

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดปรับปรุงเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสด

Modified Polyethylene Film For Packaging For Fresh Vegetable



รายงานฉบับนี้ได้รับเงินงบประมาณสนับสนุนจาก

โครงการวิจัย ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

เลขหมู่.....
RCH
TP
1180
P65
58932

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี..... 17 ก.พ. 2549

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

11506209
b.....
i.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสด แผ่นฟิล์มเตรียมจาก LDPE และซีโอไลต์เอ ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำได้ดี การผสม LDPE และซีโอไลต์เอทำโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวแล้วบดพอลิเมอร์ตัวอย่างด้วยเครื่องบดพลาสติก นำสารส่วนหนึ่งไปทดสอบสมบัติการไหล และนำส่วนที่เหลือไปขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยใช้เทคนิคการหล่อในสภาวะหลอมเหลว แผ่นฟิล์มที่ได้นำมาหาปริมาณที่แน่นอนของซีโอไลต์เอ ลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์เอ สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล การซึมผ่านของไอน้ำ และนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาผลิตเป็นถุงบรรจุภัณฑ์เพื่อทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศ จากการทดสอบพบว่า ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่ม ส่วนความเป็นผลึก ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก มอดูลัส และการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ ในขณะที่การกระจายตัวของซีโอไลต์เอในแผ่นฟิล์มแยกลง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงจิกขาดมีแนวโน้มลดลง จากการศึกษาผลของการใช้กรดสเดียริกเป็นสารช่วยกระจายตัวสำหรับซีโอไลต์เอ พบว่าแผ่นฟิล์มมีสมบัติโดยรวมดีขึ้น และจากการนำแผ่นฟิล์มมาผลิตเป็นถุงบรรจุมะเขือเทศและเก็บเป็นเวลา 21 วันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบการเก็บรักษาผัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและน้ำหนักที่หายไปของผลมะเขือเทศและไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่มีซีโอไลต์เออยู่ในปริมาณมาก (10-20%) มีค่าน้อยกว่าในถุงที่ผลิตจากแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ หรือมีในปริมาณน้อยๆ

Abstract

This research aimed to improve water vapor permeability of low density polyethylene (LDPE) film for vegetable packaging. Films were prepared from LDPE and zeolite A, which is a good water absorbing porous additive. LDPE and zeolite A were mixed using a single-screw extruder and then ground using a plastic grinder. A portion of the ground LDPE/zeolite was examined for rheological test. The rest was supplied for film production using a melt casting technique. The zeolite A content and dispersion, thermal properties, mechanical properties, water vapor permeability of the film were characterized. The film was also shaped into a packaging bag to preserve tomatoes. It was found that shear viscosity of the sample increased when zeolite A content increased. Crystallinity, tensile yield strength, modulus and water vapor permeability of the film were increased with increasing zeolite A loading. However, poorer zeolite A dispersion, lower values in elongation at break and tear strength were observed. When stearic acid was used as a dispersing agent for zeolite A, most of the film properties were improved. For the shelf life testing with vegetables, tomatoes were preserved in packaging bags, producing from LDPE/zeolite A film, at 5 °C for 21 days. Physiological disorder and weight loss of tomatoes and water vapor observed within packages which were produced from the film with high zeolite A content (10-20%) were less than those produced from the film with no or low zeolite A content.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพของผักและผลไม้	4
2.2 การออกแบบภาชนะสำหรับผู้บริโภค	4
2.3 फिल्मพลาสติก: บรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้	5
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	8
2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับพอลิเอทิลีน	9
2.6 ซีโอดี เอ	11
2.7 การขึ้นรูปฟิล์ม	13
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	14
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	14
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน	15
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง	16
3.3.2 การทดสอบสมบัติการไหล	16
3.3.3 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม	16
3.3.4 การตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม	16
3.3.4.1 การตรวจสอบปริมาณที่แน่นอนของซีโอดี เอ	16
ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	
3.3.4.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4.3 การศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์ เอ ในฟิล์มตัวอย่าง	17
3.3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	17
3.3.4.4.1 สมบัติความแข็งแรงดึง	17
3.3.4.4.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด	17
3.3.4.5 การศึกษาอัตราการซึมผ่านไอน้ำ	17
3.3.6 การทดสอบการเก็บรักษาผัก	17
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	
4.1 ผลการศึกษาสมบัติการไหล	18
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	20
4.2.1 ผลการทดสอบหาปริมาณที่แท้จริงของซีโอไลต์เอ ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	20
4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	21
4.2.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์เอ ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	22
4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	23
4.2.5 ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	27
4.2.6 ผลการทดสอบการเก็บรักษาผัก	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย [1]

ผลิตภัณฑ์จากการกสิกรรมใดๆจำพวกผัก ผลไม้ จะประสบความสำเร็จเป็นที่ยอมรับของตลาดนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพตั้งแต่วัตถุดิบ ขั้นตอนระหว่างการผลิตและการบรรจุ นอกจากนี้ยังต้องมีมาตรการในการควบคุมการเก็บรักษาและการจัดส่ง เพื่อให้คุณภาพของสินค้าที่ผลิตและการจัดส่งแต่ละครั้งมีคุณภาพคงที่ ถ้าสามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างแน่นอนและสม่ำเสมอแล้ว โอกาสที่บรรจุภัณฑ์จะช่วยส่งเสริมทางการตลาดจะมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะเป็นไปตามสัจธรรมที่ว่าบรรจุภัณฑ์ไม่สามารถเพิ่มคุณภาพให้กับสินค้าแต่สามารถเพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าได้

บรรจุภัณฑ์สำหรับของสดต่างๆ มีบทบาทสำคัญในการเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะช่วยรักษาคุณภาพอาหารซึ่งอาจทำให้เปลี่ยนแปลงได้โดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์หลักที่จัดว่าสำคัญมากคือ การยืดอายุการเก็บของสดให้ยาวนานขึ้น และสามารถรักษาคุณภาพของสินค้าให้คงอยู่จนกระทั่งบริโภคหมด ในแง่ของการส่งออกจำเป็นอย่างยิ่งที่บรรจุภัณฑ์จะช่วยรักษาคุณภาพของ ความหอมหรือรสชาติความอร่อยจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากมาย การส่งออกอาหารจากการแปรรูปผลผลิตเกษตรจะนำมาซึ่งเงินตราเข้าประเทศเมื่อมีการส่งออกสินค้าบริโภคจำหน่ายต่างประเทศ ดังนั้นควรตระหนักถึงมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ด้วย

การพัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์และการปรับปรุงการขนส่งในแต่ละประเทศ ถือเป็นกุญแจสำคัญที่สามารถเปิดประตูสู่ความสำเร็จ ลดความเสียหายและสร้างความมั่นใจได้ว่าสินค้านำไปส่งถึงมือผู้บริโภคได้โดยปลอดภัยในการขนส่งสินค้าบรรจุภัณฑ์ที่มีความจำเป็นอย่างมาก ในการที่จะช่วยรักษาผลิตผลทางการเกษตรให้คงอยู่ในสภาพเดิมนานที่สุด ในขณะที่เดียวกันยังเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการที่จะช่วยขนส่งสินค้าโดยสะดวกสามารถทำการขนถ่ายได้เป็นจำนวนมากพร้อมทั้งลดพื้นที่ในการเก็บคงคลัง ก่อให้เกิดความสะดวกในการเรียงซ้อน ซึ่งผู้ประกอบการค้าโดยทั่วไปได้ค้นพบว่า การเพิ่มต้นทุนของบรรจุภัณฑ์จะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ยังผลให้ต้นทุนรวมของสินค้ามีมูลค่าถูกลง และผู้บริโภคสามารถซื้อสินค้าได้ในราคาที่ถูกลง

ตราใบไม้ที่ผลิตผลทางการเกษตรจำพวกผัก ผลไม้ ยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ คุณภาพและการเก็บรักษาจึงคงเกี่ยวพันกันอย่างแยกออกจากกันไม่ได้ คุณค่าและปริมาณทางโภชนาการที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมสำหรับมนุษย์จะแปรผันตามการจัดเก็บอย่างปลอดภัย ในสภาวะที่เหมาะสมของระบบ บรรจุก๊าซ ซึ่งทำหน้าที่รักษาคุณค่าและคุณภาพสินค้าไว้ได้ในระยะเวลาที่กำหนด

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เก็บเกี่ยวมาจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้จากรากและมีการสูญเสีย น้ำอยู่ตลอดเวลา จากการสูญเสียทำให้น้ำหนักที่จะขายได้ขาดหายไป แล้วยังทำให้รูปร่างลักษณะ ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปในทางลบ ทำให้ขายไม่ได้ราคาและอาจทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบันได้มีการนำเอาตู้เย็นและพลาสติกห่อของ เช่น พอลิเอทิลีน มาใช้ร่วมกันจะ สามารถยืดอายุพืช ผักและผลไม้ได้ การเก็บผลิตภัณฑ์โดยใช้ตู้เย็นควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้ สม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา เพราะถ้าหากอุณหภูมิภายในที่เก็บรักษาขึ้นลงไม่สม่ำเสมอผลิตภัณฑ์จะสูญเสีย น้ำออกมามากจนกระทั่งอากาศรอบๆ อ้อมตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงไอน้ำจะ ควบแน่นเป็นหยดน้ำอยู่ตามภาชนะบรรจุ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอากาศก็จะรับไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ได้อีก เรื่อยๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำไปมาก สภาพที่เก็บรักษาจะขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียได้ง่าย [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเอาซีโอไลต์เอซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุน สามารถดูดซับน้ำได้ดีมา ปรับปรุงแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน เพื่อให้ฟิล์มพลาสติกที่ได้จะทำหน้าที่เป็นบรรจุก๊าซที่ สามารถควบคุมปริมาณน้ำ ทำให้เกิดสมดุลของน้ำภายในบรรจุก๊าซ ส่งผลให้เกิดการยืดอายุการ เก็บรักษาพืช ผัก ผลไม้ที่ทำการขนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เพื่อให้ผู้บริโภคแน่ใจว่าพืช ผัก ผล ไม้ที่รับประทานนั้นมีคุณภาพ สดเหมือนใหม่และยังคงคุณค่าทางโภชนาการอย่างสมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษากระบวนการการผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับซีโอไลต์เอ แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น ฟิล์ม
2. ศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ที่ผสมได้
3. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การซึมผ่านของน้ำและก๊าซของแผ่นฟิล์ม พลาสติก และการกระจายตัวของซีโอไลต์
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ได้มาผลิตเป็นบรรจุก๊าซทดสอบกับ ผักและผลไม้ตัวอย่าง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการผสม LDPE และซีโอไลต์เอ ในอัตราส่วนตั้งแต่ 100:0 ถึง 80:20

2. นำพอลิเมอร์ที่ได้ในแต่ละสูตรไปทดสอบสมบัติการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์และทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์ม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การซึมผ่านไอน้ำ และการกระจายตัวของซีไอไลต์เอ ในแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์
4. ทดสอบความสามารถการเป็นบรรจุภัณฑ์ของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยการทดสอบห่อมะเขือเทศตัวอย่าง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบสูตรผสมของ LDPE และซีไอไลต์เอ ที่ทำให้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์มีสมบัติที่เหมาะสม และสามารถทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ให้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถใช้งานได้จริง
2. เพิ่มคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับผักให้มีประสิทธิภาพ โดยสามารถยืดเวลาการเก็บรักษาผักให้มีช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาได้ยาวนานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพผักและผลไม้ [2-4]

คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผลผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ คุณภาพขณะเก็บเกี่ยว ความสะอาด วิธีการขนส่ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ใช้ในการขนส่งและเก็บรักษาแล้ว ยังขึ้นกับสภาพอากาศรอบๆ หรืออีกนัยหนึ่งคือความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ ที่ล้อมรอบผักและผลไม้นั้นด้วย ปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยทำให้สภาวะที่ล้อมรอบผลิตผลนั้นเป็นไปตามที่ต้องการตลอดเวลาที่เก็บรักษาผลิตผลก็คือภาชนะบรรจุ สมบัติที่สำคัญของวัสดุบรรจุหรือภาชนะบรรจุที่จะต้องนำมาพิจารณามีดังนี้คือ

1. การซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability)

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อเลือกชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตผล อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้วัสดุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมาก ควรเลือกวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (O_2) ไม่เกิน $2 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr.}$ ส่วนวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซดีพอควรจะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนประมาณ $20-30 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr.}$ สำหรับผักและผลไม้สดต้องใช้วัสดุที่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี โดยทั่วไปค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าตั้งแต่ $2000 \text{ cc./m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr.}$

2. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR)

การเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จากค่า WVTR ต้องระมัดระวังปัญหาที่เกิดขึ้นจากหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุภัณฑ์และปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตผล วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันไอน้ำได้ดีจะลดปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตผล แต่มักเกิดปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุภัณฑ์ ในทางกลับกันวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้มักจะทำให้เกิดปัญหาผลิตผลแห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging agent) ในฟิล์มพลาสติกหรือการเจาะรูเล็กๆ เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกจากภาชนะ

2.2 การออกแบบภาชนะบรรจุสำหรับผู้บริโภค

การออกแบบภาชนะบรรจุหรือหีบห่อสำหรับผู้บริโภคอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การระบายอากาศ การใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกห่อผลิตผลนั้น พลาสติกแต่ละชนิดจะมี

ความสามารถในการยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ต่างกัน ตามปกติฟิล์มมักจะยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำไอน้ำซึมผ่านได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม ฟิล์มบางชนิดสามารถยอมให้คาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้มากกว่าออกซิเจนได้บ้าง การเลือกฟิล์มพลาสติกที่เหมาะสม ไม่อย่างนั้น เมื่อผู้บริโภครีบห่อแล้วจะพบว่าผักหรือผลไม้ที่บรรจุไว้จะเน่าเสียเร็วกว่าที่ควรจะเป็น การคำนวณการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกทำได้โดยการใช้กฎของฟิก (Fick's law) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึมผ่านเข้าออกได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน ดังนั้นอัตราการสะสมของ CO_2 จากการหายใจจึงน้อยกว่าอัตราการหายใจของ O_2 และถ้า O_2 ถูกใช้ไปหมดจากบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ จะทำให้มีการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และ CO_2 อาจทำให้เซลล์ของพืชตาย ผักและผลไม้จะส่งกลิ่นที่ผิดปกติ รสชาติเปลี่ยน และเกิดการเน่าเสีย

แผ่นพลาสติกหรือถุงพลาสติกที่ใช้นั้นควรมีรูระบายอากาศ การบรรจุในถุงควรมีรูอย่างน้อย 2-4 รู ขนาด 1/4-1/8 นิ้ว เพื่อระบายอากาศ ผลผลิตจะไม่ขาด O_2 และไม่เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และ CO_2 ขณะวางขายในสภาพที่อุณหภูมิสูง ในบางครั้งการเก็บรักษาในสภาพถุงที่ไม่มีรูอาจเกิดผลดี เพราะเกิดสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆแตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ (Modified atmosphere) ขึ้นมาได้ แต่ควรระมัดระวังการเกิดกลิ่นที่ผิดปกติหรือมีรสชาติแอลกอฮอล์เกิดขึ้น

2. ความชื้น ผักและผลไม้ที่มีน้ำหรือมีความชื้นอยู่สูงถึง 75-95% จะอยู่ในลักษณะที่สมดุลกับบรรยากาศได้เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่สูงถึง 95% ขึ้นไป โดยปกติผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วจะเหี่ยวอย่างรวดเร็วเพราะในบรรยากาศทั่วไปมีความชื้นค่อนข้างต่ำ ทำให้เซลล์เกิดการเสียน้ำรูปทรงและการหดตัว การเก็บผักและผลไม้ไว้ในภาชนะที่เหมาะสมจะยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นาน พลาสติกที่ใช้ห่อผักและผลไม้สดจะทำให้ความชื้นข้างในรอบๆผักและผลไม้สูง และอาจสูงถึง 100% ดังนั้นจึงต้องเจาะรูถุงพลาสติกเพื่อให้ไอน้ำภายในถุงพลาสติกได้ออกไปข้างนอกเป็นการช่วยปรับความชื้นภายในถุงพลาสติกให้เหมาะสม

2.3 พลาสติก: บรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้

ในปัจจุบันนี้มีบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ที่ทำจากพลาสติกหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ นอกจากนี้ PE ยังยอมให้ O_2 และ CO_2 ซึมผ่านได้ดี จึงทำให้มี O_2 เพียงพอให้พืชการหายใจ และ CO_2 ที่พืชคายออกมาก็ซึมผ่านได้ง่าย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มสำหรับบรรจุผักและผลไม้สดนั้น พบว่าได้มีการพัฒนาฟิล์มชนิดต่างๆ ให้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำเหมาะสมกับการยืดเวลาการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้ยาวนาน และคงคุณค่าทางสารอาหารครบถ้วน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เช่น Paulos และ Thomas (1980)[5] ทำการทดลองดัดฟิล์ม LLDPE และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ในลักษณะสองแนวเพื่อทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของ O_2 และไอน้ำเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้ทำการดึงยืด พบว่าฟิล์มที่มีอัตราส่วนการดึง (Draw down ratio) มากขึ้นจะทำให้อัตราการซึมผ่านของ O_2 และไอน้ำลดลง แต่ในงานวิจัยของ Chinsirikul (2001)[6] ที่เติมพอลิเมอร์ผลึกเหลว (Liquid crystal polymer, LCP) ลงใน PE พบว่าแผ่นฟิล์มที่มี LCP 10% มีอัตราการซึมผ่านของ O_2 น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มี LCP 40-50% และฟิล์ม PE/ LCP ที่ผ่านขั้นตอนการดึงยืดทั้งแนวเดียวและสองแนวมีความแข็งแรงดึงยืดและมีอัตราการซึมผ่านของ O_2 มากขึ้น จากงานวิจัยอัตราการซึมผ่านของ O_2 และไอน้ำอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและยังอาจขึ้นอยู่กับการใช้สารตัวเติมเพิ่มลงในพอลิเมอร์ ดังเช่นในงานวิจัยที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลงใน PP และ พอลิเมอร์ร่วมระหว่าง PP และ PE ของ Anderson (1989)[7] ทำให้ได้ฟิล์มที่ยอมให้ O_2 และ CO_2 สามารถซึมผ่านได้มากกว่าแผ่นฟิล์ม PE ธรรมดา ซึ่งสามารถนำฟิล์มชนิดนี้ไปทำบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้สำหรับห่อสตรอเบอร์รี่ เห็ดและผักบร็อคโคลี่ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการดึงยืดฟิล์ม PP ที่เติม $CaCO_3$ และ SiO_2 ในลักษณะสองแนวทำให้ O_2 สามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้มากขึ้น [8]

งานวิจัยที่เติมสารตัวเติมชนิดอื่นๆ เช่น การทดลองเติมเซรามิกลงในฟิล์ม LDPE ในปริมาณ 40-60% จะได้ฟิล์มที่ยอมให้ O_2 และ CO_2 สามารถซึมผ่านได้มากกว่าแผ่นฟิล์ม PE ธรรมดา สามารถนำฟิล์มที่ได้ไปประยุกต์ใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง [7] นอกจากนี้ยังมีการเติมซีโอโลต์ ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุนลงในฟิล์ม PE พบว่าเมื่อนำฟิล์มนั้นมาห่อผักบร็อคโคลี่จะสามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาได้นานกว่าฟิล์ม PE ธรรมดา และจากการทดลององค์การเพื่อการวิจัยและพัฒนาอาหารของประเทศออสเตรเลียจึงเรียกบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ว่าบรรจุภัณฑ์แบบฉลาด (Smart packaging หรือ Active packaging) [9] จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการเติมสารตัวเติมลงในพอลิเมอร์อาจสรุปได้ว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการดึงยืดของฟิล์ม ปริมาณและขนาดอนุภาคของสารตัวเติม

นอกจากนี้ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซยังขึ้นอยู่กับความหนาและชนิดของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์นั้นๆ ดังงานวิจัยของ Artes และ Martinez (1999)[10] ทำการทดลองทำฟิล์ม LDPE และ PVC ที่มีความหนาต่างๆ กันมาทำการทดสอบห่อดอกกระหล่ำ โดยการทดลองได้ควบคุมปริมาณ O_2 และ CO_2 และอุณหภูมิ พบว่าแผ่นฟิล์ม LDPE และ PVC ที่มีความหนา 15 μm เหมาะที่จะนำมาห่อดอกกระหล่ำในช่วงที่ทำการขนส่งและจัดเก็บในชั้นจำหน่าย เพื่อยืนยันการวิจัย Artes และคณะ (2000)[11] จึงทำการทดลองนำแผ่นฟิล์ม LDPE และ PVC ที่มีความหนาต่างกันมาห่อผักบร็อคโคลี่โดยมีสถานะการทดลองเหมือนเดิม พบว่าผักบร็อคโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์ม PVC มีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นมากกว่าในฟิล์ม LDPE ถึง 60 เท่า และแผ่นฟิล์ม LDPE และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVC ที่มีความหนา 15 μm เหมาะที่จะนำมาห่อผักหรือคโคลีในขณะขนส่งและจัดเก็บในชั้นจำหน่าย แต่ในปัจจุบันได้มีข้อห้ามการใช้ฟิล์ม PVC ห่ออาหารในยุโรป ฉะนั้นฟิล์ม LDPE จึงเหมาะที่จะใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่สุด

ในงานวิจัยที่บรรจุภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ให้แตกต่างกันไปจากบรรยากาศปกติ (Modified Atmosphere Packaging, MAP) ก็สามารถยืดเวลาการเก็บรักษาผักผลไม้ได้นานขึ้นเช่นกัน ดังงานวิจัยของ Habibunnisa และคณะ (2001)[12] ทดสอบการเก็บรักษาผักทองภายในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE และ PP ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซแตกต่างกันภายในบรรจุภัณฑ์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ให้แตกต่างจากบรรยากาศปกติและเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณ O_2 จะลดลง แต่ปริมาณ CO_2 จะเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ บรรจุภัณฑ์ LDPE สามารถเก็บรักษาผักทองได้นาน 25 วันและน้ำหนักของผักทองจะลดลง 0.06 % และสูญเสียคุณค่าทางอาหารเพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มชนิดอื่นๆ เช่น ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งเปียกข้าวสาลีที่มีสมบัติยอมให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ดีและเมื่อโดนความชื้นจะเกิดการบวมตัวนั้น Mangata และคณะ (1999)[13] ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้ฟิล์มแป้งเปียกจากข้าวสาลีร่วมกับฟิล์ม PE ที่มีการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน ทำการขึ้นรูปโดยวิธีแบบกร้อนให้เป็นฟิล์ม 2 ชั้น จะช่วยลดการซึมผ่านของ O_2 , CO_2 และไอน้ำได้ จากการทดลองสามารถนำฟิล์มที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบ MAP สำหรับห่อผักและผลไม้

ฟิล์มที่สามารถรับประทานได้ซึ่งผลิตจากพอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) และ เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose, MC) นั้น Ayranci และ Tunc(1997)[14] ทำการเติมสารเติมแต่งลงในฟิล์มจากนั้นนำมาเคลือบผิวของถั่วและสตอเบอร์รี่ ผลการทดลองที่ได้คือ ฟิล์มสามารถลดการ สูญเสียความชื้นและยืดอายุการเก็บรักษาถั่วและสตอเบอร์รี่ได้ยาวนานขึ้น

จากงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตฟิล์ม การใช้สารตัวเติม ความหนาของฟิล์ม อุณหภูมิ และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ซึ่งความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำนั้นมีผลต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผัก ผลไม้ด้วย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเติมซีโอไลต์เอ ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุน ดูดซับน้ำได้ดีมาเติมลงใน LDPE เพื่อให้ได้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถควบคุมสมดุลของไอน้ำและยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ให้ยาวนานขึ้น

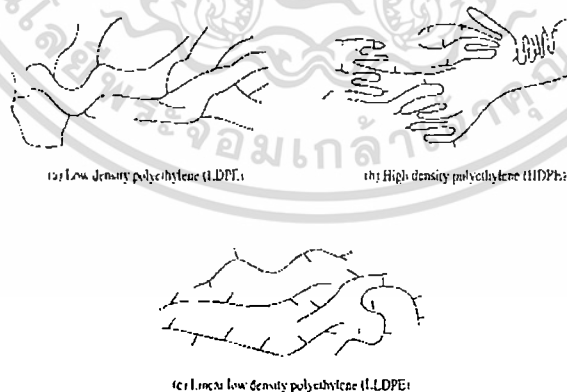
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, PE) [15-17]

พอลิเมอร์ชนิดนี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีโซ่สาขา (Branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ $-CH_2-$ ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไป หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีความดันสูง (High pressure polyethylene) เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมาก

สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

กลไกอนุโมลติสระและกระบวนการผลิตที่ใช้ความดันสูงทำให้โครงสร้างของโมเลกุล LDPE มีโซ่กิ่งจำนวนมาก และโซ่กิ่งเหล่านี้ยังรบกวนการตกผลึกทำให้ปริมาณผลึกของ LDPE ลดลงเมื่อเทียบกับ HDPE ดังแสดงในรูปที่ 2.1

LDPE มีจุดหลอมเหลว (T_m) ประมาณ $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความหนาแน่น $0.910\text{-}0.925\text{ g/cm}^3$ ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) และไฮโดรเจนเตตไฮโดรคาร์บอน (Hydrogenated hydrocarbon) เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) และไดคลอโรเอทิลีน (Dichloroethylene) เนื่องต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทนกรดและเบส เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ยึดตัวดี ทนทานต่อการฉีกขาด และการที่มึนทะลุ ใช้ความร้อนในการเชื่อมปิดผนึกได้ดี ป้องกันความชื้นได้พอสมควร ยอมให้อากาศ ไอน้ำซึมผ่านได้ง่าย LDPE ที่ได้รับการสัมผัสกับแสงแดดกับออกซิเจนเป็นเวลานานๆ พอลิเมอร์อาจมีการเสื่อมคุณภาพได้อาจแก้ไขโดยเติมสารพวกเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) เพื่อหน่วงการเสื่อมคุณภาพ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ [17]

- โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
- โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
- โครงสร้างสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่า “ถุงเย็น” มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหัดและฟิล์มยืด ขวดน้ำและฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยึดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ LDPE ป้องกันความชื้นได้พอสมควรแต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างทั่วไป นอกจากนี้ LDPE ยังปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยวและของทอดเมื่อใส่ถุงเย็นธรรมชาติคุณภาพของจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปราะฝุ่น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับพอลิเอทิลีน

พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ที่ส่วนมากจะยังไม่สามารถนำมาทำการขึ้นรูปได้ และสมบัติยังไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเติมแต่งเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์และช่วยให้สามารถนำไปเข้ากระบวนการผลิตได้ ในการเลือกใช้สารเติมแต่งต่างๆต้องพิจารณาว่าคุณสมบัติอะไรของพอลิเมอร์ที่เราต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น ซึ่งจุดประสงค์ในการใช้สารเติมแต่งในพอลิเมอร์เราอาจกล่าวได้คือ เพื่อช่วยในการขึ้นรูป ปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น ป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ และเพื่อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ต้องการผลิต[18]

จากการศึกษาวิจัยที่ใช้สารเติมแต่งเติมลงในพอลิเมอร์ พบว่ามีผลทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์เหล่านั้นเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของสารเติมแต่งที่ใช้เติม ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้สารตัวเติมปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ เช่น Krupa และคณะ (2001)[19] ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและเชิงกลของ LLDPE ที่ผสม wax พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการเติม wax ลงใน LLDPE จาก 10% เป็น 20% ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิการหลอมผลึกและร้อยละการดึงยึดลดลง Nawang และคณะ (2001)[20] ทดลองเติมแป้งมันสำปะหลังลงใน LLDPE พบว่าอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังรวมกันเป็นกลุ่มก้อน กระจายตัวได้ไม่ดี เนื่องจากความแตกต่างระหว่างผิวของแป้งมันสำปะหลังกับ LLDPE ซึ่งการรวมเป็นกลุ่มก้อนจะทำให้เกิดความเค้นสะสมซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยึดลดลง แต่โมดูลัสเพิ่มขึ้นเนื่องจากแป้งมีความแข็งและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากกว่าพอลิเมอร์ Sangmin และคณะ (2002)[21] เติม CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid) ลงใน HDPE LDPE และ LLDPE พบว่าสมบัติเชิงกลและความเหนียวของพอลิเมอร์ที่เติม CaCO_3 มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เติม CaCO_3 อาจเกิดจากการเสริมแรงของ CaCO_3 ทำให้ HDPE มีความแข็งแรงดึง โมดูลัสและร้อยละการดึงยึดสูงสุด ตามด้วย LLDPE และ LDPE ตามลำดับ ความเหนียวของ HDPE มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ LLDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ LDPE แต่ที่อัตราความเครียดเหนือสูงความหนืดของ LLDPE มีค่าสูงสุด ทั้งนี้อาจเกิดจากความแตกต่างกันของความเป็นกึ่ง น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ Jeanette และคณะ (2002)[22] ทดลองเติมสารคู่ควบลงใน CaCO_3 ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ HDPE พบว่า CaCO_3 สามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ผสมส่งผลทำให้มอดูลัส ร้อยละการดึงยืดและความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น แต่ช่องว่างระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์ผสมและ CaCO_3 ยังมีอยู่แสดงว่าสารคู่ควบ ไม่ได้ช่วยปรับปรุงในเรื่องความแตกต่างระหว่างผิวและแรงกระทำระหว่างพื้นผิวของ CaCO_3 และพอลิเมอร์ผสม Silva และคณะ (2002)[23] ทำการผสม PP กับทัลคัม (Talc) และ PP กับ CaCO_3 พบว่ามอดูลัสและความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติม Talc และ CaCO_3 เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ ทำให้สามารถกระจายแรงระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติมได้มากขึ้น นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงและมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น Chi-Ming และคณะ (2002)[24] ทดสอบเติม CaCO_3 ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรลงใน PP พบว่า CaCO_3 สามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ มีผลทำให้มอดูลัส ความแข็งแรงกระแทก และความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น Joao และคณะ (2003)[25] ทดสอบเติมซีลีลอลงใน PP โดยใช้มาเลด พอลิพรอพิลีน (Maleated Polypropylene, MAPP) ปรับปรุงความเข้ากันได้ของ LLDPE กับซีลีลอลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ MAPP จะทำให้ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืดเพิ่มขึ้นและปริมาณ ซีลีลอลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคือ 20 - 40% และพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติม MAPP จะช่วยทำให้สมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติม MAPP Maged และคณะ (2004)[26] เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และการกระจายตัวของ CaCO_3 ใน LDPE โดย CaCO_3 ที่ใช้เติมได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid, SA) และปริมาณการเติม CaCO_3 คือ 10% และ 20% ของน้ำหนัก LDPE จากการทดสอบ CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวด้วย SA ทำให้สมบัติเชิงกลของ LDPE ดีขึ้นโดยมอดูลัสของ LDPE เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืดของ LDPE ที่เติม CaCO_3 10% มีค่าสูงกว่า LDPE ที่เติม CaCO_3 20% นอกจากนี้ CaCO_3 ที่ได้รับการเคลือบผิวสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ Ning และคณะ (2004)[27] ได้เติม CaCO_3 ที่มีอนุภาคขนาดเล็กลงใน PVC และ PVC/Blendex จากการทดสอบพบว่า CaCO_3 ที่ปริมาณน้อยๆสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ PVC/ CaCO_3 และ PVC/Blendex/ CaCO_3 มีความเหนียว ความแข็งแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้น PVC/Blendex/ CaCO_3 มีความเหนียวมากขึ้นเป็นสองเท่าของ PVC/ CaCO_3 และจากการศึกษาลักษณะของสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PVC/ CaCO_3 พบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวหน้าของ PVC และ CaCO_3 แต่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVC/Blendex/CaCO₃ กลับไม่พบช่องว่างดังกล่าว ซึ่งผลจากการศึกษาจะช่วยสนับสนุนผลการทดสอบเรื่องความเหนียวที่แตกต่างกัน ความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของ PVC/ CaCO₃ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติม CaCO₃ เพิ่มขึ้นจนถึง 10 phr จากนั้นจะมีค่าลดลงแต่ใน PVC/Blendex/ CaCO₃ มีการลดลงอย่างชัดเจน มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติม CaCO₃ เพิ่มขึ้น

สารตัวเติมนอกจากจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลแล้วยังมีผลต่อสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ O₂ และ CO₂ ของแผ่นฟิล์ม ตัวอย่างงานวิจัยเช่น Sevgi และคณะ (1996)[28] ทำการทดสอบเติมซิลิกาที่มีรูพรุนลงใน PVC เพื่อใช้เป็นเยื่อเลือกผ่าน พบว่าการซึมผ่านไอน้ำของเยื่อเลือกผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเยื่อเลือกผ่าน PVC ธรรมดา ซึ่งผลการทดสอบคล้ายกับการทดสอบของ Hale W.R และคณะ (2001)[29] ที่เติม CaCO₃ ลงใน LDPE ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มนั้นขึ้นกับปริมาณของ CaCO₃ ที่ใช้เติมและจำนวนของช่องว่างระหว่างผิวของ CaCO₃ และ LDPE นั่นคือที่ปริมาณการเติม CaCO₃ มากๆและมีช่องว่างระหว่างผิวจำนวนมากค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าแผ่นฟิล์มธรรมดา ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกับการทดสอบของ Erol และคณะ (2001)[30] ที่เติมกรดไขมันคือ SA กรดพาลามิติก (Palmitic acid, PA) และ กรดลอริก (Lauric acid) ลงใน MC เพื่อทำการผลิตแผ่นฟิล์มที่สามารถรับประตทานได้พบว่าเมื่อปริมาณกรดไขมันที่ใช้เติมมากขึ้นอัตราการซึมผ่านไอน้ำและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลง แต่ในกรณีการซึมผ่านของ CO₂ นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติม LA เพิ่มขึ้น Nazan และคณะ (2004)[31] ทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ ความแข็งแรงดึงและความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มที่ผลิตจาก MC และ PEG พบว่าเมื่อเติม PEG ที่มีโมเลกุลสูงลงในแผ่นฟิล์มทำให้การซึมผ่านไอน้ำและร้อยละการดึงยืดเพิ่มขึ้นแต่ความแข็งแรงกระแทกลดลง

2.6 ซีโอไลต์เอ [32]

โครงสร้างและลักษณะของซีโอไลต์เอ

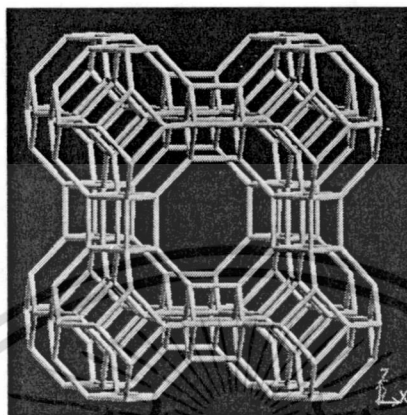
ซีโอไลต์เอ เป็นสารประกอบของซิลิกาและอะลูมินา โดยจะมีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 1 มีรูพรุน เป็น โครงสร้างแบบทศนิยม เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 4.2 Å

การสังเคราะห์

ซีโอไลต์เอมีวิธีการสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการทำให้เป็นเจลคล้ายกับซีโอไลต์อื่นๆ ทั่วไป โดยใช้อะลูมินา (นิยมใช้โซเดียมอะลูมิเนต) และซิลิกา (นิยมใช้โซเดียมซิลิเกต) ผสมกันในสารละลายที่ทำให้เป็นเจลซึ่งสารละลายเหล่านั้นได้แก่ สารละลายของอัลคาไล เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือสารละลายเกลือแอมโมเนียม (NH₄⁺) เอมีน หรือสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์ที่มีขั้ว เมื่อผ่านกระบวนการทำให้เป็นเจลแล้วจะนำเจลที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70-300 °C จะได้ผลึกของซีโอไลต์ที่อยู่ในรูปแบบของโซเดียมไอออน (Na^+)



รูปที่ 2.2 โครงร่างผลึกของซีโอไลต์เอ [33]



รูปที่ 2.3 ซีโอไลต์เอ ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า [34]

การนำซีโอไลต์เอไปใช้งาน

ซีโอไลต์เอเป็นซีโอไลต์ที่น่าสนใจเนื่องจากมีโครงสร้างแบบแอลฟาเคจ (α -cage) เหมาะกับการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Spacio-specific catalysis) พื้นที่ภายในของโครงสร้างที่เป็นรูพรุนนั้นมีมากเหมาะที่จะทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนสารและแลกเปลี่ยนไอออน โดยขนาดของรูพรุนที่เล็กๆนั้นสามารถจำกัดขนาดของโครงสร้างที่จะเข้าออกรูพรุนได้ [35] และในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอา ซีโอไลต์เอ มาใช้เป็นตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride)) ทำให้มีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้น[36] และเมื่อใช้เติมใน LDPE พบว่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ความแข็งแรงต่อการฉีกขาดมีค่าลดลงแต่ค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น [34]

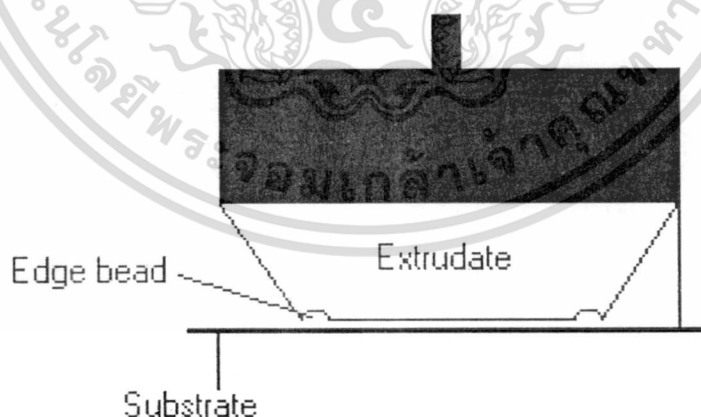
นอกจากนี้ยังได้มีการนำเอาซีโอไลต์ชนิดอื่นๆ มาใช้ผลิตเป็นเยื่อเลือกผ่านสำหรับแยกสารละลายชนิดต่างๆ ออกจากกัน [37] ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายพอลิเอทิลีนแวกซ์ [38] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำซีโอไลต์เติมลงในอีพอกซีพบว่าทำให้มีคุณสมบัติ ความแข็งแรงดึงและความเหนียวเพิ่มขึ้น [39]

2.7 การขึ้นรูปฟิล์ม [40-43]

ในการวิจัยได้ทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีการหล่อฟิล์มในสภาวะหลอมเหลว (Melting casting) หลักการพื้นฐานของกระบวนการคือเม็ดพลาสติกจะถูกรีดผ่านเกลียวขับ (Extruder) พร้อมทั้งให้ความร้อนไปด้วยเพื่อทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลว พลาสติกที่หลอมแล้วจะถูกขับผ่านหัวคาย (Die head) ที่ร้อน โดยคายที่ใช้จะเป็นแบบคายช่องยาว (Slit-die) แผ่นฟิล์มที่ได้จากการอัดรีดจะถูกนำไปยังลูกกลิ้งที่ควบคุมความเย็น และรักษาความแบนราบไว้ โดยมีลูกกลิ้งช่วยเสริมการจัดเรียงตัวของแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการดึงยัด (Draw down) ทำให้เกิดการยืดของฟิล์ม ทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มลดลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความขุ่นของฟิล์ม เพิ่มความเงาของแผ่นฟิล์ม ฟิล์มที่ผลิตได้จากกระบวนการหล่อจะมีความใส หากเป็นฟิล์มที่มีความกว้างไม่มากนักจะให้ความหนาที่สม่ำเสมอมากกว่าฟิล์มเป่า

กระบวนการทำฟิล์มหล่อเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความหนืดต่ำได้แก่ ไนลอน พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนเทอพลาทาเลทและพอลิพรอพิลีน แต่ถ้าจะใช้พอลิเอทิลีนจะต้องใช้อุณหภูมิและอัตราการหล่อเย็นค่อนข้างสูง ปัญหาที่พบในการทำฟิล์มหล่อคือ เอง-บีด (Edge bead) เกิดจากบริเวณหนึ่งมีความหนามากกว่าส่วนอื่นๆดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปัญหาเอง-บีด ที่พบในกระบวนการหล่อฟิล์ม [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรดอัดรีดสำหรับผลิตฟิล์ม (LD1905FA) ของบริษัทสยามค้าเคมีภัณฑ์ จำกัด
2. ซีโอไลต์เอ (Zeolite A) ของบริษัทพีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
3. กรดสแตียริก เกรดวิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 สมบัติของ LDPE ที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	LD 1905FA
ครรชนิการไหล	กรัม/10 นาที	ASTM D 1238	5.0
ความหนาแน่น	กรัม/ลบ.ซม.	ASTM D 1505	0.919
ความต้านทานแรงดึง	กก./ตร.ซม.	ASTM D 638	MD:240* TD:170*
ความยืดที่จุดขาด	%	ASTM D 638	MD:320* TD:680*
ความต้านทานแรงฉีกขาด	กรัม/25 ไมครอน	ASTM D 1922	MD:370* TD:210*
ความต้านทานแรง กระแทกของฟิล์ม	กรัม	ASTM D 1790	105*
ความฝ้า	%	ASTM D 1003	6*
ความเงามัน	%	ASTM D 2457	85*
มอดุลัสการโค้งงอ	กก./ตร.ซม.	ASTM D 790	2100
ความแข็ง, Shore D	-	ASTM D 2240	46
จุดหลอมเหลว	องศาเซลเซียส	ASTM D 2117	108

* ฟิล์มหนา 40 ไมครอน (เป้าที่อัตราเบ่ง 2:1)

MD: ทดสอบตามแนวเครื่องจักร

TD: ทดสอบตามแนวขวางเครื่องจักร

(ข้อมูลตารางที่ 3.1 มาจากบริษัทสยามค้าเคมีภัณฑ์ จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติซีโพลีเอทีใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	ผลการทดสอบ
Form	Free flowing powder
Color	White
Crystallinity (%)	99
Average bulk density (g/l)	366
Median particle size (μm)	3.9
Hardness (Mohs)	4-5

(ข้อมูลตารางที่ 3.2 มาจากบริษัทพีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) : Axon ab.Plasma skiner
2. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder): Bosco Engineering: Bosco A600
3. เครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (Sheet extruder): Axon ab.Plasma skiner
4. เครื่องทดสอบแรงกด (Universal testing machine): LLOYD instrument Co.,Ltd: LLOYD LR 30K
5. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC :Shimadzu Co.,Ltd และ Thermogravimetric analysis,TGA: Shimadzu Co.,Ltd)
6. เครื่องทดสอบสมบัติการไหล (Capillary rheometer): Rosand Precision Co.,Ltd
7. ตู้อบ :MEMMERT รุ่น UM 400
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM): JEOL Co.,Ltd; JSM-5410
9. เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำของแผ่นฟิล์ม (Water vapor permeability analyzer): Lyssy L80-4000J
10. เครื่องทดสอบการซึมผ่านออกซิเจนของแผ่นฟิล์ม (Oxygen permeability analyzer): Illinois Instrument รุ่น 8500
11. เครื่องปิดผนึกถุง
12. ตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมสารตัวอย่างทุกสูตร สูตรละ 1 กิโลกรัม (แต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 3.3) โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ที่อุณหภูมิหัวคาย 180°C ความเร็ว 45 รอบ/นาที แล้วนำไปบดเป็นเม็ดเล็กโดยใช้เครื่องบดพลาสติก

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนน้ำหนัก LDPE และ ซีโอไลต์เอ

LDPE	Zeolite A
100	0
98	2
95	5
90	10
85	15
80	20

3.3.2 การทดสอบสมบัติการไหล

ศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ผลิตได้โดยใช้ Capillary rheometer ที่ 180°C ในช่วงอัตราความเครียดเฉือนที่ $30\text{-}3600\text{ s}^{-1}$ โดยใช้หัวคายเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ความยาว 0 และ 16 mm มุม 180 องศา ตามมาตรฐาน ASTM D3835

3.3.3 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

นำสารผสมที่ได้จากข้อ 3.3.1 มาทำการขึ้นรูปโดยเครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม โดยมีอุณหภูมิที่หัวคาย 180°C และใช้อัตราการดึงยืดคือ 6 m/min

3.3.4 การตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

3.3.4.1 การตรวจสอบปริมาณที่แน่นอนของซีโอไลต์เอในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

นำฟิล์มตัวอย่างมาหาปริมาณซีโอไลต์เอ โดยใช้เครื่อง TGA โดยใช้น้ำหนักสารประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10°C/min จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 600°C นำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาปริมาณซีโอไลต์เอ ที่แน่นอนตามมาตรฐาน ASTM E1131

3.3.4.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง DSC โดยใช้

หนักสารประมาณ 5-10 mg นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40°C ด้วยอัตราการให้ความร้อนเป็น 10°C/min จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 180°C หาอุณหภูมิของการหลอมตัว (T_m) ความร้อนของการหลอมผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกตามมาตรฐาน ASTM E794

3.3.4.3 การศึกษาการกระจายตัวของซีโพลีเอในฟิล์มตัวอย่าง

นำฟิล์มตัวอย่างขนาด 2 cm X 5 cm แซ่ไนไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 15 นาที แล้วหักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่ นำพื้นผิวตรงรอยแยกมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

3.3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.4.4.1 สมบัติความแข็งแรงดึง

นำฟิล์มตัวอย่างมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความยาวของชิ้นงาน 150 mm กว้าง 20 mm ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ใช้ Load cell 100 N ความเร็วในการดึง 50 mm/min ระยะของการจับชิ้นงาน 100 mm ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐาน ASTM D882 เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile yield strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)

3.3.4.4.2 สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด

นำฟิล์มตัวอย่างมาตัดเป็นชิ้นงานรูปปีกนกแบบ Die C ตามมาตรฐาน ASTM D 624 ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ใช้ Load cell 100 N ความเร็วในการดึง 50 mm/min

3.3.4.5 การศึกษาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

หาปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวฟิล์มด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ของฟิล์มพลาสติกในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น $g/m^2/day$ ที่อุณหภูมิ 38 °C และความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ 90% โดยวิธี Transfer time method โดยใช้เครื่อง Lyssy water permeability กำหนดขนาดของชิ้นงาน 11 cm x 11 cm

3.3.5 การทดสอบการเก็บรักษาผัก

นำฟิล์มตัวอย่างมาผลิตเป็นถุงบรรจุภัณฑ์ขนาด 15 cm x 15 cm โดยวิธีปิดผนึก ร้อน บรรจุมะเขือเทศพันธุ์สีดาตัวอย่างที่ล้างสะอาดและผึ่งให้แห้งแล้วลงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ จำนวนถุงละ 7 ผล จากนั้นปิดผนึกถุงแล้วเก็บรักษาในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิการเก็บ 5 °C เป็นเวลา 21 วัน ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บรักษา

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองใช้อักษรย่อแทนสูตรต่างๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรของ LDPE และซีโอไลต์เอ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	สูตรที่ใช้ในการทดสอบ	อักษรย่อที่ใช้แทน
1	LDPE Pure	L/Z0
2	LDPE/ Zeolite A 2%	L/Z2
3	LDPE/ Zeolite A 5%	L/Z5
4	LDPE/ Zeolite A 10%	L/Z10
5	LDPE/ Zeolite A 10%/ Stearic acid 1%	L/Z10/S
6	LDPE/ Zeolite A 15%	L/Z15
7	LDPE/ Zeolite A 20%	L/Z20
8	LDPE/ Zeolite A 20%/Stearic acid 1%	L/Z20/S

4.1 ผลการศึกษาสมบัติการไหล

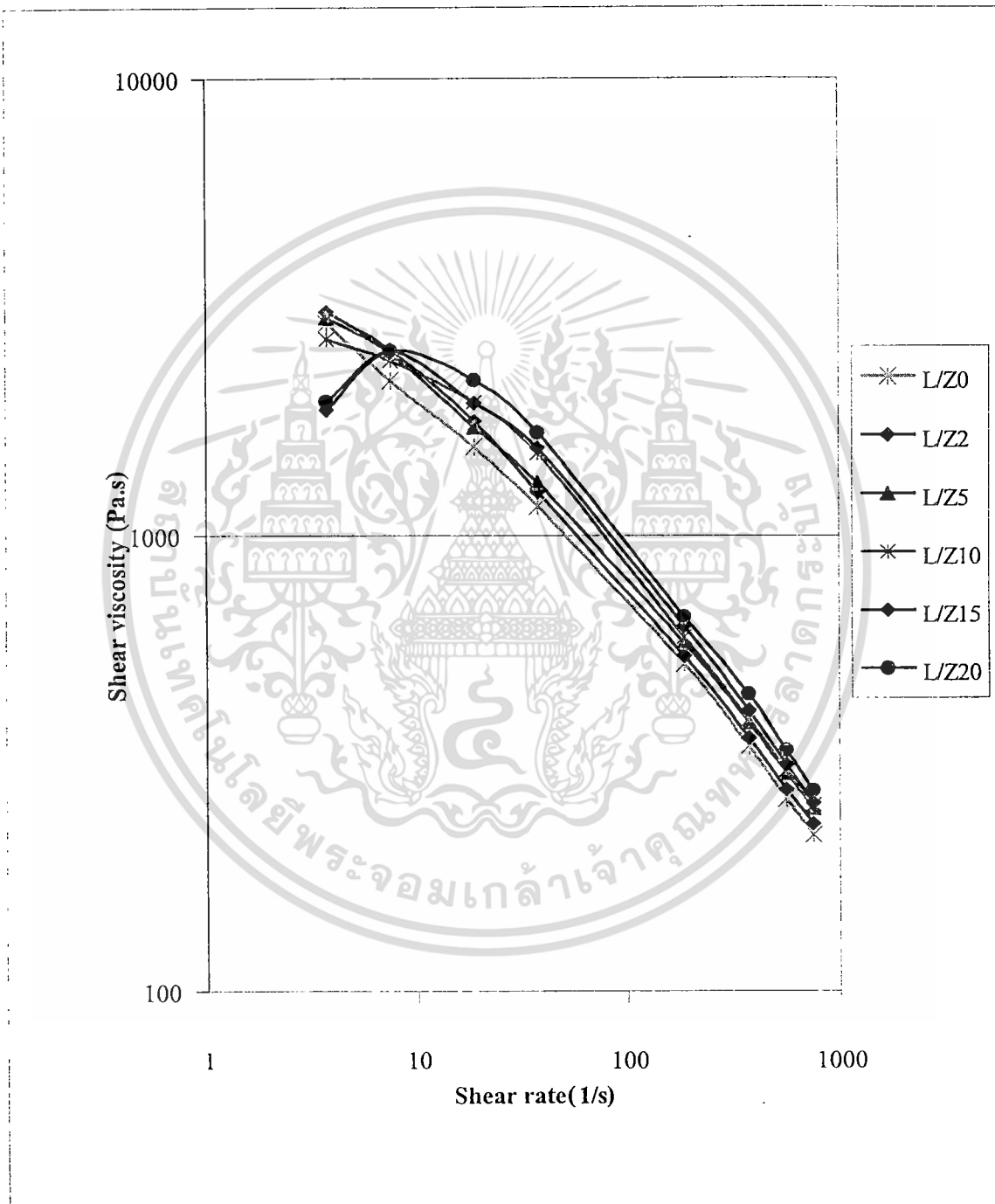
จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่ออัตราความเครียดเฉือนเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อให้แรงเฉือนแก่พอลิเมอร์ตัวอย่าง สายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดการคลายตัวทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันน้อยลง สายโซ่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและมีการจัดเรียงตัวตามแนวแรงมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวสามารถไหลได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราความเครียดเฉือนจึงทำให้ความหนืดเฉือนมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาปริมาณของซีโอไลต์เอที่เติมลงในพอลิเมอร์ พบว่าพอลิเมอร์ตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ สูงๆ (10-20%) จะมีค่าความหนืดเฉือนมากกว่าพอลิเมอร์ตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ น้อยๆ (2-5%) เนื่องมาจากซีโอไลต์เอเป็นของแข็งด้านการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ช้าลง เมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มมากขึ้นค่าความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเฉือนระหว่างพอลิเมอร์ตัวอย่างสูตรที่เติมซีโอไลต์เอ (10-20%) ที่ได้รับและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก (1% โดยน้ำหนัก) พบว่าการใช้กรดสเตียริกทำให้พอลิเมอร์ตัวอย่างมีความหนืดเฉือนน้อยกว่าไม่ใช้ เนื่องจากกรดสเตียริกช่วยให้ซีโอ

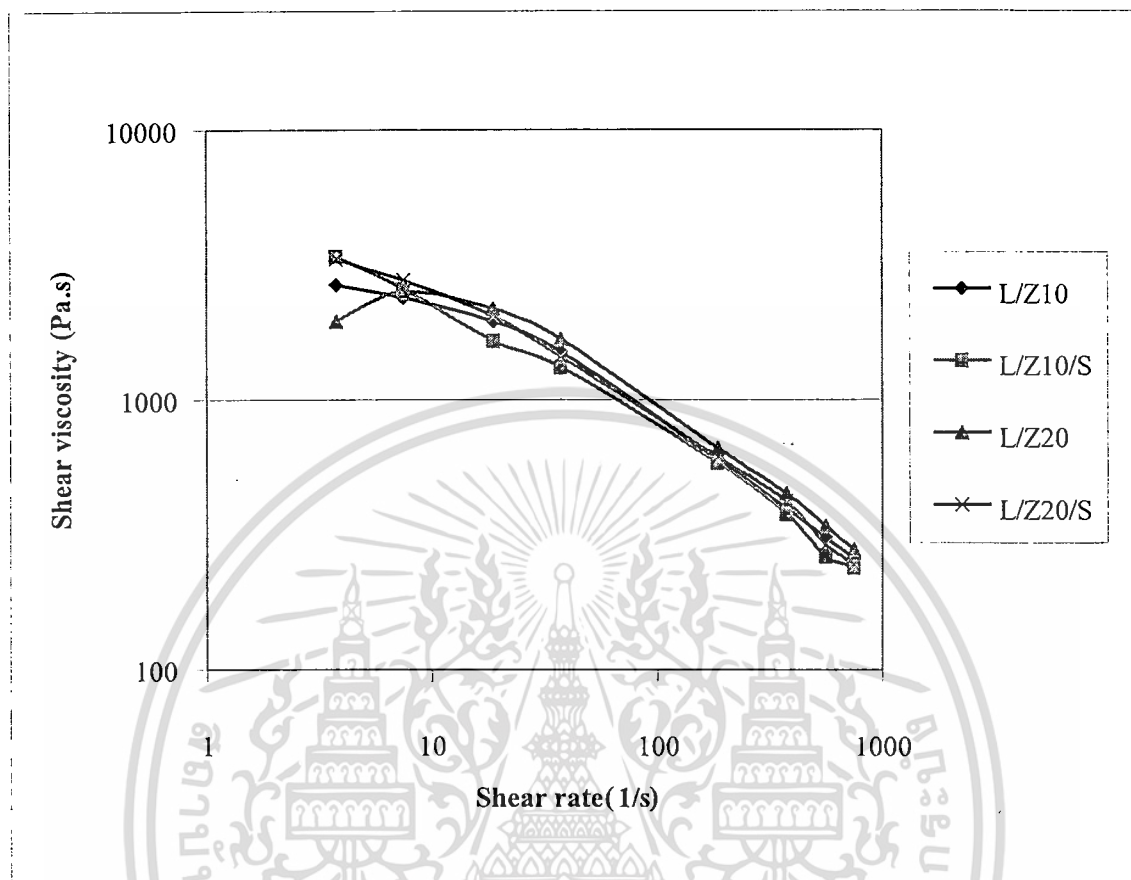
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไลต์เอสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ ลดการขัดขวางการเคลื่อนของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลได้ดีขึ้น ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างเมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ซีโอล์ด เอ ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้เคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

4.2.1 ผลการทดสอบหาปริมาณที่แท้จริงของซีโอล์ดเอในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

ปริมาณที่แท้จริงของซีโอล์ดเอในแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด (ดังตารางที่ 4.2) เนื่องจากในขั้นตอนการผสมเมื่อเท LDPE ที่ผสมซีโอล์ดเอลงใน Hopper ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว LDPE และซีโอล์ดเอบางส่วนจะเคลื่อนที่ตามแรงขับของสกรูและเกิดการหลอมเหลว แต่จะมีอนุภาคของซีโอล์ดเอบางส่วนตกลงมาที่ส่วนล่างของ Hopper (เพราะซีโอล์ดเอมีความหนาแน่นมากกว่า LDPE) ทำให้ในขั้นตอนการผสมจะเหลือซีโอล์ดเอ บางส่วนติดค้างอยู่ในร่องสกรู ทำให้แผ่นฟิล์มตัวอย่างมีปริมาณของซีโอล์ดเอที่แท้จริงน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้เล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณที่แท้จริงของซีโอไลต์ เอ ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ปริมาณซีโอไลต์ เอ ที่กำหนด (% w/w)	ปริมาณซีโอไลต์ เอ ที่พบ (% w/w)
L/Z0	0.0	0.0
L/Z2	2.0	2.0
L/Z5	5.0	2.4
L/Z10	10.0	8.8
L/Z10/S	10.0	9.5
L/Z15	15.0	13.7
L/Z20	20.0	17.6
L/Z20/S	20.0	17.7

4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิในการหลอมผลึกของแผ่นฟิล์มตัวอย่างค่อนข้างจะคงที่ แต่เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์ เอ เพิ่มขึ้น แสดงซีโอไลต์เอทำให้เกิดนิวเคลียส จำนวนมากก่อให้เกิดผลึกจำนวนมากในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่น ฟิล์ม

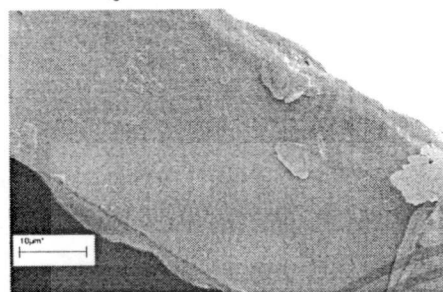
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	อุณหภูมิในการหลอมผลึก(T_m) (°C)	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
L/Z0	112	35
L/Z2	113	36
L/Z5	112	42
L/Z10	111	39
L/Z10/S	113	40
L/Z15	112	44
L/Z20	112	44
L/Z20/S	111	42

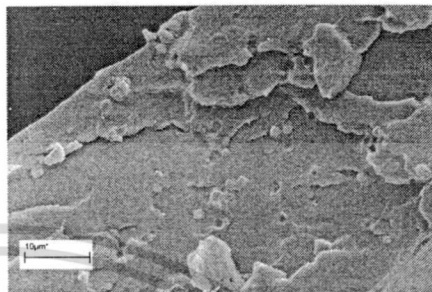
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์ในแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

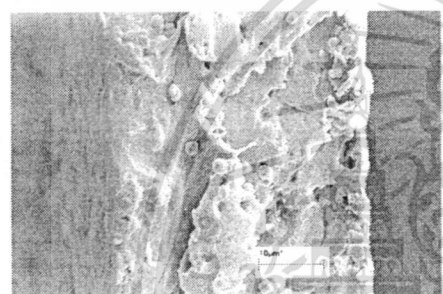
ลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ในแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยใช้ SEM ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



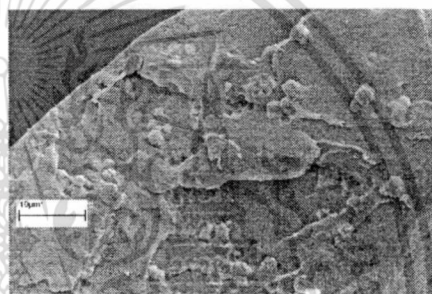
(a) L/Z0



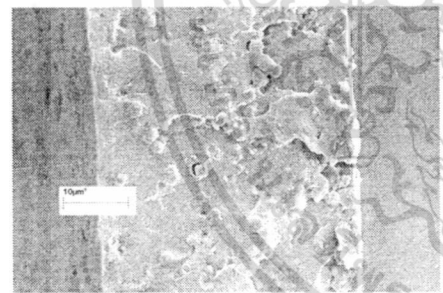
(b) L/Z2



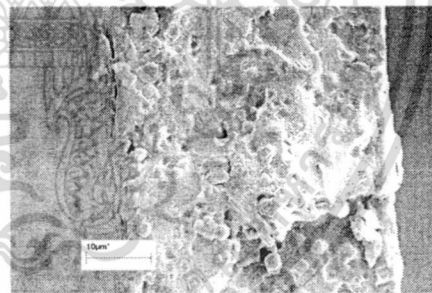
(c) L/Z5



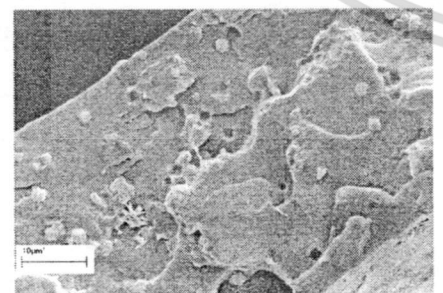
(d) L/Z10



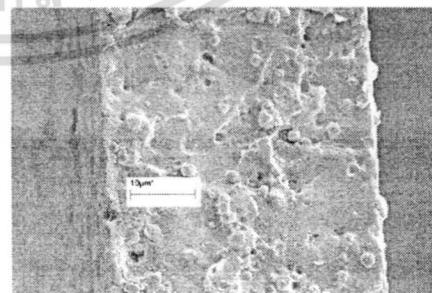
(e) L/Z15



(f) L/Z20



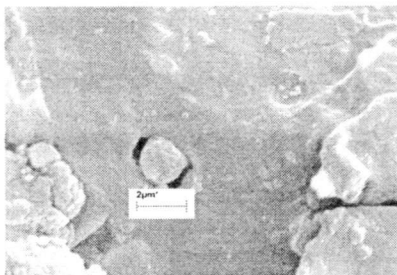
(g) L/Z10/S



(h) L/Z20/S

รูปที่ 4.3 พื้นผิวที่แตกหักของแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรต่าง ๆ ที่กำลังการขยายที่ 1,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 พื้นผิวที่แตกหักของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง (L/Z10) แสดงช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์และซีโอไลต์เอที่กำลังการขยายที่ 5,000 เท่า

จากรูปที่ 4.3 (a)-(h) พบว่าในแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ ในปริมาณน้อยๆ (2 และ 5%) ซีโอไลต์เอส่วนใหญ่มีการแตกตัวเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ (Good dispersion) และสามารถกระจายตัวได้ดี (Good distribution) ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ส่วนในแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอสูงๆ (10-20%) ซีโอไลต์เอมีการกระจายตัวได้ดีพอควร (Good distribution) แต่มีแนวโน้มที่จะรวมตัวจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพิ่มมากขึ้น (Poor dispersion) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติความมีขั้วของซีโอไลต์เอทำให้สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่าย เมื่อมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติความหนืดเฉือนพบว่า ค่าความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์ เอ เพิ่มขึ้น ทำให้การผสมและการกระจายตัวของซีโอไลต์เป็นไปได้ยากมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับภาพ SEM ส่วนการใช้กรดเตตระอิกช่วยทำให้ซีโอไลต์เอกระจายตัวดีขึ้น (ดังรูปที่ 4.3 (d), (f), (g) และ (h)) ทั้งนี้เนื่องจากกรดเตตระอิกช่วยลดความแตกต่างระหว่างขั้วของซีโอไลต์เอและพอลิเมอร์เมทริกซ์

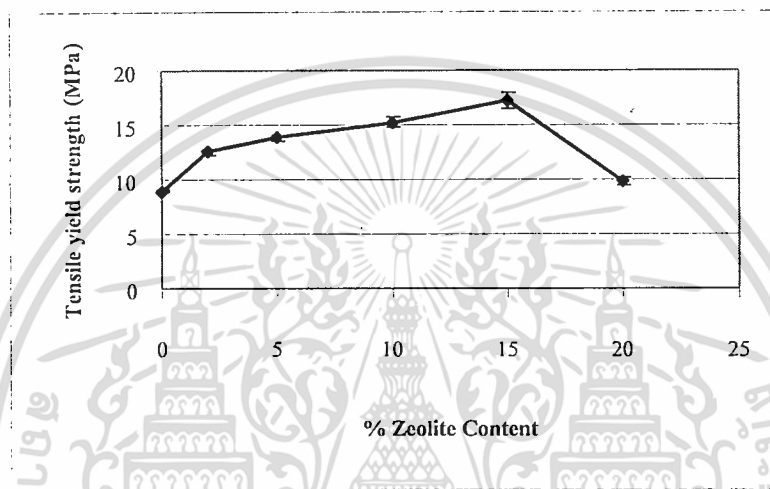
รูปที่ 4.4 แสดงช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์เมทริกซ์และซีโอไลต์เอ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเคมีกับพื้นผิวหน้าของซีโอไลต์เอ เมื่อพอลิเมอร์เมทริกซ์เกิดการเย็นตัวเปลี่ยนจากของไหลกลายเป็นของแข็งจะเกิดการหดตัวทำให้มีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์เมทริกซ์และซีโอไลต์เอ

4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

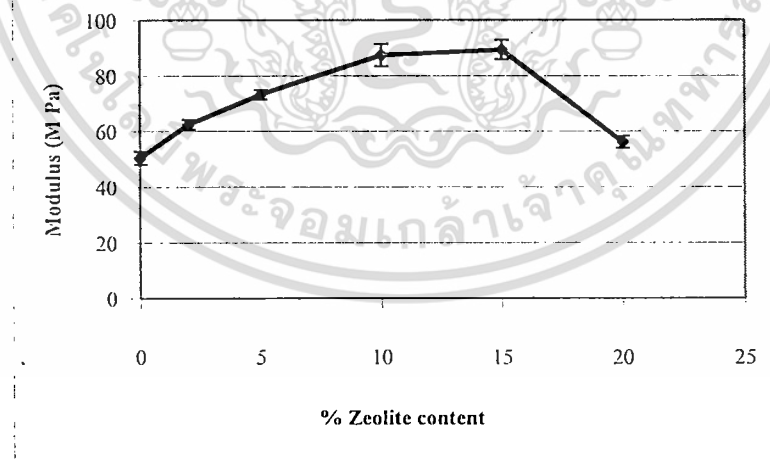
ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง (รูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้นและซีโอไลต์เอสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ (รูปที่ 4.3) เมื่อให้แรงดึงแก่แผ่นฟิล์ม ตัวอย่างผลึกของแผ่นฟิล์มและสายโซ่พอลิเมอร์จะรับแรงและถ่ายโอนแรงไปยังซีโอไลต์เอ ทำให้แผ่นฟิล์มตัวอย่างสามารถต้านทานแรงดึงได้มากขึ้น แต่ที่ปริมาณการเติมซีโอไลต์เอมากๆ (20%) พบว่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงดึงและมอดุลัสมีค่าลดลง (แต่ก็ยังมากกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ผลิตจาก LDPE ธรรมดา) เนื่องจากปริมาณซีโอไลต์เอที่มากขึ้นไปมีแนวโน้มที่จะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง LDPE และซีโอไลต์เอลดลงและอาจเกิดมีช่องว่างระหว่างอนุภาคของซีโอไลต์เอในกลุ่มก้อนของซีโอไลต์เอด้วยกัน ซึ่งจะกลายเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มตัวอย่างลดลง

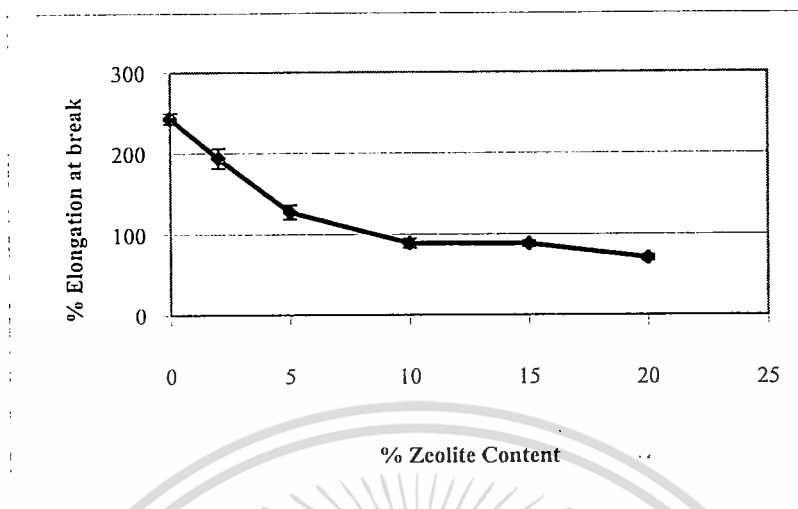


รูปที่ 4.5 ความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น

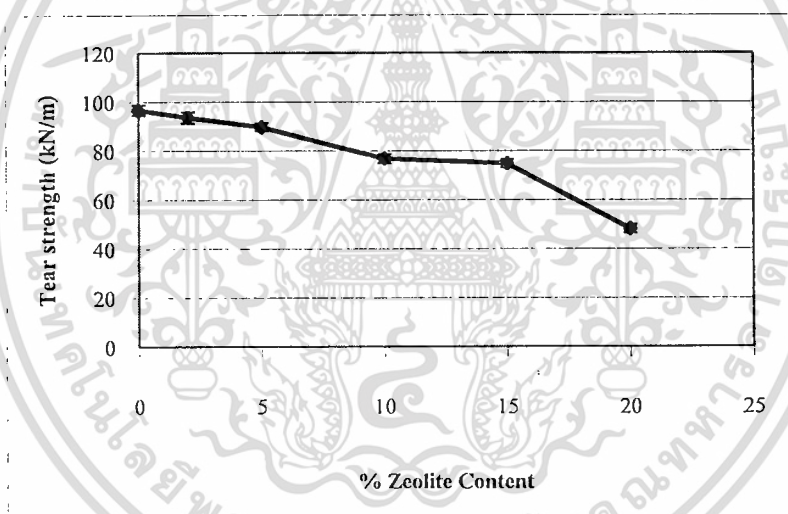


รูปที่ 4.6 มอดุลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ความทนทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น

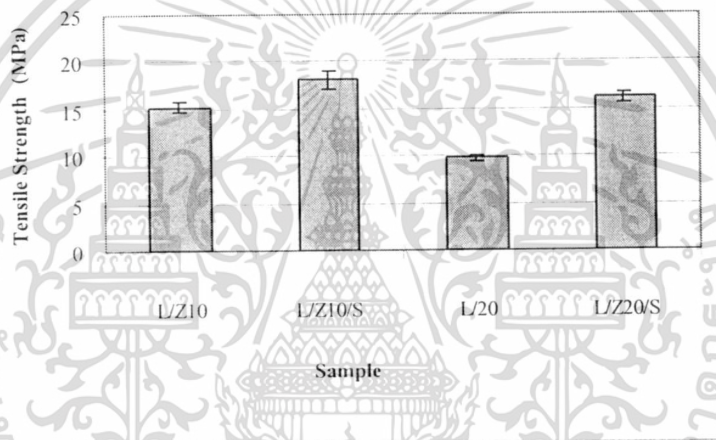
เมื่อพิจารณาร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (รูปที่ 4.7) ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างพบว่ามีความโน้มลดลงเมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์เอเป็นอนุภาคของแข็งสามารถขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ความสามารถในการยืดออกของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง เมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้นความสามารถในการยืดตัวออกก็ยิ่งน้อยลง

ผลการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง (รูปที่ 4.8) จากการตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนกซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นสะสม (Stress concentration) ที่บริเวณมุมรอยเว้าของชิ้นงาน เมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดได้ง่ายตรงบริเวณรอยเว้านี้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณซีโอไลต์เอลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์จึงเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มปริมาณอนุภาคของแข็งในชิ้นงาน และ

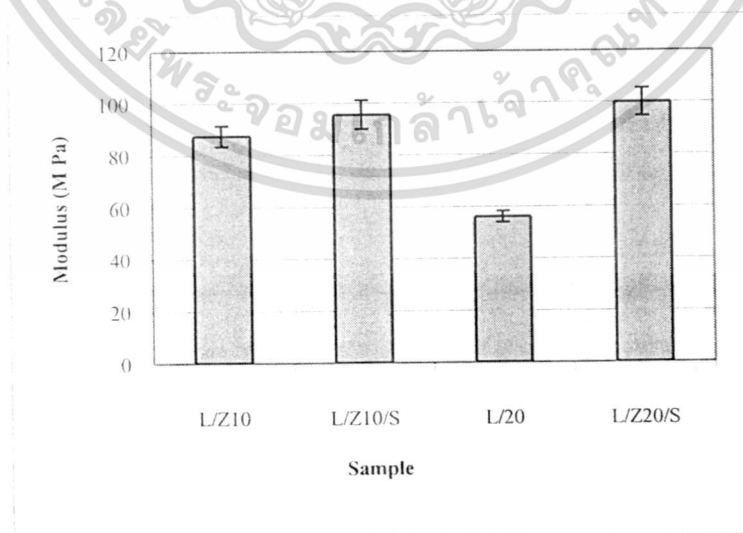
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการเพิ่มจุดสะสมความเค้นบนชิ้นงาน จึงทำให้ความแข็งแรงลักษณะลดลงเมื่อปริมาณซีโอโลต์เอเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง มอดุลัส ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความทนทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอโลต์เอเท่ากัน(10 และ 20%) (ดังรูปที่ 4.9-4.12) พบว่า ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความทนทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีโอโลต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก มีค่าสูงกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีโอโลต์เอไม่ได้รับการเคลือบผิว เนื่องจากกรดสเตียริกจะช่วยลดความแตกต่างระหว่างผิวของ LDPE และซีโอโลต์เอ ทำให้ซีโอโลต์เอสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์

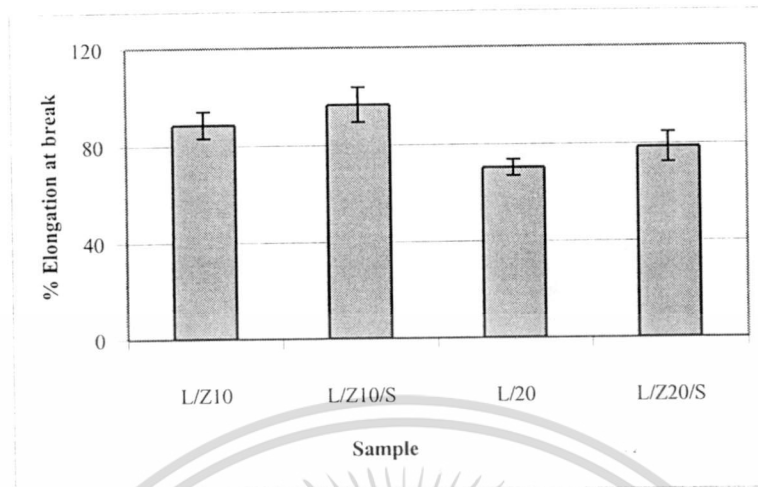


รูปที่ 4.9 ความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีโอโลต์เอ ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก

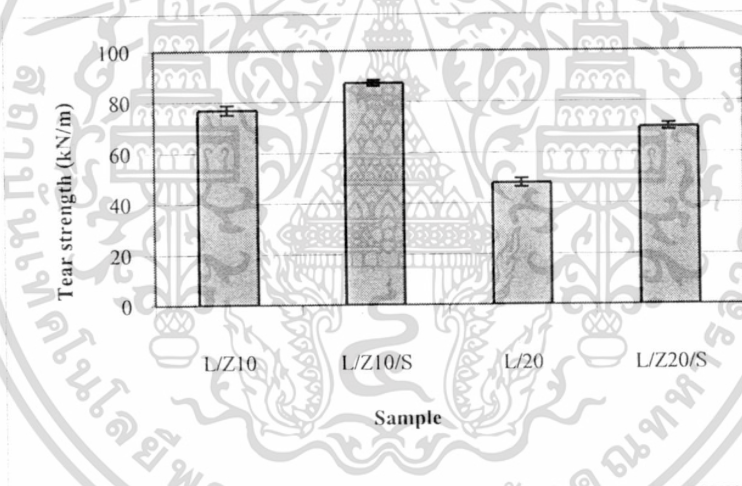


รูปที่ 4.10 มอดุลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีโอโลต์เอ ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีไอไลต์ เอ ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดเตียริก



รูปที่ 4.12 ความทนทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ซีไอไลต์ เอ ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดเตียริก

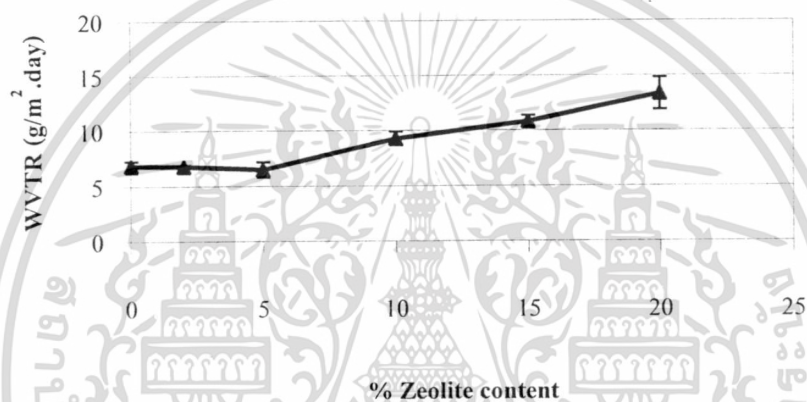
4.2.5 ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.13 เมื่อปริมาณการเติมซีไอไลต์เอเพิ่มขึ้น (0-20%) พบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีไอไลต์ เอ 20% เนื่องจากซีไอไลต์เอเป็นสารที่มีรูพรุนมีสมบัติดูดซับน้ำ เมื่อเติมซีไอไลต์เอลงในแผ่นฟิล์มตัวอย่างทำให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำดีขึ้น ซึ่งความเป็นไปได้ที่ไอน้ำจะสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มตัวอย่างอาจเกิดจากสาเหตุ 3 ประการดังนี้

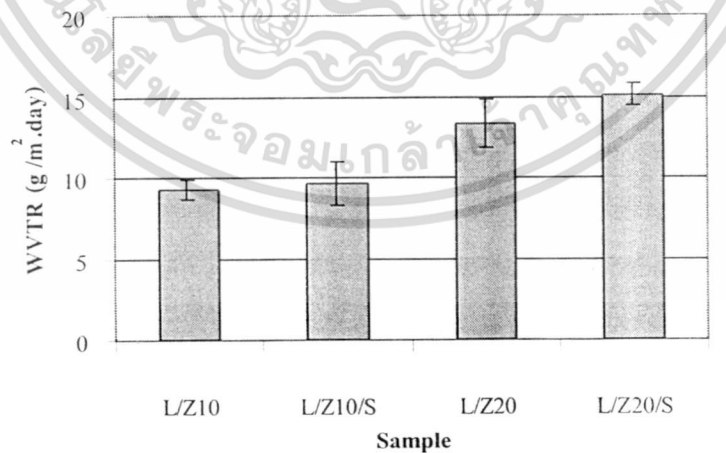
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใอน้ำสามารถซึมผ่านวฎภาคอสัณฐานของพอลิเมอร้
2. ใอน้ำสามารถซึมผ่านรอยต่อระหว่างวฎภาคของ LDPE กับ ซีโอไลต์เอ
3. ใอน้ำสามารถซึมผ่านรูพรุนของซีโอไลต์เอ

คั้งนั้นเมื่อปริมาณการเติมซีโอไลต์เอ ในแผ่นฟิล์มตัวอย่างเพิ่มขึ้นจึงเปรียบเทียบเหมือนเป็นการเพิ่มรอยต่อระหว่างวฎภาคและรูพรุนของซีโอไลต์เอ ให้มีจำนวนมากขึ้น ใอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มตัวอย่างได้มากขึ้น คั้งนั้น WVTR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.13 WVTR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่มีปริมาณซีโอไลต์เอต่างกัน



รูปที่ 4.14 WVTR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่ซีโอไลต์เอได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบ WVTR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอโลสต์เอเท่ากัน(ที่ 10 และ 20%) พบว่าที่ปริมาณการเติมซีโอโลสต์เอ 10% แผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่ซีโอโลสต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกมี WVTR ใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่ซีโอโลสต์เอไม่ได้รับการเคลือบผิว แม้ว่ากรดสเตียริกจะช่วยให้การกระจายตัวดีขึ้นบ้างแต่เพราะกรดสเตียริกเป็นกรดไขมันมีสมบัติไม่ชอบน้ำ เมื่อนำมาเคลือบผิวทำให้ซีโอโลสต์เอมีสมบัติชอบน้ำน้อยลง และทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวกั้นทำให้น้ำซึมผ่านรูพรุนของซีโอโลสต์เอได้ยากขึ้น ส่วนแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอโลสต์เอ 20% พบว่า WVTR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่ซีโอโลสต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกมีค่ามากกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่ซีโอโลสต์เอที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการเติมซีโอโลสต์เอในปริมาณ 20% เป็นปริมาณที่ค่อนข้างมาก ทำให้การกระจายตัวของซีโอโลสต์เอเป็นไปได้ยาก และซีโอโลสต์เอมีโอกาสรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งจะเป็นการลดพื้นที่ผิวของซีโอโลสต์เอ ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอโลสต์เอลดลง จำนวนช่องว่างระหว่างโมเลกุลของ LDPE กับ ซีโอโลสต์เอ ก็ลดลงด้วย การใช้กรดสเตียริกช่วยให้ซีโอโลสต์เอมีการกระจายตัวดี และเป็นการเพิ่มช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์กับซีโอโลสต์เอด้วย ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มตัวอย่างมากขึ้น

4.2.6 ผลการทดสอบการเก็บรักษาผัก

ในขั้นตอนการทดสอบได้เลือกมะเขือเทศพันธุ์สีดามาทำการทดสอบการเก็บรักษา เนื่องจาก มะเขือเทศสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น สี ความแน่นของผลมะเขือเทศ น้ำหนักที่ลดลง และปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการคายน้ำของมะเขือเทศ



รูปที่ 4.15 มะเขือเทศหลังการเก็บรักษาภายในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลสต์เอ ในปริมาณ 10%- 20% เป็นระยะเวลา 21 วัน

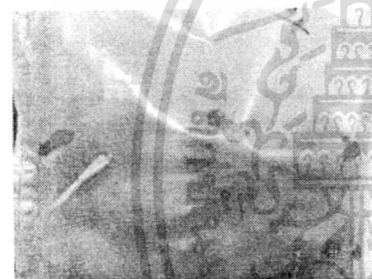
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่ไม่มีซีโอโลไซด์เอ



รูปที่ 4.17 มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณ 10%

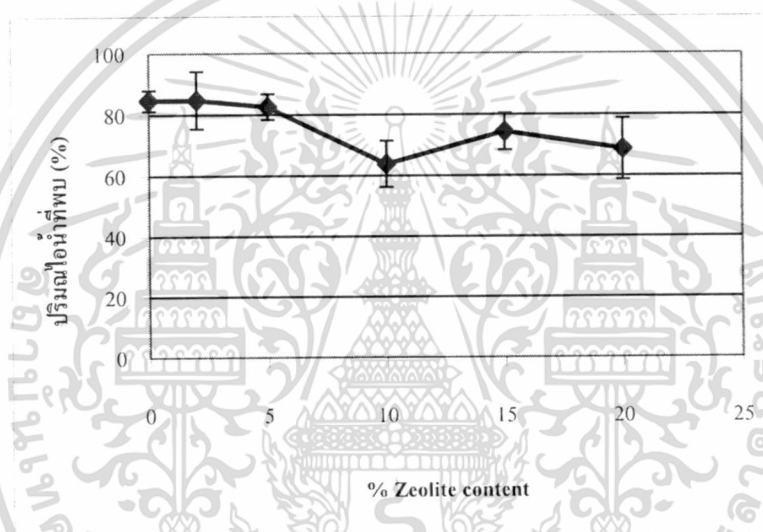


รูปที่ 4.18 มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณ 20%

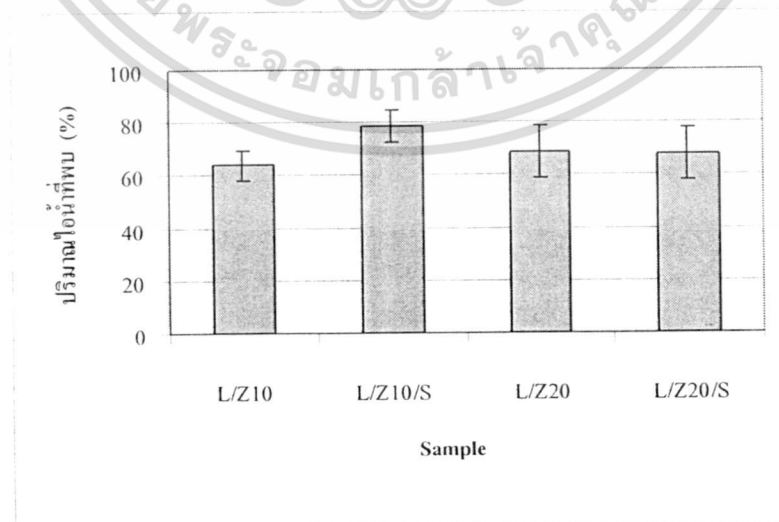
จากการทดสอบเก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่ามะเขือเทศมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยน้ำหนักลดลง เนื่องจากมะเขือเทศยังคงมีการหายใจและคายน้ำออกมา มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่ไม่มีซีโอโลไซด์เอ และ/หรือฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณน้อยๆ (2 และ 5%) จะมีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเหลืองและสีชมพูมาเป็นสีแดงเข้มแสดงถึงภาวะการสุกมากขึ้น ผลมะเขือเทศจะนิ่มและเน่าเสียมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวมะเขือเทศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่พบในมะเขือเทศที่เก็บรักษาในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณมากๆ (10-20%) โดยมะเขือเทศดังกล่าวมีการเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย ผลมะเขือเทศแข็งไม่สุก ไม่มีการเน่าเสียหรือมีเชื้อราเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีน้ำที่พบภายในถุงบรรจุภัณฑ์ แสดงผลดังรูปที่ 4.19

จากรูปที่ 4.19 ถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่ไม่มีซีโอโลไซด์เอ และฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณน้อยๆ (2 และ 5%) จะมีปริมาณไอน้ำที่พบมากกว่าถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณมากๆ (10-20%) ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มสูตรที่ไม่มีซีโอโลไซด์เอ และฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอโลไซด์เอในปริมาณน้อยๆ (2 และ 5%) มีความเอกซอร์มเป็นเอกซอร์มที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถในการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอไลต์เอในปริมาณมากๆ (10-20%) (จากหัวข้อ 4.3.5 การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ) จึงทำให้มีไอน้ำเกาะที่พื้นผิวของถุงบรรจุภัณฑ์เป็นจำนวนมากและไอน้ำจะมีการรวมตัวกันเป็นหยดน้ำที่มีขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.16) ซึ่งแตกต่างจากลักษณะของไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากฟิล์มสูตรที่มีการเติมซีโอไลต์เอ ในปริมาณมากๆ (10-20%) เนื่องจากไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ดี ดังนั้นไอน้ำที่พบจึงมีขนาดเล็กและกระจายตัวเกาะทั่วพื้นที่ผิวของถุงบรรจุภัณฑ์ (รูปที่ 4.17-4.18) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากแผ่นฟิล์มสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเท่ากัน (ที่ 10 และ 20%) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 ปริมาณไอน้ำที่พบบนพื้นผิวภายในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆ



รูปที่ 4.20 ปริมาณไอน้ำที่พบบนพื้นผิวภายในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแผ่นฟิล์มสูตรที่ซีโอไลต์ เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับการเคลือบผิวและไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตอร์ริกให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมจากแผ่นฟิล์มสุตรที่มีปริมาณการเติมซีโอโลต์เอเท่ากัน(ที่ 10 และ 20%) พบว่าผลการทดสอบที่ได้คล้ายกับผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ โดยที่ปริมาณการเติมซีโอโลต์เอ 10% ปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก มีมากกว่าปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว แม้ว่าซีโอโลต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกจะสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ แต่กรดสเตียริกได้ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ง่าย ทำให้เกิดการสะสมของไอน้ำภายในถุงบรรจุภัณฑ์มากขึ้น แต่ในแผ่นฟิล์มสุตรที่มีปริมาณการเติมซีโอโลต์เอ 20% กลับให้ผลที่แตกต่างคือ ปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกมีค่าใกล้เคียงกับ ปริมาณไอน้ำที่พบในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอไม่ได้รับการเคลือบผิว เนื่องจากที่ปริมาณการเติมซีโอโลต์เอ 20% เป็นปริมาณที่ค่อนข้างมากและ ซีโอโลต์เอมีแนวโน้มที่จะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน (รูปที่ 4.3 (f)) พื้นที่ผิวสัมผัสของซีโอโลต์เอลดลง ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริกจึงลดลง มีผลให้เกิดไอน้ำสะสมที่บริเวณผิวของถุงบรรจุภัณฑ์มากขึ้น ส่วนแผ่นฟิล์มสุตรที่ซีโอโลต์เอ ได้รับการเคลือบผิวนั้นแม้ว่าซีโอโลต์เอจะสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ (รูปที่ 4.3 (h)) ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับซีโอโลต์เอก็ตาม แต่กรดสเตียริกจะกั้นไม่ให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้จึงเกิดการสะสมของไอน้ำที่บริเวณผิวของถุงบรรจุภัณฑ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเป็นการนำซีโอไลต์เอ ที่มีสมบัติดูดซับน้ำมาพัฒนาความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสด จากการทดสอบสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้คือ

1. พอลิเมอร์ตัวอย่างมีความหนืดเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์เอ เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ตัวอย่างที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอเท่ากัน (ที่ 10 และ 20%) พบว่าพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ซีโอไลต์เอที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกรดสเดยริกจะมีความหนืดเหนียวน้อยกว่าพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ซีโอไลต์เอไม่ได้รับการเคลือบผิว
2. แผ่นฟิล์มตัวอย่างสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอในปริมาณที่น้อยๆ (2 และ 5%) การกระจายตัวของซีโอไลต์เอโดยส่วนใหญ่อยู่เป็นอนุภาคเดี่ยวๆ และสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ แต่ในสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์เอสูงๆ (ที่ 10-20%) ซีโอไลต์เอ มีการกระจายตัวได้ดีพอควร แต่มีแนวโน้มที่จะรวมตัวจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพิ่มมากขึ้น และกรดสเดยริกช่วยให้ซีโอไลต์เอมีการกระจายตัวดีขึ้น
3. ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้นจนถึง 15% แต่ที่ซีโอไลต์เอ 20% พบว่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีค่าลดลง ส่วนร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น การใช้กรดสเดยริกช่วยให้สมบัติเชิงกลที่ศึกษามีค่าเพิ่มขึ้น
4. อัตราการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเติมซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น การใช้กรดสเดยริกทำให้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ตัวอย่างที่มีซีโอไลต์ 10% มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำลดลง แต่ที่การเติมซีโอไลต์เอ 20% การเคลือบผิวช่วยให้การกระจายตัวของซีโอไลต์ดีขึ้น ทำให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มสูงขึ้น
5. จากการทดสอบเก็บรักษามะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ตัวอย่างพบว่า ถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์สูงๆ (ที่ 10-20%) จะมีปริมาณไอน้ำในถุงน้อยกว่าและมะเขือเทศที่เก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพน้อยกว่าในถุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มสูตรที่มีปริมาณการเติมซีโอไลต์น้อยๆ (ที่ 2-5%)

เอกสารอ้างอิง

1. ปุ่น คงเจริญเกียรติ, สมพร คงเจริญเกียรติ. บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์หิรัญเสง จำกัด. 2541.
2. Shewfelt R.L., Bruckner B., Editors. **Fruit and Vegetable Quality**. Pennsylvania : Technomic Publishing Company, Inc. 2000.
3. งามทิพย์ ภู่วโรดม. ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2537.
4. ดนัย บุญยเกียรติ, นิธิยา รัตนพานนท์. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักผลและไม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไอเดียนสโตร. 2540.
5. Paulos P.J., Edwin L.T. "Effect of Postdraw on the Permeability of Gases in Blown Polyethylene Film." *J. Appl. Polym.Sci.* vol.25, 1980. pp. 15-23.
6. Chinsirikul W. "Processing of liquid Crystal Polymer Reinforce Polyethylene Film." *Thai-Japan Polymer Processing Workshop 2001.* pp. 61-70.
7. Anderson H.S. "Controlled atmosphere package." U.S. patent. no.4842875. 1989.
8. Rooney M.L., Editor. **Active Food Packaging**. 1 st Ed. Glasgow : Blackie Academic & Professional. 1995.
9. สุมิตรา จรสโรจน์กุล. "บรรจุภัณฑ์ยืดอายุผักและผลไม้." เทคโนโลยีวัสดุ. ฉบับที่ 19, เมษายน-มิถุนายน 2543. หน้า 60-61.
10. Artes F., Martinez J.A. "Quality of cauliflower as influenced by film during shipment." *Eur. Food Res. Techno.* vol. 209, 1999. pp. 330-334.
11. Artes F., Vallejo F. and Martinez J.A. "Quality of broccoli as influenced by film during shipment." *Eur. Food Res. Techno.* vol. 213, 2001. pp. 480-483.
12. Habibunsa R.B., Prasad R. and Shivaiah K.M. "Storage behaviour of minimally processed pumpkin (Cucurbita maxima) under modified atmosphere packaging condition." *Eur. Food Res. Techno.* vol. 212, 2001. pp. 165-169.
13. Mangata J.I., Boutevin B. and Bauduin G. "Bilayer Film composed of wheat gluten and functionalized polyethylene: Permeability and other physical properties." *Polymer Bulletin.* vol.43, mo.4/5, 1999. pp. 441-448.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Ayranci E., Tunc S. "Cellulose-based edible Film and their effect on fresh beans and strawberries." *Z. Lrbensm Unter Forsch A.* vol. 205, 1997. pp. 470-473.
15. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. โพลีเมอร์เชิงพาณิชย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์. 2526.
16. Bert A.S. **Plastic materials and Processing.** New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1996.
17. Jenkins W.A., Harrington P.J. **Packaging Food with Plastic.** Pennsylvania : Technomic Publishing Company, Inc. 1991.
18. วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีพลาสติก. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนาครเหนือ. 2541
19. Krupa I., Luyt A.S. " Thermal and mechanical properties of extruded LLDPE/wax blends." *Polymer Degradation and stability.* vol. 73, 2001. pp. 157-161.
20. Nawang W., Danjaji I.D., Ishiaku U.S., Ismail H., Mohd Ishak Z.A. " Mechanical properties of sago starch-filled linear lo density polyethylene (LLDPE) composites." *Polymer Testing.* vol. 20, 2001. pp. 167-172.
21. Sangmin Kwon, Kwang J. Kim, Hyun Kim, Patit P. Kundu, Tae J. Kim, Young K. Lee, Byung H. Lee, Soonja Choe. "Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composite." *Polymer.* vol. 43, 2002. pp. 6901-6909.
22. Jeanette Gonzalez, Carmen Albano, Miren Ichazo, Berenice Diaz. " Effect of coupling agents on mechanical and morphological behavior of PP/HDPE blend with two different CaCO₃." *Eur. Polymer J.* vol. 38, 2002. pp. 2465-2475.
23. Silva da A.L.N., Rocha M.C.G., Moraes M.A.R., Valente C.A.R., Coutinho F.M.B. "Mechaincal and Rheological properties of composites based on polyolefins and mineral additives." *Polymer Testing.* vol. 21, 2002. pp. 57-60.
24. Chi-Ming Chan, Jingshen Wu, Jian-Xiong Li, Ying-Kit Cheung. "Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites." *Polymer.* vol. 43, 2002. pp. 2981-2992.
25. Joao Carlos, Miguez Suarez, Fernando M.B. Coutinbo, Thais H. Sydenstricker. "SEM studies of tensile fracture surface of polypropylene-sawdust composite." *Polymer Testing.* vol. 22, 2003. pp. 819-824

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. Maged A. Osman, Ayman Atallah, Ulrich W. Suter. " Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE-Calcium carbonate composites." *Polymer*. vol. 45, 2004. pp. 1177-1183.
27. Ning Chen, Chaoying Wan, Yong Zhang, Yinxi Zhang. " Effect of nano-CaCO₃ on mechanical properties of PVC and PVC/Blendex blend." *Polymer Testing*. vol. 23, 2004. pp.169-174.
28. Sevgi Ulutan, Devrim Balkose. " Diffusivity, Solubility and permeability of water vapor in flexible PVC/Silica composite membranes." *J. membrane science*. vol. 115, 1996. pp. 217-224.
29. Hale W.R., Dohrer K.K., Tant M.R., Sand I.D. "A diffusion model for water vapor transmission through microporous polyethylene/CaCO₃ films." *Colloids and surface*. vol. 187-188, 2001. pp. 483-491.
30. Erol Ayranci, Sibel Tunc. "The effect of fatty acid content on water vapour and carbon dioxide transmissions of cellulose-based edible films." *Food Chemistry*. vol. 72, 2001, pp. 231-236.
31. Nazan K. Turhan, Ferhunde Sahbaz. "Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films" *J. Food Engineer*. vol. 61, 2004. pp. 459-466.
32. Gates C.B. **Catalytic Chemistry**. Toronto : Wiley & Sons. 1992.
33. <http://www.iza-sc.ctvz.ch/IZA-SC/Atlas/data/LTA.html>.
34. กังสดาล บัวบุตรและณัฐนิชา ศรีเจียรนัย. "สมบัติการไหล สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมซีโอไลด์โซเดียม เอ." โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544.
35. Tanyapanyachon S. "The Preparation of Zeolite A Composite membrane for Ethanol/ethylene/ water separation." M.S. Thesis of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2001.
36. <http://www.pqcorp.com>.
37. Okamoto K. "Membrane for liquid mixture separation." U.S.patent no.5554286. 1996.

38. Young S.Y. "Liquid-phase catalytic degradation of Polyethylene wax over silica-modified zeolite catalysts." *J. Polymer degradation and Stability*. vol. 72, 2001. pp. 329-336.
39. Lee J.Y. "Effect of Natural Zeolite on the Mechanical Properties of Epoxy Matrix." *Pol. Eng. And Sci*. vol. 39, no. 10, 1999. pp. 1993-1997.
40. สุภรัตน์ รักชลธี. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
41. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. เทคโนโลยีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
42. Soroka W. **Fundamentals of Packaging Technology**. Virginia : Institute of Packaging Professional. 1995.
43. Piringer B.G., Baner A.L. **Plastic Packaging Materials for Food**. Weinheim : Wiley-VCH. 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้