

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
ที่ปรับปรุงด้วยซีไอไลต์ชนิดโซเดียมเอ



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62079
วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Mechanical and Water Vapor Permeability Properties of
High Impact Polystyrene Film Modified with Zeolite NaA**



Miss Benchamas Mungkhethklang

Miss Patcharapa Uampoom

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 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ สมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่าน ใยน้ำของฟิล์มพอลิस्टไทรเรซินชนิด
ทนต่อแรงกระแทกที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

นักศึกษา นางสาวเบญจมาศ มุ่งเขตกลาง รหัส 44050091
นางสาวพัชราภา อ่วมภูมิ รหัส 44050104

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.ชลดดา ฤตวิรุพห์	
กรรมการ	ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์ โนน	
กรรมการ	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	สมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ
นักศึกษา	นางสาวเบญจมาศ มุ่งเขตกลาง นางสาวพัชราภา อ่วมภูมิ
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รัชชลธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอตั้งแต่ 0-10% โดยน้ำหนัก โดยการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบสารละลายด้วยโทลูอีน จากการทดลองพบว่าอนุภาคซีโอไลต์ที่เติมลงไปจะกองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม การเพิ่มปริมาณซีโอไลต์จะทำให้พื้นที่ผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มขรุขระมากขึ้น ผลของการเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ 0-10% พบว่าค่าความแข็งแรงดึงก่อนข้างคองที่ ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณซีโอไลต์ 4% เนื่องจากซีโอไลต์มีการกระจายตัวที่ดี สำหรับสูตรที่มีปริมาณซีโอไลต์ 10% ที่มีการเพิ่มความหนา (50-100 μm) พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีความหนาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดก่อนข้างคองที่ ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลง และจากการเพิ่มความหนืดของของผสมที่มีปริมาณซีโอไลต์ 10% โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ HIPS ในโทลูอีน (4-8%wt) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดก่อนข้างคองที่ ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าสูงขึ้น เพราะซีโอไลต์มีการกระจายตัวดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Mechanical and Water Vapor Permeability Properties of High Impact Polystyrene Film Modified with Zeolite NaA
Name	Miss Benchamas Mungkhetklang Miss Patcharapa Uampoom
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Suparat Rukchonlatee
Special Project Co-Advisor	Asst.Prof.Dr. Tawan Sooknoi

Abstract

The research focuses on mechanical and water vapor permeability properties of high impact polystyrene (HIPS) film modified with zeolite NaA 0-10% by weight. All samples were prepared using solution casting technique with toluene as a solvent. The results revealed that the zeolite particles piled up at the bottom of the film. The higher the zeolite content, the more surface roughness of the film. Increasing zeolite content, up to 10% by weight, showed that the tensile strength were hardly changed, increasing in modulus but % elongation at break slightly decreased. Film with 4% zeolite loading had the greatest water vapor permeability (WVP) due to good dispersion of zeolite. When varying thickness between 50-100 μm of the film with 10% zeolite loading gave decreasing in modulus but stable tensile strength and % elongation at break. An increase in film thickness decreased WVP. Varying in viscosity of HIPS in toluene (4-8%wt concentrations) the film containing 10% zeolite showed decreasing in tensile strength and modulus but unchanging % elongation at break. WVP of the film with 10% zeolite content increased with increasing viscosity because of good dispersion of zeolite.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ กำลังใจ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ และ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ การเอาใจใส่และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปุลณมา ศิริพันธ์ โนน และ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจทาน แก้ไขและชี้แจงข้อบกพร่องของโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณบริษัท Global Connections CO., LTD. ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติก ขอขอบพระคุณ คุณสุคดี สอนสะอาด และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและแนะนำการใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ตลอดจนรุ่นพี่และเพื่อนๆที่น่ารักที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ

นอกเหนือจากนี้ยังมีบุคคลอื่นๆที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวเบญจมาศ มุ่งเขตกลาง

นางสาวพัชราภา อ่วมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พอลิสไตรีน	4
2.1.1 สมบัติของพอลิสไตรีน	5
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน	5
2.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก	5
2.3 ซีโอล์ตชนิดโซเดียมเอ	6
2.3.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของซีโอล์ตชนิดโซเดียมเอ	7
2.3.2 การสังเคราะห์	7
2.3.3 การประยุกต์ใช้งาน	7
2.4 กระบวนการหล่อ	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 การทดลอง	12
3.1 สารเคมี	13
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	13
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	13
3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์	13
3.3.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่ทางภาควิชาศึกษาศาสตร์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	17
4.1 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา	18
4.2 ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ	27
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	32
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 การซึมผ่านไอน้ำของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	2
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ HIPS เกรด 486M	12
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ	13
ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูตร HIPS/Zeolite NaA	14
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างของแผ่นฟิล์มแต่ละสูตร	17
ตารางที่ 4.2 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม ที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน	28
ตารางที่ 4.3 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน	29
ตารางที่ 4.4 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน	30
ตารางที่ 4.5 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน	30
ตารางที่ 4.6 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน	31
ตารางที่ 4.7 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน	4
รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิสไตรีน	4
รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาระหว่างยางกับพอลิสไตรีน	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียมเอ	7
รูปที่ 3.1 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	16
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	19
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	21
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์	22
รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	23
รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่ความหนืดของผสมต่างกัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	25
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่ความหนืดของผสมต่างกัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	26
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์ม ที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน	27
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์ม ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน	29
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์ม ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของผสมต่างกัน	31
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด จากการทดสอบแรงดึงของ HIPS/ZA0	32
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Tensile Strength กับปริมาณ Zeolite NaA	33
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus กับปริมาณ Zeolite NaA	33
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Elongation at Break กับปริมาณ Zeolite NaA	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า Tensile Strength กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วย ซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน	35
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า Modulus กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน	35
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า % Elongation at Break กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุง ด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน	36
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า Tensile Strength กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุง ด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน	37
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า Modulus กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน	37
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า %Elongation at Break กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุง ด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน	38

บทที่ 1

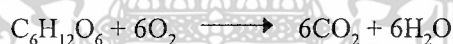
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

บรรจุกัณฑ์ที่พบได้ทั่วไปมีหลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งาน เช่น ผลิตภัณฑ์บรรจุผัก ผลไม้ ขนม อาหาร ในโครงการพิเศษชิ้นนี้สนใจศึกษาบรรจุกัณฑ์ที่ใช้ใส่ผัก ซึ่งคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักสดหลังการเก็บเกี่ยวจะขึ้นกับชนิด สายพันธุ์ คุณภาพขณะเก็บเกี่ยว ความสะอาด วิธีการขนส่ง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการขนส่งและสภาพบรรยากาศที่ล้อมรอบผักสดนั้นๆ [1]

ผักสดหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นกระบวนการหายใจและเมตาบอลิซึม (Metabolism) ต่างๆ ที่นำไปสู่ความแก่ (Maturation) ความสุก (Ripening) และความเสื่อมเน่าเสีย (Senescence) ตามลำดับ ยังเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา [1]

กระบวนการหายใจของพืชเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยน้ำตาลจะถูกออกซิไดส์ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ



โดยทั่วไปผักสดมีน้ำประมาณร้อยละ 80-95 ปริมาณน้ำบางส่วนจะสูญเสียไประหว่างการเก็บรักษา ทำให้น้ำหนักลดลง ความกรอบลดลงและเหี่ยวเฉา เมื่อสูญเสียน้ำมากขึ้นจะทำให้คุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [1]

บรรจุกัณฑ์ที่นำมาใช้ควรมีความแข็งแรงและมีความเหนียวพอควร เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา อีกทั้งต้องปลอดสารปนเปื้อนเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค แต่เนื่องจากบรรจุกัณฑ์ฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำไม่สูงมาก เมื่อพืชคายไอน้ำออกมาจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มมากเกินไปจนถึงจุดอิ่มตัว ไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ อาจทำให้พืชเน่าเสียได้ง่ายขึ้น ดังนั้นฟิล์มที่นำมาใช้กับผักที่คายน้ำมากจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การเจาะรูเล็ก (Perforation) ซึ่งการเจาะรูที่บรรจุกัณฑ์เพื่อให้ผักที่บรรจุอยู่ภายในสามารถระบายน้ำที่ไต่จากการหายใจและการคายน้ำ จะเห็นว่าการเจาะรูทำให้บรรจุกัณฑ์ขาดความสวยงาม อาจทำให้เกิดการฉีกขาดของบรรจุกัณฑ์ถ้าเกี่ยวกับสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในเองหรือจากภายนอกก็ตามและป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกได้น้อยลง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษนี้มีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์ให้สามารถระบายไอน้ำจากผักโดยไม่ต้องเจาะบรรจุภัณฑ์ โดยการเพิ่มสารตัวเติมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) ซึ่งเป็นสารที่มีความชอบน้ำ เมื่อเติมลงในพอลิเมอร์จะดึงดูดน้ำทำให้น้ำสามารถซึมผ่านฟิล์มพอลิเมอร์ได้มากขึ้น

พอลิเมอร์ที่นิยมนำมาทำบรรจุภัณฑ์มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิพรอพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของพอลิเมอร์ทั้งสามชนิด พบว่าพอลิสไตรีนมีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำดีกว่าพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การซึมผ่านไอน้ำของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ [2]

พอลิเมอร์	การซึมผ่านไอน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% อุณหภูมิ 25°C ($\times 10^{10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mmcm}^{-2} \text{ cmHg}^{-1}$)
พอลิเอทิลีน (d = 0.954-0.960)	130
พอลิเอทิลีน (d = 0.922)	800
พอลิสไตรีน	1200
พอลิพรอพิลีน	680

เนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นวัสดุที่เปราะ ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก โดยศึกษาฐานฐานวิทยา ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเตรียมฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกที่ผสมซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ และศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารเติมแต่งในการผลิตฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกโดยเตรียมในสถานะสารละลาย โดยใช้ปริมาณของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ 0-10% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังปรับเปลี่ยนความหนาของแผ่นฟิล์มและความเข้มข้นของพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกในโทลูอีน จากนั้นนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มาศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ เพื่อสรุปสูตรที่เหมาะสมในการผลิต
บรรจุภัณฑ์เพื่อการใช้งานต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงสูตรของพอลิโพรพิลีนชนิดทนต่อแรงกระแทกและซีโพลีโพรพิลีนชนิดโซเดียมเอที
เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุผักสดและนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้
กับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นที่ต้องการปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

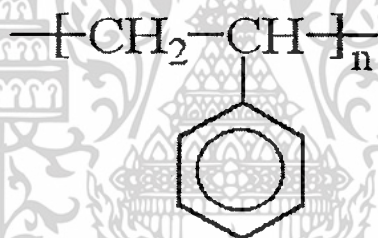
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. พอลิสไตรีน [3]

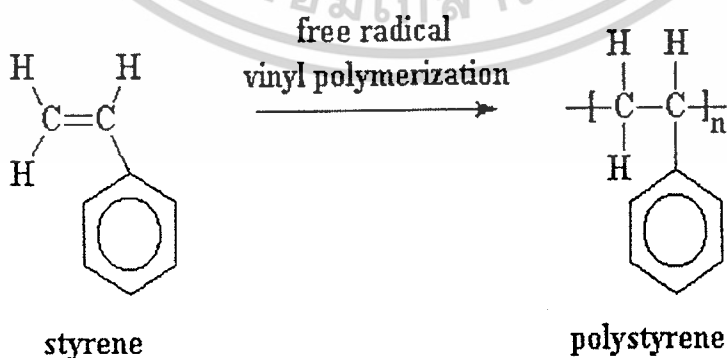
พอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็ง ใส และมีราคาถูก จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย พอลิสไตรีนถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1830 แต่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม จนกระทั่งในปี ค.ศ.1938 พลาสติกชนิดนี้มีกำลังการผลิตมากที่สุดและด้วยความต้องการที่จะให้มีสมบัติพิเศษจึงได้ศึกษาและค้นคว้าโดยการผสมเข้ากับวัสดุชนิดอื่นๆ กลายเป็นพลาสติกชนิดใหม่ขึ้นมาดังที่มีในปัจจุบัน เช่น Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), Styrene Acrylonitrile (SAN), Styrene Methyl Methacrylate (SMM) [4]

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงอสังฐาน แสดงดังรูป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน [3]

การสังเคราะห์พอลิสไตรีนแสดงดังรูป



รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิสไตรีน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 สมบัติของพอลิสไตรีน [5]

พอลิสไตรีนมีลักษณะโปร่งใสคล้ายแก้ว แข็ง น้ำหนักเบา การหดตัวน้อยจึงคงรูปได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ต่ำประมาณ 0.04% (โดยใช้แผ่นตัวอย่างหนาขนาด 1/8 นิ้ว อบที่ 80 °C นาน 24 ชั่วโมง) ความหนาแน่นประมาณ 1.04-1.07 g/cm³ สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ

น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000-200,000 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) 90-100°C และอุณหภูมิมีอ่อนตัว (Softening Point, T_s) 70-115°C ดัชนีหักเห (Refractive Index, n_D²⁰) 1.57-1.60 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) 40-48 MPa โมดูลัสในการดึง 35 MPa และความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) 13.34-18.68 J/m

พอลิสไตรีนติดไฟง่ายไหม้ในเปลวไฟ ไม่ดับเองเมื่อนำออกจากเปลวไฟ หลอมและไหม้เป็นฟอง เปลวไฟจะไม่มีสีจนถึงสีเหลือง มีควันสีดำ มีเขม่ามาก

เมื่อต่อสารเคมี สามารถละลายได้ในเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride), โทลูอีน (Toluene), เบนซีน (Benzene) แต่ไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ ก๊าซโซลีน กรดและเบสอ่อน

2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น เครื่องใช้ภายในบ้าน ไม้บรรทัดและอุปกรณ์เครื่องเขียนต่างๆ ใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อต่างๆ ชนิดใส กัดงและแผ่นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของ ป้องกันการแตก การสะเทือน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์มที่มีการจัดเรียงตัวสองทิศทาง (Biaxially Oriented Films) [6]

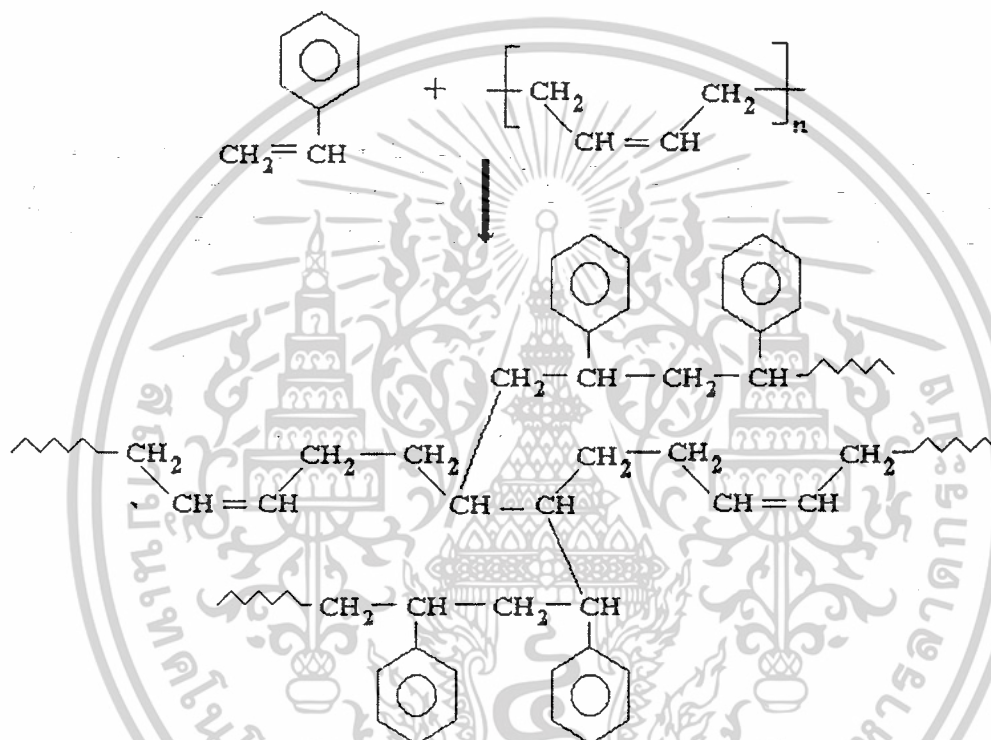
2.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก [7]

เนื่องจากพอลิสไตรีนมีสมบัติเด่น คือ เป็นฉนวนที่ดี ผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูง และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ เปราะและมีความทนต่อแรงกระแทกต่ำ จึงมีการพัฒนาและปรับปรุงพอลิสไตรีนให้มีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยเติมยางบิวทาไดอีน (ขนาด 1-10 μm) ลงในสไตรีนเรียกว่า พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) โดยการละลายอนุภาคยางในสไตรีนมอนอเมอร์แล้วสังเคราะห์พอลิสไตรีนขึ้นมา ในส่วนที่เป็นยางจะป้องกันการแพร่ของการแตกหักและถ้าขนาดอนุภาคของยางใหญ่ขึ้นจะมีความแข็งแรงดึงที่สูง ป้องกันการแตกหักได้ดี หากอนุภาคเล็กจะเพิ่มสมบัติความมัน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงา ความเหนียวและความแข็ง การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้งาน ผลิตเป็นครั้งแรก โดยบริษัท Dow Chemicals จำกัด และบริษัท I.G. Farben จำกัด

พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากจะใส แต่เมื่อมีความหนามาก จะทึบแสง การนำไปใช้งานจึงมักใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาระหว่างยางกับพอลิสไตรีน [7]

2.3 ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

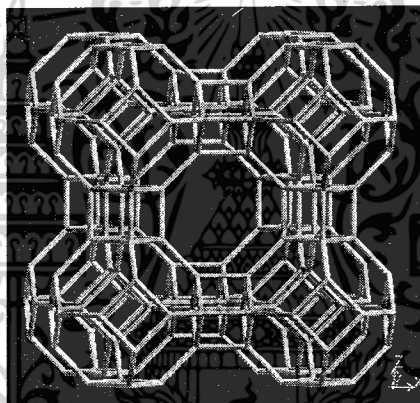
ซีโอไลต์ (Zeolite) คือ สารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่ง โครงสร้างทรงเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็น โครงสร้างขนาดใหญ่ที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบสามมิติ ทำให้ซีโอไลต์เป็นโครงสร้างที่มีรูพรุน มีโครงสร้างแบบเปิด (Open Structure) เชื่อมต่อกันคล้ายฟองน้ำ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากซิลิกอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ ยังมีไอออนบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ฯลฯ สร้างพันธะไอออนิกกับ ไอออนลบของโครงสร้าง รวมทั้งมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างของ โครงผลึก [8]

2.3.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) มีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟาเคจ (α -cage) และมี สูตรทางเคมีคือ $\text{Na}_{12} [(\text{AlO}_2)_{12} (\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ โดยมีสัดส่วนช่องว่างต่อปริมาตร (Void Volume Fraction) เท่ากับ 0.47 มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ โพรง (Pore Diameter) เท่ากับ 4.2 อังสตรอมและจะสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 700°C [9]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ [10]

2.3.2 การสังเคราะห์

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการทำให้เป็นเจล โดยการละลาย โซเดียมอะลูมิเนตลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วบ่มกวน เติมน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเติมละอองซิลิกาลงไป แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $80-100^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 45 นาที จะเกิดการตกผลึกของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ [11]

2.3.3 การประยุกต์ใช้งาน

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟาเคจ และมีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 จึงมีความเป็นขั้วสูง จะมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงนิยมนำไปใช้ในงานที่ต้องการกำจัดน้ำ เช่น การกำจัดน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศ และตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นต้น และยังสามารถใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอในการกำจัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเรือดำน้ำอีกด้วย [12]

2.4 กระบวนการหล่อ [13]

การหล่อ (Casting) จัดเป็นกระบวนการขึ้นรูปชนิดหนึ่ง ซึ่งมีวัสดุตั้งต้นเป็นของเหลวหรือ ผงแล้วทำให้เป็นของไหลเพื่อถ่ายลงแม่พิมพ์ กระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ความดัน ดังนั้นจึงไม่ ต้องใช้แม่พิมพ์โลหะ อาจใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ยางซิลิโคนหรือพลาสติก ซึ่งต้องพิจารณาถึง คุณสมบัติที่ใช้และตัวทำละลายที่ส่งผลกระทบต่อแม่พิมพ์ [13]

การหล่อกับมี 2 ประเภทคือ

1. การหล่อแบบสารละลาย (Solution Casting) โดยการละลายพลาสติกในตัวทำละลายที่ เหมาะสม (Good Solvent) จะได้สารตั้งต้นที่เป็นของเหลว (Dissolve Plastic) แล้วจึงเท ลงในแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ จากนั้นทำให้ของเหลวแข็งตัวโดยการระเหยตัว ทำละลายแล้วนำออกจากแม่พิมพ์
2. การหล่อแบบหลอมเหลว (Melt Casting) โดยการให้ความร้อนแก่พลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติกจนหลอมเหลวแล้วจึงถ่ายลงแม่พิมพ์ เนื่องจากพลาสติกหลอมเหลว (Hot Melt Plastic) มีความหนืดจึงมีการให้ความดันเพื่อให้สามารถเติมเต็มแม่พิมพ์

การผลิตผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหล่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกและวัตถุประสงค์ ของการนำไปใช้ [14] อีกทั้งต้องคำนึงถึงความหนืดของวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ที่ง่ายต่อ การปลดชิ้นงาน การระเหยตัวทำละลาย ฟองอากาศในผลิตภัณฑ์และปริมาณสารช่วยปลดชิ้นงาน (Releasing Agent)

ข้อดีของกระบวนการคือ สามารถเปลี่ยนแปลงความหนาของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีรายละเอียดของพื้นผิวดี นอกจากนี้ยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน ซึ่ง การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding) ไม่สามารถทำได้เนื่องจากมี ข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์ ส่วนข้อเสียคือ ผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบการผลิตแตกต่างกัน รอบการผลิตนาน นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดการแตกหักบน ชิ้นงาน มีฟองอากาศในชิ้นงาน ชิ้นงานหนาไม่สม่ำเสมอ เติมน้ำเต็มแม่พิมพ์ เป็นต้น [13]

การหล่อเป็นที่นิยม เนื่องจาก

- แม่พิมพ์ราคาค่อนข้างถูก
- ใช้เวลาในการเตรียมน้อย ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายด้วย

- อุปกรณ์ราคาไม่แพง เช่น การใช้เตาอบช่วยบ่มได้ทั้งชิ้นงานขนาดเล็กและขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผ่านเครื่องจักรและการตกแต่งชิ้นงานมีน้อย [14]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dirim และคณะ [15] ทำการศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ และฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงโดยการเจาะรูขนาดและปริมาณต่างๆกัน ทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดรีด แล้วทำการทดสอบโดยนำฟิล์มที่ได้ไปปิดปากด้วยน้ำคั้นที่ทำจาก PS ที่บรรจุน้ำกลั่น 180 cm³ ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วนำไปวางในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นคงที่ เริ่มจับเวลา แล้วเมื่อถึงเวลาที่กำหนดนำถ้วยออกมาชั่งน้ำหนักที่เหลือ พบว่าฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ มีการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์ม LDPE เนื่องจากอนุภาคของซีโอไลต์ทำให้พื้นที่ว่างของ LDPE ลดลง และซีโอไลต์ยังมีสมบัติในการดูดซับน้ำสูง ซึ่งต้องใช้พลังงานในการปลดปล่อยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ฟิล์ม LDPE ที่ทำการเจาะรูไม่มีข้อจำกัดเหมือนซีโอไลต์ ทำให้มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีเมื่อมีพื้นที่ที่เจาะรูมากขึ้น แต่ฟิล์มที่เจาะรูนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีปริมาณไอน้ำมาก แต่จุลินทรีย์ไม่มีความสำคัญ

Sales และคณะ [16] ทำการศึกษาเสถียรภาพของวัสดุประกอบระหว่างซีโอไลต์ ZSM-5/พอลิสไตรีน และ ซีโอไลต์ Y/พอลิสไตรีน ในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย แล้วขึ้นรูปโดยกระบวนการหล่อขึ้นรูป พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ฟิล์มที่ได้จะมีความเปราะมากขึ้น เมื่อนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติโดยใช้เครื่อง X-ray Powder Diffraction (XRD) พบว่าไม่มีพีกของซีโอไลต์ที่เบี่ยงเบนไป แสดงให้เห็นว่าไม่มีพันธะที่แข็งแรงเกิดขึ้นระหว่างพอลิสไตรีนและซีโอไลต์ เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ จะมีปริมาณอนุภาคซีโอไลต์ที่ไม่กระจายตัวมากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของซีโอไลต์มีค่ามากกว่าความหนาแน่นของพอลิสไตรีน ดังนั้นซีโอไลต์จึงตกตะกอน เมื่อทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์ม พบว่าฟิล์ม Y/PS มีการดูดซับน้ำได้ดี แต่ฟิล์ม ZSM-5 / PS ไม่มีการดูดซับน้ำ เนื่องจาก ZSM-5 มีอัตราส่วนของ Si/Al สูง จึงไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Thermal Mechanical Analyser (TMA) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ฟิล์มที่ได้มี Softening Temperature เพิ่มสูงขึ้น เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) โดยเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ใส่ซีโอไลต์ พบว่ามีการสลายตัว 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นการระเหยของตัวทำละลายและน้ำ ส่วนขั้นที่ 2 เป็นการสลายตัวของพอลิสไตรีน และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ฟิล์มที่ได้มีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้น เนื่องจากมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metin และคณะ [17] ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) และซีโอไลต์ธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Polyethylene Glycol (PEG) และ Silane Coupling Agent 3 ชนิดคือ 3-Aminopropyltriethoxysilane (AMPTES), Methyltriethoxysilane (MTES), 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane (MPTMS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งเตรียมโดยเทคนิคการอัดรีดผ่าน Flat Die แล้วทำการดึงผ่านลูกกลิ้ง แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงดึง พบว่าเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ความเค้น ณ จุดขาดลดลง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง แสดงว่าชิ้นงานมีความเปราะมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของ PP Matrix แต่เมื่อใส่สารช่วยผสม ทำให้มอดุลัสเพิ่มขึ้น ความเค้น ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างซีโอไลต์และ PP ทำให้สามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ทำให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM พบว่าในขณะที่ชิ้นงานที่ซีโอไลต์ทำการปรับปรุงพื้นผิว มีความเหนียวมากกว่าชิ้นงานที่ซีโอไลต์ที่ไม่ทำการปรับปรุง และซีโอไลต์ที่ไม่ทำการปรับปรุงพื้นผิวจะแยกออกจาก PP Matrix อย่างชัดเจน แต่ซีโอไลต์ที่ทำการปรับปรุงพื้นผิว จะมีการกระจายตัวอยู่ใน PP Matrix ได้ดี สัดส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่มากที่สุดคือ AMPTES, MTES 1% และ MPTMS 0.5%

Hale และคณะ [18] ได้ศึกษารูปแบบการแพร่ของไอน้ำผ่านรูเล็กๆ ในฟิล์มพอลิเอทิลีน/แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งรูเล็กๆ ในฟิล์มเกิดจากการดึงฟิล์มทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับพอลิเอทิลีนถูกทำลาย รูเหล่านี้จะมีการแพร่ผ่านของไอน้ำแต่ไม่สามารถซึมเข้ามาได้ รูปแบบการแพร่ของไอน้ำสันนิษฐานว่าเป็นไปตามพฤติกรรมแบบ Fickian ซึ่งแต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่แบบสุ่มและมีการชนกับโมเลกุลอื่นหรือผนังของรู แต่การชนผนังของรูก็ไม่ได้ทำให้เกิดการแพร่ จากการศึกษาอัตราการแพร่ของไอน้ำผ่านฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM E96 ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำต่างๆกัน โดยวางฟิล์มตัวอย่างบนขวดที่มีน้ำแล้วปิดฉนวน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้ววางในตู้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง จึงนำขวดออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการแพร่ของไอน้ำไม่ได้เพิ่มตามรัศมีของรู แต่เพิ่มขึ้นตามจำนวนรูในฟิล์ม

Strocks [19] ได้ศึกษาอัตราการส่งผ่านไอน้ำของ Block Co-Poly(ether-ester) และผลความหนาของชั้นอากาศที่มีต่อฟิล์ม ซึ่งได้ทดลองตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E96B โดยการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นอากาศภายในถ้วยทดสอบ จากการทดลองพบว่าเมื่อมีระดับชั้นอากาศน้อย การเปลี่ยนแปลงระดับชั้นอากาศจะมีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำ แต่ถ้ามีระดับชั้นอากาศมาก การเปลี่ยนแปลงระดับชั้นอากาศแทบจะไม่มีผลต่อการซึมผ่านไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wang และคณะ [20] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและโครงสร้างที่มีต่อปริมาตรอิสระและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของพอลิยูรีเทนที่ขบหน้า ซึ่งมี Soft Segment ต่างๆกัน ดังนี้ Polyester Polyols Poly(butylene adipate) (PBA), Poly(ethylene adipate) (PEA) และ Poly(hexamethylene adipate) (PHA) มี Hard Segment คือ Diisocyanate และมี PEG เป็นส่วนที่ขบหน้า จากผลการทดลองพบว่า PBA-PU มีการซึมผ่านไอน้ำสูงที่สุด เพราะว่ามีปริมาตรอิสระมากที่สุด และการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 253-323 K ทำให้การซึมผ่านไอน้ำของพอลิยูรีเทนทุกชนิดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอิสระเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การซึมผ่านไอน้ำไม่ได้ขึ้นกับปริมาตรอิสระเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับความขบหน้าของพอลิยูรีเทนอีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้จาก PEA-PU ที่มีหมู่เอสเทอร์มากกว่า PHA-PU จึงมีการซึมผ่านไอน้ำมากกว่า

Robert [21] ศึกษาวิธีการทดสอบการส่งผ่านความชื้นของไอน้ำ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM E96 ซึ่งใช้ถ้วยทดสอบที่บรรจุตัวดูดความชื้นแล้วปิดด้วยแผ่นฟิล์มวงกลมขนาด 1-3 ตารางนิ้ว จากนั้นนำไปวางใน Humidistat เพื่อวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นระยะๆ ขั้นตอนการวิเคราะห์อัตราการส่งผ่านความชื้นของไอน้ำทำได้ ดังนี้

วันที่ 1 หล่อฟิล์ม บันทึกความหนา อบตัวดูดความชื้นและตั้งเครื่อง Humidistat ล้างและอบถ้วยทดสอบ

วันที่ 2 ตัดฟิล์มเป็นรูปร่างกลมแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกความหนา ใส่ตัวดูดซับลงในถ้วยทดสอบแล้วปิดด้วยแผ่นฟิล์ม ชั่งน้ำหนักรวม บันทึกวัน เวลาและชนิดของฟิล์ม

วันที่ 3-11 ชั่งน้ำหนักเป็นระยะๆ ทุก 24 ชั่วโมง

วันที่ 12 พลอตกราฟระหว่างน้ำหนักรวมและเวลา (ชั่วโมง) บันทึกความชื้น พบว่าแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรควรทำการทดสอบ 5 ครั้ง จึงจะได้ผลการทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือ

Rao และ Diwan [22] ได้ศึกษาถึงการซึมผ่านไอน้ำใน Cellulose Acetate Free Film โดยตัดฟิล์มที่เตรียมได้ให้พอดีกับขอบ Vial (2.27 cm^3) ซึ่งใส่แคลเซียมคลอไรด์ไว้ข้างในเพื่อเป็นตัวดูดซับ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในเครื่องดูดความชื้นนาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำออกมาชั่งน้ำหนักแล้วนำไปใส่ในเครื่องดูดความชื้นที่มีสภาวะอิมตัวของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต โมโนไฮเดรต เพื่อให้มีความชื้นสัมพัทธ์ 84% และ 52% ตามลำดับ โดยวัดความชื้นภายในเครื่องดูดความชื้นด้วย Barigo Hygrometer (Germany) แล้วนำ Vial ออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 72 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมี

1. พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) เกรด 486M จากบริษัท Dow Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด (สมบัติบางประการแสดงดังตารางที่ 3.1)
2. ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite NaA) เกรด Normal จากบริษัท PQ Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด (สมบัติบางประการแสดงดังตารางที่ 3.2)
3. โทลูอีน (Toluene)
4. แอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (Anhydrous Calcium Chloride) จากบริษัท Carlo Erba

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ HIPS เกรด 486M [23]

สมบัติ	ASTM	ผลการทดสอบ	หน่วย
อัตราการไหล (200°C/5 kg)	D 1238	3	g/10 min
ความถ่วงจำเพาะ	D 792	1.04	-
ความแข็งแรงดึง	D 638	26	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	D 638	40	%
ความแข็งแรงโค้งงอ	D 790	50	MPa
โมดูลัสโค้งงอ	D 790	2,159	MPa
ความแข็งแรงกระแทก	D 256	112	J/m
อุณหภูมิจุดอ่อนตัวที่ทำให้ ชิ้นงานเริ่มบิดเบี้ยว	D 1525	102	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ [24]

สมบัติ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ลักษณะ	ผงมีการไหลอย่างอิสระ	-
ค่า pH ที่ 1% การกระจายตัว	11.28	-
ความหนาแน่น	363	g/l
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	4.03	μm

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, LLOYD รุ่น LR 30K; LLOYD Instrument)
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, รุ่น 1455 VP; LEO)
3. เครื่องอินคิวเบเตอร์ (Incubator, Gallenkamp)
4. เครื่องล้างโดยใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic Cleaner Bath, รุ่น 14H)
5. แม่พิมพ์กระจก ขนาด $25 \times 30 \text{ cm}^2$
6. เครื่องชั่งละเอียด
7. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer, รุ่น IP54; Mitutoyo)
8. ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer, Barigo)
9. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
10. ขวดที่มีฝาปิดผนึกอย่างดี

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์

ในการทดลองนี้ได้เลือกศึกษาชั้นฐานวิทยา ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิซิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูตร HIPS/Zeolite NaA

สูตรที่	ชื่อย่อ	ปริมาณ ซีโอไลต์ (%)	น้ำหนัก HIPS (g)	น้ำหนัก ซีโอไลต์ (g)	น้ำหนัก โพลูอิน (g)	ความเข้มข้น HIPS ใน โพลูอิน (%wt)
1	HIPS/ZA0	-	5.00	-	120.00	4
2	HIPS/ZA2	2	4.90	0.10	117.60	4
3	HIPS/ZA4	4	4.80	0.20	115.20	4
4	HIPS/ZA6	6	4.70	0.30	112.80	4
5	HIPS/ZA8	8	4.60	0.40	110.40	4
6	HIPS/ZA10	10	4.50	0.50	108.00	4
7	HIPS/ZA10-7g	10	6.30	0.70	151.20	4
8	HIPS/ZA10-9g	10	8.10	0.90	194.40	4
9	HIPS/ZA10-6%	10	4.50	0.50	70.50	6
10	HIPS/ZA10-8%	10	4.50	0.50	51.75	8

หมายเหตุ ZA คือ ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

สูตรที่ 1-6 เพื่อศึกษาผลของปริมาณซีโอไลต์

สูตรที่ 6-8 เพื่อศึกษาผลของความหนาของแผ่นฟิล์ม

สูตรที่ 6, 9 และ 10 เพื่อศึกษาผลของความหนืดของของผสม

3.3.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

1. ชั่งสาร ดังตารางที่ 3.3

โดย บีกเกอร์ที่ 1 ใส่ซีโอไลต์ และ โพลูอิน 10 กรัม

บีกเกอร์ที่ 2 ใส่ HIPS และ โพลูอิน

2. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

3. ทำการปั่นกวนทั้ง 2 บีกเกอร์ด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็กให้สารละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันสำหรับบีกเกอร์ที่ใส่ HIPS และให้สารกระจายตัวดีในบีกเกอร์ที่ใส่ซีโอไลต์

4. เทสารในบีกเกอร์ที่ 1 ลงในบีกเกอร์ที่ 2 แล้วทำการปั่นกวนต่อจนสารมีการกระจายตัวดี

แล้วนำไปกำจัดฟองในอ่างอัลตราโซนิก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

6. ค่อยๆ เทสารที่ได้ลงในแม่พิมพ์กระจก ขนาด $25 \times 30 \text{ cm}^2$ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 1 วัน

3.3.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

3.3.3.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา

3.3.3.1.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ผ่านการขึ้นรูปฟิล์มตามขั้นตอน 3.3.2 มาตัดให้มีขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่น้ำที่พื้นผิว แล้วทำการเคลือบตัวอย่างที่ได้ด้วยทองคำ จากนั้นนำชิ้นงานมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มด้วยเครื่อง SEM

3.3.3.1.2 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ ชนิดโซเดียมเอ

ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ ชนิดโซเดียมเอในฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ผ่านการขึ้นรูปฟิล์มตามขั้นตอน 3.3.2 มาตัดให้มีขนาด $1 \times 3 \text{ cm}^2$ แล้วนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการหักในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่ แล้วทำการเคลือบตัวอย่างที่ได้ด้วยทองคำ จากนั้นนำชิ้นงานมาวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (รอยแตกหัก) ด้วยเครื่อง SEM

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability)

1. ตัดฟิล์มขนาดเท่าปากขวดสำหรับทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 mm)
2. นำแอนไฮดริสแคลเซียมคลอไรด์ ใส่ในขวดปริมาณ 65 กรัม
3. นำฟิล์มที่ตัดไว้ ขวดทดสอบ และฝาขวด ไปอบให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่
4. ประกอบชุดทดสอบโดยนำฟิล์มที่ตัดไว้มาวางบนปากขวดทดสอบแล้วปิดฝาขวดที่ทำการเจาะรู เพื่อให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำขวดที่เตรียมได้ไปวางไว้ใน Incubator ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์คงที่ และอุณหภูมิเท่ากับ 38°C
6. นำขวดออกมาชั่งน้ำหนักทุกวัน จนครบ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

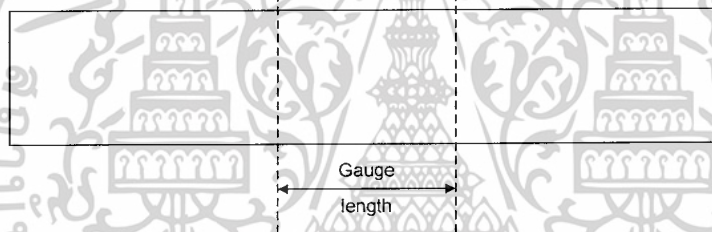
3.3.3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.3.3.1 การทดสอบแรงดึง

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $15 \times 80 \text{ mm}^2$

ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load Cell) 100 N
- ความเร็วในการดึง (Test Speed) 15 mm/min
- ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge Length) 25 mm



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

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

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

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

$$\text{เมื่อ } F = \text{แรงดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด (N)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm}^2\text{)}$$

$$l = \text{ระยะระหว่างจุดทั้งสองหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (mm)}$$

$$l_0 = \text{ระยะระหว่างจุดสองจุดก่อนดึงยึดชิ้นงาน (Gauge Length)}$$

เท่ากับ 25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการทดลองนี้ได้เตรียมแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก ที่ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ ทั้งหมด 10 สูตร โดยมีการใช้ตัวของแต่ละสูตร ดังตารางที่ 4.1

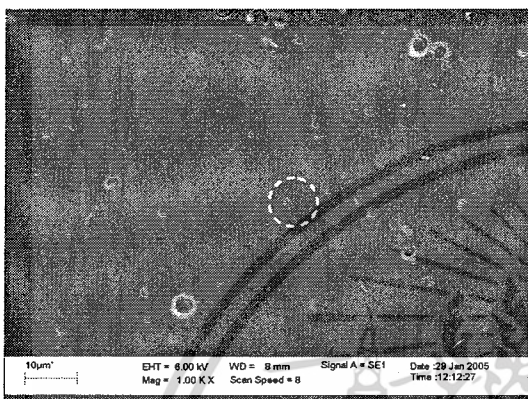
ตารางที่ 4.1 ตัวของแผ่นฟิล์มแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	รายละเอียดสูตร (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเนื้อสาร (g)	ความเข้มข้น HIPS ในโพลูอีน (%wt)
HIPS/ZA0	HIPS 100 %	5	4
HIPS/ZA2	HIPS 98 % Zeolite NaA 2 %	5	4
HIPS/ZA4	HIPS 96 % Zeolite NaA 4 %	5	4
HIPS/ZA6	HIPS 94 % Zeolite NaA 6 %	5	4
HIPS/ZA8	HIPS 92 % Zeolite NaA 8 %	5	4
HIPS/ZA10	HIPS 90 % Zeolite NaA 10 %	5	4
HIPS/ZA10-7g	HIPS 90 % Zeolite NaA 10 %	7	4
HIPS/ZA10-9g	HIPS 90 % Zeolite NaA 10 %	9	4
HIPS/ZA10-6%	HIPS 90 % Zeolite NaA 10 %	5	6
HIPS/ZA10-8%	HIPS 90 % Zeolite NaA 10 %	5	8

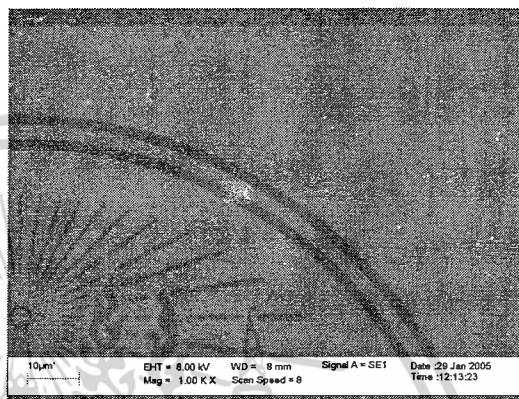
4.1 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

4.1.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

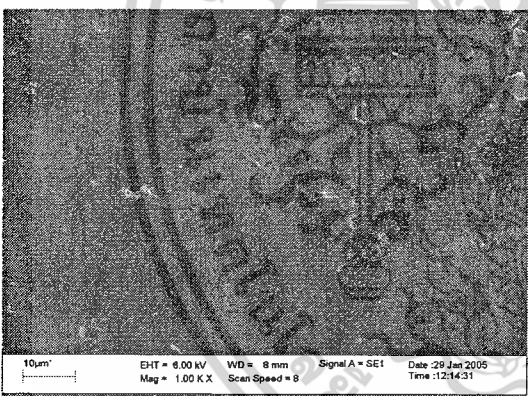
4.1.1.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน



(a) HIPS/ZA0 ด้านบน



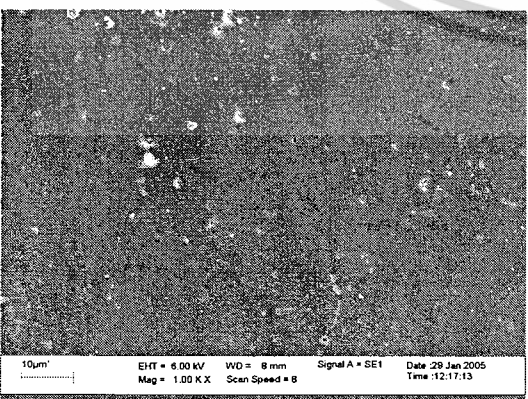
(b) HIPS/ZA0 ด้านล่าง



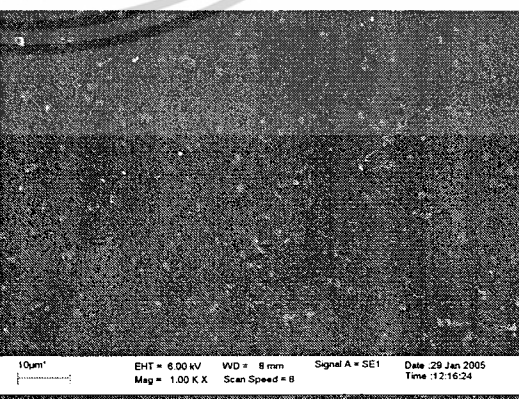
(c) HIPS/ZA2 ด้านบน



(d) HIPS/ZA2 ด้านล่าง

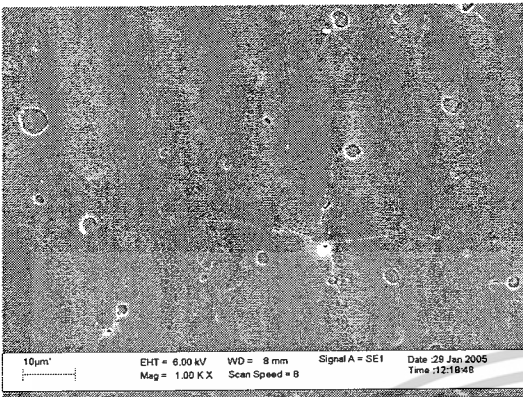


(e) HIPS/ZA4 ด้านบน

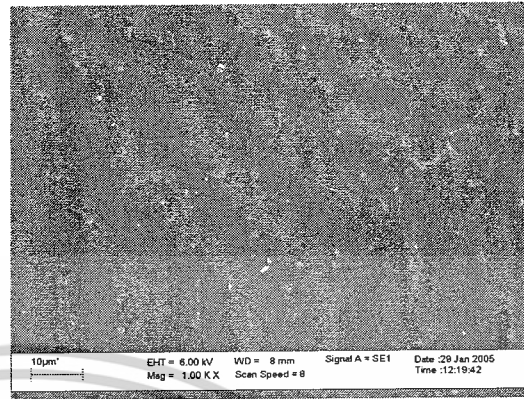


(f) HIPS/ZA4 ด้านล่าง

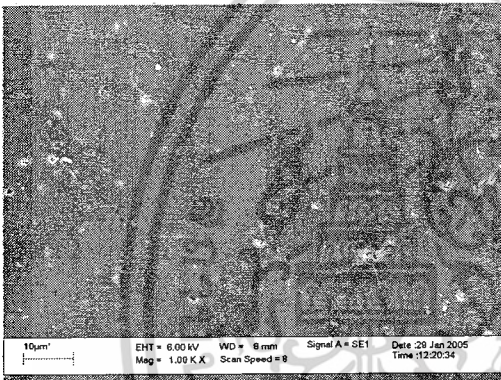
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



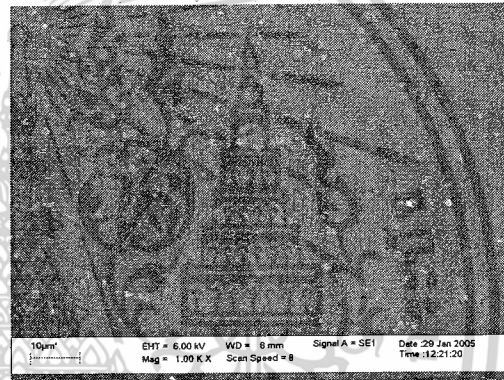
(g) HIPS/ZA6 ด้านบน



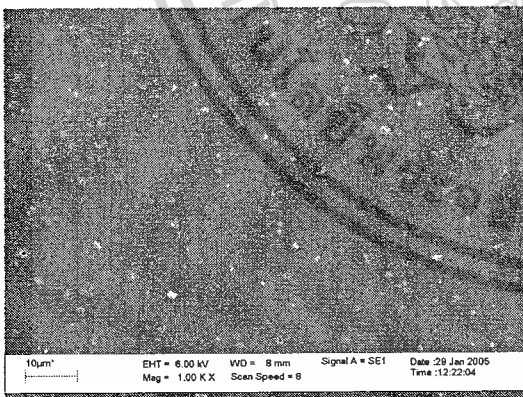
(h) HIPS/ZA6 ด้านล่าง



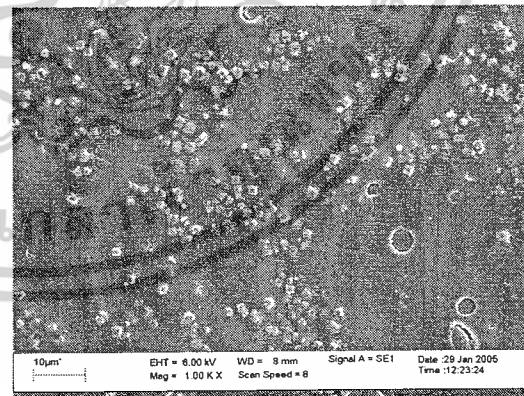
(i) HIPS/ZA8 ด้านบน



(j) HIPS/ZA8 ด้านล่าง



(k) HIPS/ZA10 ด้านบน



(l) HIPS/ZA10 ด้านล่าง

รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน
ที่ค่าลียงขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

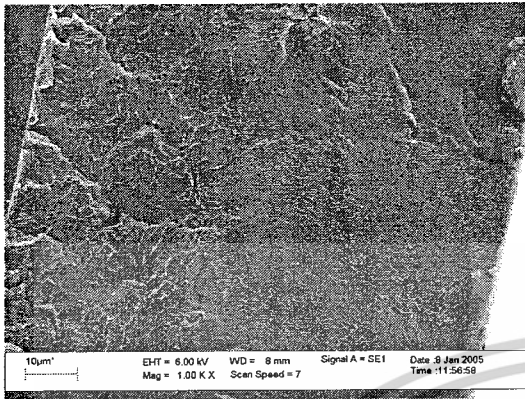
เนื่องจากโครงสร้างของ HIPS มีพอลิสไตรีนและยางบิวทาไดอีนเป็นองค์ประกอบ หากสังเกตจากรูปที่ 4.1 (a) พบว่าพื้นผิวด้านบนของฟิล์มมีอนุภาคยางบิวทาไดอีนซึ่งมีลักษณะกลมกระจายตัวอยู่ในพอลิสไตรีน ดังแสดงในวงกลมเส้นประ และจากรูปที่ 4.1 (c) (e) (g) (i) และ (k) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอพีนผิวของฟิล์มยังคงมีอนุภาคยางบิวทาไดอีนกระจายตัวอยู่ในลักษณะเหมือนเดิม นอกจากนี้ยังพบรอยที่เกิดจากการระเหยตัวทำละลายอยู่บนพื้นผิวด้านบนของแผ่นฟิล์มบางสูตร

จากรูปที่ 4.1 (b) (d) (f) (h) (j) และ (l) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์พื้นผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น โดยจะเห็นซีโอไลต์ซึ่งมีลักษณะลูกบาศก์กระจายตัวอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปที่ 4.1 (l) ที่มีซีโอไลต์ 10% จะเห็นเม็ดลูกบาศก์อยู่มากที่สุด เนื่องจากความหนาแน่นของซีโอไลต์มากกว่าสารละลาย HIPS และเนื่องจากซีโอไลต์มีขั้ว ส่วน HIPS และ โทลูอีนไม่มีขั้ว ดังนั้นซีโอไลต์จึงกองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม และพบว่าพื้นผิวด้านบนของแผ่นฟิล์มมีความเรียบสม่ำเสมอมากกว่าพื้นผิวด้านล่าง

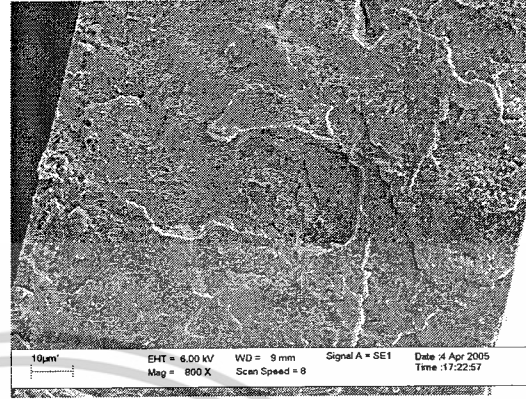
4.1.1.2 การศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 (a)-(f) พบว่าอนุภาคซีโอไลต์จะกองอยู่ด้านใดด้านหนึ่งซึ่งน่าจะเป็นด้านล่างของแผ่นฟิล์ม และเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์จะพบว่ามีอนุภาคซีโอไลต์กองอยู่มากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์มีความหนาแน่นมากกว่าสารละลาย HIPS ดังนั้นซีโอไลต์จึงกองอยู่ด้านล่าง และซีโอไลต์มีขั้วจึงชอบอยู่รวมตัวกันมากกว่ากระจายตัวไปบน HIPS ที่ไม่มีขั้ว และอาจเป็นเพราะการปล่อยให้โทลูอีนระเหยตามธรรมชาติ ทำให้มีอัตราการระเหยของโทลูอีนช้าเกินไป และความหนืดของสาร (ความเข้มข้นของ HIPS ในโทลูอีนเท่ากับ 4%) อาจน้อยเกินไปที่จะทำให้ซีโอไลต์กระจายตัวอยู่ในสารละลาย

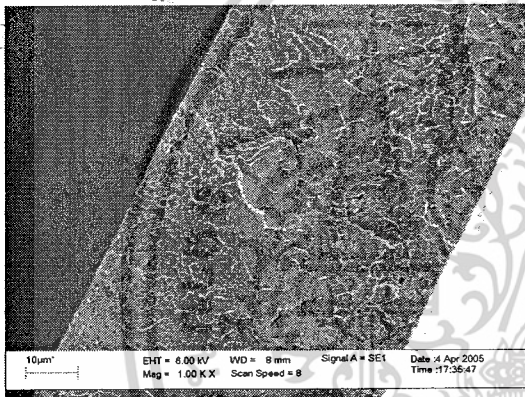
เมื่อมีซีโอไลต์ปริมาณน้อย (2-4%) จะพบซีโอไลต์อยู่ในลักษณะอนุภาคเดี่ยวบ้างเล็กน้อย ในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟิล์ม



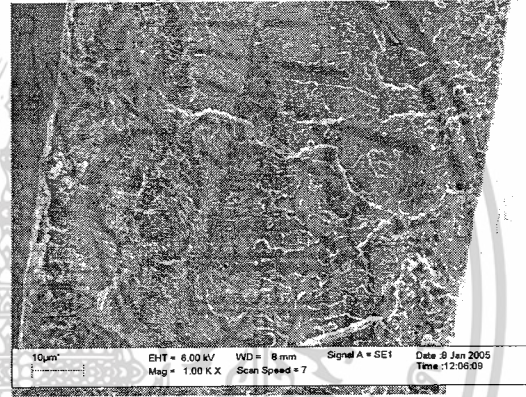
(a) HIPS/ZA0



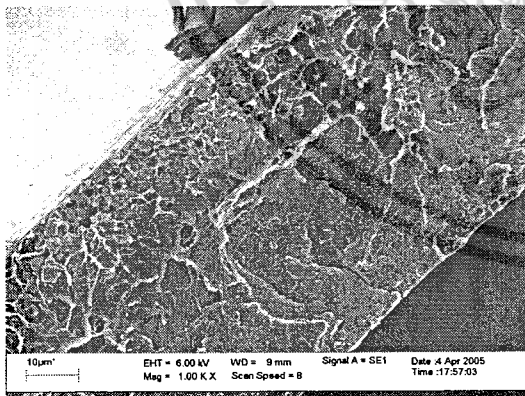
(b) HIPS/ZA2



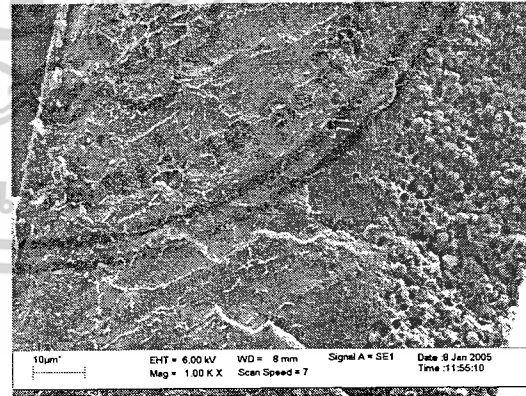
(c) HIPS/ZA4



(d) HIPS/ZA6



(e) HIPS/ZA8



(f) HIPS/ZA10

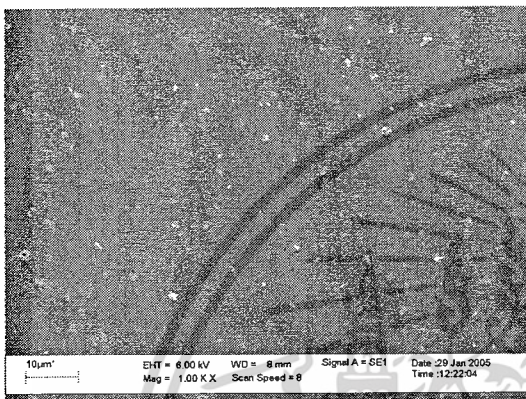
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

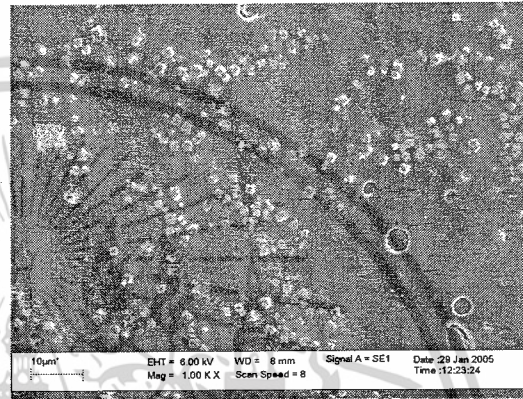
4.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของผสมต่างกัน เพื่อศึกษาผลของความหนาและสมบัติต่างๆ โดยเลือกทำการศึกษาแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10%

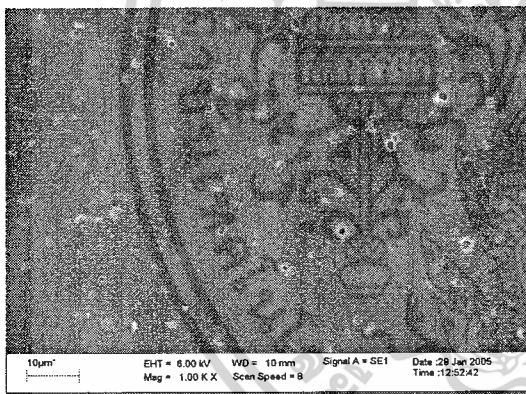
4.1.2.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน



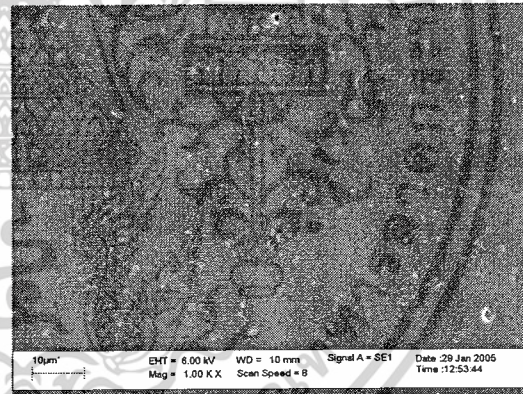
(a) HIPS/ZA10 ด้านบน



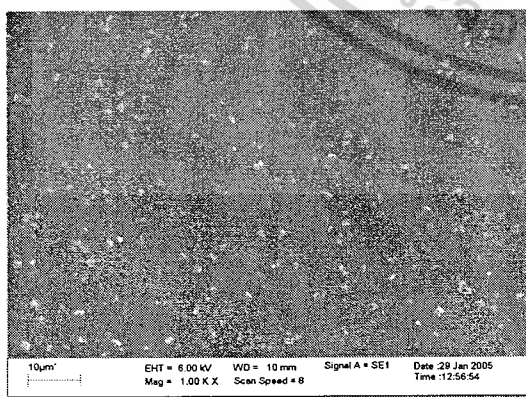
(b) HIPS/ZA10 ด้านล่าง



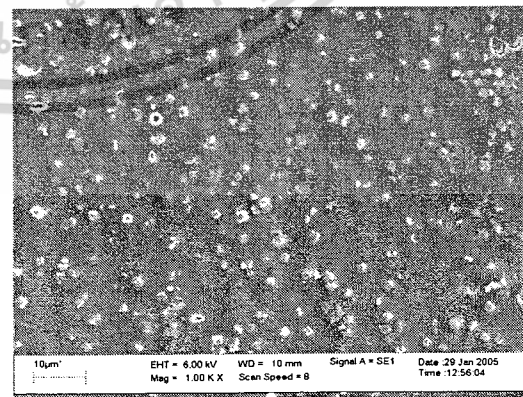
(c) HIPS/ZA10-7g ด้านบน



(d) HIPS/ZA10-7g ด้านล่าง



(e) HIPS/ZA10-9g ด้านบน



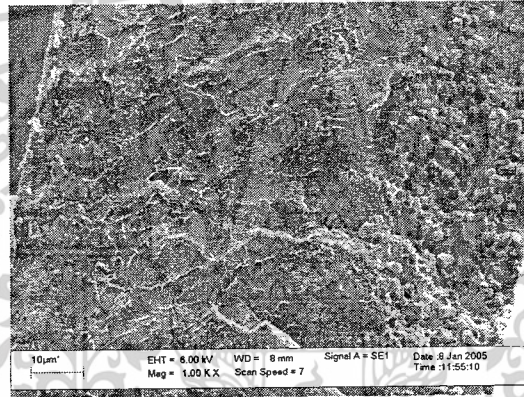
(f) HIPS/ZA10-9g ด้านล่าง

รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์

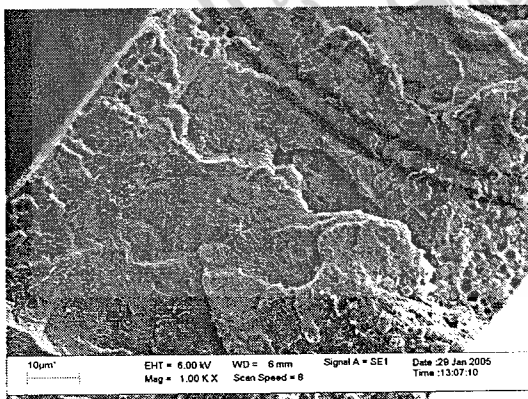
เอกสารนี้เป็นปริมาณ 10% ที่มีความหนาต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า มอนูญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 (a)-(f) พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% มีปริมาณซีโอไลต์ที่กองอยู่ด้านล่างมากขึ้น ด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 4.1.1.2 ทำให้เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มโดยการเพิ่มปริมาณของผสมทั้งหมด จึงทำให้มีปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีปริมาณซีโอไลต์ที่กองอยู่มากขึ้น และยังพบว่ามือนุภาคซีโอไลต์บางส่วนอยู่ที่พื้นผิวด้านบนของแผ่นฟิล์ม เนื่องจากซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารชอบน้ำ จึงอาจมีการดูดน้ำในระหว่างขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์ม ซึ่งน้ำที่ผิวของซีโอไลต์จะทำให้ความสามารถในการแทรกตัวลงไปนึสารละลาย HIPS ลดลง

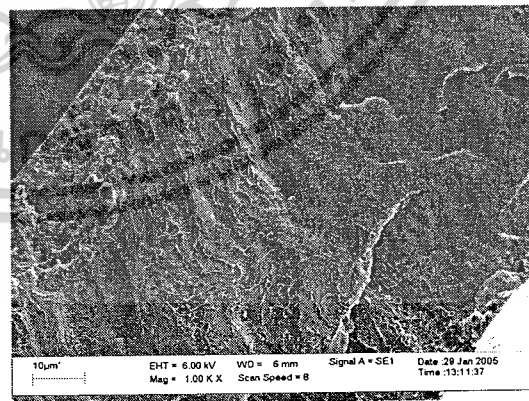
4.1.2.2 การศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน



(a) HIPS/ZA10



(b) HIPS/ZA10-7g



(c) HIPS/ZA10-9g

รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์

ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

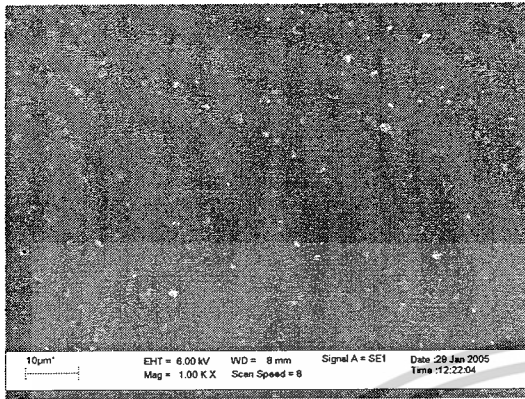
แผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% ดังรูปที่ 4.4 (a)-(c) พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์ม โดยการเพิ่มปริมาณของผสมจาก 5 กรัม เป็น 7 และ 9 กรัม ทำให้มีปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น จึงมีปริมาณซีโอไลต์ที่กองอยู่ด้านล่างมากขึ้น และด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.1.2 และจากรูปที่ 4.4 (b) และ (c) พบว่ามีซีโอไลต์อยู่ทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์ม ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.2.1 และเนื่องจากซีโอไลต์มีขั้วแต่ HIPS และ โทลูอิน ไม่มีขั้ว ดังนั้นเมื่อมีซีโอไลต์ปริมาณมาก ซีโอไลต์บางส่วนจึงแยกตัวออกไปอยู่บริเวณพื้นผิวด้านบนของแผ่นฟิล์ม

4.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

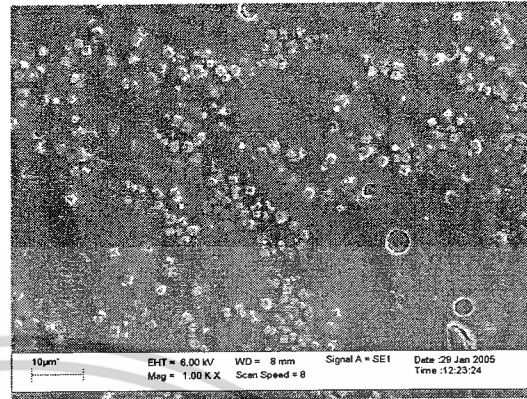
จากการที่ซีโอไลต์กองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนการทดลอง โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ HIPS ในโทลูอินจาก 4% เป็น 6% และ 8% โดยเลือกทำการศึกษาแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10%

4.1.3.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

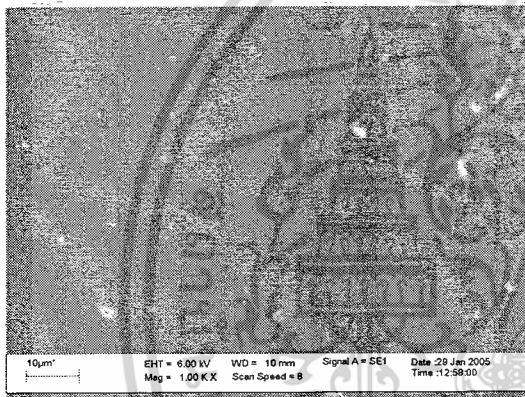
จากรูปที่ 4.5 (a)-(f) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความหนืดของของผสมที่มีปริมาณซีโอไลต์ 10% พื้นผิวของแผ่นฟิล์มทั้งด้านบนและด้านล่างของแต่ละความหนืด ไม่แตกต่างกันมากนักและยังคงพบซีโอไลต์อยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะพบอนุภาคซีโอไลต์ที่พื้นผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มในปริมาณมากกว่า ดังนั้นพื้นผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มจึงมีความขรุขระมากกว่า



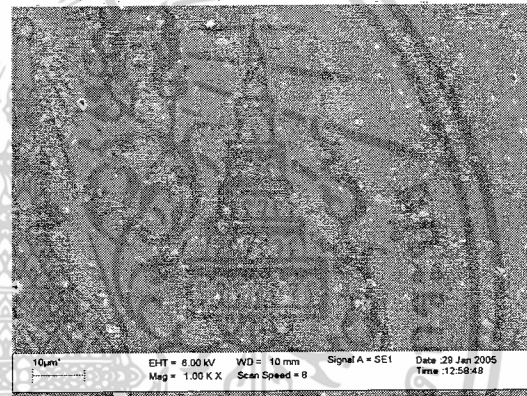
(a) HIPS/ZA10 ด้านบน



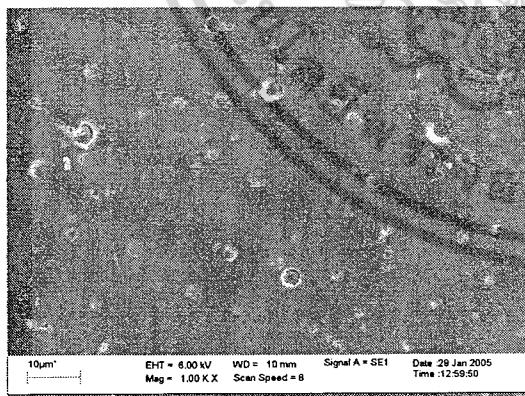
(b) HIPS/ZA10 ด้านล่าง



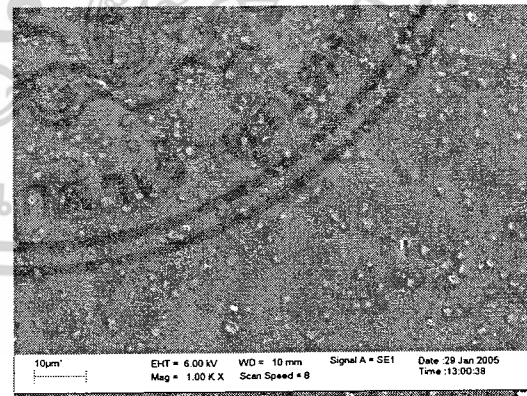
(c) HIPS/ZA10-6% ด้านบน



(d) HIPS/ZA10-6% ด้านล่าง



(e) HIPS/ZA10-8% ด้านบน

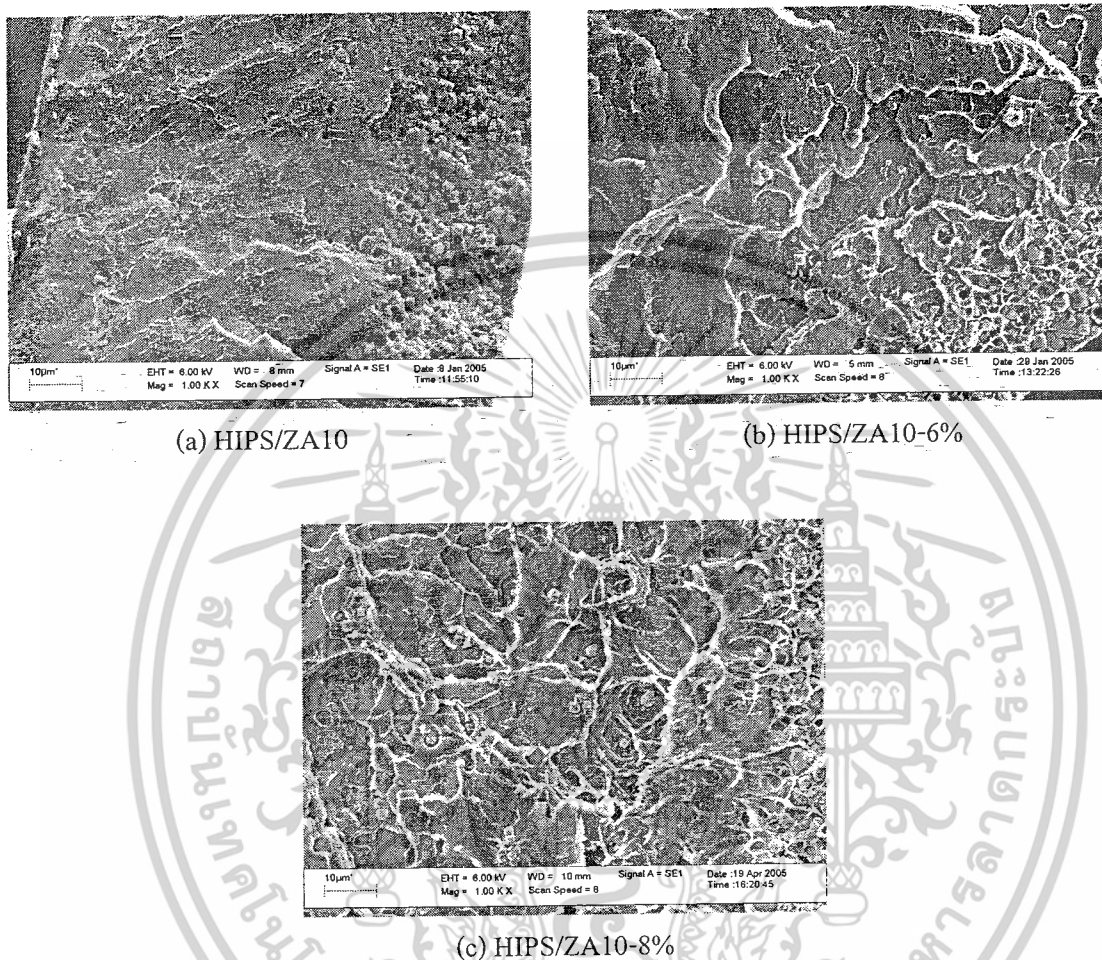


(f) HIPS/ZA10-8% ด้านล่าง

รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลด์ ปริมาณ 10 % ที่ความหนืดของของผสมต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน



รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากรูปที่ 4.6 (a) และ (b) พบว่าเมื่อเพิ่มความหนืดของของผสมโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีน จากเดิม 4% เป็น 6% ซีโอไลต์มีการกระจายตัวดีขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงพบซีโอไลต์ที่กองอยู่ด้านล่างปริมาณมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีนเป็น 8% ดังรูปที่ 4.6 (c) พบว่ามีซีโอไลต์ที่กองอยู่ด้านล่างปริมาณน้อยลง และยังคงพบซีโอไลต์อยู่ในลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวเพิ่มขึ้นในบริเวณส่วนตรงกลางของเนื้อฟิล์ม เนื่องจากความหนืดของสารละลายที่เพิ่มขึ้นช่วยพยุงให้ซีโอไลต์กระจายตัวอยู่ในระหว่างขั้นตอนการระเหยตัวทำละลาย

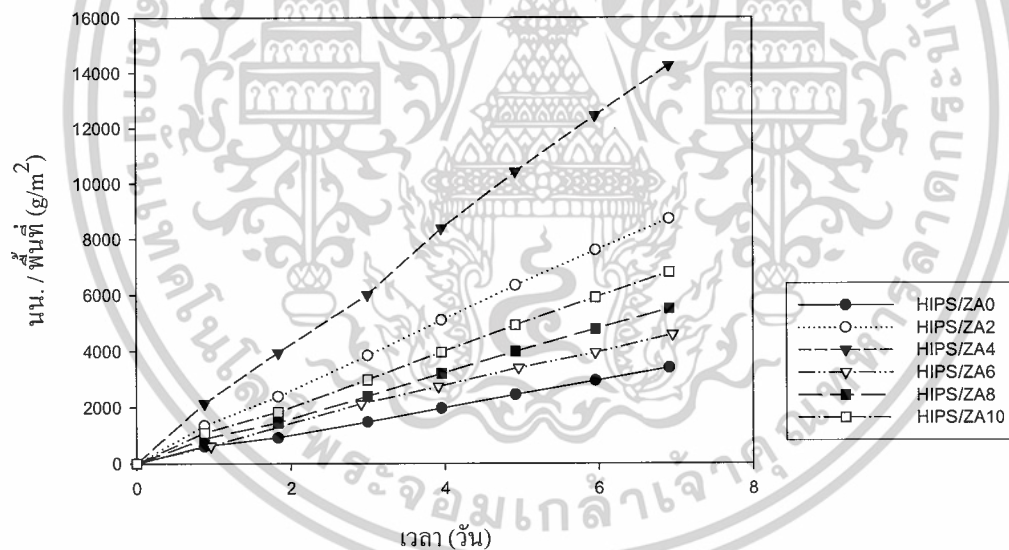
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังพบว่าช่องว่าง (Void) ที่เกิดจากการระเหยตัวทำละลายในชิ้นงานเล็กน้อย เนื่องจากความหนืดของของผสมที่เพิ่มขึ้น ทำให้ตัวทำละลายระเหยออกจากชิ้นงานได้ยากขึ้น

4.2 ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

นำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 มาทำการทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำตามข้อ 3.3.3.2 โดยในการทดลองต้องการค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) และความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP) ซึ่งข้อมูลดิบแสดงดังภาคผนวก ก

4.2.1 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งความชันของกราฟที่ได้คือค่า WVTR



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม ที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

สูตร	WVTR (g/m ² .day)	ความหนาเฉลี่ย (μm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนา
HIPS/ZA0	482	69	7.1
HIPS/ZA2	1254	69	5.2
HIPS/ZA4	2060	45	6.7
HIPS/ZA6	662	69	6.9
HIPS/ZA8	790	59	20.4
HIPS/ZA10	975	55	6.5

หมายเหตุ ค่า WVTR = ความชันของกราฟในรูปที่ 4.7

เนื่องจากไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ 3 ทาง คือ

1. ผ่านปริมาตรอิสระของ HIPS
2. ผ่านรอยต่อระหว่างวัฏภาคของ HIPS กับซีโอไลต์
3. ผ่านรูพรุนของซีโอไลต์

ดังนั้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นจึงคาดว่าจะมีรอยต่อระหว่างวัฏภาค และรูพรุนของซีโอไลต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ขึ้นจนถึง 4% อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะมีรอยต่อระหว่างวัฏภาคของ HIPS กับซีโอไลต์เพิ่มขึ้น และยังพบซีโอไลต์อยู่ในลักษณะอนุภาคเดี่ยวบ้างเล็กน้อยในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟิล์ม จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ตั้งแต่ 6% ขึ้นไป อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่มีซีโอไลต์ปริมาณ 2 และ 4 % อาจเนื่องจากซีโอไลต์กองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ความหนาของชั้นซีโอไลต์ไม่แตกต่างกันมากนัก และยังไม่พบซีโอไลต์อยู่ในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟิล์ม จึงทำให้มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มีซีโอไลต์ปริมาณ 2 และ 4 % (ดูรูปที่ 4.2 ประกอบ)

แต่เนื่องจากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่ได้คำนึงถึงผลของความหนาของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นจึงนำความหนาของแผ่นฟิล์มมาคูณกับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ จะได้เป็นค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ ดังสมการ

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

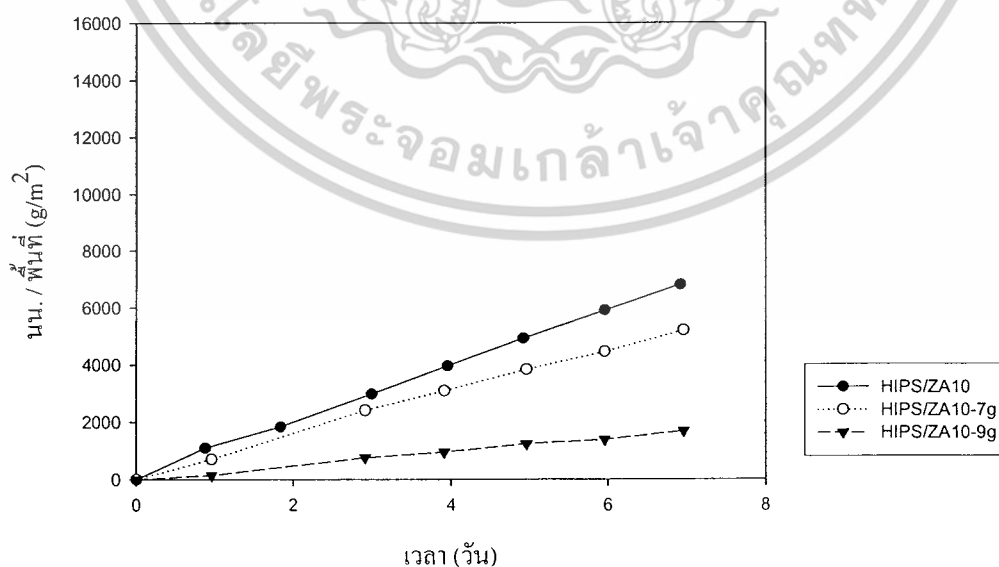
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

สูตร	WVP (g.µm/m ² .day)
HIPS/ZA0	33258
HIPS/ZA2	86526
HIPS/ZA4	92700
HIPS/ZA6	45678
HIPS/ZA8	46610
HIPS/ZA10	53625

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์เป็น 2% และ 4% ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณซีโอไลต์ตั้งแต่ 6% ขึ้นไป ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำน่าจะดีขึ้น แต่พบว่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่มีซีโอไลต์ปริมาณ 2 และ 4 % อาจเนื่องจากไม่พบซีโอไลต์อยู่ในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟิล์ม จึงทำให้มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มีซีโอไลต์ปริมาณ 2 และ 4%

4.2.2 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งค่า WVTR หาได้จากความชันของกราฟ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์ม

เอกสารนี้ได้รับการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณที่ 10% ที่มีความหนานี้ต่างกัน ญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน

สูตร	WVTR (g/m ² .day)	ความหนาเฉลี่ย (μm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนา
HIPS/ZA10	975	55	6.5
HIPS/ZA10-7g	750	70	7.3
HIPS/ZA10-9g	245	101	4.5

หมายเหตุ ค่า WVTR = ความชันของกราฟในรูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มโดยการเพิ่มปริมาณเนื้อพอลิเมอร์และซีโอไลต์จากเดิม 5 กรัม เป็น 7 กรัม และ 9 กรัม อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากไอน้ำจะเคลื่อนที่ในเนื้อพอลิเมอร์ได้ช้ากว่าในอากาศ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มจึงทำให้มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง

ตารางที่ 4.5 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน

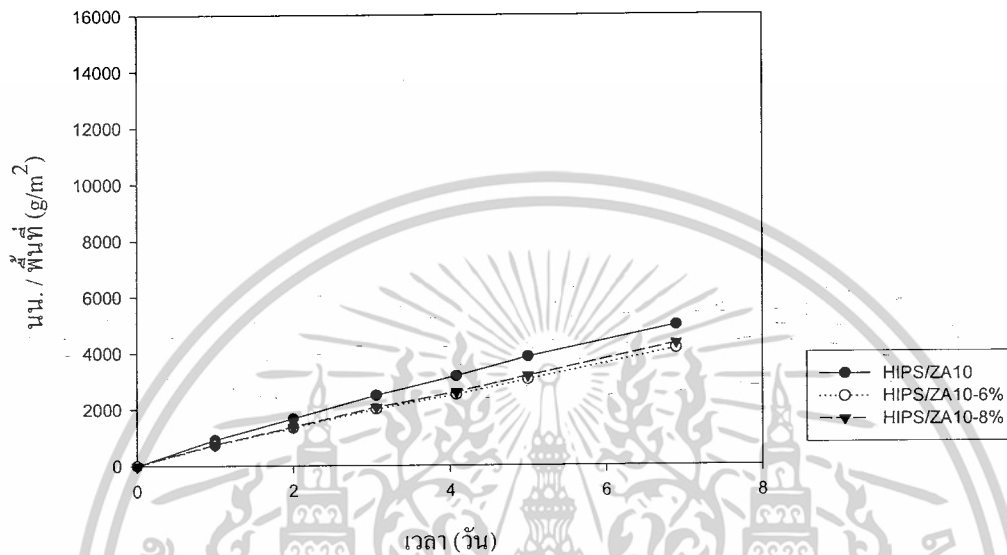
สูตร	WVP (g.μm/m ² .day)
HIPS/ZA10	53625
HIPS/ZA10-7g	52500
HIPS/ZA10-9g	24745

เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำได้ชัดเจนความแตกต่างในเรื่องความหนาของแผ่นฟิล์มไปแล้ว จึงคาดว่าแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกันน่าจะมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากัน

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มโดยการเพิ่มปริมาณเนื้อพอลิเมอร์และซีโอไลต์จากเดิม 5 กรัม เป็น 7 กรัม ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อพอลิเมอร์และซีโอไลต์เป็น 9 กรัม ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ 3 ทาง ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.2.1 ซึ่งอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านทั้ง 3 ทาง มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและความหนาของแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์จึงไม่ใช่

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 และค่า WVTR หาได้จากความชันของกราฟ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่ กับเวลาที่ทดสอบแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ค่า WVTR และความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

สูตร	WVTR (g/m ² .day)	ความหนาเฉลี่ย (μm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความหนา
HIPS/ZA10	719	55	6.5
HIPS/ZA10-6%	590	59	7.5
HIPS/ZA10-8%	616	74	8.9

จากรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนืดของของผสม แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีความหนามากขึ้น ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ดังนั้นแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากของผสมที่มีความหนืดน้อยที่สุด (ความเข้มข้นของ HIPS ในโทลูอีน 4%) จึงมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

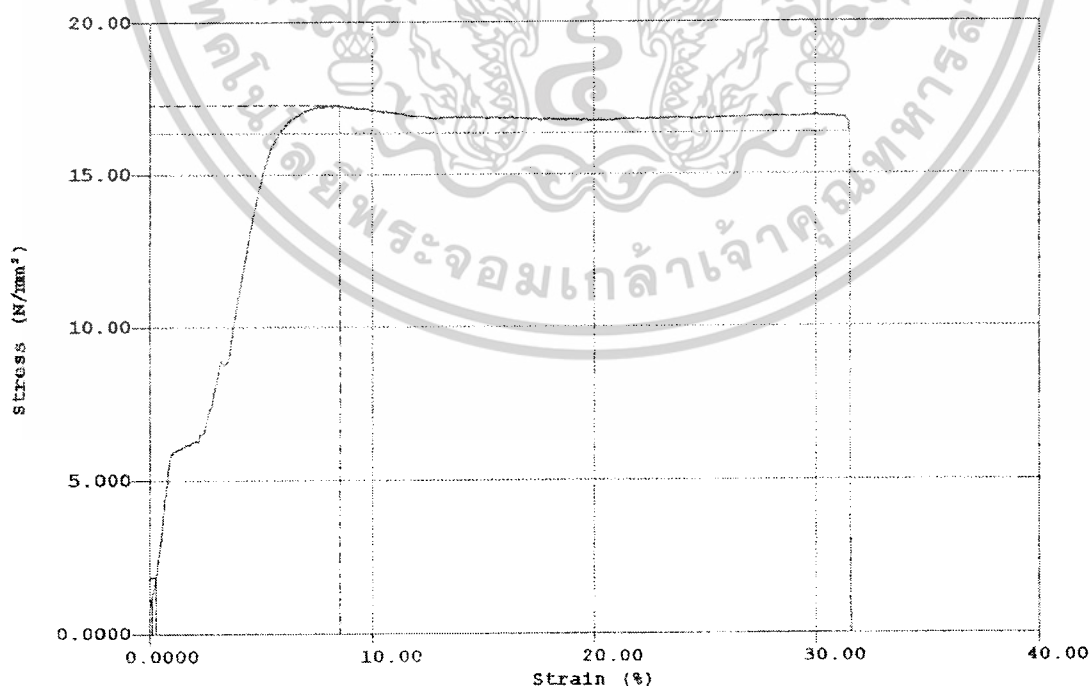
ตารางที่ 4.7 ค่า WVP ของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

สูตร	WVP (g.µm/m ² .day)
HIPS/ZA10	39545
HIPS/ZA10-6%	34810
HIPS/ZA10-8%	45584

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนืดของของผสมที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10% โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีนจาก 4% เป็น 6% และ 8% พบว่าฟิล์มที่มีความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีนเท่ากับ 8% มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำดีที่สุดใน เนื่องจากซีโอไลต์มีการกระจายตัวในเนื้อฟิล์มดีที่สุด (ดูรูปที่ 4.6 ประกอบ)

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบแรงดึงตามหัวข้อ 3.3.3.3.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีโอไลต์ชนิด โซเดียมเอทีที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์ การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของแผ่นฟิล์ม ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดสอบ แรงดึงของ HIPS/ZA0 แสดงดังรูปที่ 4.10

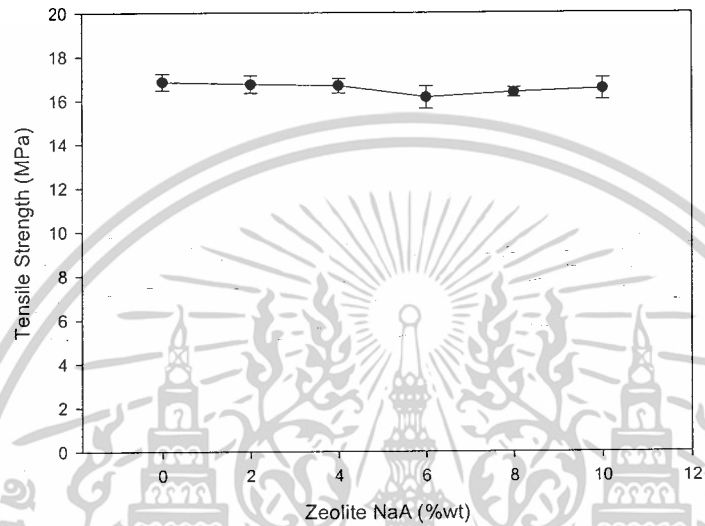


รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจากการทดสอบแรงดึงของ HIPS/ZA0

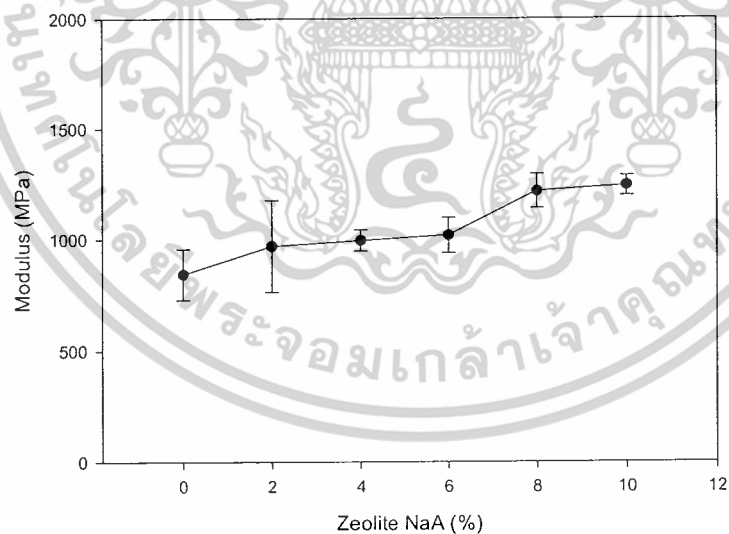
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณซีโอไลต์ต่างกัน

จากการเตรียมแผ่นฟิล์ม HIPS โดยใช้ปริมาณซีโอไลต์ 0-10% โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาทดสอบแรงดึง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11-4.13

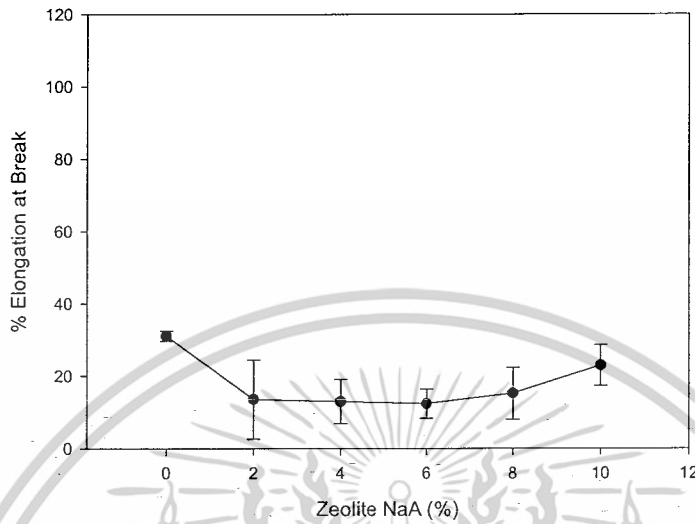


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Tensile Strength กับปริมาณ Zeolite NaA



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus กับปริมาณ Zeolite NaA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

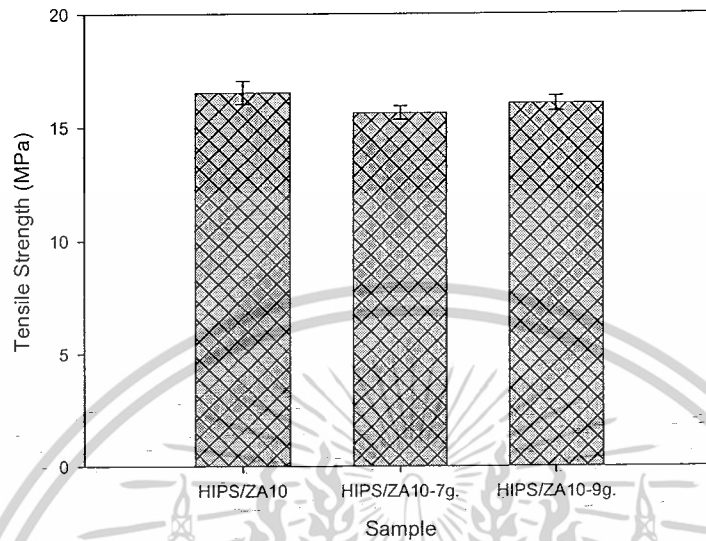


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Elongation at Break กับปริมาณ Zeolite NaA

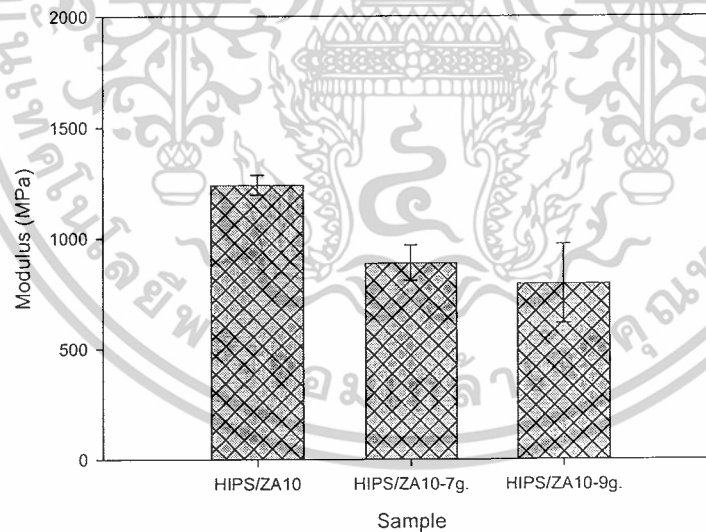
จากรูปที่ 4.11-4.13 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ปริมาณซีโอไลต์ 0-10% มีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใส่ซีโอไลต์เป็นการใส่อนุภาคของแข็งเข้าไป ทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ จึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของแผ่นฟิล์มมีปริมาณซีโอไลต์ 2-10% มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่าฟิล์ม HIPS ที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ และจากกราฟจะพบว่า มี Error Bar ค่อนข้างกว้าง อาจเป็นเพราะฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาแตกต่างกัน ส่งผลให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างมาก ดังตารางที่ 4.2 จึงอาจมีจำนวนฟองอากาศที่ตกค้างอยู่ในชิ้นงานแตกต่างกัน

4.2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของผสม เพื่อศึกษาผลของความหนา โดยเลือกทำทดลองที่แผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงดังรูปที่ 4.14-4.16

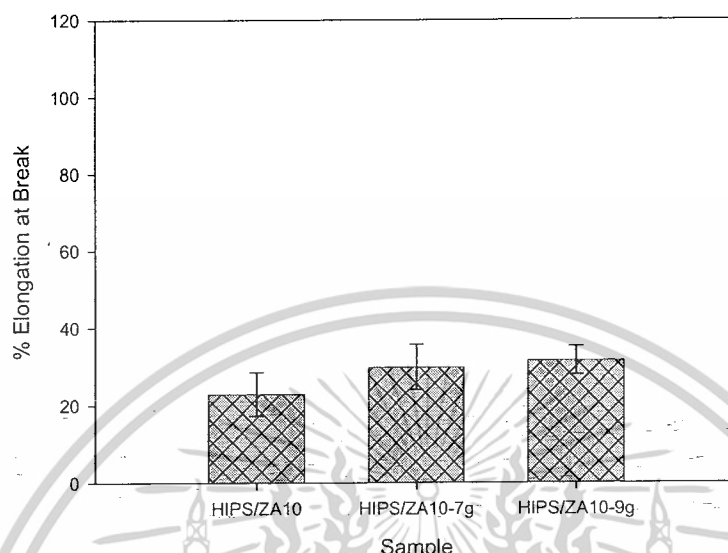


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า Tensile Strength กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า Modulus กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

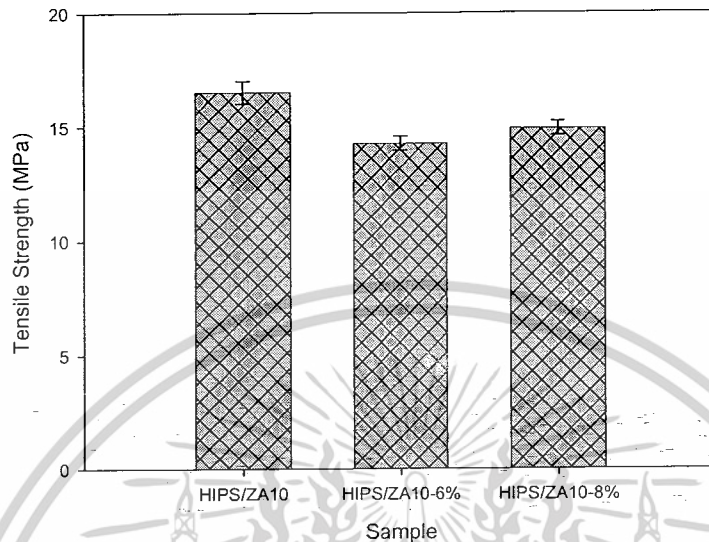


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า % Elongation at Break กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนาต่างกัน

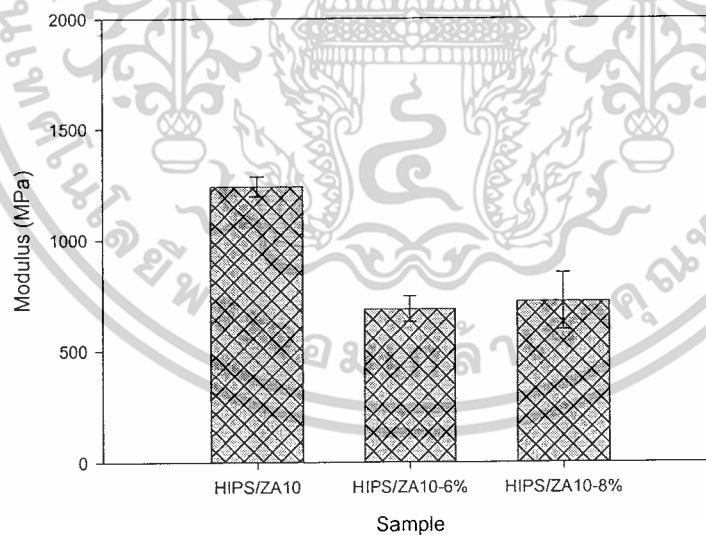
จากรูปที่ 4.14-4.16 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์ม ค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดก่อนข้างคงที่ ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% โดยการเพิ่มปริมาณของผสมซีโอไลต์ยังคงมีการกระจายตัวไม่ดี และจะกองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม ทำให้ชั้น HIPS ที่อยู่ด้านบนของแผ่นฟิล์มมีความหนามากขึ้น ดังนั้นในพื้นที่หน้าตัดของแผ่นฟิล์มจึงมีโอกาสที่จะเจออนุภาคของมากขึ้น จึงทำให้มีการกระจายแรงในชิ้นงานได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่มีความหนาน้อยๆ

4.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

จากการเตรียมแผ่นฟิล์ม HIPS ที่ปริมาณซีโอไลต์ 10% โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ HIPS ในโทลูอีนจาก 4% เป็น 6% และ 8% ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงดังรูปที่ 4.17-4.19

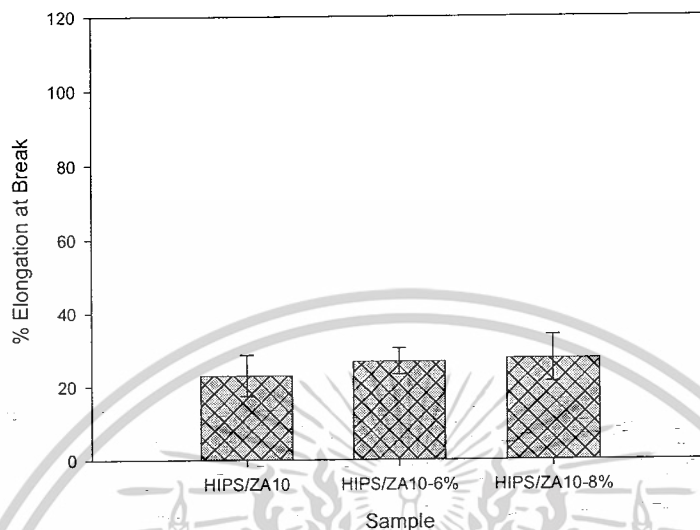


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า Tensile Strength กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า Modulus กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า %Elongation at Break กับแผ่นฟิล์ม HIPS ที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ ปริมาณ 10 % ที่มีความหนืดของของผสมต่างกัน

ตามทฤษฎีแล้วการเพิ่มความหนืดของของผสมทำให้ซีโอไลต์มีการกระจายตัวอยู่ในเนื้อฟิล์มได้ดีขึ้น จึงน่าจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ได้มากขึ้น ดังนั้นค่ามอดูลัสน่าจะเพิ่มสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.17-4.19 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีนตั้งแต่ 4-8% ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการเพิ่มความหนืดของของผสม ทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปได้ยากขึ้น จึงเกิดเป็นช่องว่าง (Void) ซึ่งจะกลายเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าการเพิ่มความหนืดของสารละลาย จะทำให้มีการกระจายตัวของซีโอไลต์ได้ดีขึ้น (ดูรูปที่ 4.6 ประกอบ) แต่จะทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลงเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ตั้งแต่ 0-10% โดยน้ำหนัก พื้นผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์กองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์ม และพบว่าพื้นผิวด้านบนของแผ่นฟิล์มมีความเรียบสม่ำเสมอมากกว่าพื้นผิวด้านล่าง

2. จากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ พบว่าซีโอไลต์จะกองอยู่ด้านล่างของแผ่นฟิล์มและเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์จะพบว่ามีปริมาณซีโอไลต์ที่กองอยู่มากขึ้น 18

เมื่อมีซีโอไลต์ปริมาณน้อย (2-4%) จะพบซีโอไลต์อยู่ในลักษณะอนุภาคเดี่ยวบ้างเล็กน้อย ในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟิล์ม เมื่อเพิ่มความหนืดของของผสม พบว่าซีโอไลต์จะมีการกระจายตัวดีขึ้น และพบซีโอไลต์อยู่ในลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวเพิ่มขึ้น

3. จากการศึกษาสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าแผ่นฟิล์มมีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 4% มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) มากที่สุด สำหรับสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% ที่มีการเพิ่มความหนาตั้งแต่ 50-100 μm พบว่าฟิล์มที่มีความหนาเพิ่มขึ้น จะมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง แต่การเพิ่มความหนืดของของผสมที่มีปริมาณซีโอไลต์ 10% พบว่าแผ่นฟิล์มมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น

4. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ค่าความแข็งแรงดึงค่อนข้างคงที่ ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของแผ่นฟิล์มมีปริมาณซีโอไลต์ 2-10% มีค่าค่อนข้างคงที่แต่มีค่าน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 10% พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดค่อนข้างคงที่ ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเพิ่มความหนืดของของผสมที่มีปริมาณซีโอไลต์ 10% โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโพลูอินตั้งแต่ 4-8%wt พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดค่อนข้างคงที่ ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าสูตรที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์คือ สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยซีโอไลต์ปริมาณ 4% เนื่องจากซีโอไลต์มีการกระจายตัวดีและมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีสมบัติเชิงกลที่ดีอีกด้วย หากต้องการเพิ่มปริมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีโอไลต์มากกว่า 4% ควรเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HIPS ในโทลูอีนเพื่อให้ซีโอไลต์มีการกระจายตัวที่ดีขึ้น และจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของแผ่นฟิล์มคือความหนาของแผ่นฟิล์ม และปัจจัยที่สำคัญรองลงมาคือ การกระจายตัวของซีโอไลต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการขึ้นรูปควรควบคุมให้แผ่นฟิล์มมีความหนาเท่ากันทั่วทั้งแผ่น เช่น การนำแผ่นฟิล์มไปกดอัดโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Moulding)
2. ในขั้นตอนการขึ้นรูปหากใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution Casting) ควรหาวิธีเพิ่มอัตราการระเหยตัวทำละลาย เพื่อให้ซีโอไลต์มีการกระจายตัวดีขึ้น
3. ในขั้นตอนการขึ้นรูปควรใช้เทคนิคที่สามารถลดการแยกส่วนของ HIPS กับอนุภาคซีโอไลต์ เพื่อให้ซีโอไลต์กระจายตัวในแผ่นฟิล์มได้ดีขึ้น เช่น เทคนิคการหล่อแบบหลอมเหลว (Melt Casting)
4. ควรอบไล่ไอน้ำที่บริเวณพื้นผิวของซีโอไลต์จนหมดก่อนการใช้งาน เช่น การอบโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ
5. ทดลองใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับห่อผักและผลไม้สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จามทีพย์ ภู่วโรคม. **ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร**. 2538. กรุงเทพฯ: ลินคอร์น โพรโมชัน. 17-18: 30.
 2. J.A. Brydson, **Plastics Materials**. 6th ed. London. 1995: 97.
 3. The University of Southern Mississippi. **Polystyrene**. 1995.
[online]. Available:<http://www.psrc.usm.edu/macrog/styrene.html>
 4. Thailand. **พลาสติก**. 2004. [online]. Available:<http://www.thaibuild.com/syler/plasticforlife.doc>
 5. AQUIRE Database, ERL-Duluth, U.S.EPA. **Polystyrene**. 1989.
[online]. Available:<http://www.ejnet.org/plastics/polystyrene/styrene.html>
 6. A. S. Athalye, **Plastics in Packaging**. Bombay. 1992: 5
 7. Department of Chemistry, Elmhurst College. **Polystyrene**. 2004. [online].
Available:<http://www.elmhurst.edu/~chm/onlcourse/chm110/outlines/images/polystyrene.GIF>
 8. นิสากร ปานประสงค์. **ซีโอไลต์**. 2546.
[online]. Available: <http://update.se-ed.com/192/zeolite.htm>
 9. University of Tulsa Chemical Engineering. **Zeolite A**. 1979.
[online]. Available: <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/lta.htm>
 10. International Zeolite Association. **LTA**. 2000.
[online]. Available:http://topaz.ethz.ch/IZA-SC/Atlas/data/pictures/LTA_mod.html
 11. ตะวัน สุขน้อย. **เอกสารประกอบวิชาปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม. เรื่องการสังเคราะห์ซีโอไลต์แอมและสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออน**. 2545. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
 12. ตะวัน สุขน้อย. **เอกสารประกอบวิชาซีโอไลต์และสารมีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง**. 2544. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
 13. ชลลดา ฤตวิรุฬห์. **เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2**. 2547. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
 14. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1**. 2542. พิมพ์ครั้งที่ 4. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 37.
 15. S.N. Dirim, H.O. Ozden, A. Bayindirli, A. Esin, **J. of Food Engineering**. 2004, 63: 9-13.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. M. J.A. Sales, S.C.L. Dias, J.A. Dias, T.A.P.F. Pimentel, **J. Polymer Degradation and Stability**, 2004: 1-5.
17. D. Metin, F. Tihminlioglu, D. Balkose, S. Ulku, **J. Composites**. 2004, 35: 23-32.
18. W.R. Hale, K.K. Dohrer, M.R. Tant, I.D. San, **J. Colloids and Surfaces**. 2001, 187: 483- 491.
19. A. Stroeks, **J. Polymer**. 2001, 42: 9903-9908.
20. Z.F. Wang, B. Wang, X.M. Ding, M. Zhang, L.M. Lui, N. Qi, J.L. Hu, **J. Membrane Science**. 2004, 241: 355-361.
21. D.A. Robert, **J. Metal Finishing**. 2000, 98, 6: 537-538.
22. P.R. Rao, P.V. Diwan, **J. Pharmaceutica Acta Helvetiae**. 1997, 72: 47-51.
23. Dow Chemical Company. **High Impact Polystyrene Resins**. 2004. [online]. Available: <http://www.dow.com/webapps/lit/litorder.asp?objid=09002f13801daa12&filepath=/noreg>
24. เอกสารบริษัท PQ Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA0-1	ZA0-2	ZA0-3	ZA0-4	ZA0-5
0.88	0.1211	0.1556	0.1534	0.1569	0.1895
1.83	0.1693	0.2312	0.235	0.2347	0.2964
3.00	0.2722	0.3711	0.3801	0.3825	0.4735
3.96	0.3641	0.4945	0.5087	0.5115	0.6260
4.92	0.4578	0.6164	0.6365	0.6408	0.7636
5.96	0.5492	0.7376	0.7636	0.7703	0.9293
6.92	0.6388	0.8487	0.8810	0.8885	1.0677

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA2-1	ZA2-2	ZA2-3	ZA2-4	ZA2-5
0.88	0.3860	0.3316	0.2981	0.3162	0.3859
1.83	0.6833	0.5878	0.5160	0.5516	0.6914
3.00	1.1046	0.9550	0.8321	0.8886	1.1052
3.96	1.4608	1.2776	1.1055	1.1846	1.4655
4.92	1.8042	1.5933	1.3723	1.4763	1.8200
5.96	2.1517	1.918	1.6433	1.7727	2.1779
6.92	2.4612	2.2123	1.8879	2.0411	2.4973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA4-1	ZA4-2	ZA4-3	ZA4-4	ZA4-5
0.88	0.3944	0.5315	0.5721	0.6363	0.5938
1.83	0.7129	0.9851	1.064	1.1716	1.0811
3.00	1.1519	1.5899	1.3094	1.8673	1.7246
3.96	1.5356	2.1191	2.2697	2.4516	2.2913
4.92	1.9120	2.6288	2.8091	3.0217	2.8842
5.96	2.2995	3.1562	3.3726	3.6085	3.4043
6.92	2.6391	3.6168	3.8657	4.1231	3.9012

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA6/1	ZA6/2	ZA6/3	ZA6/4	ZA6/5
0.96	0.2546	0.1918	0.1177	0.1126	0.1190
2.92	0.7967	0.6358	0.4256	0.4013	0.4424
3.92	1.0285	0.8070	0.5456	0.5337	0.5725
4.96	1.2641	1.0000	0.6786	0.6650	0.7140
5.96	1.4731	1.1640	0.7841	0.7690	0.8254
6.96	1.7028	1.3556	0.9150	0.9009	0.9631

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA8-1	ZA8-2	ZA8-3	ZA8-4	ZA8-5
0.88	0.1644	0.0996	0.1962	0.2478	0.4170
1.83	0.2561	0.1176	0.3095	0.4100	0.7521
3.00	0.4322	0.2043	0.5098	0.6714	1.2227
3.96	0.5832	0.2764	0.6911	0.8949	1.6252
4.92	0.7348	0.3500	0.8445	1.1167	2.0210
5.96	0.8894	0.4223	1.0110	1.3438	2.4200
6.92	1.0316	0.4920	1.1604	1.5499	2.7729

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA10-1	ZA10-2	ZA10-3	ZA10-4	ZA10-5
0.88	0.4141	0.2487	0.3020	0.2236	0.2060
1.83	0.7301	0.4064	0.5115	0.3650	0.3171
3.00	1.1771	0.6618	0.8263	0.6036	0.5203
3.96	1.5561	0.8810	1.0947	0.8168	0.6934
4.92	1.9217	1.0958	1.3577	1.0272	0.8625
5.96	2.2993	1.3162	1.6270	1.2448	1.0355
6.92	2.6377	1.5157	1.8684	1.4437	1.1954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA10-7g/1	ZA10-7g/2	ZA10-7g/3	ZA10-7g/4	ZA10-7g/5
0.96	0.1574	0.3160	0.1513	0.1015	0.1732
2.92	0.5328	1.0382	0.5258	0.3676	0.5999
3.92	0.6778	1.3412	0.6839	0.4789	0.7495
4.96	0.8433	1.6544	0.8612	0.5984	0.9260
5.96	0.9783	1.9309	1.0125	0.6867	1.0695
6.96	1.1398	2.2461	1.1871	0.8080	1.2408

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA10-9g/1	ZA10-9g/2	ZA10-9g/3	ZA10-9g/4	ZA10-9g/5
0.96	0.0296	0.0444	0.0163	0.0637	0.0220
2.92	0.1641	0.2095	0.1510	0.2682	0.1679
3.92	0.2031	0.2616	0.1928	0.3467	0.2047
4.96	0.2653	0.3358	0.2558	0.4488	0.2686
5.96	0.2927	0.3757	0.2804	0.5190	0.2954
6.96	0.3529	0.4525	0.3455	0.6210	0.3588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA10-6%-1	ZA10-6%-2	ZA10-6%-3	ZA10-6%-4	ZA10-6%-5
1.00	0.2156	0.1383	0.2400	0.1303	0.2071
2.00	0.3964	0.2417	0.4385	0.2395	0.3841
3.06	0.5942	0.3552	0.6607	0.3592	0.5751
4.08	0.7535	0.4346	0.8294	0.4484	0.7280
5.00	0.9137	0.5266	0.9994	0.5507	0.8868
6.90	01.2473	0.7078	01.3407	0.7546	1.2020

วัน	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น				
	ZA10-8%-1	ZA10-8%-2	ZA10-8%-3	ZA10-8%-4	ZA10-8%-5
1.00	0.1485	0.2167	0.1880	0.2054	0.1904
2.00	0.2614	0.4128	0.3401	0.3931	0.3321
3.06	0.3870	0.6271	0.5109	0.6046	0.4913
4.08	0.4740	0.7996	0.6405	0.7753	0.6107
5.00	0.5746	0.9804	0.7838	0.9545	0.7419
6.90	0.7688	1.3371	1.0601	1.3189	0.9976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้