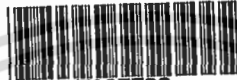


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

58

การเตรียมและทดสอบสมบัติของฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตต  
โคพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ



107722

นางสาวพรพรรณ มั่นประสิทธิ์  
นางสาวภาสินี เต้ต

รพ.  
พ 201 ก  
2548

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...107722  
วัน,เดือน,ปี... 10 พ.ค. 2553

b...12210921  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation and Properties Testing of Zeolite A – filled  
EVA Film



A Special Project 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  
Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและทดสอบสมบัติของฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์  
ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

นักศึกษา นางสาวพรพรรณ มั่นประสิทธิ์ รหัส 45050125  
นางสาวภาสินี แต่ดี รหัส 45050133

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภรัตน์ รักชลธี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	
กรรมการ ผศ.ดร.สุภรัตน์ รักชลธี	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b>	การเตรียมและทดสอบสมบัติของฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ			
<b>นักศึกษา</b>	นางสาวพรพรรณ	มันประสิทธิ์	รหัส	45050125
	นางสาวภาสินี	แต่ดี	รหัส	45050133
<b>ภาควิชา</b>	เคมี			
<b>สาขาวิชา</b>	เคมีอุตสาหกรรม			
<b>ปีการศึกษา</b>	2548			
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รัชชลี			
<b>อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม</b>	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย			

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) และมีการศึกษาเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ที่ 10% โดยน้ำหนัก โดยการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการเป่าและวิธีการหล่อ จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์ม พบว่าสารตัวเติมที่ใช้ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมผลึก ( $T_m$ ) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก เมื่อปริมาณของสารตัวเติมมากขึ้นพื้นผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้น และพบอนุภาคของสารตัวเติมมากขึ้นด้วย ซึ่งอยู่ในลักษณะที่มีการกระจายตัวดี จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อมีการผสมสารตัวเติม ค่าความแข็งแรงดึงและ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มลดลงเล็กน้อย โดยฟิล์มที่มีซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมมีค่ามอดุลัสและค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่มี  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม และแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่ามีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่า ส่วนค่ามอดุลัสนั้นมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุง ด้านสมบัติความแข็งแรงฉีกขาด พบว่า การผสมสารตัวเติมไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงฉีกขาด และฟิล์มที่ได้จากวิธีการเป่ามีค่าความแข็งแรงฉีกขาดมากกว่าฟิล์มที่ได้จากวิธีการหล่อ ส่วนความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใส่สารตัวเติม และฟิล์มที่มีการใช้ซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมจะมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่า ฟิล์มที่มีการใช้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม

<b>Special Project Title</b>	Preparation and Property Testing of Zeolite NaA – filled EVA Film
<b>Name</b>	Miss Pornpan Monprasit Miss Pasinee Taetee
<b>Departure</b>	Chemistry
<b>Program</b>	Industrial Chemistry
<b>Academic Year</b>	2005
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Suparat Rukchonlatee
<b>Special Project Co-Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Tawan Sooknoi

### Abstract

The research focused on preparation and property testing of ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) film modified with zeolite NaA and a comparative study with calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) 10% by weight was also carried out. All film samples were prepared using cast film and blown film extrusion techniques, and then various properties of film specimens were determined. It was found that the zeolite NaA and  $\text{CaCO}_3$  fillers had no effect on melting temperature ( $T_m$ ) and percentage of crystallinity. The higher filler loadings, the more surface roughness and the more filler particles with good distribution were observed. Mechanical properties were found that tensile strength and elongation at break decreased slightly with increasing filler contents. A zeolite NaA-filled EVA film showed greater tensile strength than a  $\text{CaCO}_3$ -filled EVA film, and additionally blown film showed higher tensile strength value than cast film. Modulus of the filled EVA film is similar to those of the unfilled one. Both fillers had no effect on film tear strength and blown film gave greater tear strength than cast film. In addition, water vapor permeability of the film increased when increasing filler contents and zeolite NaA-filled EVA film showed greater water vapor permeability than  $\text{CaCO}_3$ -filled EVA film.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ กำลังใจ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภรณ์รัตน์ รักชลธิ และ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ การเอาใจใส่ และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน และ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจทาน แก้ไขและชี้แจงข้อบกพร่องของโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมพลาสติก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา วิทยาลัยเทคโนโลยีอาชีวศึกษาสุรนารี ที่อำนวยความสะดวกในการขึ้นรูปฟิล์ม

ขอขอบพระคุณ บริษัท พีคิว เคมีคัล (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัทสุรินทร์ ออมยา เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์สารเคมีต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณสุดใจ สอนสะอาด คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและแนะนำการใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ตลอดจนรุ่นพี่และเพื่อนๆ ที่น่ารัก ที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอื่นๆ ที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวพรพรรณ มั่นประสิทธิ์  
นางสาวภาสินี แต่ดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์	4
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของอีวีเอ	4
2.1.2 สมบัติของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์	4
2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน	5
2.2 ซีโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์	5
2.2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของซีโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์	6
2.2.2 การสังเคราะห์	6
2.2.3 การประยุกต์ใช้งาน	6
2.3 แคลเซียมคาร์บอเนต	7
2.3.1 ชนิดของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต	7
2.3.2 การปรับปรุงพื้นผิว	8
2.4 กระบวนการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	8
2.4.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	9
2.4.2 การนำเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ไปใช้ประโยชน์	10
2.5 การผลิตฟิล์มพลาสติก	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 วิธีเป่า	12
2.4.2 วิธีหล่อ	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>20</b>
3.1 สารเคมี	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	22
3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์	22
3.3.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	23
3.3.2.1 เทคนิคการเป่า	23
3.3.2.2 เทคนิคการหล่อ	23
3.3.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	24
3.3.3.1 การวัดความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม	24
3.3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	24
3.3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	25
3.3.3.4 การศึกษาสัณฐานวิทยา	25
3.3.3.4.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม	25
3.3.3.4.2 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติม	25
3.3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	26
3.3.3.5.1 สมบัติความแข็งแรงดึง	26
3.3.3.5.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด	27
3.3.3.6 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ	27
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย</b>	<b>29</b>
4.1 ความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม	30
4.2 ปริมาณสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	30
4.3 สมบัติทางความร้อน	31
4.4 สัณฐานวิทยา	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซีไอไลต์ชนิดโซเดียมเอ	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต	7
รูปที่ 2.4 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	9
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตฟิล์มเป่า	12
รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของเครื่องอัดรีดแบบทั่วไป	12
รูปที่ 2.7 ภาคตัดขวางของหัวตายที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม	13
รูปที่ 2.8 ตายสำหรับแผ่นฟิล์มและซีท	14
รูปที่ 2.9 กระบวนการทำฟิล์มหล่อ	15
รูปที่ 3.1 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	26
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปปีกนก	27
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มตัวอย่างที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	33
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มตัวอย่างที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	34
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ	36
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % Elongation at Break กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ	36
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Modulus กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ	37
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tear Strength กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอน	11
ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	17
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ EVA เกรด NUC 3770	20
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ Zeolite NaA	21
ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ $\text{CaCO}_3$	21
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูตร EVA/Zeolite NaA	22
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างของแผ่นฟิล์มแต่ละสูตร	29
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม	30
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารตัวเติมฟิล์มตัวอย่าง	31
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	32
ตารางที่ 4.5 ค่า WVTR และ WVP ของฟิล์มตัวอย่าง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการบรรจุภัณฑ์ และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อดีหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา ป้องกันน้ำได้ ผลิตได้หลายรูปแบบ ตลอดจนปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีการผลิตมีมากขึ้น จนสามารถผลิตเม็ดพลาสติกได้หลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป และด้วยเหตุนี้ผู้ใช้พลาสติกเพื่อการบรรจุผลิตภัณฑ์จึงต้องตัดสินใจเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของตน [1]

การกำหนดสมบัติของพลาสติกเพื่อการบรรจุภัณฑ์นั้นมักต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุเป็นหลัก รวมทั้งลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้าบรรจุผักและผลไม้สด ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการป้องกัน (Barrier Property) กล่าวคือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการซึมผ่านของก๊าซ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงสมบัติด้านความแข็งแรงในระหว่างการลำเลียงและขนส่งด้วย เช่น การต้านทานแรงดึงขาด การต้านทานแรงกระแทก เป็นต้น [1]

ผลิตภัณฑ์พวกผักและผลไม้สด หลังการเก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นกระบวนการหายใจและเมตาบอลิซึม (Metabolism) ต่างๆ ที่นำไปสู่ความแก่ (Maturation) ความสุก (Ripening) และความเสื่อมเน่าเสีย (Senescence) ตามลำดับ ยังเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา [2]

กระบวนการหายใจของพืชนั้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยน้ำตาลจะถูกออกซิไดส์ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และโดยทั่วไปผักสดจะมีการสูญเสียไอน้ำบางส่วนในระหว่างการเก็บรักษาทำให้น้ำหนักลดลงและเหี่ยวเฉาจนสูญเสียคุณภาพ แต่เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำไม่สูงมาก เมื่อพืชคายไอน้ำออกมาจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มมากเกินไปจนถึงจุดอิ่มตัวไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ อาจทำให้พืชเน่าเสียได้ง่ายขึ้น ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้สดต้องยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี เพื่อให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอต่อการหายใจ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่พืชคายออกมาก็สามารถซึมผ่านออกไปได้ ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำได้รวดเร็วเพียงพอ แต่การเจาะรูนั้นทำให้บรรจุ

ภัณฑ์ขาดความสวยงามอาจทำให้เกิดการฉีกขาดของบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังทำให้จุลินทรีย์ในอากาศเข้าไปสู่ผักและผลไม้ไม่ได้ [2]

จากแนวคิดดังกล่าว นางสาวเบญจมาศ มุ่งเขตกลาง และ นางสาวพัชราภา อ่วมภูมิ [3] ได้ทำการศึกษาเพื่อจะปรับปรุงสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ให้สามารถระบายน้ำออกจากผักได้มากขึ้นโดยไม่ต้องเจาะรูบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือ การใช้สารตัวเติมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) ซึ่งเป็นสารที่มีความชอบน้ำ ผสมรวมลงไปในพลาสติก คือ พอลิโพรพิลีนชนิดทนต่อแรงกระแทก และขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบสารละลาย (Solution Casting) ผลปรากฏว่า แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ได้มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ แต่ปัญหาที่พบ คือ เกิดการแยกตัวภาคของซีโอไลต์ตกตะกอนอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม

และจากโครงการพิเศษของนางสาวเนตรนภา ลามอ และ นางสาวเบญจวรรณ ตานนท์ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ พบว่า เมื่อผสมซีโอไลต์ในปริมาณ 0-6% โดยน้ำหนักลงในแผ่นฟิล์ม จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากนักเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุง

ดังนั้นโครงการพิเศษนี้ จึงนำปัญหาดังกล่าวมาทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวคิดในการปรับปรุงการกระจายตัวของซีโอไลต์ในแผ่นฟิล์มเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์มากขึ้น โดยเลือกใช้พอลิโพรพิลีนชนิดทนต่อแรงกระแทกและสารตัวเติมชนิดเดิม แต่เปลี่ยนวิธีการขึ้นรูปให้เป็นการหล่อ (Cast Extrusion) ผลปรากฏว่า แผ่นฟิล์มที่ได้มีความเปราะมาก สูญเสียสมบัติความแข็งแรงเหนียวของพอลิโพรพิลีนชนิดทนต่อแรงกระแทกไป ดังนั้นจึงเปลี่ยนพอลิเมอร์เป็นเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ซึ่งมีสมบัตินิ่ม ยืดหยุ่น โดยใช้ซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก และศึกษาเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10% โดยน้ำหนักเช่นกัน ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อและวิธีการเป่า (Blow Extrusion) แล้วทำการเปรียบเทียบผลของวิธีในการขึ้นรูปในด้านสัณฐานวิทยาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม

## 1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเตรียมฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ที่ผสมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อและวิธีการเป่า และเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม รวมทั้งเปรียบเทียบผลทดสอบกับแผ่นฟิล์มที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10% โดยน้ำหนัก

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมแผ่นฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ โดยใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 0% และ 10% โดยน้ำหนัก และทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการหล่อและวิธีการเป่า จากนั้นนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis (TGA) และเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และอัตราการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม รวมทั้งเปรียบเทียบผลทดสอบกับแผ่นฟิล์มที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10% โดยน้ำหนัก เพื่อสรุปสูตรและวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ต่อไป

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสูตรผสมของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์และชนิดสารตัวเติม รวมทั้งวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้คงความสดอยู่ได้ในระยะเวลาหนึ่งโดยไม่ต้องมีการเจาะบรรจุภัณฑ์
2. สามารถนำความรู้ที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการนำไปปรับปรุงและพัฒนาสูตรบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มพลาสติกชนิดอื่นๆ ที่ต้องการสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

## บทที่ 2

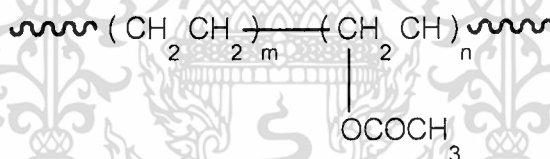
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ [5]

##### 2.1.1 ลักษณะทั่วไปของอีวีเอ

เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymers, EVA) เป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ เนื่องจากเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีนกับไวนิลอะซีเตต (Vinyl Acetate, VA) มีเอทิลีนเป็นเนื้อหลักประมาณ 75-90% และไวนิลอะซีเตตเป็นตัวเสริมแต่งให้เกิดความยืดหยุ่นโดยลดการเกิดผลึก (Crystallinity) พบว่า ถ้ามีปริมาณเอทิลีนมากกว่า 75% จะทำให้ได้โคพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแข็ง

เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายใต้ความดันสูงของเอทิลีนและไวนิลอะซีเตต โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้จะต่ำกว่ากรณีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทิลีนตัวเดียว สารก่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่นิยมใช้คือ Azo-bis-isobutyronitrile, Organic Peroxides และ Persulphates โครงสร้างของอีวีเอแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ [5]

##### 2.1.2 สมบัติของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์

- เป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น
- มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 0.926-0.95
- สามารถละลายได้ในสารอะโรมาติก (Aromatic) และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbon) ที่อุณหภูมิสูง
- จุดเปราะ (Brittle Point) อยู่ ณ อุณหภูมิต่ำกว่า  $-70^{\circ}\text{C}$  จุดอ่อนตัว (Softening Point) อยู่ระหว่าง  $60-80^{\circ}\text{C}$
- มีค่า  $T_g$  ตั้งแต่  $20^{\circ}\text{C}$  (ของไฮโมพอลิเมอร์) จนถึง  $-20^{\circ}\text{C}$  และมี Second Transition บริเวณ  $-125^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีค่า Dielectric Strength เท่ากับ 21 kV/mm
- มีค่า Dielectric Constant ณ 1 MHz เท่ากับ 2.8
- สมบัติทางฟิสิกส์ มีค่าดังนี้
  - ค่าความแข็งกด (Hardness) Shore D เท่ากับ 90-95
  - ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เท่ากับ 1.3-2.0 kgf/mm<sup>2</sup>
  - ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Extension at Break) เท่ากับ 500-700%
- มีความโค้งงอที่ดีที่อุณหภูมิห้อง
- มีความสามารถในการสปริงตัวได้ดี โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์
- ทนต่อสภาพการใช้งาน การซักล้าง และมีอายุการใช้งานสูง
- สามารถให้สีได้ง่ายและสวยงาม
- ขึ้นรูปได้ง่าย
- มีความยืดหยุ่น และโค้งงอได้ดีโดยไม่ต้องใช้พลาสติกไซเซออร์

### 2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน

- เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดอ่อนตัว (Softening Point) ต่ำ มักใช้เป็น Wax Additive ในงานการเคลือบกระดาษ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารยึดติด และพลาสติกไซเซออร์
- เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ที่มีสมบัติคล้ายยาง มักใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ประเภทอาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
- เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ใช้ในงานการผลิตรองเท้า และเบาะรองนั่ง
- ปริมาณไวนิลอะซีเตตน้อยกว่า 7% จะได้ฟิล์มที่มีความเหนียวใส และมีความมันวาว

## 2.2 ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

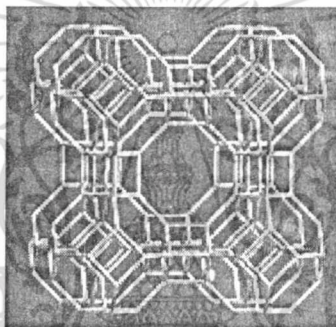
ซีโอไลต์ (Zeolite) คือ สารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอมและออกซิเจนสี่อะตอม ( $\text{SiO}_4$  หรือ  $\text{AlO}_4$ ) สร้างพันธะกันเป็นรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral) โดยอะตอมของซิลิกอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างทรงเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบสามมิติ ทำให้ซีโอไลต์เป็นโครงสร้างผลึกที่มีรูพรุน มีโครงสร้างแบบเปิด (Open Structure) เชื่อมต่อกันคล้ายฟองน้ำ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากซิลิกอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ ยังมีไอออนบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ฯลฯ สร้างพันธะไอออนิกกับไอออนลบของโครงสร้าง รวมทั้งมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างของโครงผลึก [6]

#### 2.2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ [7]

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) มีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟาเคจ (α-cage) และมีสูตรทางเคมี คือ  $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$  โดยมีสัดส่วนช่องว่างต่อปริมาตร (Void Volume Fraction) เท่ากับ 0.47 มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรง (Pore Diameter) เท่ากับ 4.2 อังสตรอม และจะละลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ  $700^\circ\text{C}$



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ [8]

#### 2.2.2 การสังเคราะห์ [9]

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการทำให้เป็นเจล โดยการละลายโซเดียมอะลูมิเนตลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วบั่นกวน เติมน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเติมละอองซิลิกาเข้าไป แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ  $80-100^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที จะเกิดการตกผลึกของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

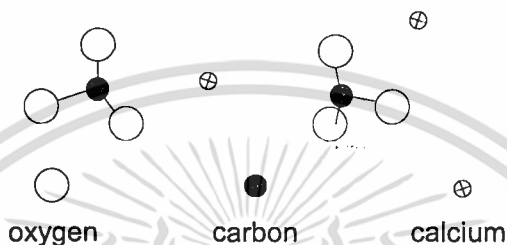
#### 2.2.3 การประยุกต์ใช้งาน [10]

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟาเคจ และมีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 จึงมีความเป็นขั้วสูง จะมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงนิยมนำไปใช้งานที่ต้องการกำจัดน้ำ เช่น การกำจัดน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติ อากาศ และตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นต้น และยังสามารถใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเรือดำนํ้าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 แคลเซียมคาร์บอเนต [4]

แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นสารตัวเติม (Filler) สีขาวที่ได้จากธรรมชาติ นิยมนำมาใช้มากกับพลาสติกเพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากมีความขาว (Whiteness) สมบัติความเสียดทาน (Abrasion) ต่ำ มีหลายขนาดให้เลือกใช้และมีราคาถูก แต่มีข้อจำกัด คือ มีความหนาแน่นสูง (ประมาณ  $2.72 \text{ g/cm}^3$ ) และไม่ทนกรด



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต [4]

### 2.3.1 ชนิดของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต

สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งออกเป็น 2 รูปอย่างกว้างๆ ดังนี้

1. สารตัวเติมแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (Mineral  $\text{CaCO}_3$  Filler) สามารถแบ่งย่อยได้ 3 ชนิด คือ

#### 1.1 สารขาวหรือไวติ้ง

สารขาวหรือไวติ้ง (Whiting) เป็นสารสีขาวที่ได้จากการบดและจัดอยู่ในพวกซอล์กซึ่งมีความบริสุทธิ์พอๆ กับแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากธรรมชาติที่เกิดจากตะกอนของกระดูกของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ทับถมกันเป็นเวลาหลายสิบล้านปีจากการบดแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 ไมโครเมตร

#### 1.2 หินปูน หินอ่อนและแคลไซต์

หินปูน (Limestone) เป็นรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติ เกิดจากการตกตะกอนของ Foraminifera ซึ่งแรกเริ่มจะเกิดการตกตะกอนและรวมเข้าด้วยกันโดยความร้อนและความดัน หินอ่อนและแคลไซต์ (Marble and Calcite) มีความแข็ง โครงผลึกแน่นกระชับแตกต่างจากหินปูน มีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการบดและนำมาผลิตเป็นสารตัวเติม หินปูนมีความหยาบมากที่สุดจึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันและพลาสติกไซเซออร์ได้

น้อยที่สุดและให้สีขาวยิ่งไม่ตี ซึ่งหินอ่อนและแคลไซต์ให้สีขาวยิ่งดี แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าสารขาวหรือไวติง

### 1.3 โดโลไมต์

โดโลไมต์ (Dolomite) เป็นหินปูนที่มี แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium Carbonate,  $MgCO_3$ ) ประมาณ 45% หรือน้อยกว่า อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Magnesium Limestone โดโลไมต์ที่ผลิตเป็นสารตัวเติมจะให้สีที่ดีและมีสมบัติในการดูดซับพลาสติกไซเซอรัทที่สูงกว่าหินอ่อน

### 2. แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดตกตะกอน

แคลเซียมคาร์บอเนตแบบตกตะกอน (Precipitated Calcium Carbonate) ปกติจะใช้ในรูปที่มีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการรวมกันเป็นก้อน และช่วยให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ ซึ่งข้อดีของกระบวนการตกตะกอนคือ การเคลือบผิวอนุภาคสามารถกระทำร่วมในกระบวนการผลิตได้เลยไม่ต้องแยกออกมาเป็นอีกส่วนหนึ่ง แต่ข้อเสียคือ มีราคาที่สูง

#### 2.3.2 การปรับปรุงพื้นผิว

เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารอนินทรีย์มีขั้ว มักจับตัวเป็นก้อน ไม่กระจายตัว ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวโดยการเคลือบสารบางประเภท เช่น กรดสเตียริก ซึ่งการปรับปรุงพื้นผิวมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. สารตัวเติมที่มีการปรับปรุงพื้นผิวนั้นทำให้สามารถกระจายตัวได้ง่ายและทั่วถึงในพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการผสมและกระบวนการผลิต
2. การปรับปรุงพื้นผิวทำให้ระยะระหว่างพื้นผิวของสารตัวเติมและเมทริกซ์ใกล้เคียงกันมากขึ้น
3. ป้องกันพื้นผิวเกิดการแตก (Crack) รอยบุ๋ม (Notch) และอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการนำไปใช้งานและเป็นการทำให้วัสดุมีความแข็งแรง
4. กำจัดรอยตำหนิและรอยขีดข่วนบนพื้นผิว
5. ป้องกันสารตัวเติมจากน้ำและความชื้นที่จะทำให้เป็นจุดอ่อนแอบนคอมโพสิต

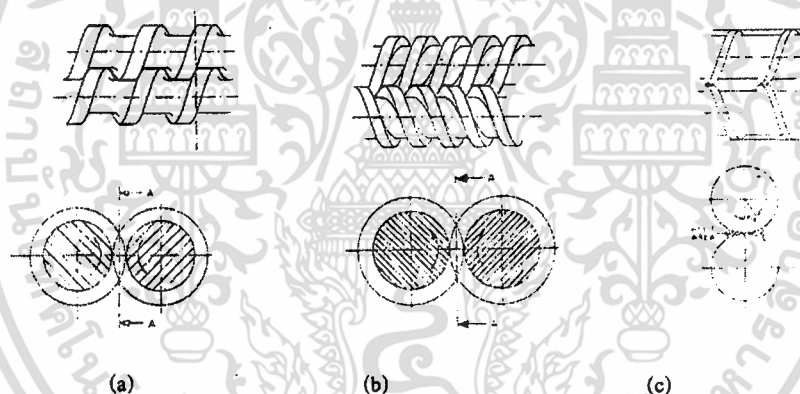
### 2.4 กระบวนการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนวนคู่ [11]

การอัดรีด (Extrusion) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมีราคาถูกกว่ากระบวนการอื่น อีกทั้งสามารถทำการผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างได้ตามต้องการ เช่น แท่งกลม พิล์ม แผ่น เส้นใย ท่อ เป็นต้น และทำได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องอัดรีดจัดเป็นเครื่องมือที่มีจุดประสงค์หลากหลายในกระบวนการแปรรูปทางพอลิเมอร์ กล่าวคือ เม็ดพลาสติกที่ถูกป้อนเข้า

มาระหว่างเกลียวหนอนของเครื่องอัดรีดและกระบอกใส่เกลียวหนอน (Barrel) จะถูกอัด หลอม และผสม ทั้งนี้โดยอาศัยความแตกต่างของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเกลียวหนอนและกระบอกใส่เกลียวหนอนทำให้เกิดพลังงานเฉือน (Shearing Energy) ช่วยในการผสมและการหลอม

#### 2.4.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ [12]

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-Screw Extruder) มีการแบ่งเป็นเครื่องอัดรีดแบบหมุนตามกัน (Co-Rotating Twin-Screw Extruder) และเครื่องอัดรีดแบบหมุนสวนทางกัน (Counter-Rotating Twin-Screw Extruder) โดยจะแตกต่างกันที่ทิศทางการหมุนของสกรู คือ เครื่องอัดรีดแบบหมุนตามกัน สกรูทั้งสองจะหมุนในทิศทางเดียวกันแต่เครื่องอัดรีดแบบหมุนสวนทางกัน สกรูสองตัวจะหมุนสวนทางกัน การแบ่งอีกแบบหนึ่ง คือ เครื่องอัดรีดแบบเฟืองตรงกัน (Intermeshing) และเครื่องอัดรีดแบบเฟืองไม่ตรงกัน (Non-Intermeshing) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

(a) CICO Extruder (Closely Intermeshing Co-Rotating)

(b) CICT Extruder (Closely Intermeshing Counter-Rotating)

(c) NOCT Extruder (Non-Intermeshing Counter-Rotating) [12]

#### 2.4.2 การนำเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ไปใช้ประโยชน์ [11]

1. เป็นที่แพร่หลาย สามารถควบคุมความเค้นของพอลิเมอร์ได้โดยการใช้อุปกรณ์โปรแกรมสกรู (Screw Programming) ซึ่งอาศัยความตรงกันของความเค้นและความว่องไวต่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์และสกรู
2. เวลาในการกระจายตัวต่ำ จึงสามารถควบคุมได้ง่าย เหมาะสำหรับการทำสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์
3. การพาวัสดุเป็นไปในทางบวก มีลักษณะคล้ายๆ กับการนำเกียรติมาช่วยนำพาวัสดุให้เคลื่อนที่ไปตามสกรู
4. จัดเป็นการทำงานที่อาศัยหลักของการระบายอากาศ เนื่องจาก ก๊าซสามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายหรืออาจใช้ทางระบายอากาศเป็นที่เติมสารตัวเติมต่างๆ ทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนวัสดุทุติยภูมิ อย่างไรก็ตามเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่มีขีดจำกัดในการนำไปใช้ ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ [11]

ลักษณะ	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่
แบบของการไหล	แบบลาก	แบบไปทางบวก
เวลาและการกระจายตัว	ปานกลาง / กว้าง	ต่ำ / แคบ (มีประโยชน์ต่อการเกิดปฏิกิริยา)
ผลของความดันกลับที่มีต่อปริมาณที่ได้	ลดปริมาณที่ได้	มีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณที่ได้
ความเฉือนในช่องทางของสกรู	สูง (มีประโยชน์ต่อพอลิเมอร์ที่เสถียร)	ต่ำ (มีประโยชน์ต่อพอลิไวนิลคลอไรด์)
การผสมโดยรวม	ต่ำ / ปานกลาง	ดี (มีประโยชน์ในการทำสารประกอบ)
การดูดกลืนกำลังและการเกิดความร้อน	สูง (อาจจะเป็นแบบปริมาณความร้อนคงที่)	ต่ำ (การทำให้เกิดความร้อนแบบการนำ)
ความเร็วของสกรูสูงสุด	สูง (ปริมาณที่ได้ถูกจำกัดโดยการหลอมเหลว ความเสถียร และอื่นๆ)	ปานกลาง (จำกัดปริมาณที่ได้)
ความจุของกำลังต้น	สูง	ต่ำ (จำกัดความดัน)
การก่อสร้างโดยอาศัยแรงกล	หุ่นยนต์, ธรรมดา (Robust, Simple)	ซับซ้อน (complicated)
ค่าใช้จ่ายเริ่มแรก	ปานกลาง	สูง

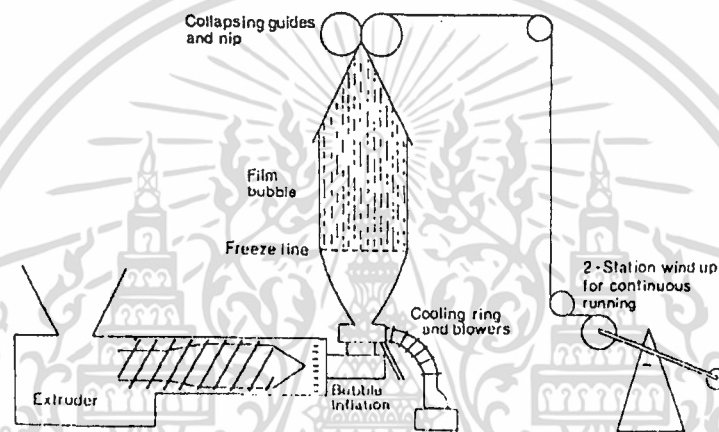
## 2.5 การผลิตฟิล์มพลาสติก [13]

ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการหีบห่อ หมายถึง วัสดุอ่อนตัวพับได้ที่ทำด้วยพลาสติก ซึ่งอาจเป็นพลาสติกชนิดเดียวหรือหลายชนิดที่ผลิตโดยการประกบ (Lamination) หรือการรีดร่วม (Co extrusion) หรือการเคลือบ (Coating) ซึ่งฟิล์มพลาสติกที่กล่าวถึงจะครอบคลุมทั้งฟิล์มพลาสติกแผ่นบาง (Film) ที่มีความหนาต่ำกว่า 250 ไมโครเมตร และฟิล์มพลาสติกแผ่นหนา (Sheet) ที่มีความหนาเท่ากับหรือมากกว่า 250 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตฟิล์มพลาสติกชั้นเดียว มี 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

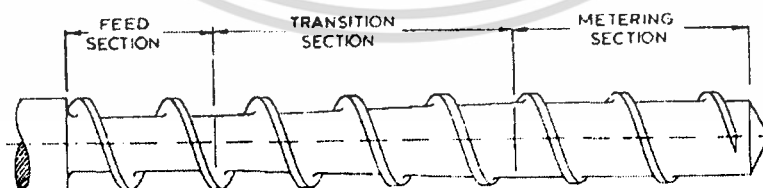
2.4.1 วิธีเป่า (Blow Extrusion) เม็ดพลาสติกจะถูกกรีดผ่านเกลียวขับ (Extruder) พร้อมทั้งให้ความร้อนไปด้วยเพื่อทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลาย พลาสติกที่ละลายแล้วจะถูกขับผ่านหัวตาย (Die Head) ที่ร้อนแล้วเป่าออกมาเป็นท่อให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาที่ต้องการ ทำให้ท่อพลาสติกเย็นตัวลง จากนั้นใช้ลูกกลิ้งรีดกับท่อพลาสติกให้แบนราบและม้วนเก็บเพื่อนำไปตัดเป็นแผ่นฟิล์มหรือใช้ผลิตเป็นถุงต่อไป กล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตฟิล์มเป่าประกอบด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหมุนอนเดี่ยวต่ออยู่กับตายประเภทวงแหวน (Annular die)



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตฟิล์มเป่า [11]

- เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหมุนอนเดี่ยว [11]

เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหมุนอนเดี่ยวจัดว่ามีความสำคัญอย่างมากในทางอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะรูปทรงทางเรขาคณิตโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็นสามส่วน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของเครื่องอัดรีดแบบทั่วไป [11]

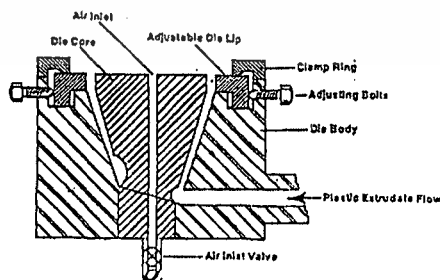
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแบบนี้ใช้แทนการทำงานแบบขั้นตอนเดียว (Single Stage) ซึ่งหมายถึง สกรูมีเพียงส่วนของการอัด (Compression Section) เท่านั้นแม้ว่ารูปทรงเรขาคณิตจะแบ่ง ออกเป็นสามส่วนก็ตาม ในส่วนแรก (ใกล้กับทางเปิดให้วัสดุเข้า) จะมีเฟืองคั่นข้างลึกโดยวัสดุที่ เข้ามายังส่วนนี้อยู่ในสถานะของแข็ง เรียกส่วนนี้ว่าเป็นส่วนป้อนวัสดุ (Feed Section) ส่วนท้ายสุด (ใกล้กับตาย) จะมีเฟืองคั่นข้างตื้นโดยวัสดุที่อยู่ในส่วนนี้จะอยู่ในสถานะหลอมเหลวทั้งหมด เรียก ส่วนนี้ว่าเป็นส่วนมาตรวัดหรือส่วนปั๊มวัสดุ (Metering or Pump Section) ส่วนที่อยู่ระหว่างส่วน ป้อนวัสดุและส่วนปั๊มวัสดุเรียกว่า ส่วนทรานสิชันหรือส่วนการอัด (Transition or Compression Section) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการหลอมวัสดุ โครงสร้างแบบนี้ ความลึกของช่องสกรูจะลดลงแบบ เส้นตรงจากส่วนป้อนวัสดุไปยังส่วนมาตรวัดหรือส่วนปั๊มวัสดุ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการอัดตัวของ วัสดุในช่องสกรู ตัวแปรหนึ่งในการออกแบบสกรูที่นับว่ามีความสำคัญคือ อัตราส่วนความยาวของ สกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสกรู (L/D) พบว่า โดยปกติอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 แต่ที่นิยมใช้ คือ 24 แต่ในเครื่องอัดรีดบางประเภทอย่างเช่น เครื่องอัดรีดที่มีช่องระบายอากาศ (Vented Extruder) จะมีอัตราส่วนนี้สูงถึง 35 หรือ 40

- ตาย (Die)

หัวตายหรือหัวเป่าปกติมีสองชนิดคือ วงแหวนแบบป้อนเข้าทางด้านล่าง (Annular Bottom Fed Die) ซึ่งแบ่งเป็นแบบแขนแมงมุม (Spider Arm) กับแบบการไหลเป็นเกลียว (Spiral Flow) ส่วนอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ วงแหวนแบบป้อนเข้าด้านข้าง (Annular Side Fed Die) [11] เป็นส่วนที่ติดอยู่ที่ปลายสุดของเกลียวขั้ว ทำหน้าที่ควบคุมพลาสติกเหลวให้เป่าได้ ขนาดและความหนาตามต้องการ

พลาสติกเหลวที่ออกจากหัวเป่าจะถูกเป่าให้เป็นทอกลงโดยเครื่องเป่าลม (Blower) ซึ่งมีการเป่าลมเย็นเพื่อมิให้ผิวฟิล์มติดกันและลดแรงดึงภายในเนื้อฟิล์ม อีกทั้งควบคุม ความใส และขนาดของฟิล์มด้วย การเป่าลมเย็นที่ผิวฟิล์มทำได้ 2 ลักษณะ คือ เป่าลมหล่อเย็นที่ ผิวฟิล์มด้านนอกและที่ผิวด้านใน

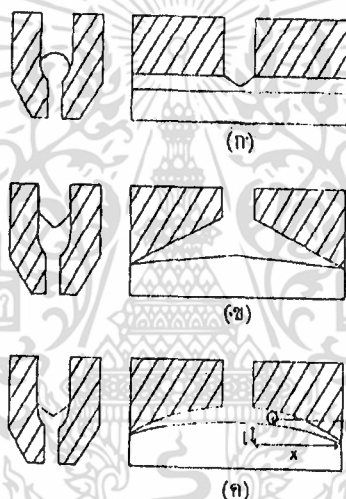


รูปที่ 2.7 ภาคตัดขวางของหัวตายที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วิธีหล่อ (Cast Extrusion) เม็ดพลาสติกจะถูกรีดผ่านเกลียวข้อพร้อมทั้งให้ความร้อนไปด้วย เพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมละลาย พลาสติกเหลวจะถูกขับผ่านหัวตายให้ไหลออกมาบนลูกกลิ้งที่ขัดมันและเย็น เพื่อให้พลาสติกเกิดการแข็งตัวเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้นม้วนเก็บแผ่นฟิล์มที่ได้เพื่อนำไปใช้ต่อไป เนื่องจากหัวตายที่ปลายของเกลียวข้อเป็นแบบตายช่องยาวจึงอาจเรียกชื่อวิธีนี้อีกชื่อหนึ่งว่า การอัดรีดชนิดตายช่องยาว (Slit-Die Extrusion)

- ตาย (Die) ลักษณะตายมีแตกต่างกันไป เช่น รูปไม้แขวนเสื้อ (Coat Hanger) รูปตัวที (T) รูปหางปลา (Fish Tail) เป็นต้น การออกแบบตายเพื่อผลิตแผ่นฟิล์มหรือแผ่นซีทให้มีรูปร่างใด ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหลอมเหลวในตายให้มีความกว้างหรือบางรวมทั้งต้องมีการรักษาโปรไฟล์ของความร้อน อุณหภูมิและความดันในขณะนั้นด้วย [11]



รูปที่ 2.8 ตายสำหรับแผ่นฟิล์มและซีท [11]

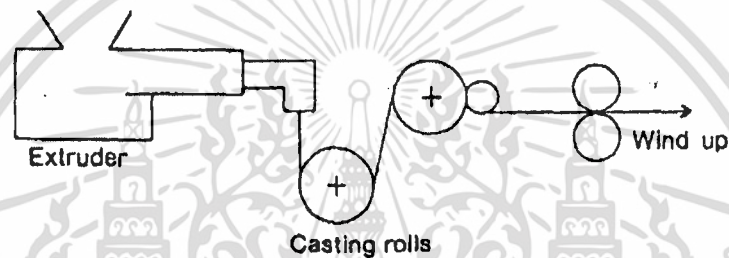
(ก) ตายรูปตัวที (ข) ตายรูปหางปลา (ค) ตายรูปไม้แขวนเสื้อ

ตายรูปตัวทีผลิตง่ายที่สุดและราคาถูกที่สุด แต่การกระจายตัวของหลอมเหลวไม่ดี และลักษณะการไหลไม่ดีเท่าที่ควร เหมาะสำหรับของหลอมเหลวที่มีความหนืดสูงหรือเสียสภาพได้ง่าย การออกแบบรูปตัวทีนี้เหมาะสำหรับการเคลือบในกระบวนการอัดรีด (Extrusion Coating) เมื่อพอลิเมอร์แปรรูปได้ง่ายและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การออกแบบเป็นรูปหางปลา จะช่วยให้การกระจายตัวของหลอมเหลวดีกว่าและเหมาะสำหรับแผ่นซีทที่หนาและกว้าง รูปทรงเรขาคณิตที่จัดว่านิยมใช้มากที่สุด คือ ตายรูปไม้แขวนเสื้อ จัดว่าเป็นการออกแบบที่ยากและมีราคาแพงที่สุด แต่การกระจายตัวของหลอมเหลวสม่ำเสมอที่สุด [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการหล่อเย็น มีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ ลูกกลิ้งหล่อเย็นที่ช่วยในการหล่อเย็นแผ่นฟิล์ม ลดความหนาของแผ่นฟิล์มจากปรากฏการณ์การดึงลง (Draw Down Phenomena) และช่วยในการตกแต่งพื้นผิวให้มีลักษณะเรียบ ส่วนระบบการหล่อเย็นอีกแบบหนึ่งจะใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น [11]

ในกระบวนการผลิตฟิล์มหล่อ (Cast Film) ทำได้โดยนำแผ่นฟิล์มที่ได้จากการอัดรีดผ่านไปยังลูกกลิ้งที่ควบคุมความเย็น และรักษาความแบนราบเอาไว้ โดยมีลูกกลิ้งช่วยเสริมการจัดเรียงตัวของแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการดึงลง (Draw Down) ทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มลดลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความขุ่นของฟิล์ม เพิ่มความเงาของแผ่นฟิล์มและเพิ่มอัตราการรีด [11]



รูปที่ 2.9 กระบวนการทำฟิล์มหล่อ [11]

กระบวนการทำฟิล์มหล่อ เหมาะสำหรับวัสดุที่มีความหนืดต่ำ ได้แก่ พอลิเอทิลีน เทอเรพทาเลท ไนลอน พอลิสไตรีน และพอลิพรอพิลีน เป็นต้น [11]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Devallencourt และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านโมเลกุลของน้ำผ่านแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนโคไวนิลอะซีเตต (Poly (Ethylene-Co-Vinyl Acetate), EVA) ซึ่งใช้ไวนิลอะซีเตต (Vinyl Acetate, VA) ในปริมาณที่ต่างกัน โดยเตรียมแผ่นฟิล์มในสภาวะสารละลาย แล้วทำการศึกษาโครงสร้างของแผ่นฟิล์มโดยใช้เทคนิค DSC และทำการวัดค่า Contact Angle พบว่าเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีส่วนของอสัณฐานเพิ่มขึ้น เนื่องจากไวนิลอะซีเตตจะไปลดความสามารถในการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ และพบว่าค่า Contact Angle จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ (Water Permeation) และการแพร่ผ่านของน้ำ (Water Diffusion) พบว่าเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น ค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นด้วย

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนหมู่ที่มีซัลฟ์ (Carbonyl Group) ในโคพอลิเมอร์ ซึ่งการส่งผ่านน้ำในระบบเกิดขึ้นจากการที่มีหมู่มีซัลฟ์มากขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนกว่าการเพิ่มขึ้นของส่วนอสัณฐาน

Marais และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนโคไวนิลอะซีเตต (Poly (Ethylene-Co-Vinyl Acetate), EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซีเตตต่างกัน โดยใช้วิธีการหล่อแบบสารละลาย (Casting Solution) ในการเตรียมฟิล์ม พบว่าเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตต (Vinyl Acetate, VA) มากขึ้น การดูดซึมน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น นำไปสู่ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำที่ดีขึ้น เนื่องจากหมู่ที่มีซัลฟ์เพิ่มขึ้น (Carbonyl Group) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride, PVC) ลงในพอลิเอทิลีนโคไวนิลอะซีเตตด้วย เพื่อศึกษาสมบัติในด้านเดียวกันของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับปริมาณไวนิลอะซีเตต ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ที่มีซัลฟ์จะเข้าไปสร้างพันธะกับพอลิไวนิลคลอไรด์ สำหรับความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซทั้ง 2 ชนิด พบว่า การเพิ่มขึ้นของไวนิลอะซีเตตไม่ใช่ตัวแปรสำคัญที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลก๊าซที่ถูกดูดซับได้ปานกลาง จะขึ้นกับส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึกมากกว่า กล่าวคือ เมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น องค์ความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มลดลง ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซจะเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากมีโอกาสจะเกิดพันธะระหว่างหมู่ที่มีซัลฟ์สูงขึ้น

Morillon และคณะ [16] ทำการศึกษากิจกรรมของอุณหภูมิที่มีต่อการซึมผ่านของน้ำผ่านฟิล์มสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ พอลิเอทิลีน (Poly Ethylene, PE) ซึ่งเป็นฟิล์มที่ไม่ชอบน้ำ และเซลโลเฟน (Cellophane) ซึ่งเป็นฟิล์มพวกเซลลูโลสที่ชอบน้ำ จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำ สมบัติทางกายภาพของน้ำจะมีผลกับฟิล์มที่ว่องไวต่อน้ำเท่านั้น คือ เซลโลเฟน ซึ่งจะมีอิทธิพลอย่างมากกับการซึมผ่านของน้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างพอลิเมอร์ แต่สำหรับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ ดังเช่น พอลิเอทิลีน การซึมผ่านของน้ำจะขึ้นกับความดันไอที่แตกต่างระหว่างสองด้านของแผ่นฟิล์ม

Delnobile และคณะ [17] ได้ศึกษาสมบัติการซึมผ่านก๊าซและไอน้ำของพอลิเอทิลีนเทอพอลิเมอร์ (0.93/0.07/1 Ethylene/Propylene/Carbon monoxide) โดยพอลิเอทิลีนเทอพอลิเมอร์ที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างเป็นแบบโซ่ตรง ทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านวัดทั้งค่าการดูดซับใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แผ่นฟิล์มและสัมประสิทธิ์การแพร่ แล้วจึงนำมาสรุปเป็นความสามารถในการซึมผ่าน ในงานวิจัย ได้ศึกษาอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25-65°C พบว่าทุกอุณหภูมิทดสอบ พอลิเมอร์แสดงสถานะคล้ายยาง (Rubber State) แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบสามารถนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์และอยู่ในสถานะคล้ายแก้วได้ และทำการเปลี่ยนชนิดก๊าซที่ใช้ในการทดสอบ 5 ชนิด ดังนี้ ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ อีเทนและมีเทน ผลปรากฏว่า เมื่ออุณหภูมิทดสอบสูงขึ้นแผ่นฟิล์มมีความสามารถในการดูดซับไอน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณโมเลกุลที่ถูกดูดซับมากขึ้นการแพร่ของโมเลกุลน้ำในแผ่นฟิล์มจะลดลง และเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันสำหรับก๊าซทุกชนิดด้วย นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่มีผลต่อสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ พบว่าเวลาในการขึ้นรูปทำให้โครงสร้างสายโซ่หลักเปลี่ยนแปลง แต่ไม่มีผลต่อสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำมากนัก

Delnobile และคณะ [18] ได้ศึกษาสมบัติการส่งผ่านความชื้นของพอลิเอไมด์ โคพอลิเมอร์ เพื่อการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยศึกษาพอลิเอไมด์ที่มีโครงสร้างของสายโซ่หลักต่างกัน 3 แบบ ดังตารางที่ 2.2 รวมทั้งนำมาเปรียบเทียบกับไฮโดรพอลิเมอร์ด้วย

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของไฮโดรพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย [18]

Sample	Substituting unit	Repeating unit	n/m
Homopolymer	-		-
Copolymer A			0.023
Copolymer B			0.022
Copolymer C			0.019

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และความสามารถในการละลายของไอน้ำในแผ่นฟิล์มที่ถูกนำมาประเมินค่าเป็นความสามารถในการซึมผ่านนั้น ส่วนใหญ่ขึ้นกับความแตกต่างทางโครงสร้างเคมีของสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ (หน่วยซ้ำ) มากกว่าทางแตกต่างด้านลักษณะทางกายภาพ (องศาความเป็นผลึก) โดยโคพอลิเมอร์ชนิดบี แสดงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำสูงที่สุด ในขณะที่องศาความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มทั้งสามไม่แตกต่างกันมากนัก พฤติกรรมการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกันนั้น เกิดเนื่องจากสายโซ่หลักมีหมู่แทนที่ต่างกัน ทำให้การเคลื่อนไหวของ

สายโซ่ต่างกัน จึงส่งผลต่อพฤติกรรมนี้นั่นเอง และจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า โคลลิเมอร์ชนิดบีมีความสามารถในการซึมผ่านสูงสุด

Pandey และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการสลายตัว EVA Nanocomposite ที่มีการใช้สารตัวเติมขนาดนาโนเข้าร่วมด้วย พบว่า สารตัวเติม Clay ช่วยลดอัตราการสลายตัวลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการสลายตัวทางความร้อนของ EVA ปรากฏ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการสลายให้กรดอะซีติกและการสลายตัวขั้นที่สองจะเป็นการสลายตัวที่โครงสร้างร่างแห และยังพบว่ามีการปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟให้ดีขึ้นด้วย แม้ว่า Clay จะมีการกระจายตัวที่ไม่ดีก็ตาม ซึ่งอธิบายได้ว่า อนุภาคของ Clay สามารถก่อดั้วเป็นชั้นป้องกัน ส่วนพฤติกรรมการเผาไหม้ของ EVA Nanocomposite นั้น พบว่า มีการสลายตัวทางความร้อนเป็นไปอย่างปกติ

สิริลักษณ์ คัดโนภาส และ เสาวนีย์ จรัสเรืองชัย [5] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำ (SGP) กับเอทิลีนไวนิลอะซีเตต (EVA) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และยางธรรมชาติ โดยทำการผสมพอลิเมอร์แต่ละชนิดในปริมาณคงที่ กับ SGP ในปริมาณที่ต่างๆ กัน ด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและค่าการดูดซึมน้ำ สำหรับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SGP กับ EVA พบว่า เมื่อปริมาณ SGP เพิ่มมากขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำของพอลิเมอร์ผสมนานขึ้นพอลิเมอร์ผสมจะมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้นด้วย สาเหตุน่าจะเป็นเพราะ SGP เป็นตัวดูดซึมน้ำ พร้อมกับบวมตัวออกดันผนังเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ผสมให้ขยายตัวในลักษณะ 3 ทิศทาง คือ ขึ้นงาน ขยายตัวออกทั้งในด้านความกว้าง ยาวและหนาในอัตราใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้นงาน และเนื่องจากไม่มีช่องว่างเกิดขึ้นบริเวณผิวของชิ้นงาน ทำให้ปริมาณ SGP ที่หลุดออกมีไม่มาก และยังพบว่า SGP เสริมแรงให้กับ EVA แต่เมื่อ SGP เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดต่ำลง

เบญจมาศ มุ่งเขตกลาง และ พัชราภา อ่วมภูมิ [3] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดซีโอไลต์เอ ซึ่งขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution Casting) พบว่า ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงเมื่อเทียบกับปริมาณซีโอไลต์ โดยแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ 4% มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด และยังพบว่าเมื่อปริมาณซีโอไลต์มากขึ้นการตกตะกอนแยกวัฏภาคของซีโอไลต์เกิดอย่างชัดเจนขึ้นด้วย และเนื่องจากไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ 3 ทาง คือ ผ่านปริมาตรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ HIPS ผ่านรอยต่อระหว่างวัฏภาคของซีโอไลต์กับ HIPS และผ่านรูพรุนของซีโอไลต์ ดังนั้น แม้ว่าปริมาณซีโอไลต์จะเพิ่มขึ้นแต่รอยต่อระหว่างวัฏภาคจะน้อยลงด้วย ทั้งนี้เพราะซีโอไลต์เป็นสารที่มีขั้วจะเกาะกลุ่มกันแยกออกจาก HIPS ส่วนสมบัติเชิงกลนั้น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ค่าความแข็งแรงดึงค่อนข้างคงที่ ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่มีค่าน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มและการเพิ่มความหนืดของของผสม พบว่า ฟิล์มที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง แต่การเพิ่มความหนืดของของผสม (ในสูตรผสมที่มีซีโอไลต์ปริมาณมาก) ทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์มีการกระจายตัวอยู่ในเนื้อฟิล์มที่ดีขึ้น

เนตรนภา ลามอ และ เบญจวรรณ ตานนท์ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ปรับปรุงด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ Zeolite NaA ในปริมาณ 0-6 % โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า (Blow Extrusion) และทดสอบการซึมผ่านไอน้ำตามมาตรฐานที่ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย พบว่า ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapour Permeability, WVP) ของแผ่นฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกันทุกสูตร ทั้งนี้ความเป็นไปได้ที่ไอน้ำจะซึมผ่านแผ่นฟิล์มมีอยู่ 4 ทาง คือ ผ่านบริเวณที่เป็นข้อสันฐานของพอลิเมอร์ ผ่านรอยต่อระหว่างวัฏภาคของ LDPE กับสารตัวเติม ผ่านรูพรุนของสารตัวเติม ซึ่งจะเกิดได้ในกรณีที่รูพรุนของสารตัวเติมมีความชอบน้ำและมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดอนุภาคไอน้ำ และผ่านบริเวณที่เป็นช่องว่าง (Void) จากสมบัติทางความร้อน พบว่า ฟิล์มทุกตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความเปราะหักพังพอๆ กัน ดังนั้นการซึมผ่านไอน้ำส่วนที่เป็นข้อสันฐานน่าจะเหมือนกัน แต่เนื่องจากฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนามากจึงทำให้การเติมสารตัวเติมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มที่ใช้ Zeolite NaA เป็นสารตัวเติมมีความหนามากกว่าฟิล์มที่ใช้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม เนื่องจาก Zeolite NaA มีโอกาสที่จะเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนได้มากกว่า  $\text{CaCO}_3$  ทำให้ความหนืดของระบบมากกว่า ในด้านการกระจายตัว พบว่า แผ่นฟิล์มทุกสูตรมีการกระจายตัวที่ดี สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นฟิล์มมีค่าความแข็งแรงฉีกขาดลดลง

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 สารเคมี

1. เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl-Acetate Copolymer, EVA) เกรด NUC 3770 จากบริษัท Union Carbide Asia Ltd. ซึ่งแสดงสมบัติดังตารางที่ 3.1
2. ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) จากบริษัท PQ Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งแสดงสมบัติดังตารางที่ 3.2
3. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) ชนิดไม่เคลือบผิวเกรด OMYACARB 2 จากบริษัทสุรินทร์ ออมยา เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด สมบัติบางประการของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งแสดงสมบัติดังตารางที่ 3.3
4. เรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin)
5. โคบอลแนฟทีเนต (Cobalt Napthenate)
6. เมทิล เอทิล คีโตน เปอร์ออกไซด์ (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ EVA เกรด NUC 3770 [20]

สมบัติ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ร้อยละของไวนิลอะซีเตต (% Vinyl Acetate)	18	%
ดัชนีการไหล (Melt Flow Rate)	1.5	g/10min
ความหนาแน่น (Density)	0.94	$\text{g/cm}^3$
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) MD/TD	25/24	MPa
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Extension at Break) MD/TD	690/750	%
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	86	$^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ Zeolite NaA [21]

สมบัติ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ลักษณะ	ผงมีการไหลอย่างอิสระ	-
ค่า pH ที่ 1% การกระจายตัว	11.28	-
ความหนาแน่น	363	g/cm <sup>3</sup>
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	4.03	µm

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ CaCO<sub>3</sub> [22]

สมบัติ	CaCO <sub>3</sub> (OMYACARB-2)	หน่วย
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	2.8	µm
ความหนาแน่น	2.7	g/cm <sup>3</sup>
ความไม่ละลายในกรด	0.0	%

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder, รุ่น S-26500; Axon ab Plastmaskiner) พร้อมหัวดายชนิดร่องยาวและลูกกลิ้งดึงฟิล์ม (Casting Roll)
2. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-Screw Extruder, รุ่น PL-200; Intro Engineering)
3. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder, รุ่น Polydrive with Rheomex R252) พร้อมเครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก (Film Blowing Tower, รุ่น LF-400; Labtech Engineering)
4. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Plastic Grinder Machine, รุ่น A600; Bosco Engineering)
5. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, LLOYD รุ่น LR 5K; LLOYD Instrument)
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, รุ่น 1455 VP; LEO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (Perkin รุ่น Pyris 1 TGA; Perkin Elmer Co., Ltd.)
8. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC 7; Perkin Elmer)
9. เครื่องวัดการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeation Tester ; Lyssy L80-4000)
10. ตู้อบความร้อน
11. เครื่องอัดแรงลม
12. เครื่องชั่งละเอียด
13. ไมโครมิเตอร์
14. ไม้บรรทัด

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูตร EVA/Zeolite NaA

สูตรที่	ชื่อย่อ	ปริมาณ ซีโอไลต์ (% wt ของ EVA)	ปริมาณ CaCO <sub>3</sub> (%wt ของ EVA)	น้ำหนัก EVA (g)	น้ำหนัก ซีโอไลต์ (g)
1	EVA / ZA0	0	0	1,000	0
2	EVA / ZA10	10	0	900	100
3	EVA / Ca10	0	10	900	100

ซึ่งส่วนผสมตามตารางที่ 3.4 ให้มีน้ำหนักรวมประมาณ 1,000 กรัม (โดยแบ่งซึ่งให้มีน้ำหนักรวมครั้งละ 200 กรัม) ใส่ขวดพลาสติกเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเทลงใน Hopper ของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ โดยตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

- Feed zone                      160°C
- Compression zone            170°C
- Metering zone                  180°C
- Die zone                          190°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Screw speed 11 rpm

นำพอลิเมอริซึมที่ได้จากการอัดรีดมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปตัดเม็ดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้เครื่องตัดเม็ดพลาสติก

### 3.3.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

#### 3.3.2.1 เทคนิคการเป่า

นำพอลิเมอริซึมที่ตัดเม็ดแล้วมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิคแบบเป่า (Blow Film Extrusion) โดยตั้งสภาวะของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (รุ่น Polydrive with Rheomex R252 : ขึ้นรูปที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ต่อกับเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ที่ใช้ดายประเภทวงแหวน (Annular Die) ดังนี้

สภาวะเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

- อุณหภูมิ	
Feed zone	190°C
Compression zone	190°C
Metering zone	190°C
- Screw speed	70 rpm

สภาวะเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม

- Blow zone	190°C
- แรงลมเป่า	0.3 MPa
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 1	1.6 rpm
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 2	2 rpm

#### 3.3.2.2 เทคนิคการหล่อ

นำพอลิเมอริซึมที่ตัดเม็ดแล้วมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อ (Cast Film Extrusion) โดยตั้งสภาวะของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (รุ่น S-26500 Axon ab Plastmaskiner : ขึ้นรูปที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์) ที่ใช้หัวดายร่องยาวและประกอบพร้อมลูกกลิ้งดึงฟิล์ม (Casting Roll) ดังนี้

สภาวะเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

- อุณหภูมิ
 

Zone 1	150°C
Zone 2	160°C
Zone 3	170°C
Zone 4	180°C
Zone 5	190°C
- Screw speed 400 rpm

- หัวดายร่องยาว (Slit Die)

ความกว้าง 198 mm

ความหนา 1 mm

สภาวะของลูกกลิ้งดึงฟิล์ม (Casting Roll)

- อุณหภูมิ อุณหภูมิห้อง
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 1 5 rpm
- ความเร็วลูกกลิ้งที่ 2 7 rpm
- อัตราเร็วในการดึง 1.44 m/min

### 3.3.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

#### 3.3.3.1 การวัดความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม

วัดความกว้างของแผ่นฟิล์มโดยใช้ไม้บรรทัด และทำการวัดในแนวตลอดหน้ากว้าง ประมาณ 10 จุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

วัดความหนาของแผ่นฟิล์มโดยใช้ไมโครมิเตอร์ ประมาณ 50 จุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

ทำการหาปริมาณที่แน่นอนของซีโอไลต์และแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง TGA ซึ่งกำหนดสภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- ภายใต้อุณหภูมิอากาศ
- อุณหภูมิ 30-600°C
- อัตราการให้ความร้อน 10°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC ซึ่งใช้น้ำหนักฟิล์มประมาณ 5-10 มิลลิกรัม นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 30°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10°C/min จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 140°C และทำให้เย็นโดยการลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 10°C/min จนถึงอุณหภูมิเริ่มต้น นำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) อุณหภูมิตกผลึก ( $T_c$ ) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกตามมาตรฐาน ASTM E794 [23]

การคำนวณหา Heat of melting ( $\Delta H_f$ ) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสามารถหาได้จากสมการดังนี้

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H_f \times 100 \times 100}{\Delta H_f^0 (100 - \text{ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริง})}$$

เมื่อ  $\Delta H_f$  คือ พื้นที่ใต้กราฟของ  $T_m$

$\Delta H_f^0$  คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึก ของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% มีค่า 293 J/g [24]

### 3.3.3.4 การศึกษาสัณฐานวิทยา

#### 3.3.3.4.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มเอทิลีนโวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ที่

ปรับปรุงด้วยซีไอไลต์ ชนิดโซเดียมเอและแคลเซียมคาร์บอเนต โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด 1x1 cm<sup>2</sup> แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่น้ำที่พื้นผิว จากนั้นทำการเคลือบผิวแผ่นฟิล์มตัวอย่างด้วยทองคำ แล้วนำชิ้นงานมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง SEM

#### 3.3.3.4.2 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติม

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด 1x3 cm<sup>2</sup> ทำการเคลือบด้วยเรซิน โดยชั่งเรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin) ที่ผสมสารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Cobalt Naphthenate) ประมาณ 20 กรัม แล้วจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) 1% โดยน้ำหนักของเรซิน คนให้เข้ากัน แล้วจึงใช้แปรงทาเรซินลงบนแผ่นใสในขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานเล็กน้อย วางแผ่นฟิล์มลงบนเรซิน แล้วใช้แปรงทาเรซินทับบนฟิล์มอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้แปรงเกลี่ยให้บาง จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็น จึงแกะชิ้นงานออกจากแผ่นใส แล้วจึงทำการแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นหักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่ ทำการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยทองคำ แล้วนำชิ้นงานมาวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (ตรงรอยแตกหัก) ด้วยเครื่อง SEM

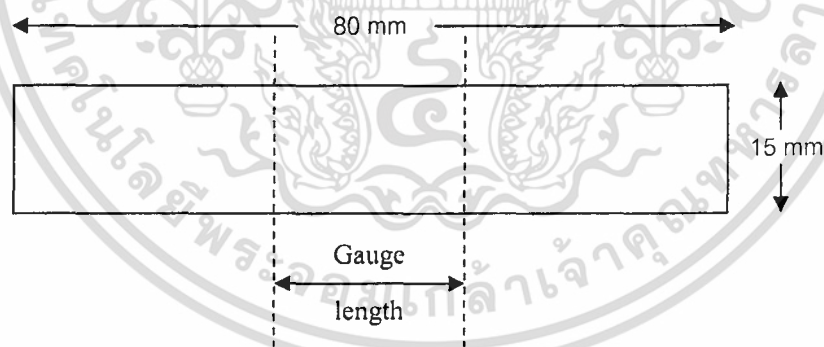
### 3.3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

#### 3.3.3.5.1 สมบัติความแข็งแรงดึง

การทดสอบสมบัติเชิงกลในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบแรงดึง ซึ่งสมบัติที่ทำการ ศึกษา ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ตามมาตรฐาน ASTM D 882 [25] โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ซึ่งจะทำการตัดแผ่นฟิล์มตัวอย่างตามแนวเครื่องจักร (Machine Direction, MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (Transverse Direction, TD) ให้มีขนาด 15x80 mm<sup>2</sup>

โดยใช้สภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load Cell) 100 N
- ความเร็วในการดึง (Test Speed) 100 mm/min
- ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge Length) 25 mm



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)} = \frac{F}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{มอดุลัส (Modulus)} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}}$$

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด} \\ (\% \text{ Elongation at Break}) = \left( \frac{l - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

เมื่อ  $F$  = แรงดึงยืดขึ้นงาน ณ จุดขาด  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )  
 $l$  = ระยะระหว่างจุดทั้งสองหลังทำการดึงขึ้นงานตัวอย่าง  
 $l_0$  = ระยะระหว่างจุดสองจุดก่อนดึงขึ้นงาน (Gauge Length) เท่ากับ 25 mm

หมายเหตุ ค่ามอดุลัสคำนวณจากค่าความชันเริ่มต้น (ที่ 2 และ 4% การดึงยืด)

### 3.3.3.5.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด

สมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) ซึ่ง จะทำการตัดแผ่นฟิล์มตัวอย่างตามแนวเครื่องจักร (MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (TD) เป็น รูปร่างแบบ Die C ตามมาตรฐาน ASTM D624 [26] แล้วทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์

โดยใช้สภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load Cell) 100 N
- ความเร็วในการดึง (Test Speed) 100 mm/min



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างรูปร่าง Die C

### 3.3.3.6 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

โดยได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ทำการหาปริมาณ ไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวฟิล์มด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ของฟิล์มพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$  ที่อุณหภูมิ  $38^\circ\text{C}$  และความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ 90% โดยวิธี Transfer Time Method โดยใช้เครื่อง Lyssy Water Permeability ตัดชิ้นงานให้มีขนาด  $11 \times 11 \text{ cm}^2$  เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E) Plastics–Film and Sheeting–Determination of Water Vapor Transmission Rate–Part 1 : Humidity Detection Sensor Method



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในโครงการพิเศษนี้ได้เตรียมแผ่นฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงด้วย ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ ซึ่งขึ้นรูปด้วย 2 เทคนิคตามหัวข้อ 3.3.2 และเปรียบเทียบกับสารตัวเดิม แคลเซียมคาร์บอเนต ผลปรากฏว่าสูตรผสมพอลิเมอร์ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ 10% ไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการหล่อ ดังนั้นจึงสรุปสูตรพอลิเมอร์ โดยมีการใช้ตัวย่อ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวย่อของแผ่นฟิล์มแต่ละสูตร

ตัวย่อ	รายละเอียดสูตร	เทคนิคการขึ้นรูป
EVA / Cast	EVA 100%	Film Casting
EVA / Ca10 / Cast	EVA 90% CaCO <sub>3</sub> 10%	Film Casting
EVA / Blow	EVA 100%	Film Blowing
EVA / ZA10 / Blow	EVA 90% Zeolite NaA 10%	Film Blowing
EVA / Ca10 / Blow	EVA 90% CaCO <sub>3</sub> 10%	Film Blowing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม

จากการวัดความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์มตามสภาวะการขึ้นรูปในหัวข้อ 3.3.3.1 สรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความกว้างและความหนาของแผ่นฟิล์ม

สูตร	ความกว้างของแผ่น Cast / ท่อ ฟิล์มเรียบ (cm)	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )
EVA / Cast	$14.02 \pm 0.19$	$90 \pm 30$
EVA / Ca10 / Cast	$13.88 \pm 0.17$	$114 \pm 32$
EVA / Blow	$12.39 \pm 0.44$	$69 \pm 11$
EVA / ZA10 / Blow	$11.31 \pm 0.56$	$68 \pm 10$
EVA / Ca10 / Blow	$13.24 \pm 0.34$	$56 \pm 9$

ดังนั้นกล่าวได้ว่า จากสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป ฟิล์มที่ได้จากวิธีการเป่ามีความหนาน้อยกว่าฟิล์มที่ได้จากวิธีการหล่อ และมีการกระจายความหนาที่น้อยกว่าด้วย เนื่องจากวิธีการเป่าฟิล์มมีการขยายตัวทั้งสองแนว คือ จากแรงลมเป่าและความเร็วที่ใช้ในการดึงฟิล์ม แต่ในขณะที่วิธีการหล่อ ฟิล์มมีการขยายตัวในทางเดียว คือ จากความเร็วที่ใช้ในการดึงฟิล์ม

การขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่านั้น เมื่อมีการผสมสารตัวเติมซีโอไลต์ จะต้องปรับลดแรงลมลงเพื่อช่วยให้สามารถขึ้นรูปได้ดังจะเห็นได้จากความกว้างของท่อฟิล์มเรียบมีขนาดเล็กกว่าสูตร EVA / Blow เล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบสูตร EVA / ZA10 / Blow กับสูตร EVA / Ca10 / Blow พบว่าการใช้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติมสามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้บางกว่าการใช้ซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมเนื่องจาก  $\text{CaCO}_3$  มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าซีโอไลต์ ดังนั้นจึงไหลไปกับพอลิเมอร์หลอมเหลวได้ดีกว่า และสามารถใช้แรงลมเป่าที่มากกว่าได้ จึงผลิตฟิล์มที่มีความบางกว่าได้นั่นเอง

#### 4.2 ปริมาณสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

จากการทดสอบเพื่อหาปริมาณที่แน่นอนของสารตัวเติมที่มีอยู่ในฟิล์มตัวอย่างตามหัวข้อ 3.3.3.2 โดยใช้เทคนิค TGA ได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารตัวเติมในฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ปริมาณสารตัวเติมที่กำหนดไว้ (%wt)	ปริมาณสารตัวเติมที่พบ (%wt)
EVA / Cast	0.0	0.0
EVA / Ca10 / Cast	10.0	9.2
EVA / Blow	0.0	0.0
EVA / ZA10 / Blow	10.0	9.6
EVA / Ca10 / Blow	10.0	7.8

จากการทดลอง (ดูตารางที่ 4.3 ประกอบ) พบว่า ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของขนาดอนุภาคของสารตัวเติมกับ EVA ซึ่ง EVA มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า และความหนาแน่นน้อยกว่าสารตัวเติม สิ่งที่สังเกตได้คือ เมื่อเทของผสมระหว่าง EVA กับสารตัวเติมลงในฮอปเปอร์ (Hopper) ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ อนุภาคของสารตัวเติมตกลงอยู่ที่ส่วนล่างของ Hopper และเคลื่อนที่ได้ยากกว่าเม็ด EVA เมื่อสกรูหมุนเคลื่อนที่ไปทำให้เกิดการแยกกันระหว่างเม็ด EVA กับอนุภาคสารตัวเติมได้ง่าย ซึ่งสังเกตได้ว่าหลังการผสมจะมีสารตัวเติมบางส่วนตกค้างในฮอปเปอร์ รวมทั้งอาจเกิดจากการกลไกแยกของสกรู ในระหว่างการตัดเม็ด หรือการป้อนเข้าเครื่องเป่าฟิล์ม และการติดค้างในสกรูของเครื่องอัดรีดทั้งในขั้นตอนการผสมและการขึ้นรูป

#### 4.3 สมบัติทางความร้อน

นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC แล้วนำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาค่าสมบัติต่างๆ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 (แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ที่ภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	%EVA	$T_m$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H_f$ จาก เครื่อง (J/g)	$\Delta H_f$ (Normalized)	% Crystallinity
EVA / Cast	100.0	86	67	33.31	33.31	11
EVA / Ca10 / Cast	90.8	87	68	31.16	34.32	12
EVA / Blow	100.0	86	66	33.33	33.33	11
EVA / ZA10 / Blow	90.4	86	67	24.91	27.56	9
EVA / Ca10 / Blow	92.3	85	67	27.55	29.86	10

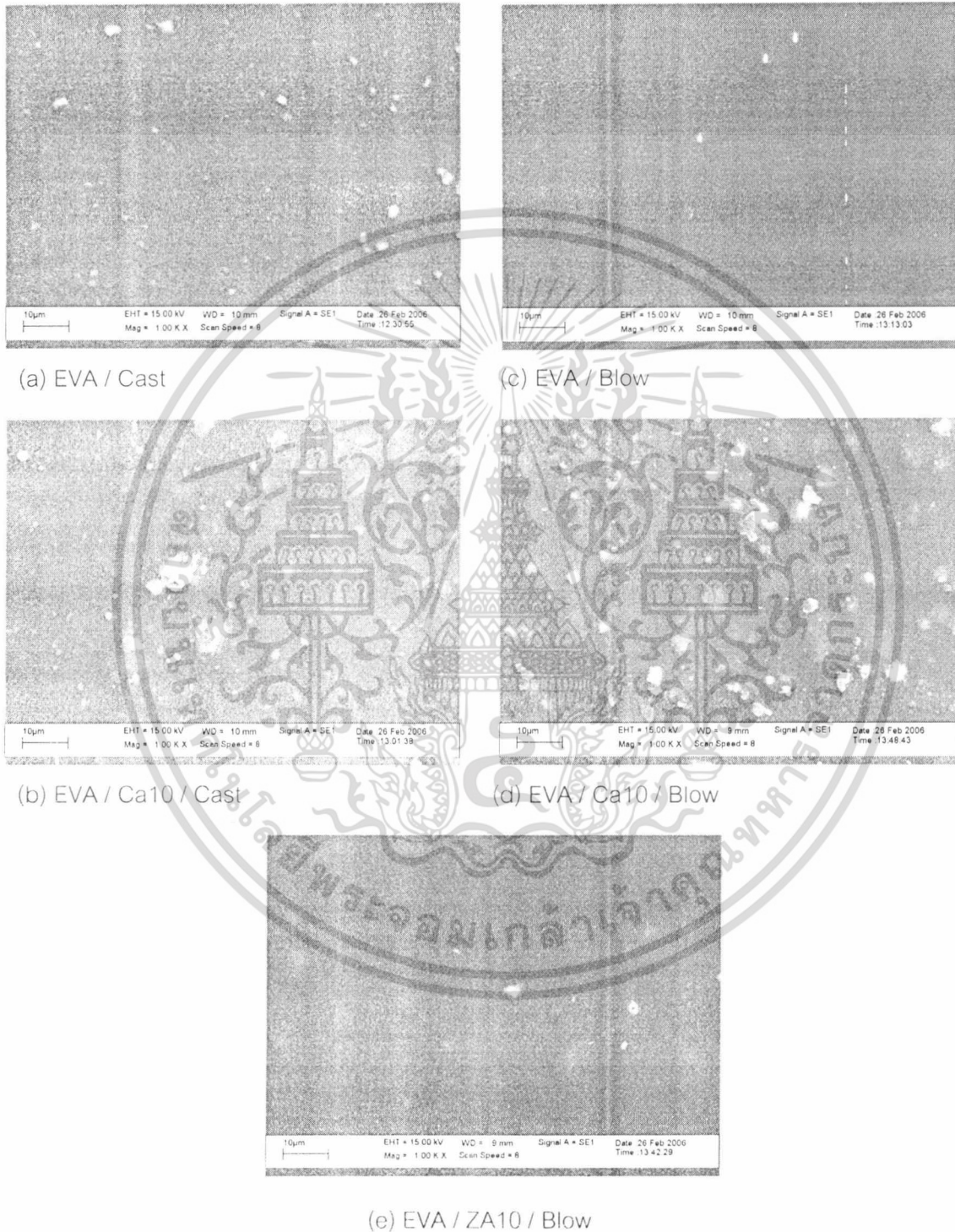
หมายเหตุ องศาความเป็นผลึกคิดเทียบกับพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก ของ PE ที่มี  
ความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่า 293 J/g [24]

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการหลอมผลึก ( $T_m$ ) มี  
ค่าคงที่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ Zeolite NaA และ  $\text{CaCO}_3$  ในฟิล์มตัวอย่างมิได้มีผลต่อความ  
สมบูรณ์และขนาดของผลึก นอกจากนี้สารตัวเติมทั้งสองชนิดไม่ได้ไปขัดขวางการเกิดผลึก โดยดู  
ได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกในฟิล์มตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันกับ EVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 สัณฐานวิทยา

### 4.4.1 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม



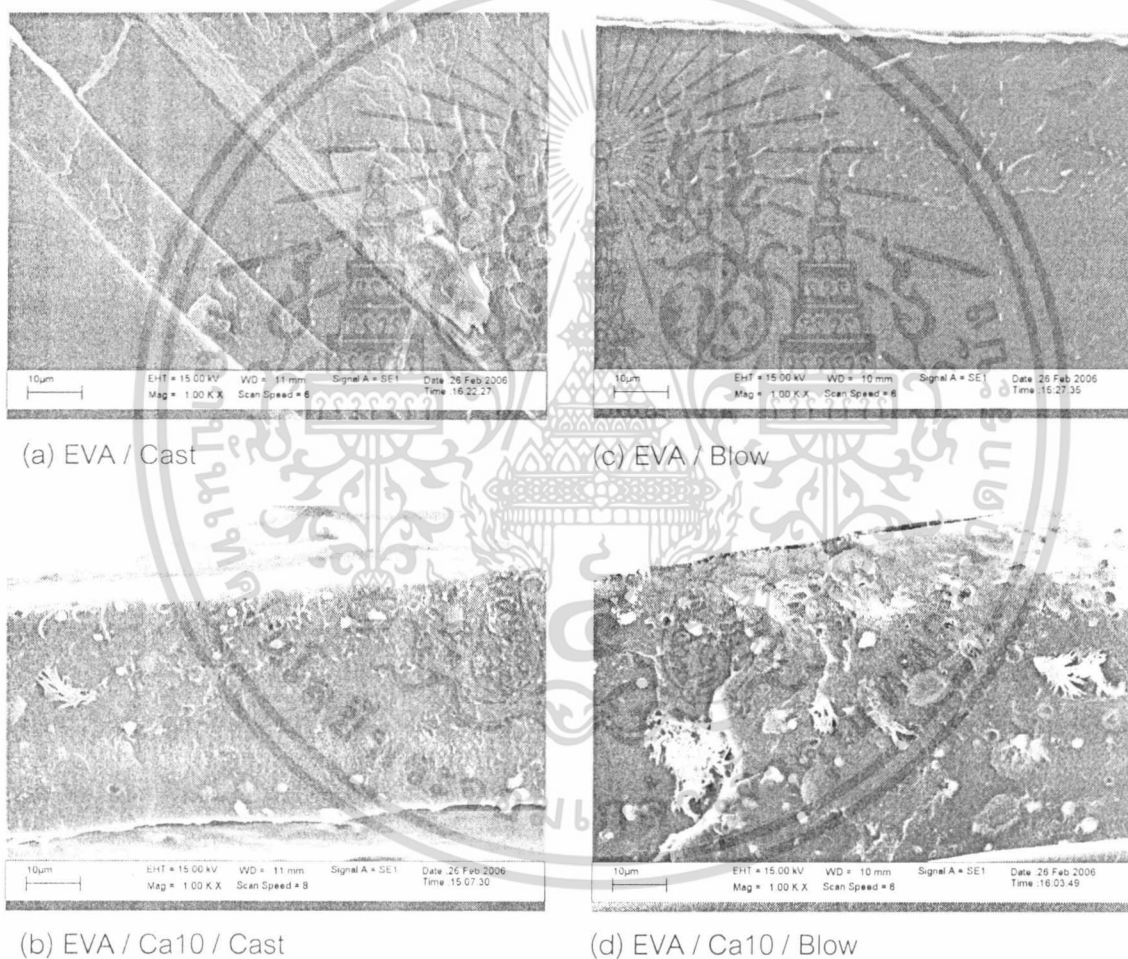
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มตัวอย่าง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

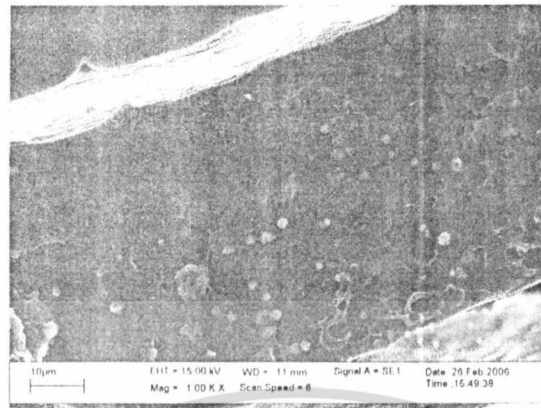
จากรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น พื้นผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากสารตัวเติมและสิ่งเจือปนที่ปรากฏชัดขึ้น และเมื่อสัมผัสแผ่นฟิล์มพบว่ามี ความลื่นลดลง

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 (a) พบว่า พื้นผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความขรุขระทั้งที่ไม่มีสารตัวเติม ทั้งนี้อาจเกิดจากสิ่งปนเปื้อนที่ติดค้างอยู่ในสกรูของเครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

#### 4.4.2 ลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(e) EVA / ZA10 / Blow

รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวที่แตกหักที่อุณหภูมิตัวของฟิล์มตัวอย่างที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อปริมาณสาร ตัวเติมเพิ่มมากขึ้น จะสามารถพบอนุภาคของสาร ตัวเติมได้มากขึ้น และอยู่ในลักษณะที่มีการกระจายตัวดี และยังคงพบฟองอากาศในชั้นงานของฟิล์มที่มีการใส่สารตัวเติมทั้งสองชนิด อาจเนื่องมาจากการอบไล่ความชื้นออกจากสูตรผสมก่อน การขึ้นรูปไม่หมด และการดูดความชื้นของสารตัวเติมในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่งสารตัวเติม ซีโอไลต์สามารถดูดความชื้นได้รวดเร็ว

จากรูป 4.2 (a) สามารถอธิบายได้ว่า ไม่พบอนุภาคของสารตัวเติมในชั้นฟิล์ม ซึ่งผลการ ทดลองแตกต่างจากการศึกษาพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า รอยขรุขระที่พื้นผิวอาจเกิด จากสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณน้อย จึงไม่พบในเนื้อฟิล์ม

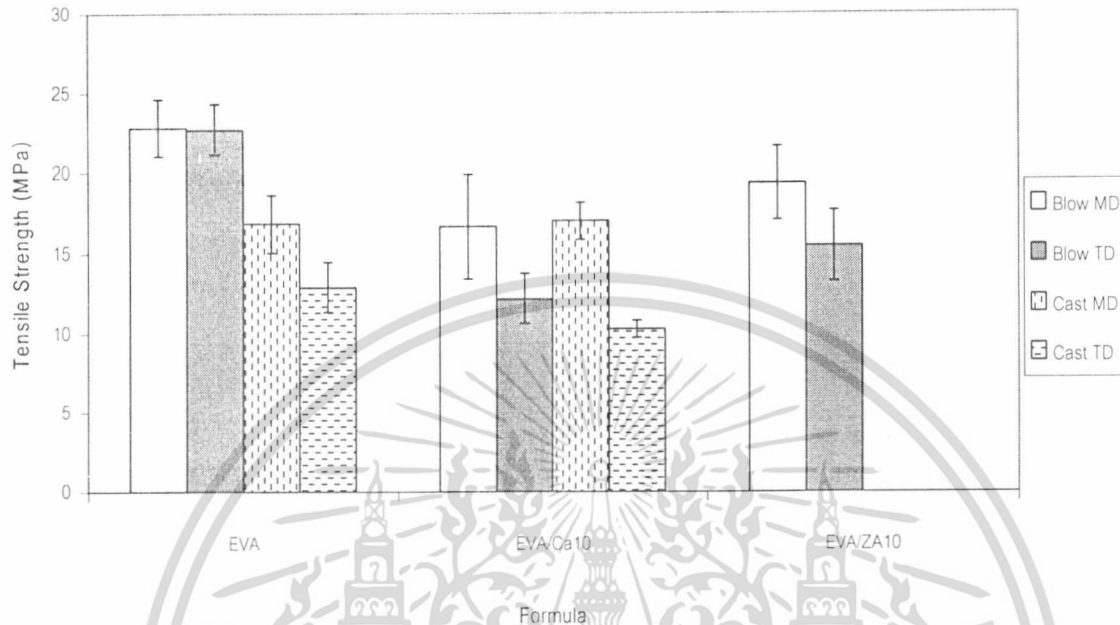
#### 4.5 สมบัติเชิงกล

##### 4.5.1 สมบัติความแข็งแรงดึง

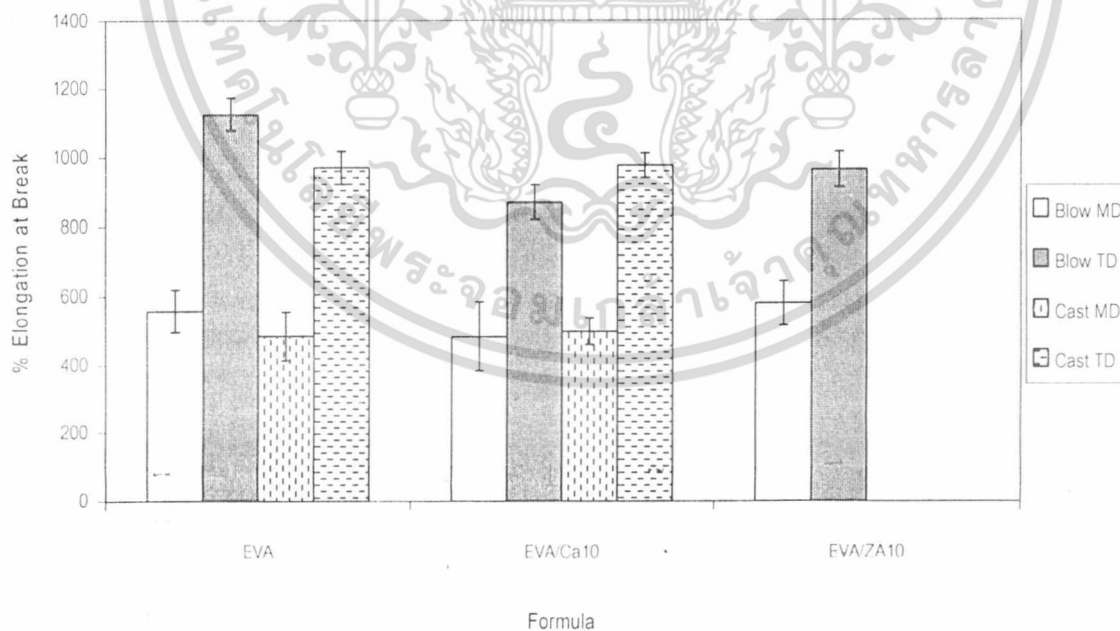
จากการทดสอบการรับแรงดึงตามหัวข้อ 3.3.3.5.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Zeolite NaA โดยเปรียบเทียบกับสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  และอิทธิพลของเทคนิคในการขึ้นรูปที่มีต่อค่าความ แข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของแผ่นฟิล์มในทิศทางแนวเครื่องจักร (Machine Direction, MD) และ แนวตามขวางเครื่องจักร (Transverse Direction, TD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบ สามารถแสดงผลได้ดังรูป 4.3-4.5

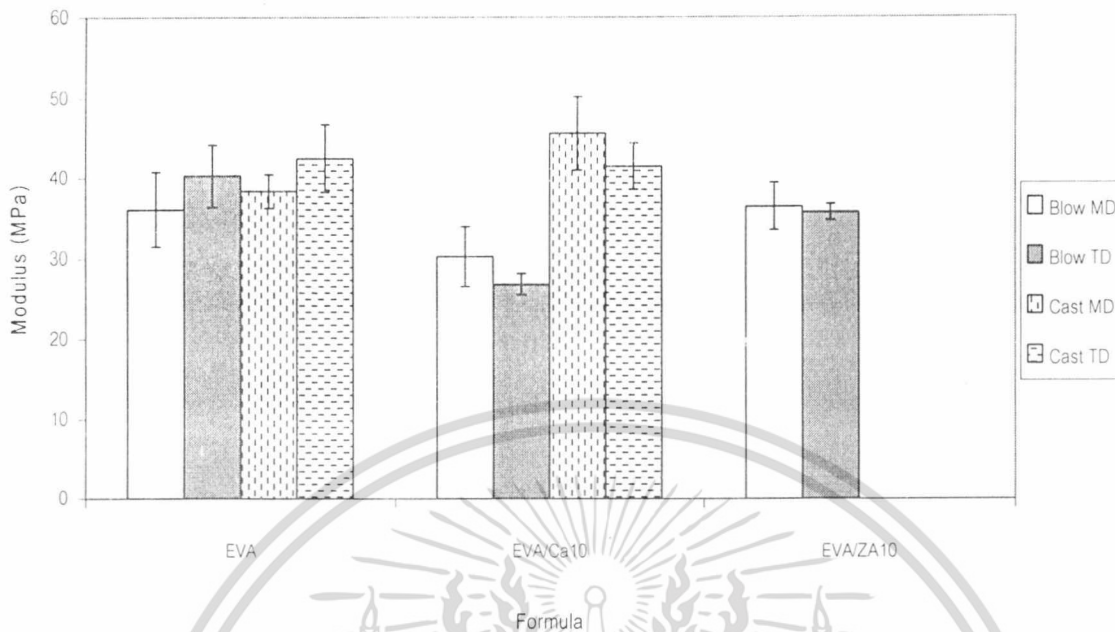


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % Elongation at Break กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Modulus กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ

จากรูปที่ 4.3-4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเป็น 10% โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการผสมสารตัวเติม เนื่องจากมีรอยต่อระหว่างวัฏภาคเป็นเสมือนจุดสะสมความเค้นของชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อออกแรงดึงจึงเสียหายเร็วกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการใส่สารตัวเติม ส่วนค่ามอดุลัสมีแนวโน้มคงที่ โดยทฤษฎีแล้วค่ามอดุลัสควรเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมที่ใช้มีมอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์ เพราะสารตัวเติมเป็นของแข็ง ยากที่จะเปลี่ยนรูปทำให้ต้องใช้แรงกระทำสูงเพื่อขยับสายโซ่พอลิเมอร์ แต่จากผลการทดลองค่ามอดุลัสไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด นั้นพบว่า เมื่อมีการใส่สารตัวเติม ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด จะลดลงเล็กน้อย เพราะอนุภาคของสารตัวเติมจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ พบว่า ในกรณีที่ไม่มีส่วนผสมสารตัวเติม แผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่ามีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ซึ่งความแตกต่างของความแข็งแรงดึงดังกล่าวนี้ ไม่ได้มาจากปัจจัยขององศาความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์ม เพราะจากผล DSC พบว่าองศาความเป็นผลึกมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากวิธีการเป่าฟิล์มทำให้สายโซ่พอลิเมอร์จัดเรียงตัวสองทิศทาง กล่าวคือทิศทางตามแนว MD ด้วยการดึงฟิล์มม้วนเก็บ และทิศทางตามแนว TD ด้วยแรงลมเป่าให้ท่อฟิล์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยาย แต่สำหรับฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อนั้นสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียว คือ ตามแนวเครื่องจักร ทั้งนี้การจัดเรียงตัวของสายโซ่ไม่จำเป็นต้องเกิดผลึกเสมอไป สำหรับกรณีที่ผสมสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  10% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มที่ขึ้นรูปจากวิธีการทั้งสองใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบแผ่นฟิล์มทั้งสองแนวพบว่า ในกรณีที่ไม่มีสารผสมสารตัวเติม แผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อนั้นมีความแข็งแรงดึงในแนว MD มากกว่าแนว TD เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์มีโอกาสจัดเรียงตัวในแนว MD ได้มากกว่าแนว TD ส่วนแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่านั้นมีความแข็งแรงทั้งสองแนวใกล้เคียงกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า สภาวะการขึ้นรูปตามหัวข้อ 3.3.2.1 ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวทั้งสองแนวดีพอๆ กัน แต่เมื่อมีการใส่สารตัวเติมพบว่า ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่ามีความแข็งแรงดึงในแนว MD สูงกว่า TD และฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อนั้นจะเห็นความแข็งแรงดึงในแนว MD มากกว่าแนว TD มากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการใส่สารตัวเติมจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ในแนว MD ได้ง่ายกว่าแนว TD ความแข็งแรงในแนว MD จึงมากกว่าแนว TD อย่างชัดเจน

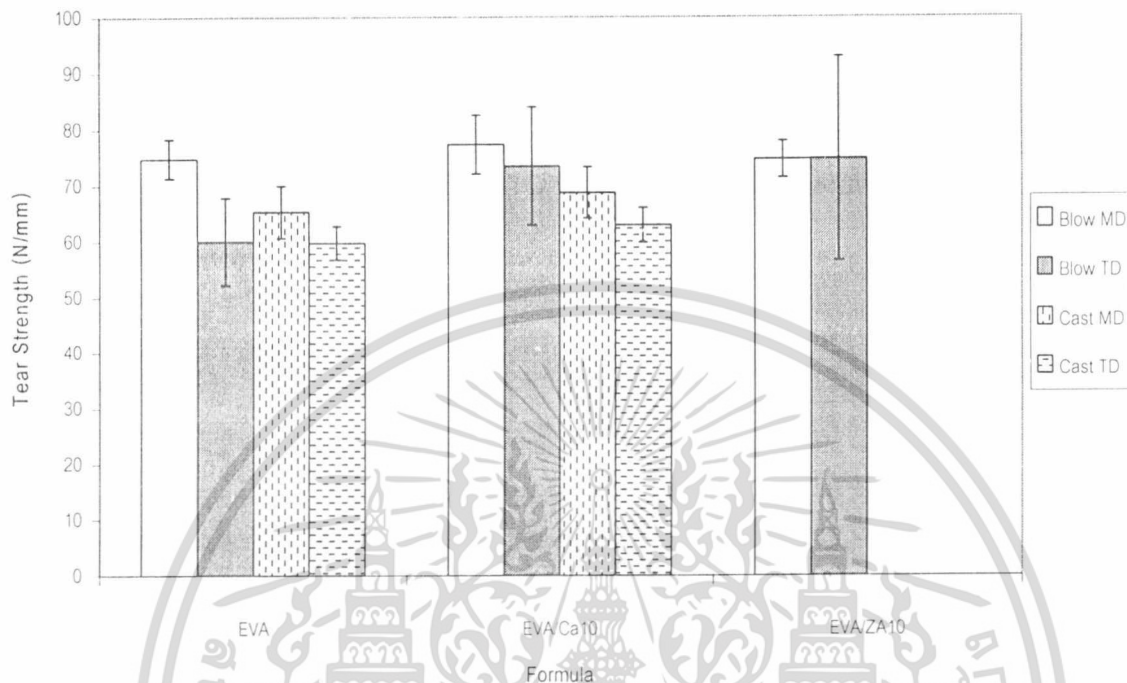
เมื่อพิจารณาสารตัวเติมที่ต่างชนิดกัน นั่นคือ Zeolite NaA และ  $\text{CaCO}_3$  พบว่าฟิล์มที่มี Zeolite NaA เป็นสารตัวเติมมีค่ามอดุลมากกว่าฟิล์มที่มี  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม เนื่องจาก Zeolite NaA เป็นสารอนินทรีย์และมีโครงสร้างเป็นซิลิเกตที่มีความแข็งแรงมากกว่า  $\text{CaCO}_3$  สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ฟิล์มที่มี Zeolite NaA เป็นสารตัวเติมมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่มี  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม เนื่องจาก Zeolite NaA เป็นสารที่มีขั้วและความมีขั้วนั้นมากกว่า  $\text{CaCO}_3$  ทำให้สามารถเข้ากันได้มากกว่ากับ EVA ซึ่งเป็นสารที่มีขั้วเช่นกัน

#### 4.5.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด

จากการทดสอบสมบัติความแข็งแรงฉีกขาดตามหัวข้อ 3.3.3.5.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Zeolite NaA โดยเปรียบเทียบกับสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  และอิทธิพลของเทคนิคในการขึ้นรูปที่มีต่อค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) ของแผ่นฟิล์มในทิศทางแนวเครื่องจักร (Machine Direction, MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (Transverse Direction, TD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบ สามารถแสดงผลได้ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tear Strength กับสูตรพอลิเมอร์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่า และวิธีการหล่อ

จากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นเป็น 10% โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุง แสดงว่าที่ปริมาณสารตัวเติม 10% โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงฉีกขาด แต่ทั้งนี้อาจเกิดจากฟองอากาศที่เป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน สังเกตได้จากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างมากและจากผลการทดสอบ SEM (รูปที่ 4.2) และเมื่อทดสอบในทิศทาง MD และ TD พบว่าค่าความแข็งแรงฉีกขาดในทิศทาง MD มากกว่า TD เล็กน้อย เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน พบว่าฟิล์มที่ได้จากวิธีการเป่ามีค่าความแข็งแรงฉีกขาดมากกว่าฟิล์มที่ได้จากวิธีการหล่อเล็กน้อย เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลตามที่ได้กล่าวไว้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความแข็งแรงฉีกขาดของฟิล์มที่มีการใช้สารตัวเติมต่างชนิดกัน นั่นคือ Zeolite NaA และ  $\text{CaCO}_3$  มีค่าใกล้เคียงกัน และสังเกตได้ว่าค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟิล์มที่ใช้ซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมมีค่ามากกว่าฟิล์มที่ใช้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม เนื่องจากซีโอไลต์มีความชอบน้ำมากกว่า  $\text{CaCO}_3$  จึงทำให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงานได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 สมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

จากการทดสอบตามหัวข้อ 3.3.3.6 จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5 แต่เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapour Transmission Rate, WVTR) ไม่ได้คำนึงถึงผลของความหนาของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นจึงนำความหนาของแผ่นฟิล์มมาคูณกับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะได้เป็นค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapour Permeability, WVP) ได้ดังสมการ

$$WVP = WVTR \times \text{ความหนาของแผ่นฟิล์ม}$$

ตารางที่ 4.5 ค่า WVTR และ WVP ของฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ความหนา* ( $\mu\text{m}$ )	WVTR ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )	WVP ( $\text{g} \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ )
EVA / Cast	66	52.65	3475
EVA / Ca10 / Cast	94	40.58	3815
EVA / Blow	77	43.69	3364
EVA / ZA10 / Blow	66	68.08	4493
EVA / Ca10 / Blow	59	63.06	3721

หมายเหตุ

\* เป็นความหนาเฉลี่ยเฉพาะชิ้นงานที่ทำการทดสอบนั้น

เนื่องจากไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ 4 ทาง คือ

1. ผ่านปริมาตรอิสระของ EVA
2. ผ่านรอยต่อระหว่างภูมิภาคของ EVA กับสารตัวเติม
3. ผ่านรูพรุนของซีโอไลต์
4. ผ่านบริเวณที่เป็นช่องว่าง (Void)

แต่เนื่องจากฟิล์มทุกตัวอย่างมีองค์ประกอบเป็นผลึกพอๆ กัน ดังนั้นความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำในส่วนที่เป็นปริมาตรอิสระของ EVA น่าจะเหมือนกัน และคาดว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำจะมากขึ้นด้วย

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อผสมสารตัวเติม Zeolite NaA และ  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ค่า WVTR จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีส่วนผสม เนื่องจากปัจจัยในข้อ 2 และ 4 สำหรับสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  และปัจจัยในข้อ 2 3 และ 4 สำหรับสารตัวเติม Zeolite NaA แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่า WVTR ยังขึ้นกับความหนาของแผ่นฟิล์มด้วย กล่าวคือ เมื่อความหนามากขึ้น ค่า WVTR จะน้อยลง สังเกตได้จากสูตร EVA / Ca10 / Cast ดังนั้นจึงรายงานเป็นค่า WVP แทน

เมื่อเปรียบเทียบค่า WVP ของฟิล์มที่มีสารตัวเติม พบว่า เมื่อผสมสารตัวเติมลงในแผ่นฟิล์ม ค่า WVP จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงชนิดสารตัวเติม พบว่า ฟิล์มที่มีการใส่ Zeolite NaA มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์มที่ใส่  $\text{CaCO}_3$  เนื่องจากซีโอไลต์เป็นสารที่มีความชอบน้ำและไอน้ำสามารถซึมผ่านทางรูพรุนของซีโอไลต์ได้ด้วย โดยฟิล์มสูตร EVA / ZA10 / Blow มีค่า WVP สูงที่สุด

และ จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างกัน พบว่า ทั้งวิธีการหล่อและวิธีการเป่าให้ฟิล์มที่มีค่า WVP ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับผลทดสอบสมบัติทางความร้อน กล่าวคือ องศาความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มใกล้เคียงกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. จากการศึกษาถึงปัจจัยด้านชนิดสารตัวเติม พบว่า สารตัวเติมทั้งสองไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน โดยพิจารณาได้จากอุณหภูมิในการหลอมผลึก ( $T_m$ ) ที่ไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีผลต่อองศาความเป็นผลึก ส่วนสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากกว่าแผ่นฟิล์มที่ปรับปรุงด้วย  $\text{CaCO}_3$  และจากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ฟิล์มที่ใช้ซีโอไลต์เป็นสารตัวเติมมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมากกว่าฟิล์มที่ใช้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารตัวเติม ส่วนร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งแรงฉีกขาดของฟิล์มไม่ขึ้นกับชนิดของสารตัวเติม

2. จากการศึกษาถึงปัจจัยด้านปริมาณสารตัวเติม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมจาก 0% เป็น 10% โดยน้ำหนัก แผ่นฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น และแผ่นฟิล์มทุกสูตรมีการกระจายตัวของสารตัวเติมอยู่ในลักษณะที่ดี และสารตัวเติมในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิในการหลอมผลึก ( $T_m$ ) และองศาความเป็นผลึก ส่วนสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยสารตัวเติม Zeolite NaA และ  $\text{CaCO}_3$  มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุง ในด้านสมบัติเชิงกล พบว่า แผ่นฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลงเล็กน้อย ค่ามอดุลัสใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่มีการปรับปรุง และในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักนี้ ไม่ส่งผลถึงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของฟิล์ม

3. จากการศึกษาถึงปัจจัยด้านวิธีการขึ้นรูป พบว่า อุณหภูมิในการหลอมผลึก ( $T_m$ ) และองศาความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของสารตัวเติมดีพอๆ กัน ส่วนสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ส่วนสมบัติเชิงกลนั้น พบว่า ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่ามีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ และฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อก็มีค่าความแข็งแรงดึงในแนว MD มากกว่าแนว TD เสมอ แต่ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่านั้น การผสมสารตัวเติมทำให้ค่าความแข็งแรงดึงในแนว MD มากกว่าแนว TD และฟิล์มที่ได้จากวิธีการเป่าจะมีค่าความแข็งแรงฉีกขาดมากกว่าฟิล์มที่ได้จากวิธีการหล่อ

จากผลการทดสอบโดยรวม พบว่า สูตรที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ คือ สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ในปริมาณ 10% และขึ้นรูปด้วยวิธีเป่า เนื่องจาก ซีโอไลต์มีการกระจายตัวดี และแผ่นฟิล์มมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีสมบัติเชิงกลที่ดีอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่านี้ยังสามารถทำได้ง่าย ความหนาของแผ่นฟิล์มที่ได้มีค่าน้อย และมีการกระจายความหนาที่สม่ำเสมอด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการขึ้นรูปควรควบคุมให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงานน้อยที่สุด เช่น การนำพอลิเมอร์ผสมสูตรไปอบไล่ความชื้นก่อนการขึ้นรูปและควบคุมสภาวะการขึ้นรูปให้มีความชื้นสัมพัทธ์น้อย หรือควรเลือกใช้เครื่องอัดรีดที่มีระบบระบายไอน้ำ (Vent)
2. ทดลองใช้ซีโอไลต์ที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน
3. ทดลองใช้เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ที่มีเปอร์เซ็นต์ไวนิลอะซีเตตแตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงปริมาณของไวนิลอะซีเตตที่มีผลต่อสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ
4. ทดลองใช้ฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงผลของความหนาที่มีต่อสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ
5. ทดลองใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ในการห่อผักและผลไม้สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2544). **รอบรู้เรื่องบรรจุภัณฑ์** (2). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์สุรวัดน์. 78-81.
2. งามทิพย์ ภูวโรดม (2538). **ก๊าซกับบรรจุภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพฯ : ลินคอร์นโปรโมชัน. 17-18.
3. เบญจมาศ มุ่งเขตกลาง และ พัชราภา อ่วมภูมิ (2547). **สมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิโพรพิลีนชนิดทนต่อแรงกระแทกที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดไซโตเดียมเอ**. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. เนตรนภา ลามอ และ เบญจวรรณ ตานนท์ (2547). **สมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์ไซโตเดียมเอ**. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. สิริลักษณ์ คัดโนภาส และ เสาวนีย์ จรัสเรืองชัย (2538). **การศึกษาถึงผลของปริมาณพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำใน อีวีเอ พีวีซี และยางธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ : โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. นิสากร ปานประสงค์ (2546). **ซีโอไลต์**.  
[online]. Available : <http://update.se-ed.com/192/zeolite.htm>
7. University of Tulsa Chemical Engineering (1979). **Zeolite A**.  
[online]. Available : <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/lta.html>
8. International Zeolite Association (2000). **LTA**.  
[online]. Available: [http://topaz.ethz.ch/IZA-SC/Atlas/data/pictures/LTA\\_mod.html](http://topaz.ethz.ch/IZA-SC/Atlas/data/pictures/LTA_mod.html)
9. ตะวัน สุขน้อย (2545). **เอกสารประกอบวิชาปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม. เรื่องการสังเคราะห์ซีโอไลต์เอและสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออน**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
10. ตะวัน สุขน้อย (2544). **เอกสารประกอบวิชาซีโอไลต์และสารมีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สมศักดิ์ วรมงคลชัย (2548). เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : บริษัท นวัตกรรม จำกัด. 81, 88, 220-222.
12. C. Rauwendaal (1994). *Polymer Extrusion*. 3<sup>rd</sup> ed. New York : Hanser Publishers.
13. สุภรณ์ รักชลธี. (2548). เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีการบรรจุหีบห่อ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
14. C.Devallencourt, S.Marais, J.M.Saiter, M.Labbé and M.Métayer (2002). "Study of transport of small molecules through ethylene-co-vinyl acetate copolymers films. Part A : Water molecules". *J.Polymer Testing*, 21 : 253-262.
15. S.Marais, E.Bureau, S.Gouanvé, E.Ben Salem, Y.Hirata, A.Andrio, C.Cabot and H.Atmani (2004). "Transport of water and gases through EVA/PVC blend films – permeation and DSC investigations". *J.Polymer Testing*, 23 : 475-486.
16. V.Morillon, F.Debeaufort, G.Blond and A.Voille (2000). "Temperature influence on moisture transfer through synthetic films". *J.Journal of Membrane Science*, 168 : 223-231.
17. M.A.Delnobile, G.Mensitieri and A.Sommazzi (1995). "Gas and water vapour transport in a polyketone terpolymer". *J.Polymer*, 36 : 4943-4950.
18. M.A.Delnobile, G.G.Buonocore, L.Palmieri, A.Aldi and D.Acierno (2002). "Moisture transport properties of polyamides copolymers intended for food packaging application". *J.Journal of Food Engineering*, 53 : 287-293.
19. Jitendra K. Pandey, K. Raghunatha Reddy, A. Pratheep Kumar and R.P. Singh (2005). "An overview on the degradability of polymer nanocomposites". *Polymer Degradation and Stability*, 88 : 234-250.
20. เอกสารบริษัท Union Carbide Asia Ltd.
21. เอกสารบริษัทพีคิว เคมีคัล (ประเทศไทย) จำกัด
22. เอกสารบริษัทสุรินทร์ ออมยา เคมีคัล (ประเทศไทย) จำกัด
23. Annual Book of ASTM Standard (2000). Vol.14.02. 339-342
24. Wonderlich, B. *Data Bank of ATHAS, Advanced Thermal Analysis*; Chem. Department, University of Tennessee, Knoxville
25. Annual Book of ASTM Standard (2000). Vol.08.01. 165-173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. Annual Book of ASTM Standard (2000). Vol.09.01. 123-123



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าสมบัติต่างๆ ของฟิล์มตัวอย่าง

ข้อมูลดิบของสูตร EVA / Cast

$$T_m = 86.35^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H_f \text{ คือ พื้นที่ใต้กราฟของ } T_m = 33.31 \text{ J/g}$$

$$\Delta H_f^0 \text{ คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึก ของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100\% มี}$$

ค่า 293 J/g

$$\text{ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริง} = 0 \text{ g.}$$

จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^0} \times \frac{100}{(100 - \text{ปริมาณสารตัวเติมที่มีอยู่จริง})}$$

แทนค่าจะได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{33.31 \times 100}{293} \times \frac{100}{(100 - 0)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = 11.37$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของแผ่นฟิล์มสูตร EVA / Cast มีค่าเท่ากับ

11.37%

หมายเหตุ สูตรอื่นๆ ก็คำนวณเช่นเดียวกับข้างต้นนี้