโดรเจนอะตอมคาร์บอน ที่เป็นคาร์บอนสาขาใช้ การเติมสารทำให้เกิดเสถียรภาพ อาจช่วยถ่วงหรือหน่วงเหนี่ยวการเสื่อมคุณภาพได้ แต่เพราะมีสารทำให้เกิดเสถียรภาพน้อยมากที่เข้ากับพอลิเมอร์จึงทำให้ไม่มีผล

เกือบครึ่งหนึ่งของพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นทั้งหมดนำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มใช้สำหรับห่อของอาหาร ทำถุงพลาสติก ฝา (พลาสติก) กันน้ำ ฝาปุ้โต๊ะ ของเด็กเล่น ใช้หุ้มลวดไฟฟ้า และในงานก่อสร้าง เป็นต้น [14]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

S.N. Dirim และคณะ (2004) [15] ในเรื่องการปรับปรุงสมบัติการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์ม LDPE เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำเข้าสู่ฟิล์มสองชนิด คือ ฟิล์มคอมโพสิต (Solid-LDPE composite film) ที่มีคาร์บอนดำ (มีขนาดรูพรุนต่างๆกัน) ลงไป และฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีรูพรุน ที่เกิดจากการใช้เข็มร้อน (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ กัน) ที่ฝังลงไปในฟิล์ม เมื่อนำฟิล์มทั้งสองชนิดมาทดสอบการดูดซึมน้ำเข้าสู่ฟิล์ม โดยการวัดน้ำหนักที่หายไป ซึ่งทำที่อุณหภูมิและความชื้นใดๆ โดยความชื้นในตู้อบจะถูกปรับโดยใช้สารละลายมาตรฐานอิ่มตัวของ ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งต้องทำการเทียบมาตรฐานเครื่องก่อนสองครั้ง ต่อมานำตัวอย่างใส่ในถ้วยที่มีฟิล์มแต่ละชนิดปกคลุมอยู่ โดยมีถ้วยพอลิสไตรีนเป็นสารอ้างอิง จากนั้นนำไปเข้าตู้อบ ณ ตรงนี้จะเริ่มจับเวลาเป็นศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งให้นำมาชั่งน้ำหนักที่หายไปซึ่งก็คือ น้ำหนักของน้ำที่หายไปเนื่องจากการดูดซึมน้ำของฟิล์มออกสู่ภายนอก แล้วดูว่าฟิล์มแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นอย่างไร ซึ่งผลการทดลองพบว่า จำนวนและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์แปรผันโดยตรงกับอัตราการดูดซึมน้ำของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือ ฟิล์มที่มีขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ใหญ่และมีซีโอไลต์จำนวนมาก จะทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำที่ดี เพราะซีโอไลต์เป็นสารที่มีรูพรุนขนาดใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุลของน้ำ จึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ส่วนผลการทดลองที่อุณหภูมิและความชื้นอื่นๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, %RH) ลดลง อัตราการดูดซึมน้ำเข้าสู่รูพรุนของซีโอไลต์จะมีมากขึ้น ส่วนผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิเอทิลีนกับฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีรูพรุนพบว่า ฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีรูพรุนจะดูดซึมน้ำได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีน และความสามารถในการดูดซึมน้ำจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนรูพรุน

P. A. Gomez และ F. Artes (2005) [16] ที่ศึกษาการปรับปรุงบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับการเก็บรักษาขึ้นฉ่าย โดยใช้ถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE), Oriented Polypropylene (OPP) และ PE-perforated ซึ่งถุงพลาสติกแต่ละชนิดจะมีบรรยากาศภายในถุงต่างกัน งานวิจัยนี้จะศึกษาการซึมผ่านของออกซิเจน (O_2), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), เอทิลีนและน้ำ ที่แตกต่างกันในฟิล์มทั้งสองชนิด แล้วตรวจสอบสมบัติทางเคมี และอัตราการเน่าเสียของขึ้นฉ่าย ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า บรรยากาศภายในถุงพลาสติกมีผลต่อคุณภาพความสดของขึ้นฉ่าย โดยถุงพลาสติกที่ทำจาก OPP ที่บรรยากาศ มีออกซิเจน 6 kPa และคาร์บอนไดออกไซด์ 7 kPa ซึ่งมีผลทำให้ขึ้นฉ่ายยังคงเขียวสดอยู่และลดการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ จึงทำให้เก็บขึ้นฉ่ายได้นานกว่าปกติคือ 15 วัน ที่อุณหภูมิ $4^{\circ}C$ จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่าสภาวะบรรยากาศในช่วงต้นเหมาะสมกับการรักษาคุณภาพของชั้นช่วยให้ยังคงอยู่ได้ดีที่สุด

2.6 ซีโอไลต์เอ [3]

โครงสร้างและลักษณะของซีโอไลต์เอ

ซีโอไลต์เอ เป็นสารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) โดยจะมีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา เท่ากับ 1 มีโครงสร้างเป็นผลึกรูปทรงแปดหน้า ประกอบด้วย Tetrahedral ของซิลิกา $[SiO_4]^{4-}$ และอะลูมิเนต $[AlO_4]^{5-}$ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 4.2 อังสตรอม



จากแผนผังขั้นตอนการตกผลึกของซีโอไลต์ ขั้นแรกเป็นการนำซิลิกาเจลมาผสมกับสารละลายอะลูมินา หลังจากนั้นจะได้เป็นเจลที่มีการผสมระหว่างซิลิกาและอะลูมินาเป็นขั้นที่ 2 จากนั้นปั่นจนจนเจลผสมเป็นเนื้อเดียวกันเกิดเป็น Metastable gel ในขั้นที่ 3 (ต้องระวังเจลที่ได้จะเสถียรเกินไปจนไม่เกิดการตกผลึก) หลังจากนั้นนำ Zeolite precursor ที่ได้มาใส่ Autoclave แล้วนำไปให้ความร้อน เพื่อให้ตัวทำละลายเกิดการขยายตัวภายใน Autoclave จนมีความดันเพียงพอต่อการตกผลึกซีโอไลต์และเริ่มเกิด Nucleation โดยมี Template เป็นตัวก่อให้เกิดผลึก โดยจะเกิด Zeolite Nuclei ขึ้นก่อนและจะเริ่มก่อผลึกกลายเป็นผลึกซีโอไลต์ ซึ่งกลไกการเกิดซีโอไลต์จะทำการสังเคราะห์ในสภาวะที่เป็นเบส ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูง (Hydrothermal pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติซีโอไลต์เอ

1. สารดูดน้ำ (Desiccants)

เนื่องจากซีโอไลต์เอ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นซีโอไลต์เอที่มีความเป็นขั้วสูง จึงสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีเช่น น้ำ และเมื่อดูดซับน้ำแล้วจะเกิดอัตรกิริยากับน้ำได้เป็นอย่างดี

2. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchangers)

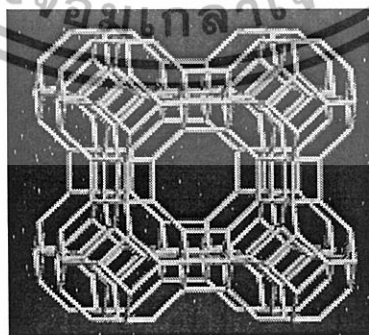
เนื่องจากซีโอไลต์เอ มีขั้วจึงทำให้ดูดซับน้ำได้ น้ำที่อยู่ใน ซีโอไลต์ จึงเปรียบเสมือนไอออนบวกที่ถูกละลายในโครงสร้างซีโอไลต์เอ โดยน้ำที่อยู่ในซีโอไลต์นั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสตลอดเวลา ดังสมการ



ไฮโดรเนียมไอออนนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการแลกเปลี่ยน ซึ่งปฏิกิริยาลักษณะนี้จะเกิดเฉพาะกับซีโอไลต์ที่มีอุมิเนียมเป็นองค์ประกอบสูงซึ่งดูดซับน้ำได้ดี เช่น ซีโอไลต์เอ

3. สมบัติการคัดแยกโมเลกุล (Molecular sieves)

เมื่อทำให้ซีโอไลต์แห้งโดยการไล่น้ำออกแล้ว ซีโอไลต์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการดูดซับสารชนิดต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมระหว่างความเป็นขั้วของซีโอไลต์ และสารหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เช่น ซีโอไลต์เอมีขั้วสูง (มีอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมต่ำ) สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วสูงเท่านั้น ส่วนซีโอไลต์ที่มีขั้วต่ำจะดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วต่ำด้วยเหตุนี้ซีโอไลต์จึงมีสมบัติในการคัดแยกโมเลกุลได้ด้วย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างซีโอไลต์เอ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับซีโอไลต์

วนิดา แซ่ลิ้มและสุภาพร ประเสริฐศิริเจริญ (2545) [17] ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของ LLDPE ที่ผสมซีโอไลต์เอ ซึ่งมีการขึ้นรูปฟิล์มแบบหล่อในสภาวะหลอมเหลว พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น และในสูตรที่มีปริมาณซีโอไลต์เอ 9% พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมีค่าลดลง ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงฉีกขาดพบว่ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยกรดเตียริกและพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) พบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์และค่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยกรดเตียริกและ PE-g-MA

กัญญาวีร์ สุวรรณชัย (2548) [18] ศึกษาการปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ แผ่นฟิล์มเตรียมได้จาก LDPE และซีโอไลต์เอ ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำได้ดี จากการทดสอบพบว่า ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เอ เพิ่มขึ้น ส่วนความเป็นผลึก ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก มอดุลัสและการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ ในขณะที่การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ ในแผ่นฟิล์มแย่ง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลง จากการศึกษาผลของการใช้กรดเตียริกเป็นสารช่วยกระจายตัวสำหรับซีโอไลต์เอ พบว่าแผ่นฟิล์มมีสมบัติโดยรวมดีขึ้น และจากการนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาผลิตเป็นถุงบรรจุมะเขือเทศและเก็บเป็นเวลา 21 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเพื่อทดสอบการเก็บรักษาผัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และน้ำหนักที่หายไปของผลมะเขือเทศ และไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่มีซีโอไลต์เอ อยู่ในปริมาณมาก (10-20%) จะมีค่าน้อยกว่าในถุงพลาสติกที่ผลิตจากแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ หรือมีในปริมาณน้อยๆ

S.N. Dirim และคณะ [19] ทำการศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ และฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงโดยการเจาะรูขนาดและปริมาณต่างๆกัน ทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดรีด แล้วทำการทดสอบโดยนำฟิล์มที่ได้ไปปิดปากด้วยน้ำดื่มที่ทำจาก PS ที่บรรจุน้ำกลั่น 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วนำไปวางในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นคงที่เริ่มจับเวลาแล้วเมื่อถึงเวลาที่กำหนดนำถ้วยออกมาชั่งน้ำหนักที่เหลือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ มีการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์ม LDPE เนื่องจากอนุภาคของซีโอไลต์ทำให้พื้นที่ว่างของ LDPE ลดลง และซีโอไลต์ยังมีสมบัติการดูดซับน้ำสูง ซึ่งต้องใช้พลังงานในการปลดปล่อยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นแต่ฟิล์ม LDPE ที่ทำการเจาะรูไม่มีข้อจำกัดเหมือนซีโอไลต์ทำให้มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีเมื่อมีพื้นที่ที่เจาะรูมากขึ้นแต่ฟิล์มที่เจาะรูนี้เหมาะสำหรับปริมาณอาหารที่มีไอน้ำมาก แต่จุลินทรีย์ไม่มีความสำคัญ

2.8 แคลเซียมคาร์บอเนต [20]

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายกับพลาสติก เนื่องจาก CaCO_3 มีราคาที่ถูกและมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ เป็นวัสดุที่มีสีขาว มีให้เลือกอยู่หลายเกรดหลายขนาด และไม่มีกลิ่น พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นค่อนข้างที่จะต่ำ นิยมนำมาใช้ในรูปของสารตัวเติม (Fillers) ซึ่งควรมีสมบัติที่ดูดซับพลาสติกไฮเซอรัได้ต่ำ ไม่มีน้ำเกิดขึ้นขณะกระบวนการเกิดผลึก ต้องทนอุณหภูมิในช่วงที่ใช้กับกระบวนการของพลาสติกได้ มีความอ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต [20]

CaCO_3 พบมากในธรรมชาติเกิดอยู่ในแบบของ หินปูน หินอ่อน ชอล์ก หอย เปลือกหอยกาบ และไข่มุก

1. กระบวนการผลิต แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

กระบวนการผลิต CaCO_3 สามารถ แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ดังนี้ คือ

1.1 แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ (Purified ground CaCO_3)

1.2 แคลเซียมคาร์บอเนตจากกระบวนการบดแห้งแบบหยาบ (Dry processed coarser CaCO_3)

1.3 แคลเซียมคาร์บอเนตจากการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (Precipitated CaCO_3 by Na_2CO_3 process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 แคลเซียมคาร์บอเนตจากการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Precipitated CaCO_3 by NaOH process)

1.5 แคลเซียมคาร์บอเนตจากการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการรีคาร์บอเนชัน (Precipitated CaCO_3 by recarbonation)

1.6 แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิว (Surface-coated CaCO_3)

1.7 แคลเซียมคาร์บอเนตจากกระบวนการที่มีการกระจายตัวในของเหลว (CaCO_3 dispersed in liquids)

2. ชนิดของแคลเซียมคาร์บอเนต

อาจแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบอย่างกว้างๆ ดังนี้

2.1 แร่แคลเซียมคาร์บอเนต (Mineral CaCO_3) สามารถแบ่งย่อยๆ ได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.1.1 Whiting

Whiting เป็นผงสีขาวที่ได้จากการบดและจัดอยู่ในพวกซอล์ก ซึ่งมีความบริสุทธิ์พอกๆ กับ CaCO_3 ที่ได้จากรวมชาติที่เกิดจากตะกอนของกระดูกของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กจนตามองไม่เห็นอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 μm อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

2.1.2 หินปูน หินอ่อน และแคลไซต์

หินปูนเป็นรูปแบบ CaCO_3 ที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติ เกิดจากการตกตะกอนของ Foraminifera ซึ่งแรกเริ่ม จะเกิดการตกตะกอนและรวมเข้าด้วยกัน โดยความร้อนและความดัน หินอ่อนและแคลไซต์มีความแข็ง โครงผลึกแน่นกระชับแตกต่างจากหินปูนและมีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการบดและนำมาผลิตเป็นสารตัวเติมหินปูนนั้นจะมีความหยาบมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันและพลาสติกไฮเซอรัน้อยที่สุดและให้สีขาวที่ไม่ดี ซึ่งหินอ่อนและแคลไซต์ให้สีขาวที่ดีแต่ก็มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำกว่า Whiting

เกรดของแคลเซียมคาร์บอเนตแบ่งออกโดยกระบวนการผลิตแบบเปียกและแห้ง กระบวนการผลิตแบบเปียกจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่า ขนาดของอนุภาคที่ได้ดีกว่า และการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอ แต่มีข้อเสียคือมีราคาที่สูงกว่ากระบวนการผลิตแบบแห้ง

2.1.3 โดโลไมต์ (Dolomite)

โดโลไมต์เป็นหินปูนที่มี แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ประมาณ 45% หรือน้อยกว่า อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Magnesium limestone โดโลไมต์ที่ใช้ผลิตเป็นสารตัวเติมจะให้สีที่อ่อนกว่าและเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีสมบัติในการดูดซับพลาสติกไฮเซอริที่สูงกว่าหินอ่อน

2.2 แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดตกตะกอน (Precipitated CaCO₃)

แคลเซียมคาร์บอเนตแบบตกตะกอนปกติจะใช้ในรูปที่มีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการรวมกันเป็นก้อน และช่วยให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ ซึ่งข้อดีของกระบวนการตกตะกอนคือ การเคลือบผิวอนุภาคสามารถกระทำร่วมในกระบวนการผลิตได้เลยไม่ต้องแยกออกมาเป็นอีกส่วนหนึ่ง แต่ข้อเสียคือมีราคาที่สูง

3. การปรับปรุงพื้นผิว

การปรับปรุงพื้นผิวแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกรดสเตียริกเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวที่มีการใช้กันมานานและยังมีใช้กันอย่างต่อเนื่องและกว้างขวาง การปรับปรุงพื้นผิวมีข้อดีหลายประการดังนี้

3.1 สารตัวเติมที่มีการปรับปรุงพื้นผิวนั้นทำให้สามารถกระจายตัวได้ง่ายและทั่วถึงในพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการผสมและกระบวนการผลิต

3.2 การปรับปรุงพื้นผิวช่วยในเรื่องทำให้ระยะระหว่างพื้นผิวระหว่างสารตัวเติมและเมทริกซ์ใกล้กันมากขึ้น

3.3 ช่วยในเรื่องการป้องกันพื้นผิวเกิดการแตก (Crack) รอยบุ๋ม (Notch) และอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการนำไปใช้งานและเป็นการทำให้วัสดุมีความแข็งแรง

3.4 ช่วยในเรื่องการกำจัดรอยตำหนิและรอยขีดถูบนพื้นผิว

3.5 ป้องกันสารตัวเติมจากน้ำและความชื้นที่จะทำให้เป็นจุดอ่อนแอบนคอมโพสิต

4. สมบัติทั่วไปแคลเซียมคาร์บอเนต

สมบัติทั่วไปแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมควรมีสมบัติต่างๆดังนี้

- มีความสามารถในการกระจายตัวที่ดี (ในเกรดที่ทำการเคลือบผิว) และส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางด้านไฟฟ้าเล็กน้อยของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

- เพิ่มความเหนียวและมอดุลัสยืดหยุ่น

- มีความบริสุทธิ์สูงและไม่มีไอออนของโลหะหนัก ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

- มีพื้นที่ผิวจำเพาะไม่ดูดซึมสารปรับปรุงสมบัติพลาสติกและสารเติมแต่งต่างๆ

- ต้องไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีระดับของความขาวที่สูง
- ลดการหดตัว
- ปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ
- เพิ่มความแข็งแรงกระแทก (ในกรณีที่ทำกรเคลือบผิว)
- มีราคาถูก
- ไม่อันตราย ไม่มีกลิ่นไม่มีรส ทนอุณหภูมิสูง 800-900 °C

5. การประยุกต์ใช้งาน

- ใช้ในอุตสาหกรรมของ PVC เช่น สายไฟฟ้าและสายเคเบิลท่อ
- ใช้ในอุตสาหกรรมของ PE และ PP
- ใช้ในอุตสาหกรรมของยาง เช่น สายไฟฟ้า Rubber sheet ชิ้นส่วนของรองเท้า ยางรถยนต์
- ใช้ในอุตสาหกรรมของสีทา เช่น สีน้ำ สีน้ำมัน สีอิมัลชัน สารกันรั่ว (Sealants) วัสดุทารองพื้น (Primer)
- ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง
- และในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย

2.9 งานวิจัยเกี่ยวกับแคลเซียมคาร์บอเนต

W.R. Hale และคณะ (2001) [5] ที่เติม CaCO_3 ลงใน LDPE ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มนั้นขึ้นกับปริมาณของ CaCO_3 ที่เติม และจำนวนของช่องว่างระหว่างผิวของ CaCO_3 และ LDPE นั่นคือที่ปริมาณการเติม CaCO_3 มากๆ และมีช่องว่างระหว่างผิวจำนวนมากค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าแผ่นฟิล์มธรรมดา

S. Kwon และคณะ (2002) [21] เติม CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid) ลงใน HDPE LDPE และ LLDPE พบว่าสมบัติเชิงกลและความเหนียวของพอลิเมอร์ที่เติม CaCO_3 มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เติม CaCO_3 อาจเกิดจากการเสริมแรงของ CaCO_3 ทำให้ HDPE มีความแข็งแรงดึง มอดุลัสและร้อยละการดึงยืดสูงสุดตามด้วย LLDPE และ LDPE ตามลำดับ ความเหนียวของ HDPE มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ LLDPE และ LDPE แต่ที่อัตรา

ความเครียดเฉือนสูงความหนืดของ LLDPE มีค่าสูงสุด ทั้งนี้อาจเกิดจากความแตกต่างกันของความเป็นกึ่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

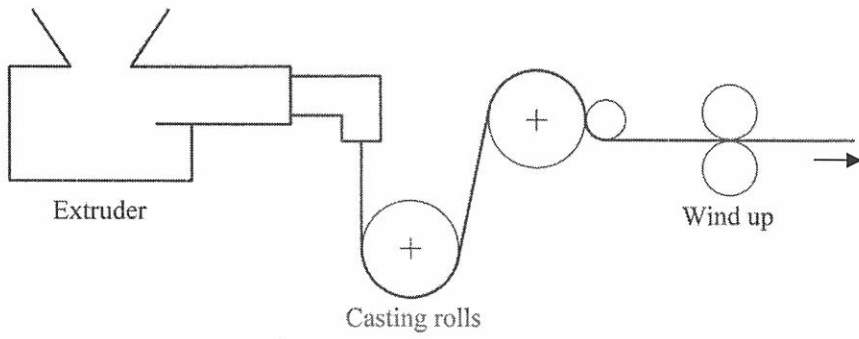
C.Chan และคณะ (2002) [22] ทดสอบเติม CaCO_3 ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรลงใน PP พบว่า CaCO_3 สามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ มีผลทำให้มอดุลัส ความแข็งแรงกระแทก และความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

M.A. Osman และคณะ (2004) [23] เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และการกระจายตัวของ CaCO_3 ใน LDPE โดย CaCO_3 ที่ใช้เติมได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid, SA) และปริมาณการเติม CaCO_3 คือ 10% และ 20% ของน้ำหนัก LDPE จากการทดสอบ CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วย SA ทำให้สมบัติเชิงกลของ LDPE ดีขึ้น โดยมีมอดุลัสของ LDPE เพิ่มขึ้นความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดของ LDPE ที่เติม CaCO_3 10% มีค่าสูงกว่า LDPE ที่เติม CaCO_3 20% นอกจากนี้ CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์

2.10 การขึ้นรูปฟิล์ม [24]

ในการวิจัยได้ทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีการหล่อฟิล์มในสถานะหลอมเหลว (Melting casting) หลักการพื้นฐานของกระบวนการนี้ คือ เม็ดพลาสติกจะรีดผ่านเกลียวขบ (Extruder) พร้อมกับให้ความร้อนเพื่อทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลว พลาสติกที่หลอมแล้วจะถูกขับออกมาผ่านหัวตาย (Die head) ที่ร้อนโดยตายที่ใช้จะเป็นแบบตายช่องยาว (Slit-die) แผ่นฟิล์มที่ได้จากการอัดรีดจะผ่านไปยังลูกกลิ้งที่ควบคุมความเร็ว และรักษาความแบนราบไว้โดยมีลูกกลิ้งช่วยเสริมการจัดเรียงตัวของแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการดึง (Draw-down) ทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มลดลงได้นอกจากนี้ยังช่วยลดความขุ่นฟิล์ม เพิ่มความเงาของแผ่นฟิล์มและเพิ่มอัตราการอัดรีด ดังแสดงในรูปที่ 2.4

กระบวนการทำฟิล์มหล่อเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความหนืดต่ำ ได้แก่ พอลิเอทิลีนเทอพลาทาเลท ไนลอน พอลิสไตรีน และพอลิพรอพิลีน เป็นต้น ถ้าจะใช้กับพอลิเอทิลีนจะต้องใช้อุณหภูมิและอัตราการหล่อเย็นค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำฟิล์ม [24]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรดอัดรีดสำหรับผลิตฟิล์ม (LD1905FA) จากบริษัทซีซีซี ค่าเคมีภัณฑ์จำกัด สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แสดงดังตารางที่ 3.1

2. ซีโอไลต์เอ (Zeolite A) ชนิดไม่เคลือบผิว บริษัทพีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด สมบัติบางประการของ ซีโอไลต์เอ แสดงดังตารางที่ 3.2

3. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ชนิดไม่เคลือบผิวเกรด OMYACARB 2 จากบริษัท สุรินทร์ ออมย่า เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด สมบัติบางประการของแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงดังตารางที่ 3.3

4. เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin)

5. โคบอลต์แนฟทีเนต (Cobalt naphthenate)

6. เมทิล เอทิล คีโตน เปอร์ออกไซด์ (Methyl ethyl ketone peroxide)

7. แอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (Anhydrous calcium chloride)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	LD 1905FA
ดรรชนีการไหล	กรัม/10 นาที	ASTM D 1238	5.0
ความหนาแน่น	กรัม/ลบ.ซม.	ASTM D 1505	0.919
ความต้านทานแรงดึงยืด	กก./ตร.ซม.	ASTM D 638	MD:240* TD:170*
ความยืดที่จุดขาด	%	ASTM D 638	MD:320* TD:680*
ความต้านทานแรงฉีกขาด	กรัม/25 ไมครอน	ASTM D 1922	MD:370* TD:210*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

สมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	LD 1905FA
ความต้านแรง กระแทกของฟิล์ม	กรัม	ASTM D 1790	105*
ความฝ้า	%	ASTM D 1003	6*
ความเงามัน	%	ASTM D 2457	85*
มอดุลัสการโค้งงอ	กก./ตร.ซม.	ASTM D 790	2100
ความแข็ง, Shore D	-	ASTM D 2240	46
จุดหลอมเหลว	องศาเซลเซียส	ASTM D 2117	108

*ฟิล์มหนา 40 ไมครอน (เป้าที่อัตราเบ่ง 2:1)

MD: ทดสอบตามแนวเครื่องจักร TD: ทดสอบตามแนวขวางเครื่องจักร

(ข้อมูลตารางที่ 3.1 มาจากบริษัทซีซีที ค้าเคมีภัณฑ์ จำกัด)

ตารางที่ 3.2 สมบัติซีโพลีเอที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ลักษณะ	ผงที่มีการไหลอิสระ
สี	ขาว
ร้อยละความเป็นผลึก	99
ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/ลิตร)	363
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมครอน)	4.03
ความแข็ง	4-5

(ข้อมูลตารางที่ 3.2 มาจากบริษัทพีคิวเคมิคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	หน่วย	CaCO ₃ (OMYACARB-2)
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	ไมครอน	2.8
ความหนาแน่น	กรัม/ลบ.ซม.	2.7
ความไม่ละลายในกรด	%	0.0

(ข้อมูลตารางที่ 3.3 มาจากบริษัทสุรินทร์ ออมยา เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin-screw extruder, รุ่น PL 2100 ; Melchers-Ferrostaal)
2. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder machine, รุ่น A600 ; Bosco Engineering)
3. เครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (Sheet extruder ; Axon ab. Plasma skinner)
4. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, LLOYD รุ่น LR 5K ; LLOYD Instrument Co.,Ltd.)
5. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter , รุ่น DSC-50 ; Shimadzu Co.,Ltd) และ (Thermogravimetric Analysis, รุ่น Pyris 1 TGA ; Perkin Elmer Co.,Ltd)
6. ตู้อบ (MEMMERT, รุ่น UM 400)
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, รุ่น JSM-5410 ; JEOL Co.,Ltd)
8. ตู้อินคิวเบเตอร์ (Incubator, Gallenkamp, รุ่น Tlus II incubator)
9. ขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 43 มิลลิเมตร พร้อมฝาเจาะรู 4 รูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 มิลลิเมตร และปริมาตรขวด 148 มิลลิลิตร
10. เครื่องอัดแรงลม
11. ไมโครมิเตอร์
12. ไม้บรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างทั้งหมด 6 สูตร โดยแต่ละสูตรมีน้ำหนักรวมประมาณ 1 กิโลกรัม (แสดงดังตารางที่ 3.4) ผสมแต่ละสูตรโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ที่อุณหภูมิหัวตาย 180°C ความเร็ว 15 รอบ/นาที แล้วนำแต่ละสูตรที่ผสมแล้วไปบดเป็นเม็ดเล็กโดยใช้เครื่องบดพลาสติก

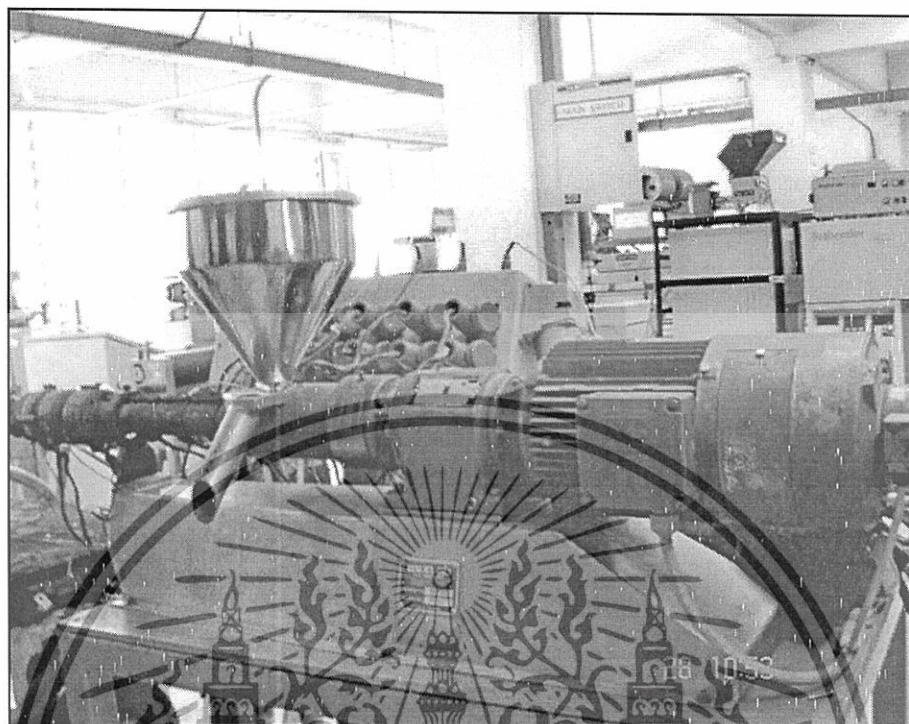
ตารางที่ 3.4 สัดส่วนน้ำหนัก LDPE, ซีโอไลต์เอ และ แคลเซียมคาร์บอเนต

สูตรที่	LDPE	Zeolite A	CaCO ₃
1	100	0	0
2	95	5	0
3	95	0	5
4	90	0	10
5	85	0	15
6	80	0	20

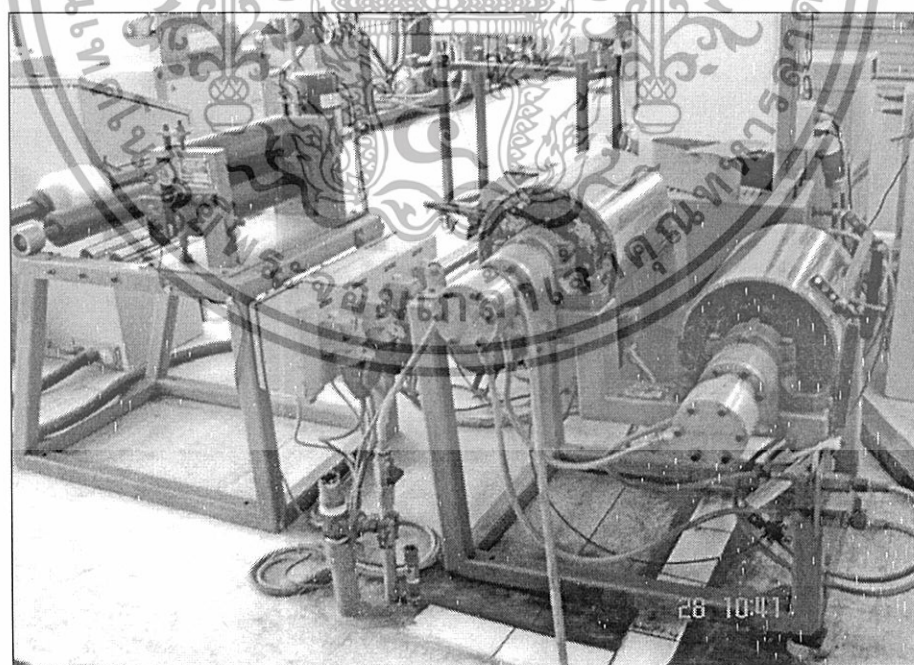
3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

นำสารผสมที่ได้จากข้อ 3.3.1 แต่ละสูตรมาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 17 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหย จากนั้นทำการขึ้นรูปโดยเครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์มที่มีขนาดความกว้างของตายแบบช่องยาว 198 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตรอุณหภูมิที่หัวตาย 180°C อุณหภูมิลูกกลิ้งตั้ง 25°C และอัตราการดึงยืด 6 m/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพลาสติก : (a) เครื่องอัดรีดเกลียวหอนเดี่ยว และ (b) ชุดดึงฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

3.3.3.1 การวัดความกว้างและความหนาของฟิล์มตัวอย่าง

นำฟิล์มตัวอย่างมาวัดความกว้างด้วยไม้บรรทัดจำนวน 10 จุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ จำนวน 50 จุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.3.3.2 การตรวจสอบปริมาณที่แน่นอนของสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาหาปริมาณสารตัวเติม โดยใช้เครื่อง TGA โดยใช้น้ำหนักฟิล์ม ประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 600°C นำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาปริมาณสารตัวเติมที่แน่นอนตามมาตรฐาน ASTM E 1131 [25]

3.3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง DSC โดยใช้น้ำหนักฟิล์ม ประมาณ 5-10 mg. นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 180°C แล้วนำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิของการหลอมตัว (T_m) ความร้อนของการหลอมผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกตามมาตรฐาน ASTM E794 [26]

3.3.3.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง

นำฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด $1 \times 3 \text{ cm}^2$ แล้วทำการเคลือบด้วยเรซิน โดยตั้งเรซิน พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) ในบีกเกอร์พลาสติกประมาณ 20 กรัม และเติมสารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Cobalt naphthenate) 0.2 % โดยน้ำหนักของเรซิน คนให้เข้ากัน จากนั้นใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Methyl ethyl ketone peroxide) 1% โดยน้ำหนักของเรซิน คนให้เข้ากันแล้วจึงใช้แปรงทาเรซินลงบนแผ่นใสขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานเล็กน้อย วางแผ่นฟิล์มลงบนเรซินแล้วใช้แปรงทาเรซินทับบนแผ่นฟิล์มอีกครั้งโดยใช้แปรงเกลี่ยให้บาง จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นจึงแกะชิ้นงานออกจากแผ่นใส แช่ชิ้นงานลงในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 30 นาที แล้วหักในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่จากนั้นแกะเรซินแข็งออกจากแผ่นฟิล์มแล้วนำฟิล์มมาเคลือบด้วยทองและนำพื้นผิวตรงรอยแตกมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.3.5.1 สมบัติความแข็งแรงดึง

ตัดฟิล์มตัวอย่างทั้งสองทิศทางคือแนวตามเครื่อง (MD) และแนวขวางเครื่อง (TD) เป็นรูปดัมเบลล์ด้วยเครื่องอัดแรงลมทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ ที่ความเร็วในการดึง 200 mm/min ระยะของการจับชิ้นงาน 25 mm Load cell 100 N ที่อุณหภูมิห้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 [27] เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และยังมีมอดุลัส (Young's modulus)



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์

3.3.3.5.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด

ตัดฟิล์มตัวอย่างทั้งสองทิศทางคือแนวตามเครื่อง (MD) และแนวขวางเครื่อง (TD) เป็นรูปปีกนกแบบ Die C ตามมาตรฐาน ASTM D624 [28] ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine) ใช้ load cell 100 N ความเร็วในการดึง 50 mm/min

3.3.3.6 ศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ [29]

ตัดฟิล์มขนาดเท่าปากขวดสำหรับทดสอบการซึมผ่านไอน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 มิลลิเมตร นำแอนไฮดริสแคลเซียมคลอไรด์ใส่ในขวดปริมาณ 65 กรัม จากนั้นนำฟิล์มที่ตัดไว้ ขวดทดสอบ และฝาขวดไปอบแห้งให้มีน้ำหนักที่ ประกอบชุดทดสอบโดยนำฟิล์มที่ตัดไว้มาวางบนปากขวดทดสอบแล้วปิดฝาขวดที่ทำการเจาะรู เพื่อให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนนำขวดที่เตรียมได้ไปวางไว้ในตู้อินคิวเบเตอร์ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์คงที่ (โดยวางปีกเกอร์บรรจุน้ำใส่ไว้ตลอดเวลา) โดยใช้อุณหภูมิเท่ากับ 38 °C และนำขวดออกมาชั่งน้ำหนักทุกวัน จนครบ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

เนื่องจากในการทดลองใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และซีโอไลต์เอ เดิมลงใน LDPE หลายสูตรในการนำเสนอลงจึงใช้อักษรย่อเพื่อแสดงแทนสูตรต่างๆดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรของฟิล์ม LDPE ที่ใช้ในการทดลองนี้

ลำดับ	สูตรที่ใช้ในการทดลอง	อักษรย่อที่ใช้แทน
1	LDPE 100%	LDPE
2	LDPE 95%/Zeolite A 5%	L/Z5
3	LDPE 95%/CaCO ₃ 5%	L/Ca5
4	LDPE 90%/CaCO ₃ 10%	L/Ca10
5	LDPE 85%/CaCO ₃ 15%	L/Ca15
6	LDPE 80%/CaCO ₃ 20%	L/Ca20

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

จากการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆ นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพโดยวัดความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์มดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความกว้างและความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มในแต่ละสูตร

สูตร	ความกว้าง (mm)	ความหนา (μm)
LDPE	100.8 \pm 4.0	27.8 \pm 5.2
L/Z5	110.7 \pm 3.2	35.7 \pm 6.9
L/Ca5	106.3 \pm 2.9	26.0 \pm 7.5
L/Ca10	111.6 \pm 1.7	23.7 \pm 3.3
L/Ca15	109.2 \pm 1.6	27.9 \pm 3.9
L/Ca20	100.1 \pm 1.0	45.1 \pm 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 พบว่าความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์มอยู่ในช่วง 100-115 มม. และ 20-45 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งแผ่นฟิล์มนี้ได้จากการขึ้นรูปโดยเจ้าหน้าที่ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นความเร็วสกรูและ/หรือความเร็วในการดึงของลูกกลิ้งในแต่ละสูตรอาจไม่เท่ากัน จากตารางพบว่าสูตรที่มีปริมาณ CaCO_3 20%wt มีความหนามากกว่าสูตรอื่น อาจเนื่องมาจากการใส่สารตัวเติมมากทำให้ความหนืดสูง พอลิเมอร์จึงออกมาจากสกรูช้า แผ่นฟิล์มที่ได้จึงบางเกินไป และมีรอยแตกเกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องปรับความเร็วในการดึงให้ช้าลง เพื่อให้สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มได้ จึงทำให้แผ่นฟิล์มในสูตรนี้หนากว่าสูตรอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารตัวเติม CaCO_3 กับ ซีโอไลต์เอ ที่ปริมาณเท่ากัน (5%wt) พบว่าความหนาต่างกันอาจเนื่องมาจากซีโอไลต์เอ สามารถดูดซับน้ำได้ดีจึงต้องปรับความเร็วในการดึงให้ช้ากว่าปกติเพราะถ้าดึงเร็วฟิล์มอาจจะแตกได้จึงทำให้มีความหนามากกว่า CaCO_3 ที่ปริมาณเท่ากัน

4.2 ปริมาณสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง

จากการทดสอบเพื่อหาปริมาณที่แน่นอนของสารตัวเติมที่มีอยู่ในฟิล์มตัวอย่างโดยใช้เทคนิค TGA ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ปริมาณสารตัวเติมที่กำหนดไว้ (%wt)	ปริมาณสารตัวเติมที่พบในเทคนิค TGA (%wt)
LDPE	0.0	0.0
L/Z5	5.0	3.2
L/Ca5	5.0	5.7
L/Ca10	10.0	9.0
L/Ca15	15.0	13.6
L/Ca20	20.0	17.9

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่างในเทคนิค TGA มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ (โดยเฉพาะซีโอไลต์เอ ที่ 5%wt) อาจเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างผิวของ LDPE กับสารตัวเติม และ LDPE มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและความหนาแน่นน้อยกว่าสารตัวเติม เมื่อเท LDPE ที่ผสมสารตัวเติมลงในฮอปเปอร์ (Hopper) ของเครื่องอัดรีดแบบเอกสาร์นี่เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลียวหนอนคู่ เม็ด LDPE และอนุภาคสารตัวเติมจะเคลื่อนที่ตามแรงขับของสกรูแต่จะมีอนุภาคของสารตัวเติมบางส่วนตกลงอยู่ที่ส่วนล่างของ Hopper และเคลื่อนที่ได้ยากกว่าเม็ด LDPE เมื่อสกรูหมุนเคลื่อนที่ไปทำให้เกิดการแยกระหว่างเม็ด LDPE กับอนุภาคสารตัวเติมได้ง่ายและในขั้นตอนการขึ้นรูปอนุภาคของสารตัวเติมบางส่วนอาจติดค้างในเครื่องขึ้นรูปฟิล์มจึงทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีปริมาณสารตัวเติมน้อยลง

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มาทำการตรวจสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC แล้วนำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิของการหลอมตัว (T_m) ความร้อนของการหลอมผลึก และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%Crystallinity) ดังนี้

T_m คือ อุณหภูมิของการหลอมผลึก

ΔH_f คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึก

%crystallinity คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกในสารตัวอย่าง

ΔH_f° คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 293 J/g [30]

ΔH_f = $\frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของการ heating}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}}$

$$\%crystallinity = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ} \times \frac{100}{(100 - \text{ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริง})} \times 100$$

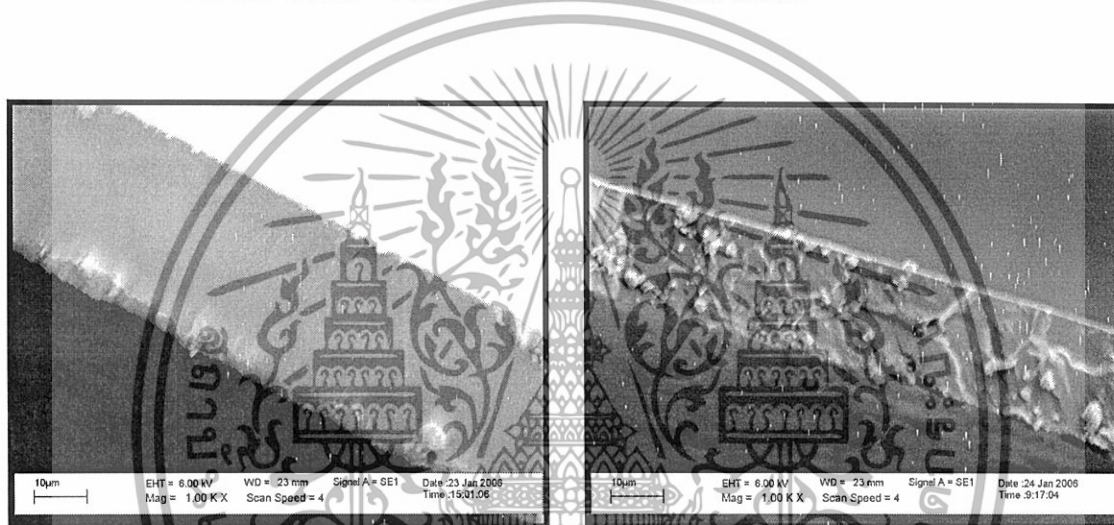
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริง (%)	T_m (°C)	ΔH_f (Normalised) (J/g)	%crystallinity
LDPE	0.00	110	63.47	22
L/Z5	3.18	110	56.80	21
L/Ca5	5.72	110	61.47	22
L/Ca10	9.03	109	57.49	21
L/Ca15	13.62	110	54.44	22
L/Ca20	17.89	109	47.82	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

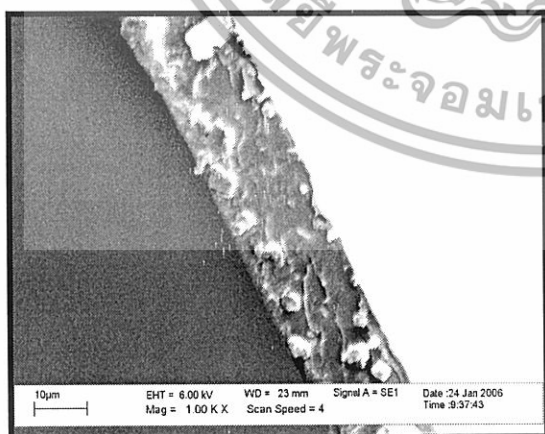
จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการหลอมผลึก (T_m) มีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ CaCO_3 หรือ ซีโอไลต์เอ ที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและความสมบูรณ์ของผลึก นอกจากนี้สารตัวเติมทั้งสองชนิดไม่ได้ไปขัดขวางการเกิดผลึก โดยดูได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกในฟิล์มตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันกับ LDPE

4.4 ลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติมในแผ่นฟิล์ม



(a) LDPE

(b) L/Z5

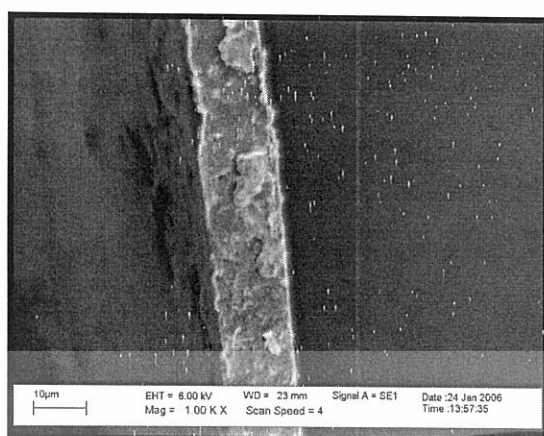


(c) L/Ca5

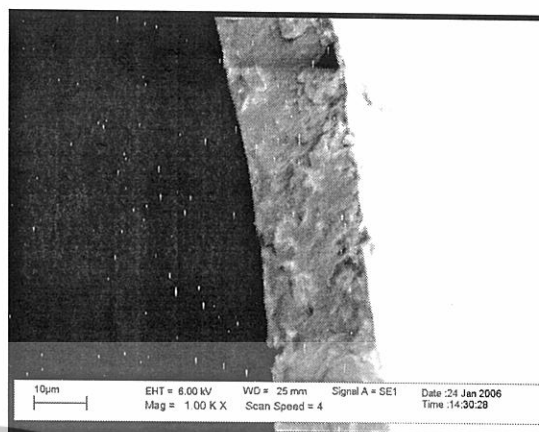


(d) L/Ca10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(e) L/Ca15



(f) L/Ca20

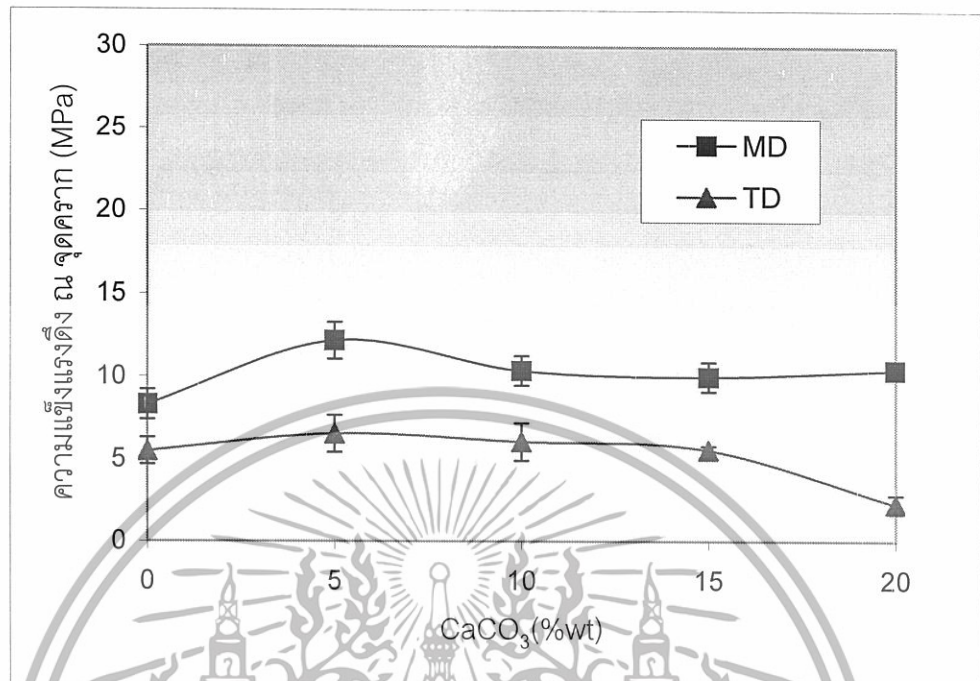
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวที่แตกหักที่อุณหภูมิเตาของฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 และ ซีโอไลต์เอ เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อใส่สารตัวเติม CaCO_3 ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถพบ CaCO_3 มากขึ้น ทั้งที่อยู่ในลักษณะอนุภาคเดี่ยวเป็นก้อนใหญ่ (Aggregate) และเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ (Agglomerate) โดยจะเห็นเป็นกลุ่มก้อนใหญ่มากขึ้น เมื่อปริมาณ CaCO_3 เพิ่มขึ้น เนื่องจาก CaCO_3 มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น ทำให้การแตกตัว (Dispersion) และการกระจายตัว (Distribution) ยากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมระหว่าง CaCO_3 และซีโอไลต์เอ ที่ปริมาณเดียวกัน คือ 5%wt ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยทำให้สารตัวเติมทั้งสองชนิดนี้มีการกระจายตัวที่ดีพอๆกัน

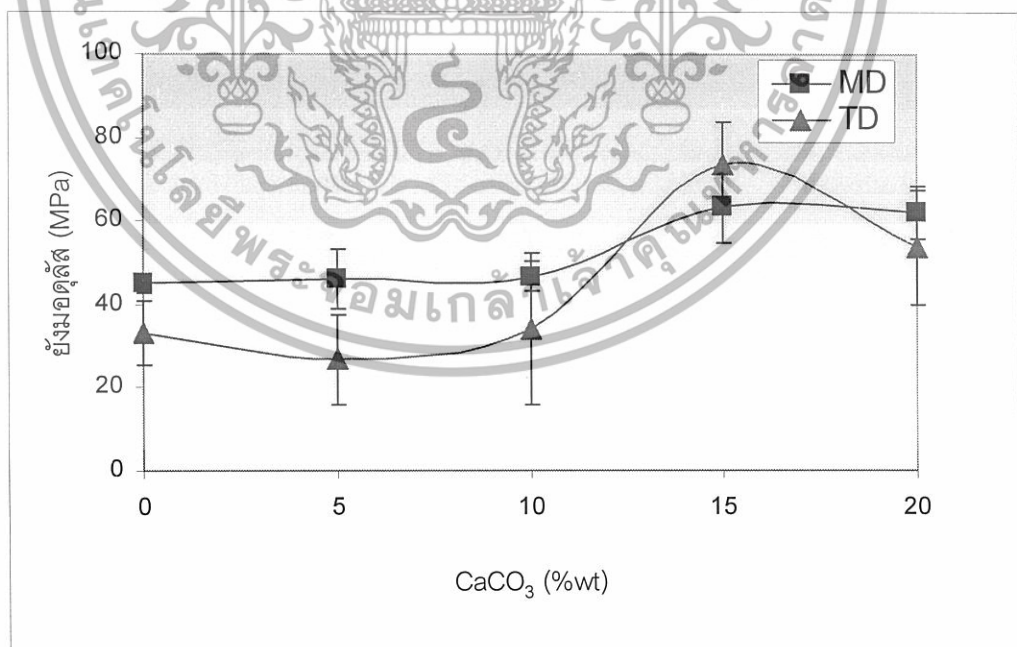
4.5 สมบัติเชิงกล

จากการทดสอบการรับแรงดึง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมในทิศทางตามแนวเครื่อง (MD) และแนวขวางเครื่อง (TD) ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

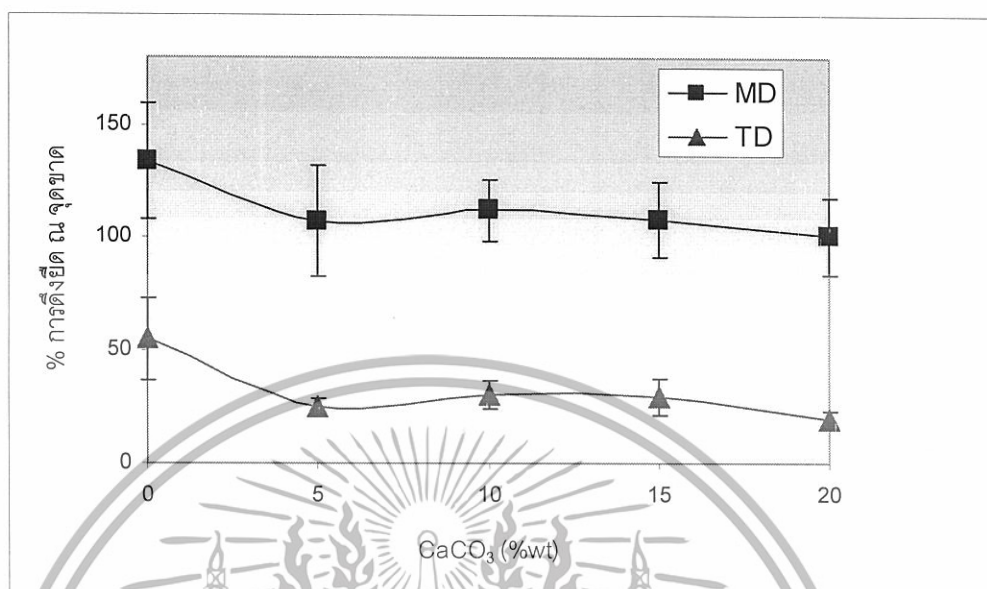


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดครากกับปริมาณ CaCO₃

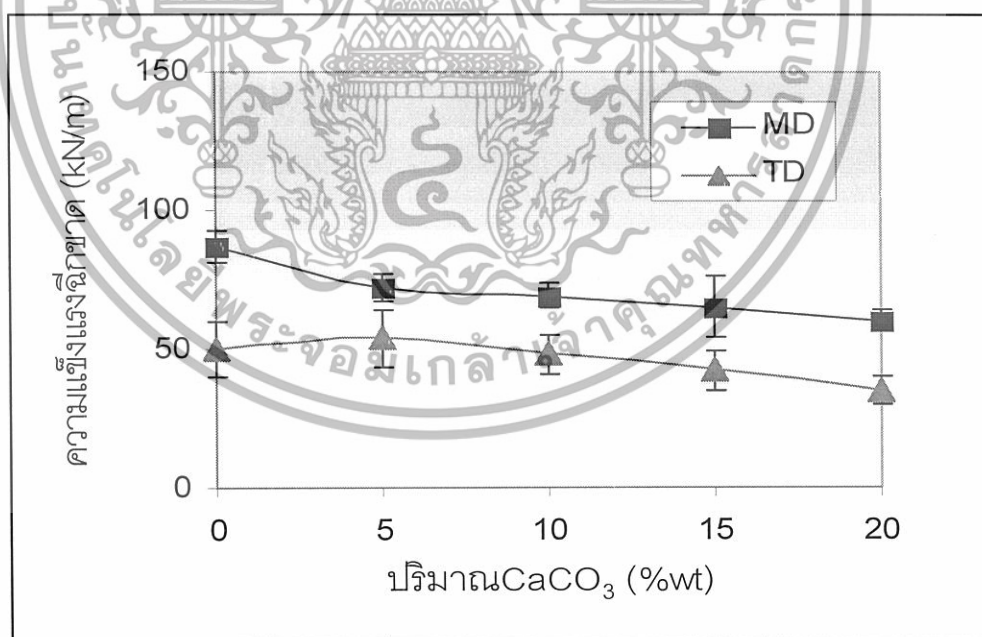


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดูลัสกับปริมาณ CaCO₃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดกับปริมาณ CaCO₃



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดกับปริมาณ CaCO₃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากและมอดุลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างตามลำดับ พบว่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ เนื่องจากทุกสูตรมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอๆกันและการใส่ CaCO_3 ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมอาจไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ส่วนค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจาก CaCO_3 ที่ใช้มีมอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์ และ CaCO_3 เป็นของแข็งทำให้เปลี่ยนรูปยากต้องใช้แรงกระทำสูงเพื่อขยับสายโซ่พอลิเมอร์ในช่วงเริ่มต้น

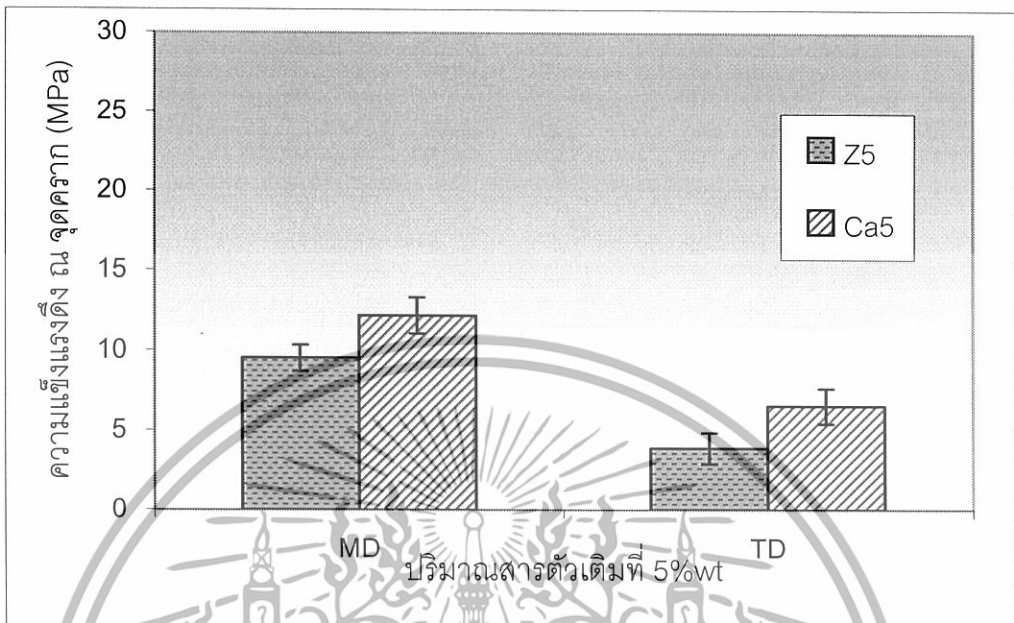
จากรูป 4.4 แสดงร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้น เนื่องจาก CaCO_3 เป็นอนุภาคของแข็งสามารถขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ความสามารถในการยืดออกของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง

จากรูป 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง จากการตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนกซึ่งบริเวณมุมชิ้นงานจะทำให้เกิดความเค้นสะสม (Stress concentration) เมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดได้ง่ายตรงบริเวณนี้ ดังนั้นเมื่อใส่ CaCO_3 ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งในชิ้นงานและเป็นการเพิ่มจุดสะสมความเค้นบนชิ้นงาน จึงทำให้ความแข็งแรงฉีกขาดลดลงเมื่อปริมาณ CaCO_3 เพิ่มขึ้น

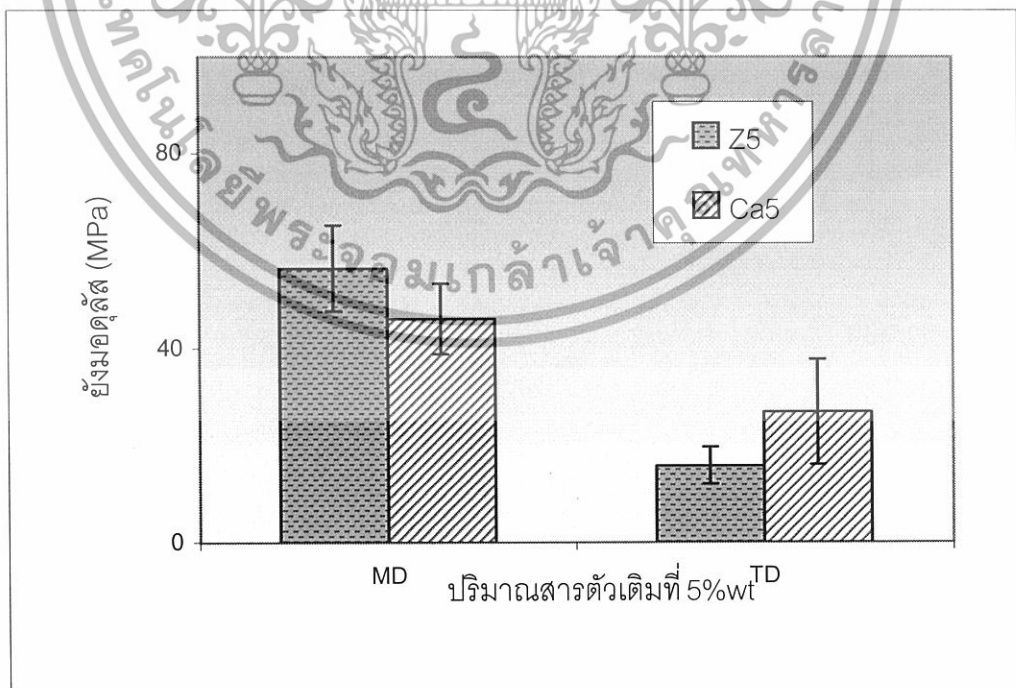
จากการทดสอบความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก มอดุลัส ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างทั้งสองแนว (MD และ TD) พบว่าสมบัติต่างๆ ส่วนใหญ่ของแผ่นฟิล์มที่ทดสอบในแนว MD มีค่าสูงกว่าแนว TD เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีดฟิล์มในสภาวะหลอมเหลว (Melt casting) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นตัวดึงยืด ทำให้โมเลกุลของ LDPE ในฟิล์มส่วนใหญ่เกิดการจัดเรียงตัวในทิศทาง MD มากกว่า TD

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ใช้ CaCO_3 5%wt กับ ซีโอดีเอ 5%wt ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6-4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

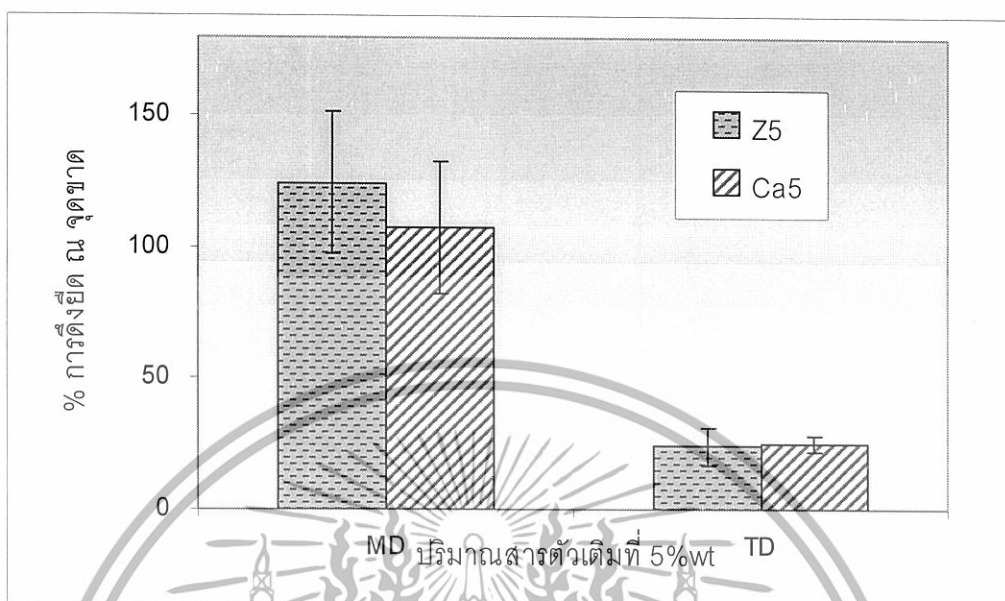


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดครากกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง

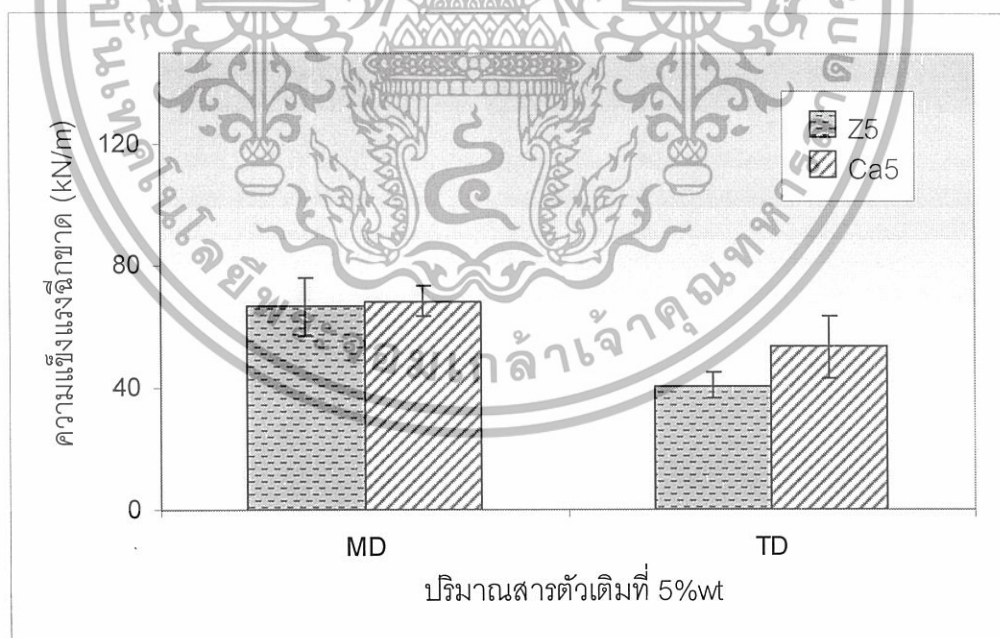


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดกับปริมาณสารตัวเติมที่ 5%wt ของฟิล์มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงความแข็งแรงดึง ณ จุดครากพบว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มี ซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติมให้ค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 เป็นสารตัวเติมเนื่องจาก ซีโอไลต์เอสามารถดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นในขั้นตอนการขึ้นรูปอาจมีโมเลกุลของไอน้ำถูกกักอยู่ ภายในแผ่นฟิล์มตัวอย่างทำให้เป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน ซึ่งส่งผลทำให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดครากลดลง ส่วนยังมอดูลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีซีโอไลต์เอ เป็นสารตัวเติมมีค่ามากกว่า แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 เป็นสารตัวเติม เนื่องจากซีโอไลต์เอ เป็นสารอนินทรีย์และมี โครงสร้างเป็นซิลิเกตที่มีความแข็งแรงกว่า CaCO_3

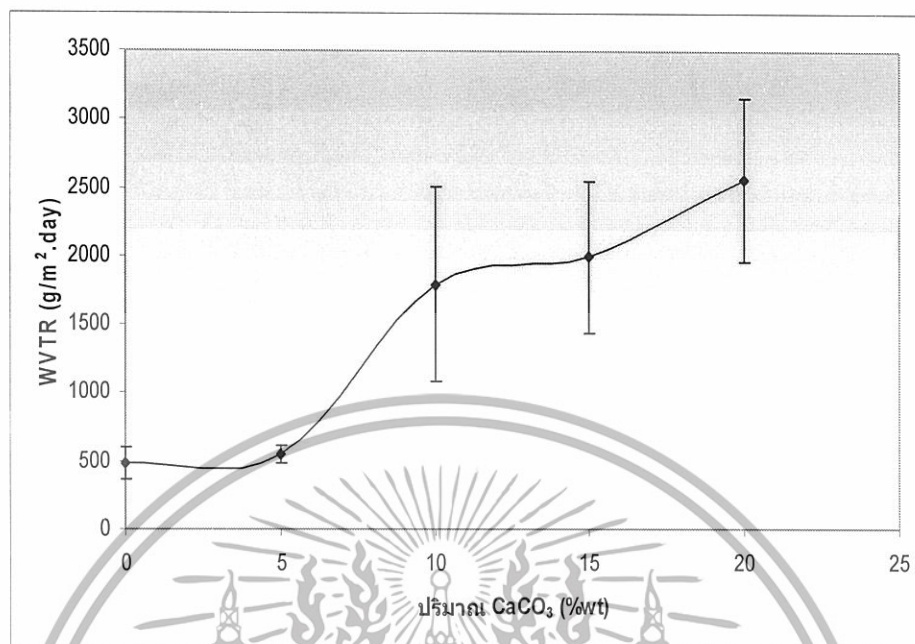
จากรูปที่ 4.8 แสดงร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด พบว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 และซี โอไลต์เอ เป็นสารตัวเติมมีค่าพอๆกัน เพราะค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกว้างเนื่องจากฟิล์มที่ใช้ทดสอบ มีความหนาที่แตกต่างกันมาก

จากรูปที่ 4.9 ศึกษาความแข็งแรงฉีกขาด พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันซึ่งให้ผลการทดลอง เช่นเดียวกับงานวิจัยของกัญญาวีร์ สุวรรณชัย [18] อาจเนื่องจากที่ปริมาณสารตัวเติมน้อย (เช่น 5%) อาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเค้นสะสมมากนัก

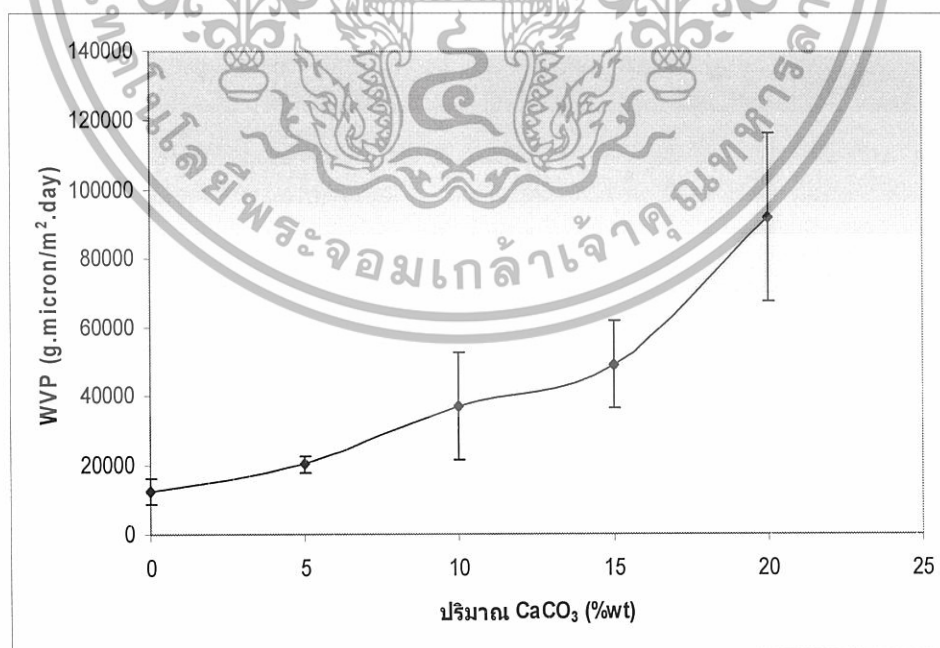
4.6 การซึมผ่านไอน้ำ

จากกการทดสอบตามหัวข้อ 3.3.3.6 แล้วนำข้อมูลของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาเขียนกราฟรวม กับวันที่ให้ไอน้ำผ่านชุดทดสอบ ค่าความชันที่ได้คือค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate; WVTR) (ข้อมูลดิบและวิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข) และนำค่า WVTR ของทุกสูตรที่ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติมมาแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.10

ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability; WVP) สามารถคำนวณ ได้โดยนำค่าความหนาของแผ่นฟิล์มคูณกับ WVTR ซึ่งค่า WVP ของทุกสูตรที่ใช้ CaCO_3 เป็นสาร ตัวเติมได้แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.10 ค่า WVTR กับปริมาณ CaCO_3 ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง



รูปที่ 4.11 ค่า WVP กับปริมาณ CaCO_3 ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่า WVTR และ WVP ของฟิล์มตัวอย่างที่มี CaCO_3 และซีโอไลต์เอ ปริมาณ 5%wt เป็นสารตัวเติม

สูตร	ความหนาเฉลี่ย (μm)	WVTR เฉลี่ย ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	WVP เฉลี่ย ($\text{g} \cdot \mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)
L/Z5	38.7 ± 4	685 ± 218	26475 ± 8207
L/Ca5	36.6 ± 0.8	552 ± 67	20163 ± 2234

หมายเหตุ ความหนาเฉลี่ยในตารางเป็นค่าเฉพาะฟิล์มที่นำมาทดสอบ จึงเป็นข้อมูลคนละชุดกับในตารางที่ 4.2

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่า WVTR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มค่อนข้างบาง และปกติการซึมผ่านไอน้ำจะซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ 3 ทางด้วยกันคือ

1. ไอน้ำสามารถซึมผ่านบริเวณที่เป็นข้อต่อฐานของพอลิเมอร์
2. ไอน้ำสามารถซึมผ่านช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุภาคของ LDPE กับสารตัวเติม
3. ไอน้ำสามารถซึมผ่านรูพรุนของสารตัวเติม ซึ่งจะเกิดได้ในกรณีที่รูพรุนของสารตัวเติมต้องมีความชอบน้ำและมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของไอน้ำ

แต่จากสมบัติทางความร้อนพบว่าฟิล์มทุกตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอๆกัน ดังนั้นความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำในส่วนที่เป็นข้อต่อฐานน่าจะใกล้เคียง และโดยทฤษฎีแล้วการซึมผ่านไอน้ำจะมากขึ้นเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยที่ 2 ส่วนที่ปริมาณ CaCO_3 0%wt และ 5%wt พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ CaCO_3 5%wt มีความหนามากกว่าจึงทำให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำใกล้เคียงกับที่ปริมาณ CaCO_3 0%wt และถ้าไม่คำนึงถึงปัจจัยความหนาแผ่นฟิล์ม สามารถศึกษาได้จากค่า WVP ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งคำนวณจากผลคูณของ WVTR กับความหนา พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ CaCO_3 เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ใช้ CaCO_3 5%wt กับซีโอไลต์เอ 5%wt เป็นสารตัวเติม ซึ่งโดยปกติแล้วการซึมผ่านไอน้ำของซีโอไลต์เอ จะเกิดเนื่องจากปัจจัยที่ 2 และ 3 ดังนั้นซีโอไลต์เอจึงมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้มากกว่า เนื่องจากปัจจัยที่ 3 และเมื่อศึกษา WVP ก็พบว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ใช้ซีโอไลต์เอ เป็นสารตัวเติมมีค่ามากกว่า CaCO_3 เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการผลิตแผ่นฟิล์ม LDPE ที่ใช้ CaCO_3 (0-20%wt) และซีโอไลต์เอ (5%wt) เป็นสารตัวเติมโดยการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดรีดฟิล์มในสภาวะหลอมเหลว (Melt casting) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นตัวดึงยืด ทำให้โมเลกุลของ LDPE ในฟิล์มเกิดการจัดเรียงตัวในทิศทาง MD มากกว่า TD ดังนั้นเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ตามแนวเครื่องจักรจึงมากกว่าแนวขวางเครื่องจักร

จากการใช้ CaCO_3 และซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติมในฟิล์ม LDPE พบว่าสารตัวเติมทั้งสองไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนได้จากค่าอุณหภูมิในการหลอมผลึก (T_m) ที่ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

ความแข็งแรงดึง ณ จุดครากค่อนข้างคงที่เมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้น ยังมอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ (ที่ 5%wt) พบว่าฟิล์มที่มี CaCO_3 เป็นสารตัวเติมมีความแข็งแรงดึง ณ จุดครากมากกว่าแต่ยังมีมอดูลัสน้อยกว่า ส่วนเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าพอกัน

การซึมผ่านไอน้ำพบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้น การซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติม พบว่าซีโอไลต์เอมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำดีกว่า

จากผลการทดสอบโดยรวมพบว่าชนิดและปริมาณสารตัวเติมที่ดีที่สุด คือ CaCO_3 20%wt ซึ่งน่าจะเหมาะในการใช้ทำฟิล์มห่อผักและผลไม้ได้ เพราะมีการซึมผ่านไอน้ำดีที่สุด แม้ว่าสมบัติเชิงกลบางประการลดลงแต่ไม่ได้ส่งผลในการใช้งานมากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้สามารถผลิตฟิล์มที่ใช้ซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติมได้เพียง 5%wt จึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับฟิล์มที่มี CaCO_3 ที่สูตรอื่นๆได้เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์เอมากกว่านี้ดังนั้นควรจะเปลี่ยนวิธีการขึ้นรูปใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. พิภพ อินจันทร์. **วิทยาการเกษตร**. [Online] <http://www.kasetshow.com/Agricultural-science>
2. R.L.shewfelt and B.Bruckner,Editor. 2000. **Fruit and vegetablequality**. Pennsylvania. Technomic Publishing Company.
3. ตะวัน สุขน้อย.2547. **เอกสารประกอบการสอนวิชาซีไอไลต์**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
4. โชคชัย ผลแก้ว และธนพร สุขพิงธรรม. 2545. **การปรับปรุงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่องานฉีดขึ้นรูป**. โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
5. W.R.Hale, KK.Dohrer, M.R.Tant and I.D.Sand. 2001. **A diffusion model for water vapour transmission through microporous polyethylene/ calciumcarbonate films**. *Colloids and Surface*, vol; 187-188: 483-491.
6. วินิต ชินสุวรรณ. 2545. **วารสารการบรรจุภัณฑ์**. 10 (2):32.
- 7.งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. **ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สำนักงานส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
8. ดนัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์. 2540. **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
9. สุเนตร ไม้่งปราณีต. 2544. **วารสารการบรรจุภัณฑ์**. 9 (7): 4-6.
10. S. Artes and J.A. Martinez. 2001. **Quality of cauliflower as influenced by film during shipment**. *Europian Food Resident Technology*. vol. 209: 330-334
11. C. Devallencount, S. Maris, I.M.Saiter, M.Labbe and M. Metayer. 2002. **polymer testing**. vol: 21, Issue 3: 253-262.
12. R.B. Habibunsa and K.M. Shiviah. 2001. **Storage behaviour of minimally peocessed pumpkin (Cucurbita maxima) under modified atmosphere packaging condition**. *Europian Food Resident Technology*. vol: 212: 165-169.
13. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. 2546. **เคมีพอลิเมอร์**. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: 49-52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2526. **พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
15. S.N. Dirim, H.O. Ozden, A. Bayindirli and A. Esin. 2004. Modification of water vapour transfer rate of low density polyethylene films for food packaging: 9-13.
16. P.A. Gomez and F. Artes. 2005. Improved keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging: 323-329.
17. วนิดา แซ่ลิ้ม และสุภาพร ประเสริฐศิริเจริญ. 2545. **สมบัติเชิงกล สมบัติการไหลและการซึมผ่านไอน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ**.
โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
18. กัญญาวีร์ สุวรรณชัย. 2548. **การใช้ซีโอไลต์เอเพื่อปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ**. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
19. S.N. Dirim, H.O. Ozden, A. Bayindirli and A. Esin. 2004. *J. of Food Engineering*. 63: 9-13.
20. โชคชัย ผลแก้ว และธนพร สุขพิงธรรม. 2545. **การปรับปรุงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่องานฉีดขึ้นรูป**. โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 5-8.
21. S. Kwon, K.J. Kim, H. Kim, P.P. Kundu, T.J. Kim, Y.K. Lee, B.H. Lee and S. Choe. 2002. Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE and LLDPE composite. *Polymer*. vol. 43: 6901-6909.
22. C. Chan, J. Wu, J. Li and Y. Cheung. 2002. Polypropylene/calciumcarbonate nanocomposites. *Polymer*. vol. 43: 2981-2992.
23. M.A. Osman, A. Atallah and U.W. Suter. 2004. Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE-CaCO₃ composites. *Polymer*. vol. 45:1177-1183.
24. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2542. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 191-192.
25. Annual Book of ASTM Standard. vol. 14.02. 2000: 394-398.
26. Annual Book of ASTM Standard. vol. 14.02. 2000: 339-342.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27. Annual Book of ASTM Standard. vol. 08.01. 1996: 45-56.
28. Annual Book of ASTM Standard. vol. 09.01. 2000: 123-123.
29. เบญจมาศ มุ่งเขตกลาง และพัชรภา อ่วมภูมิ. 2547. **สมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดเอ** โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง: 15.
30. Annual Book of ASTM Standard. vol. 08.03. 1988: 52-73.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการหาสารตัวเติมที่มีอยู่จริงในตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Thermal gravimetric analyzer

สูตร	%LDPE			%สารตัวเติม
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย	
LD/Z5	96.47	97.14	96.81	3.19
LD/Ca5	95.38	93.18	94.28	5.72
LD/Ca10	90.82	91.12	90.97	9.03
LD/Ca15	87.53	85.22	86.38	13.62
LD/Ca20	81.69	82.53	82.11	17.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลดิบและตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate; WVTR) ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability; WVP)

สูตร	ขวดที่	น้ำหนักชุดทดสอบ (กรัม)							
		ก่อนอบ	หลังอบ						
			วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
LDPE	1	159.52	159.76	159.93	160.11	160.54	160.77	161.90	161.20
	2	159.96	160.57	160.89	161.20	161.90	162.26	162.50	162.99
	3	158.03	158.25	158.42	158.58	158.98	159.20	159.33	159.62
	4	160.65	160.83	160.97	161.10	161.44	161.63	161.73	161.98
	5	158.15	158.46	158.73	158.98	159.73	160.04	160.25	160.46
	6	158.75	158.98	159.17	159.34	159.77	160.00	160.15	160.43
	7	158.35	158.69	159.00	159.28	159.97	160.33	160.59	160.03
LD/ZA5	1	158.55	158.73	158.88	159.01	159.35	159.63	159.64	159.90
	2	157.67	157.93	158.16	158.37	158.90	159.17	159.36	159.65
	3	158.69	158.94	159.14	159.32	159.78	160.02	160.17	160.49
	4	143.14	143.30	143.41	143.52	143.80	143.96	144.04	144.25
	5	158.52	158.64	158.72	158.79	159.12	159.16	159.34	159.40
	6	159.10	159.28	159.42	159.54	159.88	160.07	160.16	160.42
	7	160.08	160.38	160.63	161.86	161.43	161.72	162.91	162.27
LD/Ca5	1	160.47	161.13	161.40	161.26	161.41	161.56	161.86	161.93
	2	158.92	159.21	159.50	159.79	159.86	159.92	160.26	160.48
	3	159.05	159.70	160.35	160.99	161.35	161.54	161.87	161.91
	4	159.18	160.06	160.94	161.84	161.96	162.06	162.36	162.48
	5	159.62	160.33	161.04	161.74	161.89	162.04	162.37	162.52
	6	158.82	159.20	159.58	159.95	160.05	160.18	160.34	160.47
	7	158.81	159.24	159.67	160.11	160.38	160.49	160.78	160.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ขวดที่	น้ำหนักชุดทดสอบ (กรัม)							
		ก่อนอบ	หลังอบ						
			วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
LD/Ca10	1	156.09	156.40	156.86	157.09	157.34	157.65	157.97	158.29
	2	154.78	155.40	156.52	156.04	157.63	158.36	159.64	160.02
	3	154.86	155.70	157.42	158.02	158.67	159.50	160.56	161.47
	4	153.45	153.82	154.43	154.42	155.02	155.42	155.86	156.28
	5	156.20	156.62	157.37	157.68	157.02	158.44	158.86	159.38
	6	154.86	155.36	155.92	156.25	156.60	157.04	157.94	158.04
	7	156.11	156.61	157.63	158.02	158.47	159.01	159.84	160.28
LD/Ca15	1	153.21	153.66	154.55	155.66	156.06	156.41	156.76	157.07
	2	154.03	154.57	155.69	157.11	157.58	158.04	158.48	158.86
	3	153.28	153.79	154.83	156.11	165.61	157.06	157.49	157.92
	4	151.27	151.73	152.64	153.83	154.21	154.57	154.95	155.27
	5	133.31	133.94	134.97	136.24	136.73	137.16	137.55	137.96
	6	155.20	155.67	156.57	157.75	158.13	158.57	158.93	159.27
	7	136.87	137.09	137.42	137.86	138.05	138.20	138.35	138.48
LD/Ca20	1	152.16	152.60	153.56	154.76	155.21	155.62	155.03	156.39
	2	156.10	156.89	158.32	160.08	160.75	161.36	161.94	162.42
	3	156.13	156.49	157.22	158.11	158.46	158.76	159.06	159.33
	4	154.18	154.73	155.77	157.06	157.52	157.96	158.38	158.79
	5	153.99	154.18	156.24	158.09	158.73	159.37	159.96	160.55
	6	152.17	152.77	154.11	155.67	156.28	156.80	157.30	157.86
	7	150.20	154.67	155.80	157.07	157.55	158.09	158.57	158.95

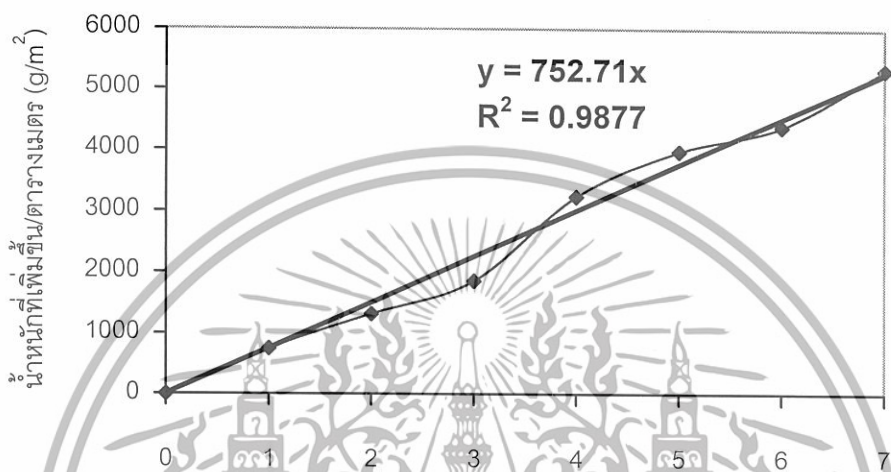
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสูตรที่ 1 (ขวดที่ 1,แผ่นฟิล์มมีความหนา 28 ไมครอน)

เมื่อ $WVTR$ = ความชันของกราฟระหว่างน้ำหนักของชุดทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งตารางเมตรของแผ่นฟิล์มกับจำนวนวัน มีหน่วยเป็น $g/m^2 \cdot day$

$WVP = WVTR \times$ ความหนาของแผ่นฟิล์ม (ไมครอน) มีหน่วยเป็น $g \cdot \mu m/m^2 \cdot day$

โดยพื้นที่ในการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 3.1415 ตารางเซนติเมตร



ความชัน = $WVTR = 752.71 g/m^2 \cdot day$

เพราะฉะนั้น $WVP = 752.71 g/m^2 \cdot day \times 28 \mu m = 21076 g \cdot \mu m/m^2 \cdot day$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข (ต่อ) ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

สูตร	ความหนา (μm)	ความหนาเฉลี่ย (μm)	WVTR ($\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)	WVTR เฉลี่ย ($\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)	WVP ($\text{g} \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)	WVP เฉลี่ย ($\text{g} \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)
LDPE	28	25 ± 2	753	479 ± 117	21084	12523 ± 3785
	27		396		10692	
	24		458		10992	
	24		466		11184	
	24		483		11592	
	25		445		11125	
	23		478		10994	
LD/ZA5	42	38.7 ± 4	606	685 ± 218	25442	26475 ± 8207
	39		904		35267	
	36		806		29016	
	36		493		17748	
	36		409		14711	
	45		587		26430	
	37		992		36711	
LD/Ca5	36	36.6 ± 0.8	584	552 ± 67	21032	20163 ± 2234
	36		499		17951	
	38		484		18380	
	36		580		20863	
	37		474		17524	
	36		649		23348	
	38		596		22039	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข (ต่อ) ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

สูตร	ความหนา (μm)	ความหนาเฉลี่ย (μm)	WVTR ($\text{g}/\text{m}^2.\text{day}$)	WVTR เฉลี่ย ($\text{g}/\text{m}^2.\text{day}$)	WVP ($\text{g}.\mu\text{m}/\text{m}^2.\text{day}$)	WVP เฉลี่ย ($\text{g}.\mu\text{m}/\text{m}^2.\text{day}$)
LD/Ca10	18	20 ± 12	1004	1794 ± 708	18077	36851 ± 15606
	18		2343		42169	
	22		3058		67274	
	20		1288		25768	
	23		1456		33486	
	22		1483		32626	
	20		1928		38560	
LD/Ca15	26	25 ± 7	1956	1995 ± 554	50861	49103 ± 12675
	20		2448		48958	
	26		2318		60276	
	23		2026		46603	
	25		2353		58835	
	27		2053		55439	
	28		812		22748	
LD/Ca20	36	36 ± 11	2123	2556 ± 603	76414	92193 ± 24461
	37		3212		118848	
	33		1613		53242	
	34		2320		78894	
	37		3284		121515	
	34		2846		96778	
	40		2492		99660	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้