



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อิทธิพลของกระบวนการผสมต่อการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS
Effect of mixing process on ethylene permeation of
LLDPE/SEBS film

นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) อิทธิพลของกระบวนการผสมต่อการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Effect of mixing process on ethylene permeation of LLDPE/SEBS film

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) และบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในงานบรรจุภัณฑ์ โดยศึกษาผลของกระบวนการและความเร็วในการผสม ผลขององค์ประกอบของฟิล์ม เช่น อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม และเกรดของ SEBS รวมทั้งศึกษาการซึมผ่านของก๊าซชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ โดยเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่หรือเครื่องผสมแบบปิด จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัด นำฟิล์มที่ได้มาศึกษาสมบัติการไหล สัมฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ และสมบัติเชิงกล จากผลการทดสอบพบว่า การเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่หรือเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิและความเร็วในการผสมเท่ากัน (190°C, 60 rpm) มีสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านของก๊าซใกล้เคียงกัน การลดความเร็วในการผสม (40-80 rpm) ในเครื่องผสมแบบปิด ทำให้ขนาดของวัฏภาคกระจาย SEBS ใหญ่ขึ้น และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณ SEBS ทำให้ขนาดของวัฏภาค SEBS มีแนวโน้มใหญ่ขึ้น และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น ค่ามอดูลัสของยัง ร้อยละการยืด ฌ จุดขาด และความเค้น ฌ จุดครากของฟิล์มลดลง แต่ความแข็งแรงดึง ฌ จุดขาดสูงขึ้น ขนาดของวัฏภาค SEBS ในพอลิเมอร์ผสม LL72S28 (G1657) มีขนาดใหญ่กว่าใน LL72S28 (G1652) ส่งผลให้ฟิล์มมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้นอย่างชัดเจนจาก 8,207 เป็น 28,411 cm³/m².day.atm ในแง่ของงานบรรจุภัณฑ์พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในงานวิจัยนี้ จึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาผลิตผลสด

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น, บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน, การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน และฟิล์มบรรจุภัณฑ์

Research Title: Effect of mixing process on ethylene permeation of LLDPE/SEBS film

Researcher: Ms. Chonlada Ritvirulh

Faculty: Science **Department:** Chemistry

ABSTRACT

In this research linear low density polyethylene (LLDPE)/styrene-ethylene/butylene-styrene (SEBS) blend films were prepared for packaging films with improved ethylene permeability. The factors affecting properties of the LLDPE/SEBS blend films, such as processing technique and film formulation, i.e., blend composition, grade of and SEBS, were investigated. In addition, gas permeability of the packaging films was carried out. The blends were prepared using either a twin-screw extruder or an internal mixer. The films were then fabricated using a compression molding, and the film properties including rheological, morphological, thermal, gas permeability and mechanical properties were examined. It was found that, using the same mixing conditions (190°C, 60 rpm) for the twin-screw extruder or the internal mixer, the obtained films showed insignificant effect on mechanical properties and gas permeability. However, a decrease in mixing speeds (40-80 rpm) in the internal mixer resulted in enlarged SEBS dispersed phase size, leading to higher ethylene permeability. An increase in SEBS content generally increased SEBS dispersed phase size and hence ethylene permeability. Young's modulus, elongation at break and stress at yield of the films were decreased with increasing SEBS contents, while tensile strength at break of the film was increased. The dispersed size of SEBS in LL72S28 (G1657) was larger than that of LL72S28 (G1652). Accordingly, the ethylene permeability of the former was largely enhanced from 8,207 to 28,411 $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}.\text{atm}$. For packaging application, LLDPE/SEBS films in this study had a potential of using for extending the shelf-life of fresh produces.

Keywords: linear low density polyethylene (LLDPE), styrene-ethylene/butylene-styrene (SEBS), ethylene permeability and packaging film

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ในการทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานพอลิเมอร์ ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือ และแนะนำการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

นางสาวชลลดา ฤทธิวิทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิต.....	5
2.1.1 การหายใจ.....	6
2.1.2 การสุก.....	7
2.2 การยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดด้วยภาชนะบรรจุตัดแปลงบรรยากาศ.....	8
2.2.1 หลักการตัดแปลงบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์.....	8
2.2.2 การสร้างบรรยากาศตัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์.....	9
2.3 เทคโนโลยีเมมเบรน.....	10
2.3.1 เทคโนโลยีการแยก.....	10
2.3.2 เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน.....	10
2.3.3 โครงสร้างของเมมเบรน.....	11
2.3.3.1 วัสดุสำหรับผลิตเมมเบรน.....	12
2.3.3.2 ผลของโครงสร้างพอลิเมอร์ต่อสมบัติของเมมเบรน.....	12
2.3.3.3 การละลายและการซึมผ่านของก๊าซในเมมเบรน.....	13
2.3.3.4 วิธีการผลิตเมมเบรนแบบเนื้อแน่น.....	13
2.3.4 กระบวนการแยกก๊าซด้วยเมมเบรน.....	14
2.3.4.1 กลไกการแพร่ผ่านของก๊าซ.....	14
2.3.4.2 กลไกการซึมผ่านของก๊าซ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 พอลิเมอร์ผสม.....	15
2.5 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น.....	16
2.6 บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์.....	23
3.4 การเตรียมฟิล์ม.....	25
3.5 การวิเคราะห์ฟิล์มด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	25
3.5.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	25
3.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ SEBS ในฟิล์ม.....	25
3.6 การศึกษาสัณฐานวิทยา.....	26
3.7 การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อน.....	26
3.8 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน.....	26
3.9 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4:1 การศึกษาผลของกระบวนการและสภาวะในการผสม.....	29
4.1.1 การศึกษาผลของเครื่องมือผสม.....	29
4.1.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ SEBS ในฟิล์ม LLDPE/SEBS.....	29
4.1.1.2 สัณฐานวิทยาของ LLDPE/SEBS จากเครื่องมือผสม 2 ชนิด.....	30
4.1.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS จากเครื่องมือผสม 2 ชนิด.....	32
4.1.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่างจากเครื่องมือผสม 2 ชนิด.....	33
4.1.2 การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม.....	34
4.1.2.1 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LL56S44.....	34
4.1.2.2 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LL56S44.....	35
4.1.2.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL56S44.....	35
4.1.2.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL56S44.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลขององค์ประกอบของฟิล์ม LLDPE/SEBS.....	38
4.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสม LLDPE/SEBS.....	38
4.2.1.1 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	38
4.2.1.2 สัมฐานวิทยาของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	39
4.2.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	40
4.2.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	42
4.2.2 การศึกษาผลของการใช้ SEBS เกรดต่างกัน.....	43
4.2.2.1 พฤติกรรมทางความร้อนแบบพลวัตของฟิล์ม LL72S28.....	43
4.2.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28.....	44
4.2.2.3 การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก การคำนวณ.....	54
ภาคผนวก ข เทอร์โมแกรม DSC.....	56
ภาคผนวก ค สมบัติเชิงกล.....	60
ภาคผนวก ง การซึมผ่านก๊าซเอทิลีน.....	61
ภาคผนวก จ สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	64
ประวัตินักวิจัย	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในระหว่างการสุกของผลิตภัณฑ์.....	5
2.2 สมบัติบางประการของ LLDPE.....	17
3.1 สมบัติบางประการของ LLDPE.....	21
3.2 สมบัติบางประการของ SEBS	21
3.3 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS G1652 (โดยน้ำหนัก) สำหรับการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่.....	24
3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS G1652 (โดยน้ำหนัก) และความเร็วยกที่ใช้ สำหรับเครื่องผสมแบบปิด.....	24
4.1 ปริมาณ SEBS ที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่าง.....	30
4.2 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LL56S44.....	35
4.3 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LLDPE/SEBS.....	39
ก.1 ความเป็นผลึก (%Crystallinity).....	54
ค.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ.....	60
ค.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL56S44 ที่ผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ต่างกัน.....	60
ง.1 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง.....	61
จ.1 สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 รูปแบบการหายใจแบบ Climacteric และ Non-climacteric.....	7
2.2 ปริมาณก๊าซเอทิลีนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลไม้ผลิตออกมาขณะยังดิบอยู่และเริ่มสุกจนกระทั่ง สุกงอม.....	8
2.3 บรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงภายในบรรจุภัณฑ์.....	9
2.4 เทคโนโลยีการแยก.....	10
2.5 หลักการของกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน.....	11
2.6 ลักษณะการแพร่ของก๊าซผ่านเมมเบรนที่มีรูพรุน.....	14
2.7 ลักษณะการซึมของก๊าซผ่านเมมเบรนเนื้อแน่น.....	15
2.8 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ.....	16
2.9 สูตรโครงสร้างของ SEBS.....	18
2.10 แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ SEBS.....	18
3.1 เซลล์เมมเบรน ซึ่งฟิล์มถูกติดอยู่ระหว่างวงแหวนโลหะ.....	26
3.2 เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell).....	27
3.3 แผนภาพทิศทางการซึมผ่านก๊าซในเซลล์เพอร์มิเอชัน.....	28
3.4 แผนภาพทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน.....	28
4.1 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์ม LLDPE, SEBS และ LL80S20.....	29
4.2 กราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณ SEBS ในฟิล์ม LLDPE/SEBS.....	30
4.3 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วน LL90S10 และ LL80S20 ที่สกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า.....	32
4.4 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20.....	32
4.5 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20.....	32
4.6 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20.....	33
4.7 มอดูลัสของยังของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20.....	33
4.8 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL90S10 และ LL80S20.....	32
4.9 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสมที่มีการ สกัด SEBS ออกด้วย THF ที่กำลังขยาย 3500 เท่า.....	34
4.10 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม.....	36
4.11 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ ในการผสม.....	36
4.12 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.13 มอดูลัสของยังของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม.....	37
4.14 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม....	37
4.15 แบบจำลองการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่มีปริมาณ SEBS เท่ากัน.....	38
4.16 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซ- ลีนที่กำลังขยาย 3500 เท่า.....	40
4.17 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	41
4.18 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	41
4.19 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	41
4.20 มอดูลัสของยังของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	41
4.21 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ.....	42
4.22 สัณฐานวิทยาของ LL72S28 (G1652) และ LL72S28 (G1657) ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่ กำลังขยาย 3500 เท่า.....	43
4.23 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS.....	45
4.24 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS.....	45
4.25 ความเค้น ณ จุดครากของ LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS.....	45
4.26 มอดูลัสของยังของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS.....	45
4.32 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS.....	46
ข.1 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LLDPE.....	56
ข.2 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL90S10.....	56
ข.3 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL80S20.....	57
ข.4 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL72S28.....	57
ข.5 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL63S37.....	58
ข.6 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (40 rpm).....	58
ข.7 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (60 rpm).....	59
ข.8 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (80 rpm).....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ระบบการจัดจำหน่ายและขนส่งสินค้าในปัจจุบันนั้น มีการใช้งานพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พลาสติกบรรจุภัณฑ์พลาสติกจึงกำลังได้รับความนิยมสูง เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่สามารถผลิตพลาสติกได้หลายรูปแบบที่มีสมบัติแตกต่างกันไป และสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสม ดังนั้นพลาสติกบรรจุภัณฑ์พลาสติกจึงใช้ในการบรรจุสินค้าต่างๆ เช่น ขนมอบเคี้ยว อาหารแช่แข็งและผลิตภัณฑ์เกษตร เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พลาสติกถูกใช้ในลักษณะของถุงหรือฟิล์มห่อสินค้า ซึ่งการบรรจุผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถป้องกันสิ่งปนเปื้อนและแมลง ผู้บริโภคสามารถมองเห็นและจับต้องตัวสินค้าได้ ทำให้น่าเลือกซื้อมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์พลาสติกมีอัตราการสูญเสียทั้งก่อนและระหว่างการขนส่งมากถึง 40% [1] ซึ่งสาเหตุหนึ่งของความเสียหายคือ การเลือกใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีการซึมผ่านของก๊าซที่ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายเร็วขึ้น เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตยังมีกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้น เช่น การหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำและการผลิตก๊าซเอทิลีน เป็นต้น เนื่องจากก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตของพืช สามารถช่วยเร่งกระบวนการสุกและการชราภาพ (Ripening and aging) ของผักและผลไม้ จนกระทั่งเกิดการเน่าเสียขึ้น [2] ดังนั้นการกำจัดก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบรรจุผักและผลไม้สด ซึ่งฟิล์มควรต้องมีประสิทธิภาพที่สามารถช่วยลดการสะสมของก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ จึงได้มีการนำต่างหัตถ์ ผงถ่านกัมมันต์และซิลิกาเจลมาใช้เป็นวัสดุสำหรับดูดซับก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามอาจเกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในผลผลิตผลสดได้ [3] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาปรับสภาวะภายในของบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการเพิ่มหรือลดสัดส่วนก๊าซที่ต้องการควบคุมให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งจะช่วยเหลือการเน่าเสียและรักษาความสดใหม่ของผลผลิตผลสด [4]

ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์นิยมผลิตฟิล์มจากพอลิโอเลฟิน (Polyolefin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มได้หลากหลายตามสมบัติและประเภทของการนำไปใช้งาน ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ ฟิล์มพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) โดยฟิล์ม PE ให้สมบัติยืดหยุ่นได้ดี ทนความร้อนได้ สามารถใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat sealing) และยังสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับตัวหัตถ์ละลายที่อุณหภูมิห้อง จึงปลอดภัยเหมาะสำหรับการบรรจุหรือสัมผัสกับอาหาร [5] แต่มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระดับต่ำ ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุของผลิตภัณฑ์ จึงมีการเจาะรูที่บรรจุภัณฑ์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ แต่การเจาะรูที่บรรจุภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์และอาจเกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น [6-7]

จากงานวิจัยของพรพรรณ มั่นประสิทธิ์ [8] ได้มีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นของพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) ซึ่ง SEBS เป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ประกอบด้วยเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีความยืดหยุ่น มีลักษณะเป็นอสัณฐานและไม่มีขั้วเหมือนก๊าซเอทิลีน ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่าน SEBS ได้ดี นอกจากนี้มีการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 (ชนิดไม่มีขั้ว) ในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30%wt โดยน้ำหนักลงในฟิล์ม SEBS โดยเตรียมให้ซีโอไลต์ ZSM-5 มีการกระจายตัวในชั้น SEBS 2 แบบ (แบบ Surface-rich ทำให้ซีโอไลต์กองรวมกันอยู่ด้านหนึ่งของผิวฟิล์ม และแบบ Well-dispersed ทำให้ซีโอไลต์กระจายตัวอยู่ทั่วเนื้อฟิล์ม) พบว่าการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ในปริมาณ 5-10%wt สามารถเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน แต่ถ้าปริมาณที่เติมมากกว่า 10%wt การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นเพิ่มไม่มากนัก และการกระจายตัวที่ต่างกันของซีโอไลต์ไม่ส่งผลต่อการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนในฟิล์มคอมโพสิตสองชั้น เนื่องจากชั้น LDPE ที่มีความเป็นผลึก (Crystallinity) ชัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ (Gas barrier) ทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ช้า จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยของศราวุธ เลาวกุล [9] จึงมีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นของพอลิเอทิลีน (LDPE) และพอลิพรอพิลีนชนิดจัดเรียงโมเลกุลสองทิศทาง (Biaxial oriented polypropylene, BOPP) กับ SEBS ที่มีการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ปริมาณ 5%wt ลงในฟิล์ม SEBS โดยทำการเจาะรูฟิล์มในชั้นของ LDPE และ BOPP ให้มีปริมาตรรูที่เจาะ (0-100%) และขนาดของรู (2-5 mm) ก่อนนำไปประกบติดกับชั้น SEBS ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม พบว่าการเจาะรูที่ฟิล์มจะช่วยเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนได้ แต่การเจาะรูทำให้ฟิล์มมีการกระจายแรงไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน ความแข็งแรงของฟิล์มจึงลดลงและขาดง่ายขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยเรื่องนี้ได้สรุปว่าฟิล์มที่เหมาะสมคือ ฟิล์มที่มีการเจาะรู 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และมีขนาดรู 2 มิลลิเมตร มีความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงและการเติมซีโอไลต์ 5%wt ช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นมีขั้นตอนการเตรียมฟิล์มหลายขั้นตอนและใช้เวลานาน เพื่อความสะดวกในการเตรียมฟิล์มและลดเวลาในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงสนใจเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม เพราะสามารถเตรียมได้ในขั้นตอนเดียว โดยฟิล์มที่เตรียมขึ้นมุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนาการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนได้ดี ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เป็นวัสดุหลัก เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลดีกว่า LDPE เช่น ทนแรงฉีกขาด แรงทิ่มทะลุได้ดีกว่า และมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจากราคาที่ถูกกว่า LDPE [10] งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนโดยการผสม LLDPE กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEBS ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่และเครื่องผสมแบบปิด แล้วศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสมในเครื่องผสมแบบปิด เพราะความเร็วในการผสมมีอิทธิพลต่อแรงกระทำที่พอลิเมอร์ผสมได้รับ ซึ่งมีผลต่อสัณฐานวิทยาและความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จากนั้นศึกษาผลของอัตราส่วน LLDPE/SEBS ศึกษาผลของการผสมด้วย SEBS เกรดต่างกัน เนื่องจาก SEBS แต่ละเกรดประกอบด้วยปริมาณของพอลิสไตรีน และเอทิลีน/บิวทิลีนแตกต่างกัน ซึ่งก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านได้ดีในส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีน เพราะเป็นส่วนอสัณฐานที่มีความยืดหยุ่นและมีปริมาตรอิสระสูง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ผสมกับบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/ บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) ที่มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนได้ดี นอกจากนี้มีการใช้กระบวนการผสม 2 แบบ และใช้อัตราส่วนผสม LLDPE/ SEBS ต่างๆ ซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนดีขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วน 90/10 และ 80/20 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องอัดรีดเกลียวทวนอนคู่ (Twin-screw extruder) และเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer)
2. ศึกษาผลของอัตราส่วนผสม LLDPE/SEBS คือ 90/10, 80/20, 75/25, 70/30, 60/40 และ 55/45
3. ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์เป็น 40-80 rpm ในพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วน 55/45
4. ศึกษาผลของการใช้ SEBS เกรดต่างกันคือ เกรด Kraton® G1652 และเกรด Kraton® G1657 ในพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วน 70/30
5. ขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัด (Compression molding)
6. การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์ม ได้แก่ สมบัติทางความร้อน, สัณฐานวิทยา, การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนและสมบัติความแข็งแรงดึงของฟิล์ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเข้าใจในกระบวนการผลิตและปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาและการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มคอมโพสิตได้ดี สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประยุกต์และพัฒนาฟิล์มบรรจุผลิตผลสดในเชิงพาณิชย์ รวมถึงบทบาทต่องานวิจัยในอนาคตเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดให้ยาวนานมากขึ้น คู่คุณค่าทางเศรษฐกิจ และมีความปลอดภัยต่อการบริโภคสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผล [2, 11-12]

เมื่อผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวผลิตผลจะเกิดความเครียดขึ้นภายในเนื่องจากผลิตผลยังคงมีชีวิตอยู่ แต่ถูกตัดขาดจากแหล่งอาหารและน้ำ จึงต้องมีการนำอาหารและน้ำที่สะสมอยู่มาใช้ควบคู่ไปกับการสร้างสารประกอบชนิดต่างๆ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่

1. การหายใจ (Respiration) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่พืชสะสมไว้ (Catabolic) ให้เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน พร้อมกับมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา กระบวนการนี้มีการใช้ออกซิเจนและมีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจทำให้เกิดการสูญเสียของอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อ สูญเสียน้ำหนักและอาจทำให้รสชาติเปลี่ยนไป เป็นผลให้สูญเสียคุณค่าทางอาหาร ตลอดจนพลังงานที่ผู้บริโภคควรจะได้รับ

2. การคายน้ำ (Transpiration) ทำให้น้ำหนักของผลิตผลลดลงและทำให้พื้นผิวของผลเหี่ยวแห้ง เป็นผลให้คุณภาพของผลิตผลลดลงทั้งในด้านน้ำหนักของผลดั้งเดิมที่ควรจะได้รับ และมูลค่าต่อหน่วยที่ลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงในด้านสีของผล (Color change)

4. การสลายตัวขององค์ประกอบในผนังเซลล์ของผลิตผล ทำให้ผลนิ่มลง (Softening)

5. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมีที่สะสม เช่น แป้ง กรดอินทรีย์และไขมัน เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในระหว่างการสุกของผลิตผล [2]

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น	คุณภาพที่เปลี่ยนไป
1. การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ (Pigments)	สีของผล
2. การนิ่มของผล (Softening)	เนื้อของผล
3. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	รสชาติ
4. การสร้างสารที่ทำให้เกิดกลิ่น (Volatile substances)	กลิ่นรส
5. การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ (Organic acids)	รสชาติ
6. การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ	สีของผล
7. การเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน (Ethylene)	สีของผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

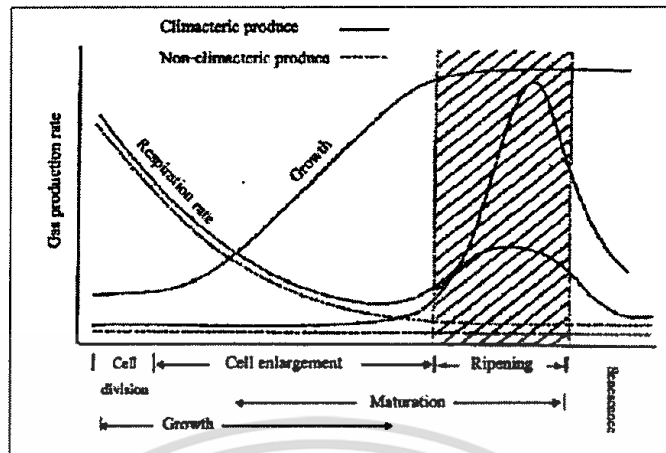
2.1.1 การหายใจ

ผลิตผลสดทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจ (Respiration) อยู่ตลอดเวลาที่ยังมีชีวิตอยู่ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องการพลังงานในการดำเนินปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญพลังงานที่ได้มานั้นมาจากการหายใจ ซึ่งอัตราการหายใจนั้นแตกต่างกันไปตามระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาพแวดล้อม โดยการหายใจเป็นการสลายอาหารที่สะสมเพื่อการสร้างพลังงานและเพื่อสร้างสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต รูปแบบการหายใจของพืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจที่ไม่เท่ากัน ซึ่งแบ่งตามชนิดของพืช [2] ดังต่อไปนี้

1. Climacteric fruit คือผลไม้ที่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากผลไม้แก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงมาก เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกอัตราการหายใจจะสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งการเพิ่มอัตราการหายใจ ทำให้เกิดการสร้างก๊าซเอทิลีน (Ethylene) เพิ่มสูงขึ้น ก๊าซเอทิลีนที่ถูกสร้างจะไปกระตุ้นให้ผลไม้สุกอย่างรวดเร็ว เมื่อสุกเต็มที่แล้วอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย ดังนั้นผลไม้พวกนี้สามารถเก็บแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะเขือเทศ มังคุด ละครุด กล้วย ทูเรียน เป็นต้น

2. Non-climacteric fruit คือผลไม้ที่ไม่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากผลไม้แก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงในระยะเก็บเกี่ยว หลังเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คืออัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ มีการสร้างก๊าซเอทิลีนในอัตราหรือปริมาณต่ำ ทำให้การสุกเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติของผลไม้จึงคงที่ อายุเก็บรักษาค่อนข้างยาว ฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่ทำให้ผลไม้ที่ได้จะมีรสชาติเหมือนเดิม จึงจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้แก่จัด เช่น ส้ม สับปะรด มะนาว เงาะ ลิ้นจี่ ลำไย แดงกวา เป็นต้น

ผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric เมื่อถูกเก็บเกี่ยวแล้วเข้าสู่ระยะของการสุก ทำให้มีอัตราการหายใจให้สูงขึ้น ซึ่งในระยะนี้คือการเข้าสู่ระยะชรา (Senescence) เมื่อผลไม้ที่สุกเต็มที่ (Ripening) เรียกว่า Climacteric peak หลังจากนั้นอัตราการหายใจลดลง ซึ่งเป็นการเข้าสู่ระยะสุกงอม (Over ripening) และตายในที่สุด ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รูปแบบการหายใจแบบ Climacteric และ Non-climacteric [11]

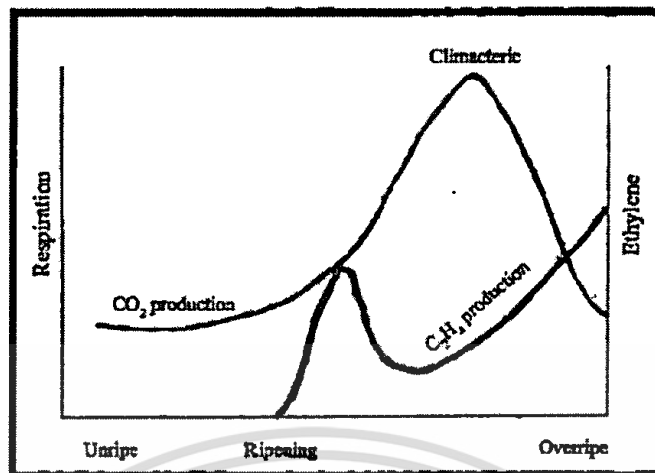
ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช, 2554.

2.1.2 การสุก

การสุก (Ripening) เป็นการพัฒนาขั้นสุดท้ายของผลิตผลก่อนเข้าสู่ระยะร่วงโรย การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับไม่ได้และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นผลจากก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ที่ถูกผลิตขึ้นจากตัวของผลิตผลเอง [2]

เอทิลีน (Ethylene) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ติดไฟได้ง่าย จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืช เป็นสารที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของพืชชั้นสูงและจากจุลินทรีย์บางชนิด เอทิลีนถือว่าเป็นฮอร์โมนธรรมชาติที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาหลายอย่างในผลิตผล เช่น ทำให้เกิดการแก่ (Aging) การสุก (Ripening) และ/หรือการแยกตัว (Abscission) ของอวัยวะของพืชและมีการสร้างสารให้กลิ่นรส แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยเพียง 1 ส่วนในล้านส่วน (0.1ppm) [13]

นอกจากนี้ก๊าซเอทิลีนที่ถูกปล่อยออกมา หากมีปริมาณมากสามารถกระตุ้นผลไม้สร้างก๊าซเอทิลีนมากขึ้นทำให้ผลไม้สุกพร้อมกัน ขณะที่ผลไม้เริ่มจะสุกจะมีการสร้างเอทิลีนออกมาจำนวนมาก ขณะเดียวกันผลไม้ก็สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีระดับสูงจะไปยับยั้งการสร้างเอทิลีนทำให้ผลไม้ยังไม่สุกเต็มที่ เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลง ก๊าซเอทิลีนจะมีปริมาณสูงขึ้นทันทีทำให้ผลไม้สุกเต็มที่จนสุกงอมและเริ่มเน่า [14] ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปริมาณก๊าซเอทิลีนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลไม้ผลิตออกมาขณะยังดิบอยู่และเริ่มสุกจนกระทั่งสุกงอม

ที่มา: เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์, 2540.

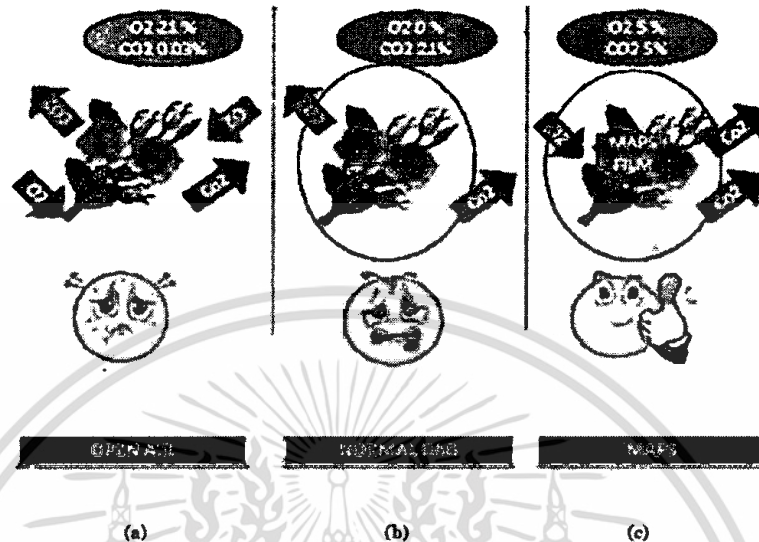
2.2 การยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดด้วยภาชนะบรรจุตัดแปลงบรรยากาศ

การยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดด้วยภาชนะบรรจุตัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging, MAP) หมายถึง การเก็บรักษาผลผลิตไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่ภายในมีสัดส่วนขององค์ประกอบของก๊าซที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ (ไนโตรเจน 78% ออกซิเจน 21% คาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% และก๊าซเฉื่อยเล็กน้อย) การใช้ MAP ในการยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ให้ได้นานขึ้นและสามารถคงคุณภาพของผักผลไม้ให้นานขึ้น ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซภายในภาชนะบรรจุเป็นหลัก

2.2.1 หลักการตัดแปลงบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ [15-17]

หลักการสำคัญของการตัดแปลงบรรยากาศที่ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ คือ การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของก๊าซในบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุผักผลไม้ จนสามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหายใจตามธรรมชาติของผักผลไม้ ซึ่งยังคงสามารถดำเนินต่อไปหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว จากการศึกษาพบว่า การยับยั้งการหายใจของผักผลไม้สดให้ได้ผลดี จำเป็นต้องลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ รวมทั้งเก็บผักผลไม้ไว้ในอุณหภูมิต่ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สามารถช่วยชะลออัตราการหายใจได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันความเสียหายของเนื้อเยื่อและกลิ่นเหม็นจากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของผักผลไม้ และการเจริญของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลกติกอีกด้วย จากภาพที่ 2.3 (a) ผลผลิตที่ไม่ใช่บรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเพราะสูญเสียน้ำมาก (b) ผลผลิตที่บรรจุด้วยฟิล์มพลาสติกทั่วไปที่ยอมให้ก๊าซผ่าน

น้อยเกินไป ทำให้กลิ่นและรสชาติอาจผิดปกติและ (c) ผลผลิตที่บรรจุด้วยดัดแปลงสภาวะบรรยากาศสามารถช่วยชะลอการหายใจและยืดอายุของผลิตผลสด



ภาพที่ 2.3 บรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์

ที่มา: Gorny J.R., 1997.

2.2.2 การสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์

วิธีการสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุให้มีสัดส่วนตามที่ต้องการนั้นมี 2 วิธี คือ

1. การแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุด้วยก๊าซผสม ที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบของก๊าซแต่ละชนิดตามต้องการเรียกว่า Active modification
2. การอาศัยสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเป็นตัวกำหนดสัดส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ตามปกติแล้วฟิล์มพลาสติกที่ใช้จะมีความสามารถในการยอมให้ก๊าซชนิดต่างๆ แพร่ผ่านได้ในอัตราที่แตกต่างกัน ดังนั้นควรเลือกฟิล์มพลาสติกที่สามารถทำให้ระดับออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุน้อยลงและเพิ่มระดับคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า Passive modification

จากการศึกษาพบว่าการลดออกซิเจนหรือเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์อย่างใดอย่างหนึ่งให้ผลที่ไม่ดีเท่ากับการใช้ทั้งสองปัจจัยร่วมกัน การลดออกซิเจนสามารถช่วยลดอัตราการหายใจได้โดยตรง ในขณะที่การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จะให้ผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้พบว่าบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุอยู่ในระดับต่ำจะสามารถช่วยลดอัตราการหายใจของผักผลไม้ และลดอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดได้นานขึ้น แต่การลดระดับออกซิเจนในบรรยากาศมากจนเกินไป (<1%) ทำให้ผักผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้

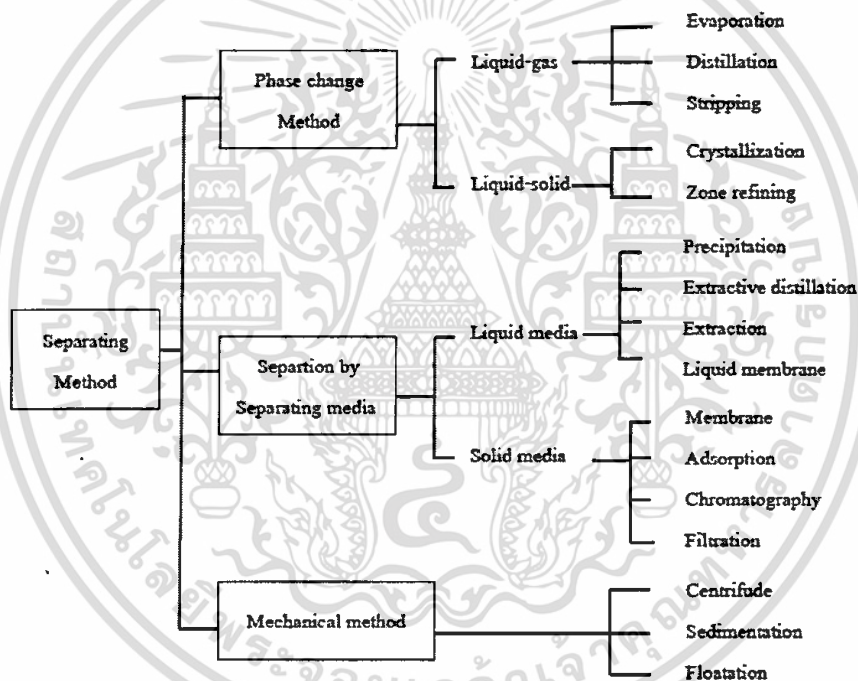
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนแทน (Anaerobic respiration) ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อและทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นระดับออกซิเจนที่ใช้ในการดัดแปลงบรรยากาศสำหรับเก็บรักษาผักผลไม้ควรอยู่ในช่วง 1-5% สำหรับสัดส่วนของบรรยากาศใน MAP

2.3 เทคโนโลยีเมมเบรน (Membrane technology)

2.3.1 เทคโนโลยีการแยก

เทคโนโลยีการแยกสารออกจากกันมีหลายวิธี ดังแสดงในภาพที่ 2.4 แบ่งออกเป็นวิธีการแยกโดยการเปลี่ยนแปลงเฟส การแยกโดยใช้ตัวกลางและการแยกเชิงกล เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรนเป็นวิธีการแยกโดยใช้ตัวกลาง ตัวกลางที่ใช้อาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง [18]



ภาพที่ 2.4 เทคโนโลยีการแยก

ที่มา: ชันทอง สุนทรภา, 2547.

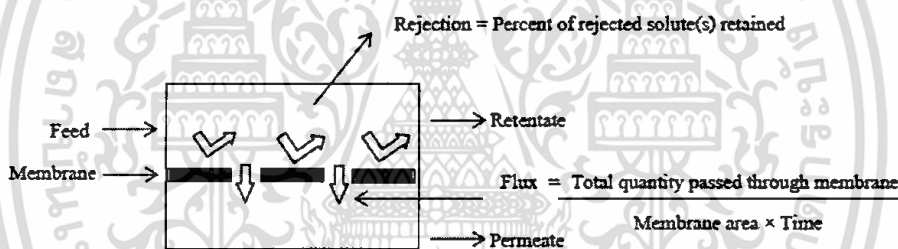
2.3.2 เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน [19-21]

เมมเบรน (Membrane) คือตัวกลางซึ่งอาจเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ที่ทำหน้าที่กั้นระหว่างสองภูมิภาคที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคในของไหล ของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว ซึ่งการแยกด้วยเมมเบรนเป็นกระบวนการที่อาศัยเมมเบรนในการแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทาสารให้บริสุทธิ์ขึ้น สำหรับกระบวนการแยกสารละลายหรือก๊าซผสมมีความแตกต่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแยกต่างๆ ไป เช่น กระบวนการดูดซับ (Adsorption) กระบวนการไล่ออก (Stripping) กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-liquid extraction) และการกลั่น (Distillation) ลักษณะที่สำคัญที่สุดของเมมเบรนคือ มีสมบัติในการเลือกผ่านโดยสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพ (Semi-permeable) เช่น ความสามารถในการละลายและการมี/ไม่มีขั้วของสารนั้นๆ ในเมมเบรนและซึมผ่านออกไป หรือจากขนาดรูพรุนของเมมเบรน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น

เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรนมีหลักการดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยมีสารละลายป้อน (Feed) ไหลผ่านเมมเบรนโดยแรงขับเคลื่อน (Driving force) ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการถ่ายมวล ตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมมเบรนหรือละลายในเนื้อเมมเบรนได้น้อยจะถูกกักไว้ สารที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) หรือสารละลายเข้มข้น (Concentrate) ส่วนตัวทำละลายหรือสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็กหรือละลายในเนื้อเมมเบรนได้ดีสามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) ซึ่งส่วนที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์อาจเป็นส่วนรีเทนเตตหรือเพอร์มิเอตก็ได้



ภาพที่ 2.5 หลักการของกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน

ที่มา: Rowan University, 2012.

2.3.3 โครงสร้างของเมมเบรน [18]

เมมเบรนสามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- 1) เมมเบรนแบบมีรูพรุน (Porous membrane)
- 2) เมมเบรนแบบเนื้อแน่น (Dense membrane)
- 3) เมมเบรนแบบมีประจุ (Electrically charged membrane) หรือเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange membrane)
- 4) เมมเบรนของเหลว (Liquid membrane) เป็นเมมเบรนที่ใช้ Liquid carrier ทำหน้าที่คัดเลือกสารหรือองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมเมมเบรนพอลิเมอร์แบบเนื้อแน่น โดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นและบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีนเป็นพอลิเมอร์คู่ผสม ซึ่งรายละเอียดของเมมเบรนแบบเนื้อแน่น ณ ที่นี้ประกอบด้วย

2.3.3.1 วัสดุสำหรับผลิตเมมเบรน [22]

1. พอลิเมอร์ เป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนในสายโซ่และน้ำหนักโมเลกุลของหน่วยย่อย โดยที่พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวกันในสายโซ่ เรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) มีพอลิเมอร์หลายชนิดที่ผลิตจากมอนอเมอร์มากกว่า 1 ชนิด เรียกว่า โคพอลิเมอร์ (Copolymer) สถานะของพอลิเมอร์มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติทางกลทางความร้อนและสภาพการซึมผ่านเมมเบรน เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจนอุณหภูมิสูงถึงค่าหนึ่งก็จะเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วไปเป็นสถานะยืดหยุ่น อุณหภูมินั้น คือ Glass transition temperature (T_g) ในสถานะแก้วสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้จำกัด คือไม่สามารถหมุนรอบแกนของสายโซ่หลักได้อย่างอิสระ มีผลทำให้สภาพการซึมผ่านสารของเมมเบรนที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์นั้นๆ ต่ำกว่าที่อุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่า T_g พอลิเมอร์มีพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะความแข็งของพันธะได้จึงเคลื่อนไหวได้มากขึ้น

2. สารอนินทรีย์สำหรับผลิตเมมเบรน เมมเบรนที่ผลิตจากวัสดุอนินทรีย์มีเสถียรภาพต่อความร้อนตัวทำลายที่เหนือกว่าเมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์ สารอนินทรีย์ที่นิยมนำมาผลิตเมมเบรนสังเคราะห์ ได้แก่ เซรามิกส์ โลหะ แก้ว และซีโอไลต์ (Zeolite) ในปัจจุบันได้มีการนำเมมเบรนอนินทรีย์มาใช้ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และการแยกก๊าซ

2.3.3.2 ผลของโครงสร้างพอลิเมอร์ต่อสมบัติของเมมเบรน [18]

พอลิเมอร์ที่นำมาทำเป็นเมมเบรน แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น หรือสายโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างเชื่อมขวาง

2) พอลิเมอร์คล้ายยาง (Rubbery polymers)

3) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น หรือสายโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างเชื่อมขวาง

สมรรถนะของเมมเบรนแบบเนื้อแน่น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1) ระยะห่างระหว่างสายโซ่ (Interchain distance) หรือปริมาณอิสระของพอลิเมอร์ (Free volume) ซึ่งมีผลต่อค่าการซึมผ่านได้ของก๊าซ (Gas permeability)

2) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) ซึ่งเป็นค่ากำหนดว่าพอลิเมอร์มีลักษณะทางกายภาพแข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) หรือมีลักษณะอ่อนนุ่มยืดหยุ่นคล้ายยาง (Rubbery state)

3) องศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารเกิดขึ้นผ่านส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐานเท่านั้น

4) อันตรกิริยาของสายโซ่ (Chain interaction) หรือความชอบน้ำ (Hydrophilicity)

5) การเชื่อมขวาง (Crosslinking)

6) การบวม (Swellability)

2.3.3.3 การละลายและการซึมผ่านของก๊าซในเมมเบรน

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเมมเบรนสำหรับกระบวนการแยกก๊าซ ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม (Random orientation) ขนาดของช่องว่างระหว่างโมเลกุลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g โมเลกุลของพอลิเมอร์อสัณฐานเคลื่อนที่ได้จำกัด มีการซึมผ่านต่ำขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g โมเลกุลจะมีความยืดหยุ่นสูง ปริมาตรอิสระสูง และการซึมผ่านสูง

สภาพการซึมผ่าน (Permeability) เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การละลายขององค์ประกอบของก๊าซและสัมประสิทธิ์การซึมขององค์ประกอบนั้นในเมมเบรน อัตราการเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนสามารถทำได้โดยใช้เมมเบรนที่บางมากๆ และความดันด้านสารป้อนสูง

2.3.3.4 วิธีการผลิตเมมเบรนแบบเนื้อแน่น [22]

การผลิตเมมเบรนแบบเนื้อแน่น สามารถผลิตได้หลายวิธี ดังนี้คือ

1. เมมเบรนผลิตจากสารละลายพอลิเมอร์

การผลิตเมมเบรนจากสารละลายพอลิเมอร์ประกอบด้วยพอลิเมอร์และตัวทำละลายและ/หรืออาจมีสารบวมตัว (Swelling agent) และสารอื่นๆ นำสารละลายมาทำเป็นแผ่นบางๆ หรือหล่อบนแผ่นรองรับแล้วปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยจนหมด ได้เมมเบรนแบบเนื้อแน่นที่มีช่องว่างน้อย ความเป็นผลึกสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนชนิดอื่นๆ ตัวแปรสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของเมมเบรนแบบนี้คือ อัตราการระเหยของตัวทำละลาย (Evaporation) องค์ประกอบของสารละลาย และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศขณะระเหย

2. เมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์หลอมเหลว

พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก เมื่อหลอมเหลวสามารถทำให้มีรูปร่างตามความต้องการได้ เมื่อทำให้เย็นตัวเป็นเมมเบรนจะมีรูปร่างที่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ (เช่น แรงดึงดูด

ระหว่างโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น) และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเย็นตัวหรือทำให้หลอมเหลว

3. เมมเบรนที่เกิดระหว่างพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization membrane)

การผลิตเมมเบรนที่เกิดระหว่างพอลิเมอไรเซชัน หมายถึงในขณะเกิดพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งอาจมีการเชื่อมขวาง (Crosslinking) และเกิดการเคลื่อนย้ายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ (Chain transfer) มีการทำให้พอลิเมอร์ตกผลึกอย่างช้าๆ และทำให้เป็นแผ่นฟิล์ม อัตราเร็วของปฏิกิริยามีผลต่อโครงสร้างของเมมเบรน ถ้าเกิดพอลิเมอไรเซชันช้าๆ จะได้เมมเบรนเนื้อแน่นหรือมีความเป็นผลึกสูง

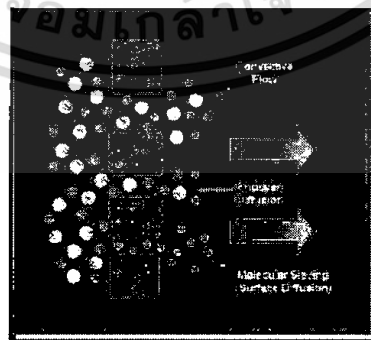
4. เมมเบรนแบบบางมาก (Ultrathin membrane)

การผลิตเมมเบรนแบบบางมาก เป็นเมมเบรนเนื้อแน่นที่มีความหนาระหว่าง 50-5,000 Å ข้อดีของเมมเบรนแบบนี้ คือมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability coefficient) สูงเพราะเมมเบรนมีความบางมาก การพัฒนาเมมเบรนแบบนี้นำไปสู่การผลิตเมมเบรนแบบไม่สมมาตรซึ่งใช้กันอยู่เป็นส่วนใหญ่ การผลิตเมมเบรนแบบบางมาก อาจเตรียมจากสารละลายพอลิเมอร์เจือจางโดยการจุ่ม (Dipping) แผ่นแก้วลงในสารละลาย สารละลายจะเกาะบนแผ่นแก้วเมื่อแช่ลงในน้ำ เมมเบรนจะลอกหลุดออก หรืออาจทำเป็นแผ่นบางบนแผ่นรองรับ

2.3.4 กระบวนการแยกก๊าซด้วยเมมเบรน [18, 23]

2.3.4.1 กลไกการแพร่ผ่านของก๊าซ

กลไกการแพร่ผ่านของก๊าซ (Gas diffusion) เป็นการแยกก๊าซโดยใช้เมมเบรนที่มีรูพรุน โดยใช้หลักการของอนุภาคขนาดเล็กของสารที่ต้องการคัดกรองเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของเมมเบรน แล้วเกิดการชนปะทะกับผนังของรูพรุน เกิดเป็นความเสียดทานต้านทานการไหลของอนุภาคผ่านรูพรุนของเมมเบรน แสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการแพร่ของก๊าซผ่านเมมเบรนที่มีรูพรุน

ที่มา: Kargol, M., 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 กลไกการซึมผ่านของก๊าซ

กลไกการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeation) เป็นการแยกก๊าซโดยใช้เมมเบรนแบบเนื้อแน่น (Dense membrane) โดยใช้แรงขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน สามารถอธิบายด้วยกลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion mechanism) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 กล่าวคือสารที่ต้องการแยกหรือเพอร์มิเอต (Permeate) ต้องละลายเข้าไปในเมมเบรนก่อนแล้วซึมผ่าน โดยใช้แรงขับเคลื่อนจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร (Concentration gradient) โดยสารที่ละลายในเนื้อเมมเบรน สารสามารถเกิดการแพร่จากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงไปยังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ความสามารถในการคัดกรองแยกสารเกิดจากความแตกต่างของความสามารถในการละลายของสารและความเร็วในการซึมผ่านของสารเข้าไปในเนื้อเมมเบรนแต่ละชนิด ทำให้สารแต่ละชนิดมีการซึมผ่านเมมเบรนได้ต่างกัน



ภาพที่ 2.7 ลักษณะการซึมของก๊าซผ่านเมมเบรนเนื้อแน่น

ที่มา: Kargol, M., 2012.

2.4 พอลิเมอร์ผสม [25-27]

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) คือการนำพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไป มาผสมกัน (Combining) โดยวิธีทางกายภาพซึ่งส่วนมากจะปราศจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยวัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม คือปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วเป็นไปได้ยาก อาจทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์และส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมด้อยกว่าพอลิเมอร์เดิมได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน ซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น

2.5 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น [10, 28-29]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene, LLDPE) จัดเป็นพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ชนิดหนึ่ง พอลิเอทิลีนได้จากการสังเคราะห์สารปิโตรเลียมด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ ซึ่งพอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกที่ใช้งานทั่วไป (Commodity plastics) สามารถแปรรูปได้หลากหลายตอบสนองความต้องการของมนุษย์ จึงมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมครัวเรือน อุตสาหกรรมยานยนต์ หรือ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีราคาถูกและมีสมบัติที่เอื้อต่อการใช้งานหลายด้าน เช่น แข็งแรง เหนียว กันการสึกกร่อนได้ดี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงพอลิเอทิลีนสามารถบวมตัวและละลายในพาราไซลีน (p-Xylene) ไตรคลอโรเบนซีน (Trichlorobenzene) เดเคน (Decane) และเดคาลิน (Decalin) ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซต่ำ และง่ายต่อการขึ้นรูป นอกจากนี้โครงสร้างของพอลิเอทิลีนมีลักษณะเป็นเส้นตรงทำให้มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง (Semi-crystalline) จุดหลอมเหลวขึ้นกับความหนาแน่นของพอลิเมอร์ และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ในช่วง 130°C ถึง 20°C พอลิเอทิลีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามโครงสร้าง คือ

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene หรือ HDPE) มีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene หรือ LDPE) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene หรือ LLDPE) ความหนาแน่น 0.916 – 0.930 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ โดย (ก) HDPE (ข) LDPE (ค) LLDPE

ที่มา: Omnexus, 2012

โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene, LLDPE) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนและปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile strength) LLDPE เป็นพอลิเอทิลีนชนิดที่มีโซ่กิ่งสั้นและความหนาแน่นของตำแหน่งของสายโซ่ที่มีระยะห่างที่ชัดเจน ทำให้ LLDPE มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่อย่างเป็นระเบียบและมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสูงกว่า LDPE (ซึ่งมีโซ่กิ่งที่มีความยาวและมีตำแหน่งแบบสุ่ม)

สมบัติของ LLDPE และการนำไปใช้งาน ซึ่ง LLDPE มีความหนาแน่น $0.916 - 0.930 \text{ g/cm}^3$ และมีสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

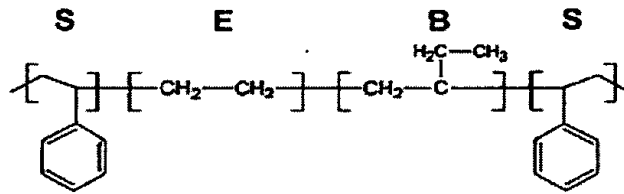
ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของ LLDPE [29]

Properties	LLDPE
Density, g/cm^3	0.926
Tensile strength, MPa	20
Flexural modulus, GPa	0.35
Notched izod, kJ/m	1.06
Elongation at break, %	500
Strain at yield, %	20
Max. operating temp., $^{\circ}\text{C}$	50
Water absorption, %	0.01
Oxygen index, %	17
Dielectric strength	25
Dielectric constant 1 kHz	2.3
Melting temp. range	120 ถึง 160°C

2.6 บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน [30-33]

บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (Poly(styrene-ethylene/butylene-styrene), SEBS) จัดเป็นยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic elastomers, TPEs) ชนิดหนึ่งที่มีจำนวนบล็อกทั้งหมดสามบล็อก (Triblock copolymer) มีลักษณะคล้ายยาง สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ และสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อเอาแรงกระทำออก ในขณะที่เดียวกันก็สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) โดย SEBS มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาวที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยว ในแต่ละสายโซ่โมเลกุลจะประกอบด้วยบล็อกของพอลิสไตรีน (Polystyrene block) ซึ่งมีความแข็ง (Rigid) ทำหน้าที่เป็นส่วนแข็ง (Hard segment) อยู่ที่

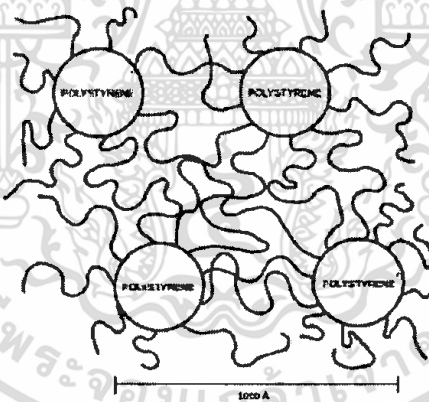
ปลายทั้งสองของโมเลกุล ในขณะที่โคพอลิเมอร์ของเอทิลีน/บิวทิลีน (Ethylene/butylene copolymer) ซึ่งมีความยืดหยุ่น ทำหน้าที่เป็นส่วนอ่อน (Soft segment) ดังแสดงสูตรโครงสร้างในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของ SEBS

ที่มา: Omnexus, 2012

Hard segment จะทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinks) ยึดให้สายโซ่โมเลกุลที่ยืดหยุ่นของส่วนอ่อน (Soft segment) ติดกันคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติของยางที่มีการเชื่อมโยงด้วยปฏิกิริยาเคมี (Vulcanization) ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนหลุดออกจากกันยากเมื่อได้รับแรง โดย SEBS จะอยู่ในรูปอสัณฐานที่มีสายโซ่โมเลกุลแบบบิดงอและม้วนขดภายใต้สภาวะไร้แรงกระทำจึงทำให้เกิดผลึกได้ยาก ซึ่งแบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ SEBS แสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ SEBS

ที่มา: Omnexus, 2012

SEBS มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ประมาณ -43 ถึง -50°C ที่มาจากส่วนของ Ethylene/butylene (Soft segment) และที่ 100°C มาจากส่วนของ Polystyrene (Hard segment) จากสององค์ประกอบนี้ ส่งผลให้ SEBS มีความแข็งแรงสูง มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจนและโอโซนสูง มีความเหนียว และยังสามารถในการรักษาสมบัติความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงได้ดี โดยทั่วไป SEBS สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เนื่องจากมีความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการเสื่อมสภาพ จึงเหมาะที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้งานกลางแจ้ง SEBS สามารถขึ้นรูปได้โดยใช้กระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) และกระบวนการอัดรีด (Extrusion process) ในสถานะที่แตกต่างกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้น ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การออกดอก การสุกของผลไม้ และการหลุดร่วงของใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ประเภท Climacteric มีการผลิตก๊าซเอทิลีนเมื่อเริ่มสุกสูงกว่าผลไม้ประเภท Non-climacteric ทำให้การหายใจสูงขึ้นและผลผลิตเกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น [7] ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาสารยับยั้งหรือกำจัดเอทิลีนมาใช้เพื่อชะลอการเสื่อมเสียของผลผลิตสด โดยสารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ ต่างทับทิม (Potassium permanganate, KMnO_4) โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลผลิต เช่น ถั่วลิสง มะม่วง กี้วี่ ร่วมกับการใช้ต่างทับทิม ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลผลิต เนื่องจากต่างทับทิมทำปฏิกิริยากับเอทิลีนที่เกิดขึ้น เป็นสารประกอบของแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล ทำให้ช่วยลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่มีอยู่ในบรรยากาศได้ [8]

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มที่ผลิตจากพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอสเทอร์ และพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น โดยพอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกที่สามารถแปรรูปได้ง่าย และหลากหลายตอบสนองความต้องการของมนุษย์ จึงมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีราคาถูกและมีสมบัติที่เอื้อต่อการใช้งานหลายๆ ด้าน [5] จึงมีการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเอทิลีน (LDPE, LLDPE และ HDPE) และการใช้ฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน (50, 80 และ 100 μm) พบว่าฟิล์ม LDPE มีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน ($30.8 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$) และก๊าซออกซิเจน ($16.6 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$) สูงกว่าฟิล์ม LLDPE และ HDPE เนื่องจาก LDPE มีสายโซ่กิ่งสูง จึงส่งผลให้มีความเป็นผลึกต่ำกว่า LLDPE และ HDPE ก๊าซจึงสามารถซึมผ่านได้ดีกว่า ส่วนการใช้ฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกันมีผลต่อการซึมผ่านของก๊าซ [9] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มกลูเตน โดยศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ (0-100%) พบว่าก๊าซเอทิลีนซึมผ่านฟิล์มได้มากขึ้นเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์สูง นอกจากนี้ยังมีการใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าผสมต่างทับทิมเพื่อช่วยในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น [10] อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ของบรรจุสารดูดซับก๊าซเอทิลีน มักทำให้ผลผลิตสดเกิดจุดช้ำ เนื่องจากผลผลิตสดกระทบกับของบรรจุสารดูดซับ และเกิดการละลายของสารดูดซับในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง จึงมีการนำเอาซีโอไลต์ที่เป็นผลึก ซึ่งมีรูพรุนและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับใช้เป็นสารดูดซับก๊าซเอทิลีนมาประยุกต์ใช้แทนสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีต่างทับทิมเป็นองค์ประกอบ สำหรับการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร [11] ซึ่งได้มีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนโดยใช้ซีโอไลต์ชนิด Chabazite และ Clinoptilolite พบว่า Clinoptilite ไม่สามารถดูดซับเอทิลีนได้ ในขณะที่ Chabazite แสดงสมบัติในการดูดซับเอทิลีนได้เป็นอย่างดี [12] การศึกษาฟิล์มคอมโพลิตซีโอไลต์-พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และซีโอไลต์-บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) โดยเลือกสารดูดซับเป็นซีโอไลต์ทางการค้าคือ ZSM-5 (280) และ ZSM-5 (50) พบว่า การเติม ZSM-5 (280) ในฟิล์ม LDPE ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้นเนื่องจาก ZSM-5 (280) มีโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก และการเติม ZSM-5 (280) ในฟิล์มคอมโพลิตช่วยให้การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนดีกว่าการเติม ZSM-5 (50) เนื่องจากความมีขั้วต่ำกว่า และยังพบว่าค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนในฟิล์ม ZSM-5 (280)/SEBS มีค่าสูงกว่าฟิล์ม ZSM-5 (280)/LDPE แต่อย่างไรก็ตาม SEBS มีความเหนียวตึงสูงและขึ้นรูปยาก [11] จึงมีการนำพอลิเอทิลีนมาใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทำให้ขึ้นรูปฟิล์มง่ายขึ้นโดยเตรียมฟิล์มคอมโพลิตสองชั้นของ LDPE กับ SEBS ที่มีการเติมซีโอไลต์ชนิดไม่มีขั้ว ZSM-5 (280) ในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก ลงในฟิล์ม SEBS และทำการเตรียมให้ซีโอไลต์ ZSM-5 (280) มีการกระจายตัวในชั้น SEBS 2 แบบ (แบบ Surface rich และแบบ Well-dispersed) พบว่าการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ในปริมาณ 5-10%wt สามารถเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน แต่ถ้าปริมาณที่เติมมากกว่า 10%wt การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มคอมโพลิตเพิ่มไม่มากนัก และการกระจายตัวที่ต่างกันของซีโอไลต์ไม่ส่งผลต่อการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน เนื่องจากมีชั้น LDPE ที่มีความเป็นผลึก (Crystallinity) ขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ ทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ช้า [12]

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE) เกรด เป่าฟิล์ม PE 1220G1 จากบริษัท ดาวเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ LLDPE

สมบัติ	PE 1220G1	หน่วย
ดรรชนีการไหล (Melt flow rate)	2	g/10 min
ความหนาแน่น (Density)	0.919	g/cm ³

2. บล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (Poly(styrene-ethylene/butylene-styrene, SEBS) เกรด G1652 และ G1657 จากบริษัท Kraton Performance Polymers จำกัด

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ SEBS

สมบัติ	G1652	G1657
ปริมาณสไตรีน (Styrene content, %wt)	29.0 ถึง 30.8	12.3 ถึง 14.3
ดรรชนีการไหล (Melt flow rate, g/10 min)	5	22
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	0.910	0.888
ความหนืด (Viscosity, cPs)	400 ถึง 525	1200 ถึง 1800
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break, %)	500	750
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength, psi)	4500	3400
ความเค้นดึงเมื่อมีการยืดร้อยละ 300 (300% Modulus, psi)	700	350
ความแข็งกด (Hardness) ด้วย Shore A, 10 วินาที	69	47

3. ก๊าซ Air Zero ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด
4. น้ำกลั่น (Distilled water)
5. ก๊าซเอทิลีน (Ethylene gas) ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ก๊าซเอทิลีนมาตรฐาน (Standard ethylene gas) ความเข้มข้น 589 ppm จากบริษัทไทย อินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด

7. ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas) ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด

8. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เกรดการค้า จากองค์การสุรา กรมสรรพสามิต

9. ไซลีน (Xylene) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system จำกัด

10. เทตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system จำกัด

11. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N₂) จากบริษัท แล็บโซลูชันแอนด์เอ็นจิเนียริง จำกัด

12. กาวอีพอกซี (Epoxy adhesive) จากบริษัท ออลทีโก้ เคมีเคิล ไพร์เวท จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนคู่ (Twin-screw extruder) บริษัท Collin จำกัด รุ่น T-20

2. เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) บริษัท C. Melchers (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น PL 2000/PL 2001

3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) บริษัท Bosco Engineering จำกัด รุ่น Bosco A600

4. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) บริษัท แมช กรุป (1992) จำกัด รุ่น MGLP 20 AT

5. เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) บริษัท LLOYD Instrument จำกัด รุ่น LR 5K

6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5410LV

7. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) บริษัท Perkin Elmer จำกัด รุ่น FTIR Spectrum Gx

8. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter) บริษัท Perkin Elmer จำกัด รุ่น DSC 7

9. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัต (Differential mechanical analyzer) บริษัท UBM จำกัด รุ่น Rheogel-E4000

10. เครื่องวัดความหนืดแบบโคนและแผ่นเรียบ (Cone-and-plate rheometer) บริษัท TA Instruments จำกัด รุ่น AR 2000 ex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เครื่องทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน (เครื่องประกอบ Home-made)
12. เครื่อง Gas chromatograph บริษัท Varian จำกัด รุ่น CP-3800
13. เครื่อง Carbon dioxide permeability analyzer บริษัท Mocon จำกัด รุ่น CO₂-TRAN
14. เครื่อง Oxygen permeability analyzer บริษัท Mocon จำกัด รุ่น O₂-TRAN
15. เครื่อง Water vapor transmission rate บริษัท Illenios instrument จำกัด รุ่น 7002
16. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด 4 ตำแหน่ง (g)
17. เครื่องบีมสุญญากาศ
18. เครื่องบีมลม บริษัท ฮิตาชิ จำกัด รุ่น BEBICON 400
19. ตู้อบความร้อน
20. อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า
21. แท่นให้ความร้อน พร้อมแท่งแก้วคน
22. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
23. กระบอกใส่ไนโตรเจนเหลว
24. เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell)
25. วงแหวนทดสอบการซึมผ่านก๊าซ (Permeation ring)
26. ไมโครมิเตอร์

3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์

การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่หรือเครื่องผสมแบบปิด

1) เตรียมพอลิเมอร์ผสม โดยชั่งให้ได้อัตราส่วนโดยน้ำหนักตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.3 ผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่

นำ LLDPE และ SEBS ใส่ลงไปเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่ โดยใช้อุณหภูมิจาก Feed zone ถึง Die zone เป็น 140/150/160/160/170/170/180/180/190/190°C ตามลำดับ และใช้ความเร็วสกรู 60 rpm ผ่านพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ถูกอัดรีดในน้ำที่อุณหภูมิ 6°C เพื่อหล่อเย็นแล้วตัดเป็นเม็ด จากนั้นนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมไปอบที่ 60°C นาน 24 ชั่วโมง เพื่อเตรียมสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS G1652 (โดยน้ำหนัก) สำหรับการผสม ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่

อัตราส่วน LLDPE/SEBS	LLDPE	SEBS G1652
100/0	100	0
90/10	90	10
80/20	80	20
75/25	75	25

2) เตรียมพอลิเมอร์ผสม โดยชั่งให้ได้อัตราส่วนโดยน้ำหนักตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.4 ด้วยเครื่องผสมแบบปิด

นำ LLDPE และ SEBS G1652 ใส่ลงไปในเครื่องผสมแบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

- Front plate 190°C
- Mixer chamber 190°C
- Rear panel 190°C
- เวลาที่ใช้ในการผสม 10 นาที

จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาบดให้เป็นเม็ดละเอียด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS G1652 (โดยน้ำหนัก) และความเร็วรอบที่ใช้สำหรับเครื่องผสมแบบปิด

อัตราส่วน LLDPE/SEBS	LLDPE	SEBS G1652	Rotor speed
90/10	90	10	60
80/20	80	20	60
70/30	70	30	60
65/35	65	35	60
55/45	55	45	60
55/45	55	45	40
55/45	55	45	80

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของเกรด SEBS G1657 ซึ่งเตรียมให้มีอัตราส่วนของ LLDPE/SEBS G1657 เป็น 70/30 ด้วยเครื่องผสมแบบปิด โดยใช้สภาวะในการผสมเช่นเดียวกับการเตรียมสูตรผสม LLDPE/SEBS G1652

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมฟิล์ม

การเตรียมฟิล์มบางแบ่งกลุ่มฟิล์มตามการทดสอบดังนี้

- 1) ฟิล์มเพื่อทดสอบการซึมผ่านของก๊าซ เตรียมให้มีความหนาในช่วง 30-40 μm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 cm โดยชั่งพอลิเมอร์ผสมประมาณ 0.2 กรัม
- 2) ฟิล์มเพื่อการวิเคราะห์และทดสอบอื่นๆ เตรียมให้มีความหนาในช่วง 50-70 μm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11 cm โดยชั่งพอลิเมอร์ผสมประมาณ 0.6 กรัม

จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัดโดยใช้สภาวะของเครื่องกดอัด ดังนี้

- ขนาดแม่พิมพ์แผ่นเรียบ $20 \times 20 \times 1 \text{ cm}^3$
- ความดันในการกดอัด 1800 psi
- อุณหภูมิในการกดอัดร้อน 200°C
- เวลาในการอุ่นแม่พิมพ์ 5 นาที
- เวลาในการอุ่นพอลิเมอร์ผสม 5 นาที
- เวลาในการกดอัดร้อน 5 นาที
- อุณหภูมิในการกดอัดเย็น 12°C
- เวลาในการกดอัดเย็น 5 นาที

3.5 การวิเคราะห์ฟิล์มด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

3.5.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

นำฟิล์มตัวอย่างมาทำการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโทรสโกปี (FT-IR) ในช่วงเลขคลื่น 4000 cm^{-1} ถึง 650 cm^{-1} โดยใช้เทคนิค Attenuated total reflectance (ATR)

3.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ SEBS ในฟิล์ม

การสร้างกราฟมาตรฐาน ทำโดยเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS G1652 ในอัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 และ 0/100 โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) โดยชั่งน้ำหนัก LLDPE และ SEBS รวม 10 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายไซลีน 60 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C พร้อมคนด้วยแท่งแก้ว จากนั้นเทใส่จานเพาะเชื้อแล้วตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน 12 ชั่วโมง เพื่อให้ระเหยตัวทำละลายบางส่วน จากนั้นนำไปอบในตู้อบสูญญากาศที่ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปกดอัดเป็นฟิล์มโดยใช้สภาวะเครื่องกดอัด

ตามข้อ 3.4 เพื่อให้ฟิล์มเรียบ นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยใช้เทคนิค ATR และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) กับปริมาณ SEBS (%โดยน้ำหนัก)

ในการวิเคราะห์หาปริมาณ SEBS ที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่างสูตรต่างๆ ให้นำค่าดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ SEBS ที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่าง

3.6 การศึกษาสัณฐานวิทยา

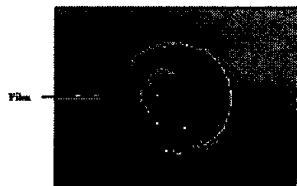
นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด $1 \times 3 \text{ cm}^2$ แล้วนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว หักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานเย็น (Cryogenic crack) จากนั้นนำแผ่นฟิล์มใส่ในขวดรูปชมพู่และแช่ด้วยตัวทำละลายไซลีนหรือเทระไฮโดรฟูราน แล้วเขย่าเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 50°C เพื่อสกัดวัฏภาค SEBS ออกจากชิ้นงาน นำฟิล์มไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำไปศึกษาการกระจายตัวของ SEBS ใน LLDPE ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.7 การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนด้วย DSC

ทำการตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิการตกผลึก (T_c) และปริมาณผลึกของ LLDPE ด้วยเครื่อง DSC โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง $25-160^\circ\text{C}$ ด้วยอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) โดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 5-10 มิลลิกรัม นำข้อมูลที่ได้มาหาค่า T_m , T_c และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ LLDPE ตามมาตรฐาน ASTM E794 โดยนำค่า Heat of fusion (ΔH_f) มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

3.8 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

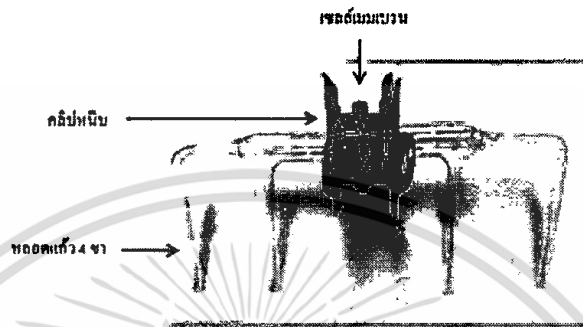
การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน เตรียมได้โดยนำฟิล์มมาประกบระหว่างวงแหวนโลหะที่ภายในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ด้วยกาวอีพอกซี (Epoxy adhesive) ส่วนประกอบนี้ เรียกว่า เซลล์เมมเบรน (Membrane cell) แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เซลล์เมมเบรน ซึ่งฟิล์มถูกติดอยู่ระหว่างวงแหวนโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเซลล์เมมเบรนต่อกับหลอดแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) 4 ขา โดยใช้ยางรองแหวน O-ring ที่ทำจากยาง ไวตัน (Viton) รองระหว่างเซลล์เมมเบรนกับหลอดแก้ว 4 ขา ส่วนนี้เรียกว่าเซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell) แสดงดังภาพที่ 3.2 และรูปการทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนแสดงในภาพที่ 3.3 และ 3.4



ภาพที่ 3.2 เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell)

การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน ทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ปรับอัตราการไหลของก๊าซ

อัตราการไหล (Flow rate) ของสารป้อน (Feed; ก๊าซเอทิลีน) และก๊าซพา (Carrier gas; ก๊าซไนโตรเจน) ถูกควบคุมด้วยเครื่องวัดอัตราการไหล (Mass flow controller) ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 30 ml/min

2) ปรับความดันฝั่งเพอร์มิเอตและรีเทนเทต

การปรับความดันฝั่งเพอร์มิเอตและรีเทนเทตให้เท่ากัน ใช้เมมเบรนเนื้อแน่นที่ทำจากแผ่นเปลวอะลูมิเนียม (Aluminium foil) แล้วดูระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube) ดังภาพที่ 3.4 โดยทำการปรับความดันฝั่งรีเทนเทตให้เท่าความดันฝั่งเพอร์มิเอตด้วยวาล์วรูเข็ม (Needle valve) ตามหลักการสมดุลความดัน (Balance pressure)

3) การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง

เมมเบรนเนื้อแน่น (แผ่นเปลวอะลูมิเนียม) ถูกแทนที่ด้วยฟิล์มตัวอย่างเพื่อทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน เมื่อสารป้อนไหลผ่านฟิล์มก๊าซบางส่วนซึมผ่านฟิล์มใน Membrane cell ไปยังฝั่งเพอร์มิเอตที่ต่อเข้ากับวาล์วของเครื่อง Gas chromatograph (GC) ที่บรรจุคอลัมน์ชนิดแพ็ค (Porapak Q column) โดยมีก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซพา สำหรับก๊าซที่ไม่สามารถซึมผ่านไปได้ไหลไปยังฝั่งรีเทนเทตสู่ช่องระบายทิ้ง (Vent) สภาวะเครื่อง GC ที่ใช้มีดังนี้

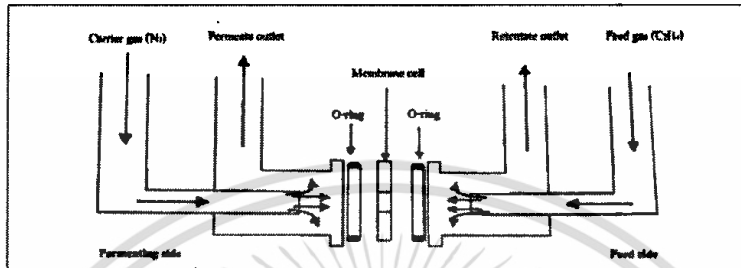
- Injector port

200°C

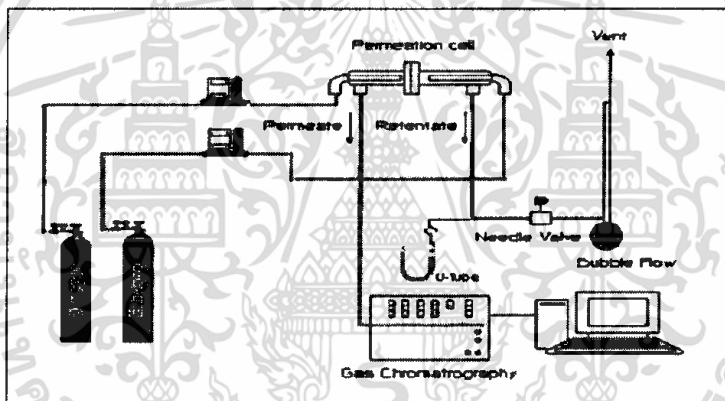
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Column oven 150°C
- Flame ionization detector (FID) 200°C

เพอร์มิเอตจะถูกตรวจวัดด้วย FID ทุกๆ 10 นาที เพื่อหาค่าการซึมผ่าน (Permeability) จนเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) สังเกตได้จากพิกที่มีความสูงไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 3.3 แผนภาพทิศทางการซึมผ่านก๊าซในเซลล์เพอร์มิเอชัน



ภาพที่ 3.4 แผนภาพทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

3.9 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D 882 โดยใช้เครื่องทดสอบเนกประสงค์ ตัดฟิล์มตัวอย่างให้มีขนาด 10×80 mm² โดยใช้สภาวะในการทดสอบ ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

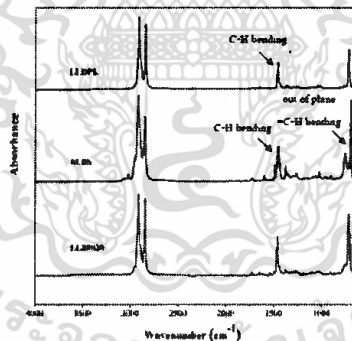
ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของกระบวนการและสถานะในการผสม

4.1.1 การศึกษาผลของเครื่องมือผสม

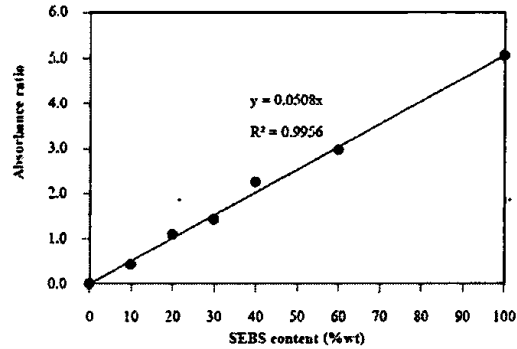
4.1.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ SEBS ในฟิล์ม LLDPE/SEBS

การตรวจสอบปริมาณ SEBS ที่มีอยู่ในฟิล์ม LLDPE/SEBS ทำเพื่อตรวจสอบปริมาณของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านกระบวนการผสมจากเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่และเครื่องผสมแบบปิด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของ LLDPE และ SEBS ต่างกันคือ LLDPE เป็นเม็ด ส่วน SEBS เป็นผง มีน้ำหนักเบา และฟุ้งกระจายได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบปริมาณของ SEBS ในพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่และเครื่องผสมแบบปิด โดยอ้างอิงจากผลของ FT-IR (ดังภาพที่ 4.1) แสดงตัวอย่างฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วน 100/0 (LLDPE), 80/20 (LL80S20) และ 0/100 (SEBS) ถูกวิเคราะห์จาก ATR-FTIR ในช่วงเลขคลื่น $4000-600\text{ cm}^{-1}$ พบว่าฟิล์ม LLDPE แสดงสเปกตรัมในช่วง $1475-1450\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณหมู่ C-H bending ของ CH_2 ที่เป็นองค์ประกอบของ LLDPE และเอทิลีน/บิวทิลีนใน SEBS และสัญญาณในช่วง $900-675\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณหมู่ out of plane =C-H bending ของสไตรีนใน SEBS [34] ส่วนฟิล์ม LL80S20 ที่เตรียมได้แสดงพีคของสัญญาณหมู่ทั้งสอง



ภาพที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์ม LLDPE, SEBS และ LL80S20

การหาปริมาณ SEBS ที่มีอยู่ในฟิล์ม LLDPE/SEBS จากกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ 4.2) ของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 และ 0/100 โดยน้ำหนัก ซึ่งเตรียมโดยวิธีหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) โดยสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance ratio) กับปริมาณ SEBS



ภาพที่ 4.2 กราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณ SEBS ในฟิล์ม

LLDPE/SEBS

ตารางที่ 4.1 ปริมาณ SEBS ที่มีอยู่จริงในฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ปริมาณ SEBS ที่กำหนด (%wt)	ปริมาณ SEBS ที่พบ (%wt)	
		ผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทอนนคู	ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด
LLDPE	0	0	0
LL90S10	10	10	10
LL80S20	20	20	20
LL70S30	30	21	28
LL60S40	40	24	37
LL50S50	50	-	44

จากการตรวจสอบปริมาณ SEBS ที่มีอยู่จริงในฟิล์ม LLDPE/SEBS พบว่าปริมาณ SEBS ที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทอนนคูใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการในช่วง 10-20%wt แต่ที่ปริมาณมากขึ้นพบว่าค่าที่พบจริงน้อยกว่าค่าที่ต้องการ

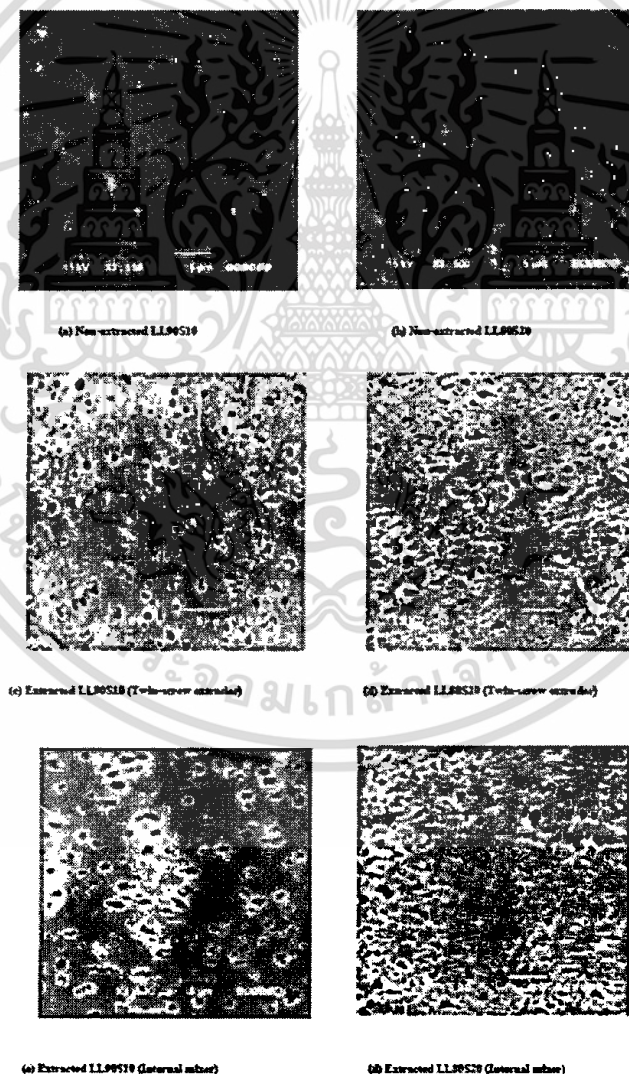
4.1.1.2 สันฐานวิทยาของ LLDPE/SEBS จากเครื่องมือผสม 2 ชนิด

การศึกษาสันฐานวิทยาของ LLDPE/SEBS เพื่อดูผลของการใช้เครื่องมือผสมที่มีต่อสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ทำการเลือกสูตรที่มีปริมาณ SEBS เท่ากันมาทำการศึกษาคือ LL90S10 และ LL80S20 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของ SEBS ใน LLDPE/SEBS โดยนำฟิล์มตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วย SEM แสดงในภาพที่ 4.3

จากภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะสันฐานวิทยาของฟิล์ม LL90S10 และ LL80S20 โดยรูป (a) และ (b) แสดงลักษณะสันฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์มก่อนทำการสกัดวัฏภาค SEBS ออก สามารถเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ารูปทั้งสองเหมือนกันคือ เป็นรูปสี่เหลี่ยม ไม่สามารถระบุวิภาคของ LLDPE และ SEBS ได้ เมื่อทำการสกัดวิภาค SEBS ออกด้วยตัวทำละลายไซลีน จากรูปพบว่า LLDPE เป็นวิภาคต่อเนื่องหรือเมทริกซ์ (Matrix) และช่องว่างสีดำคือ วิภาคกระจาย (Dispersed phase) ของ SEBS ซึ่งเป็นสัณฐานวิทยาแบบทรงกลม (Spherical) เมื่อพิจารณาทั้งสูตร LL90S10 และ LL80S20 พบว่า SEBS มีการกระจายตัวที่ดีอยู่ในวิภาค LLDPE และมีขนาดของวิภาคกระจายที่ใกล้เคียงกันทั้งสองเครื่องมือผสม อาจเนื่องจากสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่เกิดจากกระบวนการผสมในเครื่องไม่เสถียร และเปลี่ยนแปลงไปเมื่อขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัด เนื่องจากมีการหลอมพอลิเมอร์ผสมอีกครั้งระหว่างการกดอัด SEBS อาจเคลื่อนที่และไหลมารวมกันทำให้มีขนาดและการกระจายตัวของ SEBS ใน LLDPE ที่คล้ายคลึงกันดังภาพที่ 4.3 (c)-(f)

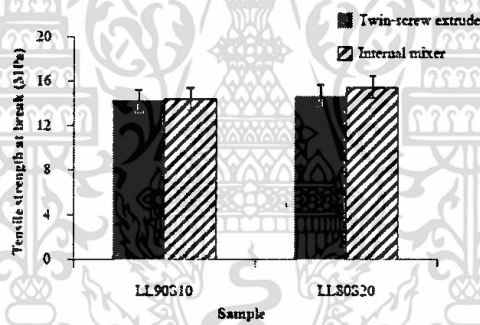


ภาพที่ 4.3 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วน LL90S10 และ LL80S20 ที่สกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

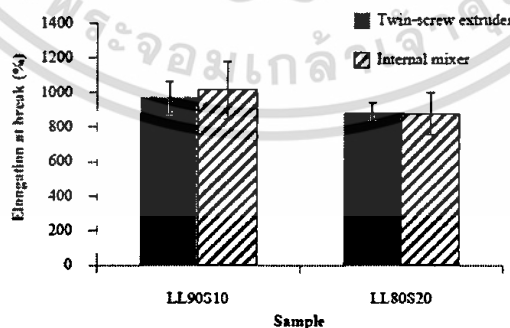
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS

จากเครื่องมือผสม 2 ชนิด จากภาพที่ 4.4-4.7 เป็นผลสมบัติเชิงกลของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20 ที่เตรียมจากเครื่องมือผสมแตกต่างกัน พบว่าฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break), ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break), ความเค้น ณ จุดคราก (Stress at yield) และมอดุลัสของยัง (Young' modulus) ใกล้เคียงกัน เนื่องจากฟิล์มแต่ละสูตรที่เตรียมจากเครื่องมือผสมต่างก็มีปริมาณ SEBS เท่ากันและผ่านการเตรียมเป็นฟิล์มตัวอย่างด้วยกระบวนการกดอัดที่สภาวะเดียวกัน ทำให้มีการกระจายตัวและขนาดของ SEBS คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้เมื่อมีปริมาณ SEBS มากขึ้น ทำฟิล์มนี้มึนคล้ายมากขึ้น เมื่อได้รับแรงจากการดึงยืด ฟิล์มจึงเสียรูปได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ความเค้น ณ จุดครากและมอดุลัสของยังลดลง ขณะเดียวกัน SEBS ที่มากขึ้น ทำให้มีปริมาณของสไตรีนที่ทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslink) ยึดให้สายโซ่โมเลกุลของเอทิลีน/บิวทิลีนติดกันคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติมากขึ้น ฟิล์มมีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูง แต่มีร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง

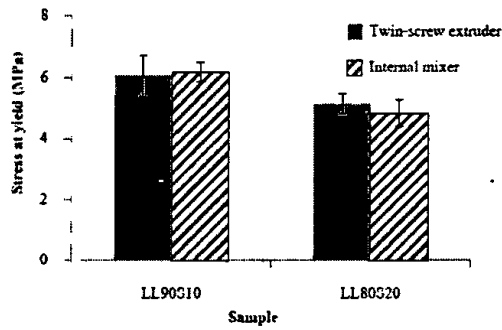


ภาพที่ 4.4 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20

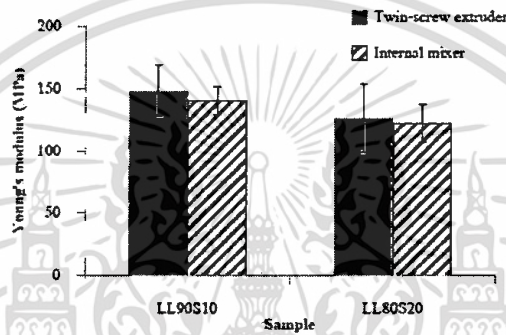


ภาพที่ 4.5 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



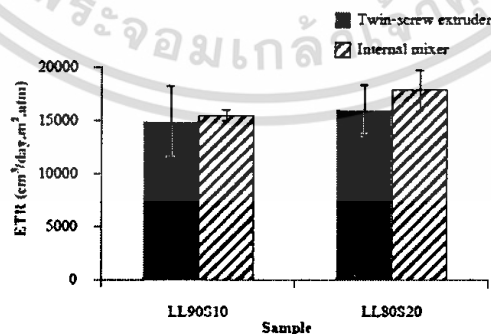
ภาพที่ 4.6 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20



ภาพที่ 4.7 มอดุลัสของยังของฟิล์มสูตร LL90S10 และ LL80S20

4.1.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่างจากเครื่องมือผสม 2 ชนิด

จากภาพที่ 4.8 พบว่าอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL90S10 และ LL80S20 ที่เตรียมจากเครื่องมือผสมต่างกันแต่ละสูตรให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณ SEBS เท่ากัน SEBS มีการกระจายตัวและมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านวัฏภาคอสัณฐานของ SEBS ได้ดีเหมือนกัน



ภาพที่ 4.8 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL90S10 และ LL80S20

จากผลของสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วน 90/10 และ 80/20 พบว่าการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่และเครื่องผสมแบบปิดแล้วขึ้นรูปฟิล์มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

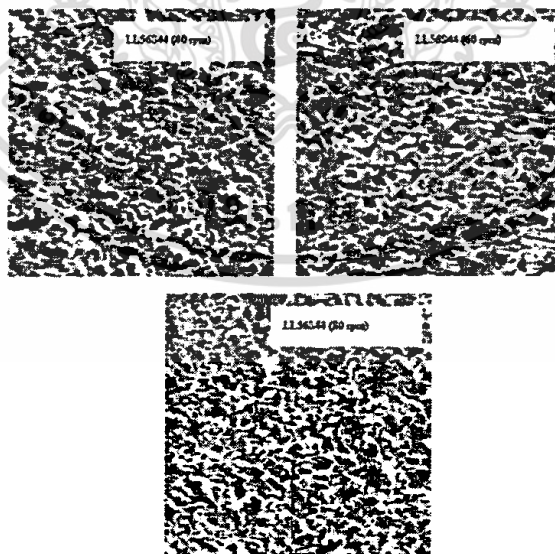
สภาวะเดียวกัน ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะการกระจายตัวและขนาดของภูมิภาคกระจาย SEBS คล้ายคลึงกัน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลและอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนมีค่าการทดสอบที่ได้ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์หาปริมาณของ SEBS ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อผสม SEBS ในปริมาณมากกว่า 20%wt ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่ได้ปริมาณ SEBS น้อยกว่าที่ต้องการมาก ส่วนเครื่องผสมแบบปิดได้ปริมาณของ SEBS ที่ใกล้เคียงกับที่ต้องการทุกสูตรผสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่องผสมแบบปิดในการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ต่อไป

4.1.2 การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม

นอกจากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด สามารถให้ปริมาณ SEBS ใกล้เคียงตามที่ต้องการแล้ว การปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสมอาจมีผลต่อขนาดของภูมิภาคกระจาย SEBS ที่ได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมได้รับแรงเฉือนในการผสมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตร LL56S44 ที่มีปริมาณ SEBS และมีความหนืดสูงด้วยความเร็วโรเตอร์ที่แตกต่างกันคือ 40, 60 และ 80 rpm เพื่อศึกษาผลของความเร็วโรเตอร์ที่มีต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติอื่นๆ ของฟิล์ม

4.1.2.1 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LL56S44

จากภาพที่ 4.9 แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสมเป็น 40, 60 และ 80 rpm ขนาดภูมิภาคกระจาย SEBS มีแนวโน้มเล็กลงเมื่อผสมที่ความเร็วสูง เพราะที่ความเร็วโรเตอร์สูง ทำให้พอลิเมอร์ได้รับแรงเฉือนสูงและมากจนทำให้เกิดการแตกออก (Break up) ของ SEBS ให้มีขนาดเล็กในเวลาผสมที่เท่ากัน (10 นาที)



ภาพที่ 4.9 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสมที่มีการสกัด SEBS ออกด้วย THF ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของ SEBS ในฟิล์มที่ปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ทั้ง 3 รอบ พบว่า SEBS มีการกระจายตัวทั่วทั้งภูมิภาค LLDPE รูปร่างของภูมิภาคกระจายมีทั้งคล้ายจะเป็นวงรีและทรงกลมหลายขนาดผสมกัน อย่างไรก็ตามภูมิภาคกระจาย SEBS (MFI (5 kg, 230°C) 5 g/10 min) มีความหนืดสูงกว่าภูมิภาคหลัก LLDPE (MFI (2.16 kg, 190°C) 2 g/10 min) การเลือกสูตร LL56S44 ซึ่งมีปริมาณ LLDPE กับ SEBS ใกล้เคียงกัน ความหนืดของฟิล์มสูตรนี้จึงสูง เห็นได้จากการเปลี่ยนรูปร่างของสัณฐานวิทยาจึงทำได้ยากแม้จะปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสม ลักษณะสัณฐานวิทยาของฟิล์มที่ผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ 3 รอบนี้จึงคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันที่ขนาดของภูมิภาคกระจายเท่านั้น คือสูตร LL56S44 (40 rpm) มีภูมิภาค SEBS ใหญ่ที่สุด ส่วนที่ความเร็ว 60 และ 80 rpm ให้ขนาดของภูมิภาคกระจายที่ใกล้เคียงกัน

4.1.2.2 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LL56S44

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LL56S44 ที่ปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสมด้วย DSC แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

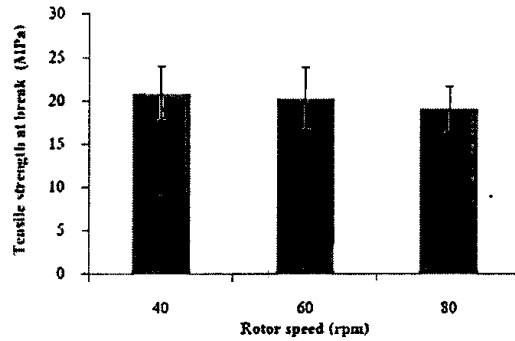
ตารางที่ 4.2 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LL56S44

ความเร็วโรเตอร์ (rpm)	T_m (°C)	T_c (°C)	ความเป็นผลึก (%)
40	117	98	20.2
60	119	100	22.0
80	118	98	19.5

จากผลการทดลอง พบว่าทั้งอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการเกิดผลึกของ LLDPE ในฟิล์มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันแม้มีการปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสม เนื่องจากผลของสัณฐานวิทยาเห็นได้ชัดว่าพอลิเมอร์ผสมในระบบ LLDPE/SEBS เป็นระบบผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible blend) SEBS จึงไม่เข้าไปรบกวนการเกิดผลึกของ LLDPE ปริมาณผลึก LLDPE ที่ถูกวิเคราะห์จึงมีค่าใกล้เคียงกัน

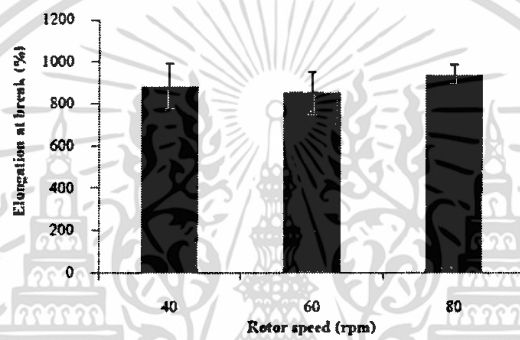
4.1.2.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL56S44

จากภาพที่ 4.10-4.13 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มสูตร LL56S44 ที่ปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสม พบว่าสมบัติเชิงกลทุกประเภทของฟิล์มที่ผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ทั้ง 3 รอบมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะฟิล์มตัวอย่างประกอบด้วย SEBS ปริมาณเท่ากันและผ่านการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัดในสภาวะเดียวกัน ทำให้ฟิล์ม LL56S44 มีลักษณะของสัณฐานวิทยาและความสามารถในการรับแรงกระทำคล้ายคลึงกัน การปรับเปลี่ยนความเร็วในการผสมจึงไม่มีผลต่อสมบัติในการรับแรงดึงของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ



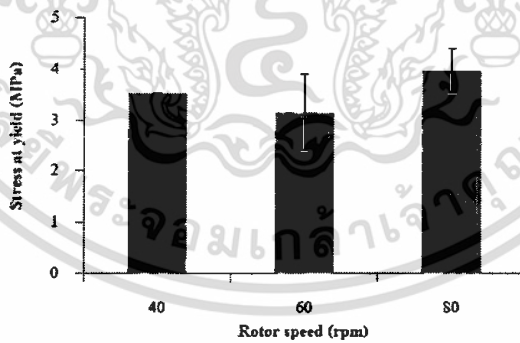
ภาพที่ 4.10 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์

ในการผสม



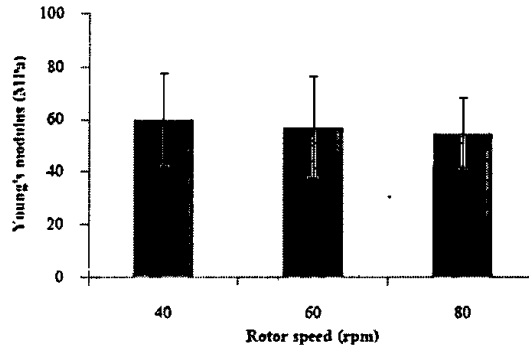
ภาพที่ 4.11 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์

ในการผสม



ภาพที่ 4.12 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม

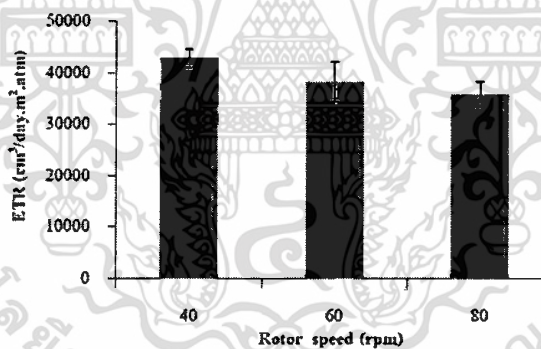
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 มอดุลัสของยังของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม

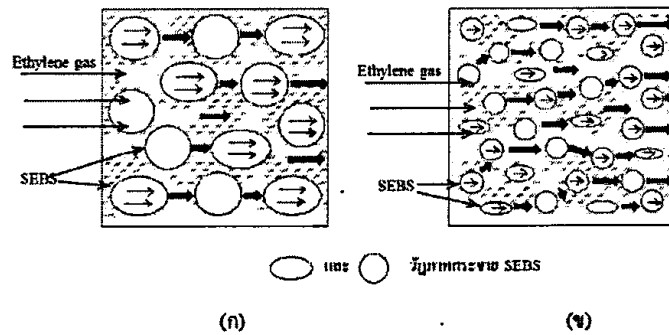
4.1.2.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL56S44

จากภาพที่ 4.14 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยการผสมที่ความเร็วโรเตอร์ 40 rpm มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูง เพราะวัฏภาคกระจายที่ได้มีขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มความเร็วโรเตอร์ในการผสมสูงขึ้น พบว่าอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากขนาดของวัฏภาค SEBS เล็กลง (จากผล SEM ในภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.14 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL56S44 ที่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสม

จากภาพที่ 4.15 แสดงแบบจำลองการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโดยวัฏภาคกระจาย SEBS มีทั้งทรงกลมและทรงรีกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง LLDPE ภาพที่ 4.15 (ก) แสดงการมี SEBS ขนาดใหญ่ และภาพที่ 4.15 (ข) แสดงการมี SEBS ขนาดเล็ก ลูกศรบาง แสดงการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในวัฏภาค SEBS และลูกศรทึบแสดงการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในวัฏภาค LLDPE โดยพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่มี SEBS เป็นวัฏภาคกระจายขนาดใหญ่ ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านวัฏภาคอสัณฐานนี้ได้ดีและเร็วกว่าวัฏภาคกระจายของ SEBS ที่มีขนาดเล็ก ทำให้ฟิล์มมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูง



ภาพที่ 4.15 แบบจำลองการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่มีปริมาณ SEBS เท่ากัน;

(ก) ภูมิภาค SEBS ขนาดใหญ่ และ (ข) ภูมิภาค SEBS ขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบ พบว่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ต่างกัน ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL56S44 เพราะประกอบด้วยปริมาณของ SEBS ที่เท่ากัน จึงสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกัน แต่ความเร็วโรเตอร์ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะสัณฐานวิทยาและการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนที่วิเคราะห์ คือการใช้ความเร็วโรเตอร์ต่ำ (40 rpm) ทำให้ได้ภูมิภาค SEBS ขนาดใหญ่และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงกว่าการใช้ความเร็วโรเตอร์สูง

4.2 ผลขององค์ประกอบของฟิล์ม LLDPE/SEBS

4.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสม LLDPE/SEBS

การศึกษาผลของอัตราส่วน LLDPE/SEBS โดยใช้ SEBS เกรด Kraton G1652 ที่ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดแล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด นำฟิล์มมาทดสอบสมบัติต่างๆ โดยการเขียนสูตรฟิล์มจะระบุปริมาณพอลิเมอร์ที่มีอยู่จริงในฟิล์ม ดังแสดงตามตารางที่ 4.3 เช่น ในสูตรที่มี SEBS อยู่ 28% เขียนเป็นสูตร LL72S28

4.2.1.1 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ด้วย DSC แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) ของ LLDPE มีค่าใกล้เคียงกันในทุกสูตรฟิล์ม อาจเนื่องมาจาก LLDPE และ SEBS มีแรงยึดติดที่พื้นผิวระหว่างภูมิภาคที่ไม่ดี จึงมีความเข้ากันได้ต่ำ ทำให้การเติม SEBS ไม่มีผลต่อขนาดของผลึก LLDPE ยังสามารถเกิดผลึกที่มีขนาดใกล้เคียงกับสูตรที่ไม่ได้เติม SEBS แต่เมื่อเติม SEBS ในปริมาณตั้งแต่ 20%wt ความเป็นผลึกของ LLDPE ลดลง เนื่องจาก SEBS เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วและมีส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีโครงสร้างคล้ายกับ LLDPE จึงมีความเข้ากันได้บางส่วนเมื่อมีปริมาณ SEBS มากขึ้น จึงมี SEBS กระจายตัวอยู่ในภูมิภาค LLDPE ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

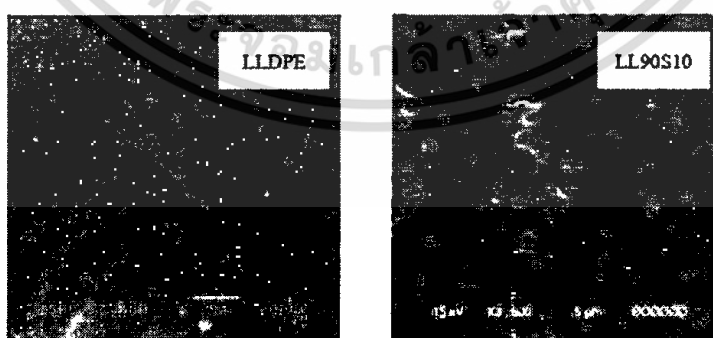
ความต่อเนื่องของเมทริกซ์ LLDPE ลดลง และทำให้ระบบมีความหนืดสูง สายโซ่โมเลกุลของ LLDPE จึงเคลื่อนที่มาจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบเพื่อสร้างผลึกมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเติม SEBS 20-44%wt พบว่าไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึก (ซึ่งมีค่าในช่วง 22-24%)

ตารางที่ 4.3 T_m , T_c และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LLDPE/SEBS

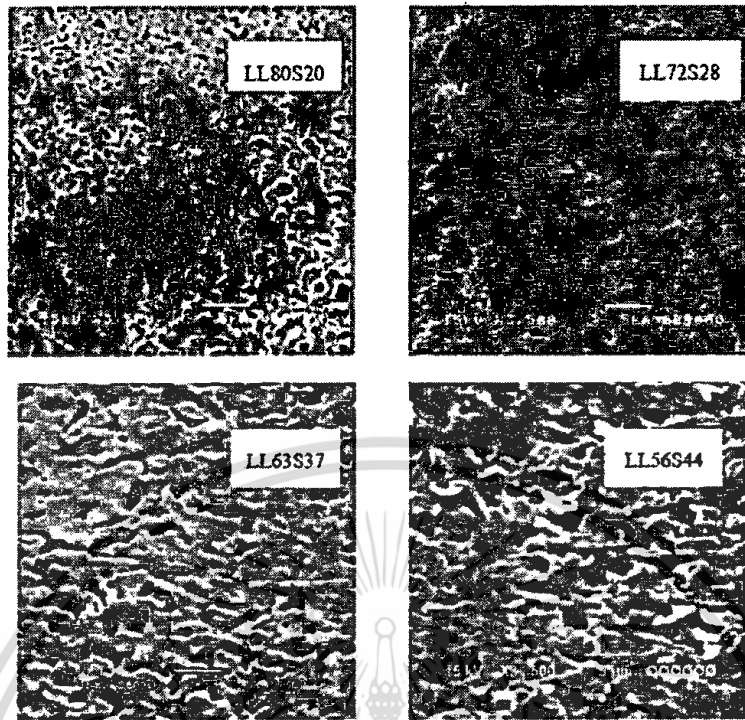
สูตร	T_m (°C)	T_c on set (°C)	ความเป็นผลึก (%)
LLDPE	117	105	29.3
LL90S10	119	104	26.6
LL80S20	118	102	22.2
LL72S28	118	103	23.4
LL63S37	116	102	24.2
LL56S44	119	100	22.0

4.2.1.2 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 4.16 แสดงสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ หลังสกัดด้วยตัวทำละลายไซลีน โดย LLDPE ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และมี SEBS ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคกระจาย พบว่าฟิล์ม LLDPE เป็นรูปสี่เหลี่ยมและมีผิวเรียบ แสดงว่าไม่มีการละลายออกของ LLDPE ในตัวทำละลายไซลีน เมื่อปริมาณของ SEBS เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีวัฏภาคของ SEBS กระจายตัวในวัฏภาค LLDPE มากขึ้นและมีโอกาสที่ SEBS จะรวมตัวกัน (Coalescence) ขณะผสมสูงกว่าการมีปริมาณ SEBS น้อย จึงทำให้ขนาดวัฏภาค SEBS มีแนวโน้มใหญ่ขึ้น โดยมีลักษณะของวัฏภาค SEBS เปลี่ยนจากทรงกลมขนาดเล็กเป็นใหญ่และมีความต่อเนื่องกันมากขึ้น สังเกตได้ชัดเจนในฟิล์มสูตร LL63S37 และ LL56S44



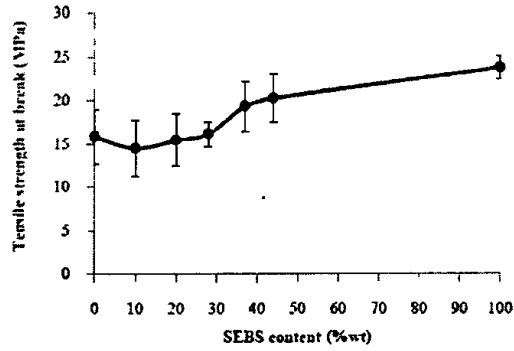
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



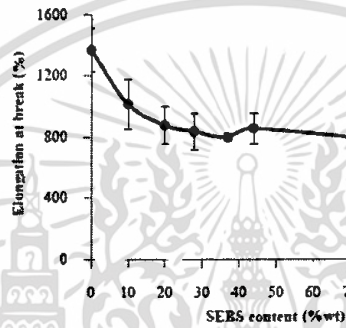
ภาพที่ 4.16 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

4.2.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

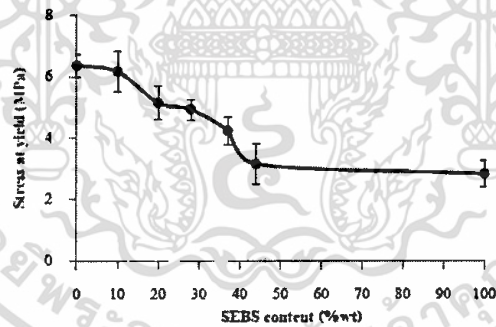
จากภาพที่ 4.17-4.20 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่มีปริมาณ SEBS ต่างๆ พบว่าฟิล์ม SEBS (100%wt SEBS content) มีค่าความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์ม LLDPE (0%wt SEBS content) เนื่องจาก SEBS เกรด Kraton G1652 ที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ออสัญฐานประกอบด้วยส่วนของพอลิสไตรีน 30%wt ที่มีความแข็ง และเอทิลีน/บิวทิลีน 70%wt ที่มีความนิ่มคล้ายยาง ซึ่งส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีความอ่อนนิ่ม ทำให้เกิดการเสียรูปได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ ขณะที่ LLDPE เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบจึงสามารถรับแรงได้มากกว่าก่อนเกิดการเสียรูป สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม SEBS สูงกว่าฟิล์ม LLDPE เนื่องจากพอลิสไตรีนในโครงสร้าง SEBS ทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพ ยึดให้สายโซ่โมเลกุลของเอทิลีน/บิวทิลีนติดกันคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติ ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้น เป็นผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงขึ้น แต่มีร้อยละการยืด ณ จุดขาดต่ำ อย่างไรก็ตาม SEBS มีความนิ่มคล้ายยางและเหนียวติดสูง (Sticky) ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ยาก จึงต้องนำมาเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมกับ LLDPE เพื่อช่วยในการขึ้นรูป



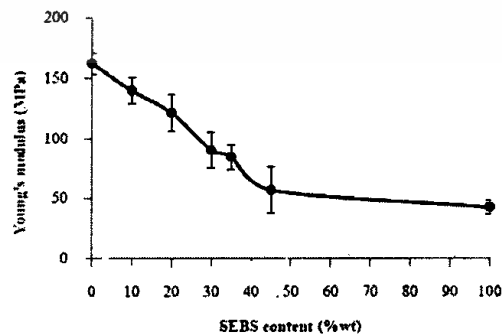
ภาพที่ 4.17 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ



ภาพที่ 4.18 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ



ภาพที่ 4.19 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ



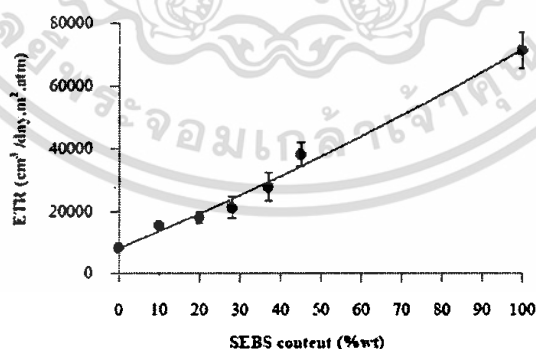
ภาพที่ 4.20 โมดูลัสของยังของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณ SEBS ลงไปใน LLDPE/SEBS ทำให้ฟิล์มมีความนิ่ม คล้ายยางมากขึ้น เมื่อดึงฟิล์มตัวอย่าง ฟิล์มมีการเสียรูปร่างแบบอีลาสติก เมื่อให้แรงดึงต่อไปอย่าง สม่ำเสมอ ฟิล์มเกิดการคราก (Yielding) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดครากและค่ามอดูลัสของยังมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เดียวกันปริมาณ SEBS ที่ มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความเหนียว (Toughness) และมีความแข็งแรงดึงมากขึ้น ขณะดึงฟิล์มตัวอย่าง วัสดุ ภาค SEBS ที่มีสัณฐานวิทยาแบบทรงกลมจะถูกยึดออกจนกลายเป็นทรงรี ทำให้สามารถรับและกระจาย พลังงานที่ได้รับดีกว่าการมีปริมาณ SEBS น้อย เป็นผลให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามจุดเชื่อมโยงทางกายภาพของ SEBS ที่มากขึ้น ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้น ส่งผลให้รอยฉีกการยึด ณ จุดขาดลดลง

4.2.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

จากภาพที่ 4.21 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มต่างๆ พบว่าฟิล์ม LLDPE มีค่าอัตรา การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนต่ำ เพราะความเป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึกของ LLDPE มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบบางส่วน ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านส่วนอสัณฐานได้ดีกว่าส่วนผลึก ส่วนฟิล์ม SEBS เป็นอสัณฐาน ไม่มีขั้วเหมือน ก๊าซเอทิลีน และมีส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีความนิ่ม สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่าย ก๊าซเอทิลีนจึง สามารถซึมผ่านได้ดี จากผลดังกล่าวจึงนำ SEBS มาผสมกับ LLDPE เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่าน ก๊าซเอทิลีน พบว่าอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ มีปริมาณ SEBS มากขึ้น (เพิ่มขึ้น 4.6 เท่า เมื่อเติม SEBS 44%) เนื่องจากการมี SEBS ช่วยเพิ่มความเป็นอ สัณฐานให้กับฟิล์ม LLDPE/SEBS ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.21 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณ SEBS ที่มีความเป็นอสัณฐาน ทำให้ฟิล์มมีวัฏภาคอ

สัณฐานมากขึ้น ปริมาตรอิสระของระบบจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น แต่สมบัติเชิงกลของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

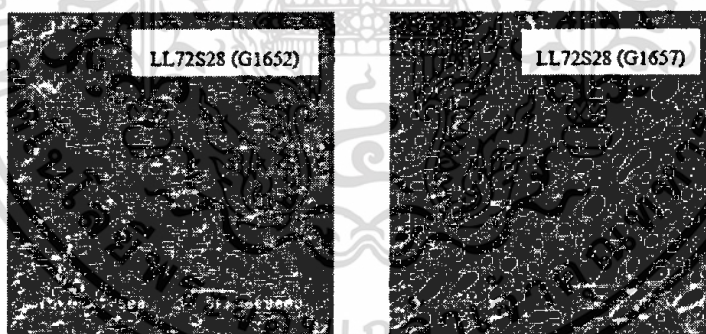
จากผลของสัณฐานวิทยาพบว่าสูตร LL72S28 มีการกระจายตัวของวัฏภาค SEBS ในวัฏภาค LLDPE ที่ดี และมีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่สูง มีสมบัติการรับแรงดึงที่ดี เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง แต่เมื่อมีปริมาณ SEBS มากกว่า 30%wt พบว่าค่ามอดุลัสของยังและความเค้น ณ จุดครากลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากฟิล์มนิ่มและเหนียวติดมากขึ้น

4.2.2 การศึกษาผลของการใช้ SEBS เกรดต่างกัน

การศึกษามผลของการเลือกใช้เกรดของ SEBS ที่ต่างกันในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS เพื่อเพิ่มการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน เลือกใช้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่ 72/28 ซึ่งเกรด SEBS ที่เลือกใช้คือเกรด G1652 ที่ประกอบด้วยเอทิลีน/บิวทิลีน 70%wt และสไตรีน 30%wt และเกรด G1657 ที่ประกอบด้วยเอทิลีน/บิวทิลีน 87%wt และสไตรีน 13%wt โดยนำเสนออักษรย่อเพื่อใช้แทนสูตรต่างๆ คือ LL72S28 (G1652) และ LL72S28 (G1657)

4.2.2.1 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LL72S28

การศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มสูตร LL72S28 ที่ผสมด้วย SEBS เกรดต่างกันแสดงผลการทดลองในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของ LL72S28 (G1652) และ LL72S28 (G1657) ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

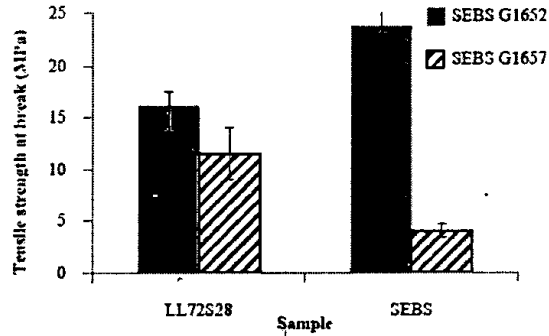
จากผลการทดลองพบว่า SEBS ทั้งสองเกรดมีการกระจายตัวในวัฏภาค LLDPE ดี แต่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ โดยสูตร LL72S28 (G1652) มีขนาดวัฏภาคกระจายเล็กทั้งแบบทรงกลมและทรงรีปนกันแต่ไม่ชัดเจน ส่วนสูตร LL72S28 (G1657) ที่มีสัณฐานวิทยาทั้งสองแบบอย่างชัดเจน เนื่องจาก SEBS G1652 มีความหนืดและ Surface tension มากกว่าวัฏภาคหลัก LLDPE เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงเฉือนจากเครื่องผสม วัฏภาค SEBS G1652 ที่แตกตัวเป็นทรงกลมขนาดเล็ก จึงคงตัวเป็นทรงกลมหรือรวมตัวกันเป็นทรงรี

ได้บ้าง ขณะที่ SEBS G1657 มีความหนืดใกล้เคียงกับ LLDPE วัฏภาคกระจายที่ได้ควรแตกออกเป็นทรงกลมขนาดเล็กที่มีความเสถียรและมีขนาดเล็กกว่า SEBS G1652 แต่จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าวัฏภาค SEBS G1657 ที่ปรากฏมีทั้งแบบทรงกลมและทรงรีที่มีขนาดใหญ่กว่า SEBS G1652 อาจเกิดจากความหนืดของ SEBS G1657 ที่ต่ำกว่าและมีความอ่อนนุ่มสูงกว่าในระหว่างกระบวนการผสมพอลิเมอร์ที่อ่อนนุ่มสูงจึงมักกลับคืนรูปเดิมได้ง่ายกว่าทำให้วัฏภาคกระจายเคลื่อนที่มารวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น (Coalescence) และกลายเป็นทรงรี ซึ่ง SEBS G1652 มีความหนืดมากกว่าวัฏภาคหลัก LLDPE ทำให้ขนาดวัฏภาคกระจายในพอลิเมอร์ผสมไม่สม่ำเสมอ (Coarse morphology) สันฐานวิทยาที่ได้ไม่เสถียร ขณะที่การใช้ SEBS G1657 ที่มีส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนซึ่งเป็นส่วนที่มีความอ่อนนุ่มสูงและไหลได้ง่ายขนาดของวัฏภาคกระจาย SEBS G1657 ที่ได้จึงมีขนาดใหญ่และมีการกระจายตัวของขนาด SEBS ที่แคบกว่า SEBS G1652

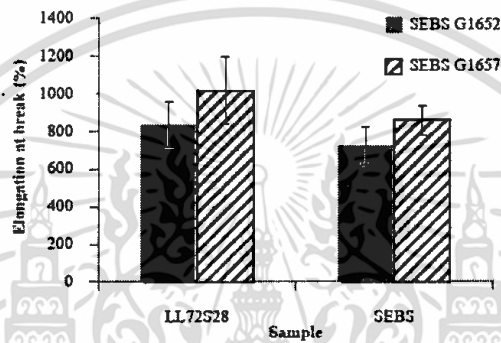
4.2.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28

จากภาพที่ 4.23-4.26 แสดงผลของเกรดของ SEBS ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS พบว่าฟิล์ม SEBS G1657 มีร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงกว่าฟิล์ม SEBS G1652 เพราะ SEBS G1657 ประกอบด้วยส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีน และส่วนของสไตรีนปริมาณ 87%wt และ 13%wt ตามลำดับ ปริมาณเอทิลีน/บิวทิลีนที่มากกว่า ทำให้ฟิล์มมีความนิ่มและสามารถยืดตัวได้มากกว่าฟิล์ม SEBS G1652 ที่ประกอบด้วยส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีน และพอลิสไตรีนในปริมาณ 70%wt และ 30%wt ตามลำดับ ปริมาณสไตรีนที่มากกว่า จึงทำให้ฟิล์ม SEBS G1652 มีปริมาณของจุดเชื่อมโยงทางกายภาพมาก ส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยัง ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และความเค้น ณ จุดครากสูงกว่าฟิล์ม SEBS G1657 ส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LL72S28 (G1652) และ LL72S28 (G1657) พบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าฟิล์ม SEBS ทั้งสองเกรด เนื่องจากประกอบด้วย LLDPE ที่เป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึก ขณะทำการดึงยึดฟิล์มอย่างช้าๆ LLDPE สามารถเกิดการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในทิศทางเดียวกับที่ดึงฟิล์ม สังเกตได้จากฟิล์มขุ่นขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มสามารถยืดตัวมากขึ้นและมีสมบัติเชิงกลดีกว่า SEBS ซึ่งเป็นพอลิเมอร์กลุ่มออลาสโตเมอร์ โดย LLDPE ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ควบคุมสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมไว้ ยกเว้นความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 (G1652) ที่มีค่าต่ำกว่าฟิล์ม SEBS G1652 เพราะการมีสไตรีนซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมโยงทางกายภาพถึง 30%wt ในโครงสร้างของ SEBS ทำให้สายโซ่ของ SEBS เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากกว่า LL72S28 (G1652) ฟิล์มจึงมีความแข็งแรง ณ จุดขาดสูง ค่าการทดสอบที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับฟิล์ม SEBS G1652 และ SEBS G1657 นั่นคือฟิล์ม LL72S28 (G1652) มีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด, ความเค้น ณ จุดคราก และมอดูลัสของยังสูงกว่าฟิล์ม LL72S28 (G1657) แต่มีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดต่ำกว่า

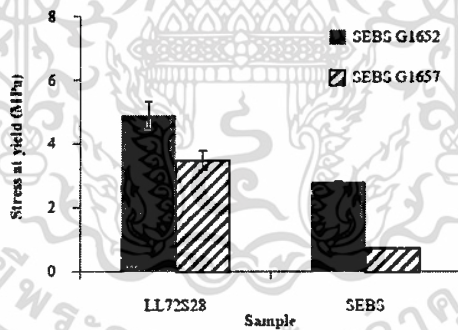
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



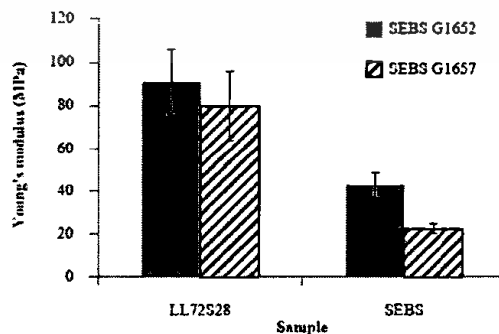
ภาพที่ 4.23 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS



ภาพที่ 4.24 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS



ภาพที่ 4.25 ความเค้น ณ จุดครากของ LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS

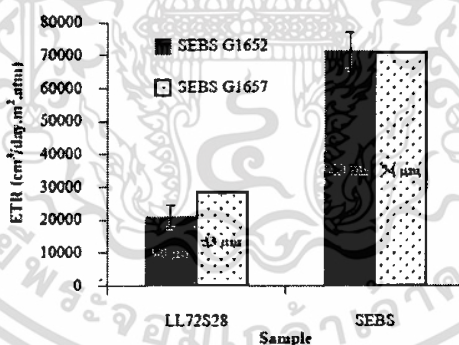


ภาพที่ 4.26 โมดูลัสของยังของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28

จากภาพที่แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง พบว่าฟิล์ม SEBS มีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูง เพราะเป็นพอลิเมอร์ออสฐานที่มีความอ่อนนุ่มคล้ายยาง มีปริมาตรอิสระสูงและไม่มีขั้ว ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่าน SEBS ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบฟิล์ม SEBS ทั้งสองเกรด โดยทฤษฎีเมื่อก๊าซตัวอย่างซึมผ่านฟิล์มที่มีความหนาใกล้เคียงกัน ฟิล์ม SEBS G1657 ควรให้อัตราการซึมผ่านก๊าซมากกว่าฟิล์ม SEBS G1652 เพราะส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนใน SEBS G1657 มี 87%wt ส่วน SEBS G1652 มี 70%wt แต่ผลการทดสอบที่ได้พบว่าการซึมผ่านของ SEBS ทั้งสองเกรดมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะความหนาที่มากกว่าของฟิล์ม SEBS G1657 (74 μm) ในขณะที่ SEBS G1652 หนาเพียง 43 μm เนื่องจากในขั้นตอนของการเตรียมฟิล์ม ฟิล์ม SEBS G1657 มีความเหนียวติดสูงมาก ยากที่จะเตรียมเป็นฟิล์มบางและมีความหนาสม่ำเสมอ จึงต้องเตรียมฟิล์มให้หนาขึ้น เพื่อให้ได้ความหนาสม่ำเสมอและสะดวกในการนำไปทดสอบ ส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LL72S28 ที่เตรียมด้วย SEBS ทั้งสองเกรดมีค่าการซึมผ่านต่ำกว่าฟิล์ม SEBS ที่เป็นออสฐานทั้งหมด เพราะผลจากผลึกที่มีใน LLDPE ขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ จากภาพที่ 4.27 เห็นได้ชัดว่าฟิล์ม LL72S28 (G1657) มีอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงกว่าฟิล์ม LL72S28 (G1652) เมื่อความหนาของฟิล์มใกล้เคียงกัน เนื่องจาก SEBS G1657 มีปริมาณเอทิลีน/บิวทิลีนในโครงสร้างมากกว่า ทำให้ฟิล์มมีความนิ่มสูง ก๊าซจึงซึมผ่านได้ดี



ภาพที่ 4.27 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 และ SEBS: ผลของเกรดของ SEBS

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มที่มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนได้ดี โดยเตรียมเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LLDPE และ SEBS จากผลการทำวิจัยพบว่ากระบวนการและความเร็วในการผสม รวมถึงองค์ประกอบของฟิล์ม เช่น เกรดของ SEBS และปริมาณการเติม SEBS ส่งผลต่อลักษณะพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ สมบัติต่างๆ และการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ดังนี้

การเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder และเครื่อง Internal mixer แล้วขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัดด้วยสภาวะเดียวกัน ทำให้ได้ลักษณะพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ สมบัติการรับแรงดึงและความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนของฟิล์มที่มีปริมาณ SEBS เท่ากัน ใกล้เคียงกัน โดยเครื่องผสมแบบปิดสามารถให้ปริมาณ SEBS ใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการมากกว่า เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ในการผสมสูตร LL56S44 เป็น 40, 60 และ 80 rpm พบว่าการผสมที่ความเร็วโรเตอร์ 40 rpm วิทยาศาสตร์ กระจาย SEBS ที่ได้มีขนาดใหญ่และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงกว่าการผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ 60 และ 80 rpm

ผลของการเลือกใช้ SEBS เกรดที่มีปริมาณสไตรีนและเอทิลีน/บิวทิลีนต่างกัน ส่งผลโดยตรงต่อ วิทยาศาสตร์ และการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ซึ่งการเลือกใช้ SEBS G1657 ที่ประกอบด้วย ปริมาณเอทิลีน/บิวทิลีนสูง (87%wt) ทำให้ได้วิทยาศาสตร์ SEBS ขนาดใหญ่และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงกว่าการใช้ SEBS G1652 ที่ประกอบด้วยเอทิลีน/บิวทิลีนในปริมาณน้อยกว่า (70%wt)

จากผลการศึกษาผลของปริมาณการเติม SEBS G1652 ลงในฟิล์ม LLDPE/SEBS พบว่าการเพิ่ม ปริมาณ SEBS ทำให้ฟิล์มมีค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่ามอดุลัสของยัง และร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง แต่มีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงขึ้น ลักษณะของวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ที่ได้ พบว่าขนาดของวิทยาศาสตร์ กระจายมีแนวโน้มใหญ่ขึ้นและมีความต่อเนื่องมากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความต่อเนื่องของวิทยาศาสตร์ SEBS สูง ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านฟิล์มได้มากขึ้น

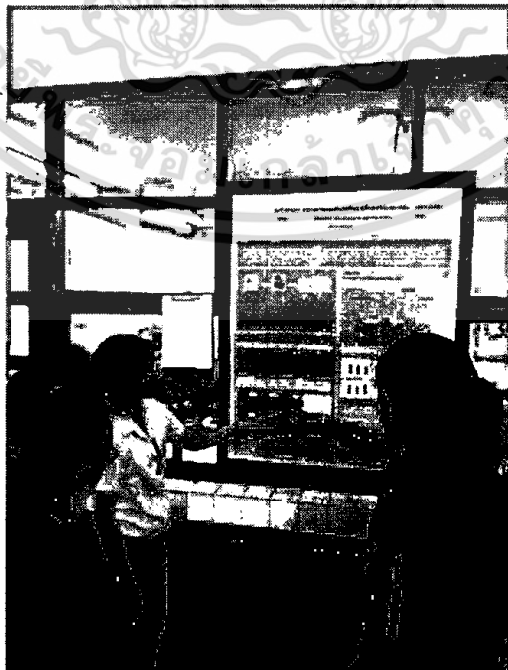
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เลือกสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ประกอบด้วย SEBS ในปริมาณมากที่สุดที่สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้ เพื่อเพิ่ม อัตราการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ โดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์นี้ใช้ในการบรรจุ ผลิตภัณฑ์ไวต่อก๊าซเอทิลีนและมีอายุการเก็บรักษาสั้น เช่น กล้วย มะม่วง เป็นต้น

2. เลือกพอลิเมอร์ที่มีวิทยาศาสตร์ ต่อเนื่องให้มีความเป็นผลึกต่ำ เพื่อให้ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดการนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ ในงานวันวิทยาศาสตร์ของคณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างวันที่ 14-17 สิงหาคม 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. “เทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สด.” [Online]. Available: <http://newstkc.stkc.go.th/flagship/sites/default/files/NSTDA10.pdf>. 2548.
- [2] สังคม เตชะวงศ์เสถียร. “สรีรวิทยาการสุกของผล (Physiology of Fruit Ripening).” การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2535. หน้า 25-32.
- [3] Abe, K. and Watada, A.E. “Ethylene Absorbent to Maintain Quality of Lightly Processed Fruits and Vegetables.” *Journal of Food Science*. 56(6) (1991) 1589–1592.
- [4] Brody, A.L. *Active Packaging for Food Applications*. New York : Technomic. 2001.
- [5] ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. “บรรจุภัณฑ์อาหาร.” [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/knowledge/content/101>. 2541.
- [6] Ghosh, V. and Anantheswaran, R.C., “Oxygen Transmission Rate Through Micro-Perforated Film: Measurement and Model Comparison.” *Journal of Food Process Engineering*. 24(2) (2001) 113–133.
- [7] Polymeric Film & Bag. Inc.. “Perforated Film For Food, Medical, And Industrial Application.” [Online]. Available: <http://www.polymericfilm.com/perforated.htm>. 2005.
- [8] Monprasit, P. “Study on Ethylene Gas Permeability of SEBS/LDPE Double-Layered Zeolite Composite.” M.Sc. in Polymer Technology. Thesis of King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang. 2009.
- [9] Laowakul, S. “Study on Zeolite-SEBS Composite/Perforated Polyolefins (LDPE and BOPP) Double-Layered Films for Improving Ethylene Permeation.” M.Sc. in Polymer Technology. Thesis of King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang. 2011.
- [10] James, D.E. “Linear Low Density Polyethylene.” *Wiley-Interscience. Encyclopaedia of Polymer Science and Engineering*. 6 (1986) 429-454.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] จรุงแท้ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554.
- [12] Pantastico, E.B. "Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Sunropical Fruits and Vegetables." Westport CT: The AVI Publishing Company Inc. 1975.
- [13] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). "การสุกของผลไม้." [Online]. Available: http://www.tistr-foodprocess.net/Fruit/fruit_home/fruit_home2.html. 2554.
- [14] เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ. เอกสารประกอบการเรียนวิชาฮอโมโนพืช. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2540.
- [15] ไตรดา วัลภา. "การยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยภาชนะบรรจุตัดแปลงบรรยากาศ (MAP)." [Online]. Available: http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/MAP_th.htm. 2540.
- [16] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. "ยืดอายุผักผลไม้สดด้วยบรรจุภัณฑ์ตัดแปลงบรรยากาศ." [Online]. Available: http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/MAP_th.htm. 2555.
- [17] Gorny J.R. "A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables." In: Gorny J, editor. Proceedings Volume 5: Fresh-cut fruits and vegetables and MAP. Davis (CA): University of CA, Department of Pomology. 1997. pp. 30-66.
- [18] ชันทอง สุนทรภา. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [19] ปรียชาติ จันทโชติ. "การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแยกบิวทานอลจากน้ำหมักโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทาละลายร่วมกับการแยกด้วยเมมเบรน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
- [20] Rowan University. "Membrane Gas Separation." [Online]. Available: <http://users.rowan.edu/~savelski/uol/gas.html>. 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Rautenbach, R. and Albrecht, R. Membrane Separation Process. New York: John Wiley and Sons Inc. 2007.
- [22] รัตนา จิระรัตนานนท์. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทยเสิ่ง. 2543.
- [23] รัตนา จิระรัตนานนท์, กิตติ วุฒิจิติประพันธ์กุล; ดุษฎี อุดภาพ, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และ Takeda, Y. เทคโนโลยีชีวภาพกับความหลากหลายทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. 2537.
- [24] Kargol, M. "Gas Separation." [Online]. Available: http://www.separationprocesses.com/Membrane/MT_ChpGS-1.htm. 2012.
- [25] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. "เอกสารประกอบการสอน วิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1." ภาควิชา วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
- [26] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. "เอกสารประกอบการสอน วิชาสารปรับแต่งพอลิเมอร์." ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [27] อาทิตยา โยธารักษ์. "ผลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดที่มีต่อโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสมแบบหลอม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร. 2549.
- [28] บรรเจิด จงสมจิตร์. "ตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซีนสำหรับการผลิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Metallocene Catalyst for LLDPE Production)." วารสารข่าวและความรู้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 3 (2554) 10-11.
- [29] Wikipedia. "Linear Low Density Polyethylene." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_low-density_polyethylene. 2012.
- [30] นเรนทร์ อาศัยพานิชย์. "การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ ." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] Omnexus. "Block copolymers based on styrene and butadiene (TPE-S or SBS, SEBS)." [Online]. Available: <http://www.omnexus.com/plastics-channels/rubber-replacement/performances.aspx>. 2012.
- [32] Kraton Polymer LLC. "An Introduction to Kraton Polymer." [Online]. Available: <http://docs.kraton.com/kraton/attachments/downloads/32733AM.pdf>. 2003.
- [33] Eastman. "Block Copolymer." [Online]. Available: http://www.eastman.com/Markets/Tackifier_Center/Pages/Block_Copolymer.aspx. 2012.
- [34] McMurry, J. Organic Chemistry. 8th ed. Belmont, CA: Cengage Learning. 2010.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1: ความเป็นผลึก (%Crystallinity)

ตัวอย่าง	LL72S28	LL56S44
%LLDPE ที่มีในฟิล์มตัวอย่าง	72	56
ΔH_f (J/g)	49.46	36.02

$$\Delta H_f^\circ \text{ (J/g)} = 293 \text{ J/g (ความเป็นผลึกของ PE 100\%)}$$

$$\%Crystallinity = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ} \times \frac{100}{\%LLDPE \text{ in film}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์มตัวอย่าง

$$= \frac{49.46}{293} \times \frac{100}{72} \times 100$$

$$= 23.4\%$$

ก.2: การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน

พื้นที่ของก๊าซเอทิลีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 589 ppm (As) 1851 count

พื้นที่ของก๊าซเอทิลีนที่ซึมผ่าน (Permeate) (AE) 658 count

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนที่ซึมผ่าน} &= 589/1851 \times 658 \\ &= 209 \text{ ppm or } \mu\text{L/L} \\ &= 0.209 \text{ mL/L} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซ (F_g)} = 30.00 \text{ mL/min}$$

$$\text{อัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนต่อเวลา} = 0.209 \text{ mL/L} \times 30.00 \text{ mL/min}$$

$$= 6.27 \text{ mL} \cdot \text{mL/L} \cdot \text{min}$$

$$= 0.00627 \text{ mL/min}$$

$$\text{พื้นที่ของฟิล์มตัวอย่าง (A_F)} = 0.000314 \text{ m}^2$$

$$\text{ความหนาของฟิล์ม (\Delta x)} = 0.030 \text{ mm}$$

$$\text{ฟลักซ์ของก๊าซเอทิลีน (Flux)} = J / A_F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.00627 / 0.000314$$

$$= 19.97 \text{ ml/min} \cdot \text{m}^2$$

$$= 28756 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{day}$$

$$\text{อัตราเร็วการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน (ETR)} = J / (AF \times \Delta p)$$

$$= 28756 / 1.01$$

$$= 28471 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$$

$$\text{การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน (EP)} = (J \cdot \Delta x) / (AF \cdot \Delta p)$$

$$= \text{ETR} \times \text{ความหนาของฟิล์ม}$$

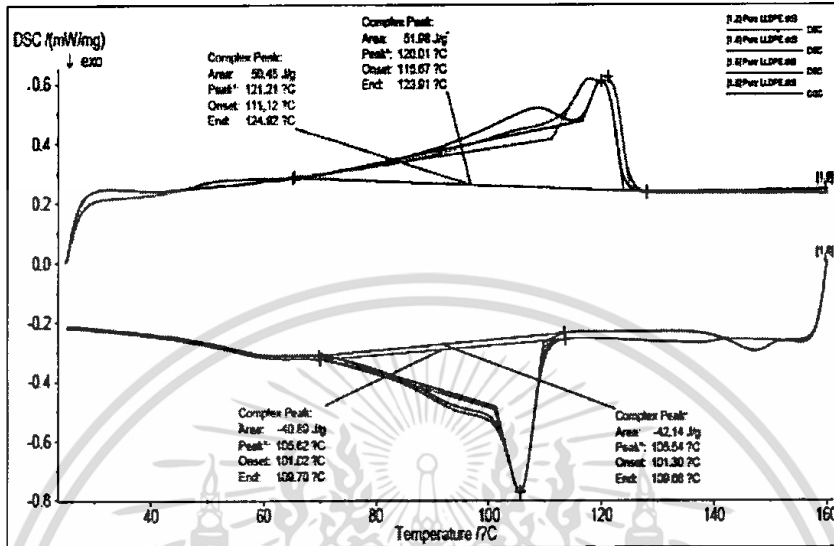
$$= 28471 \times 0.030$$

$$= 854 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$$

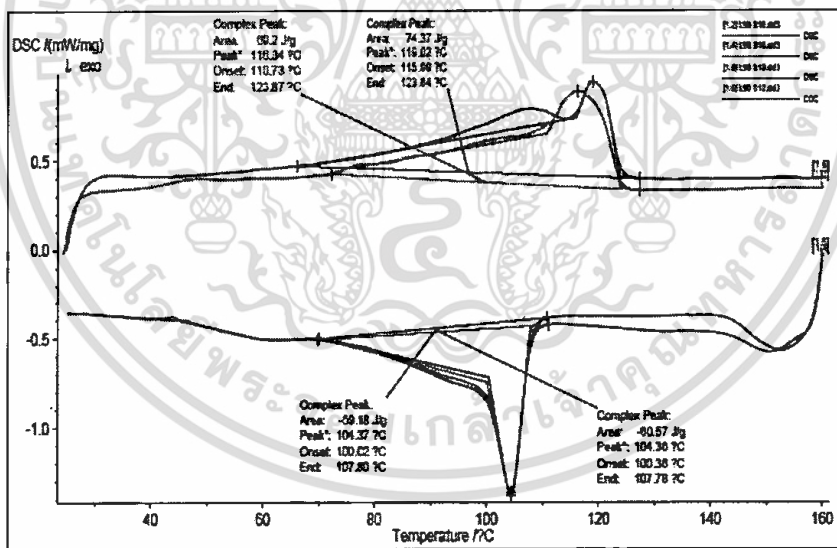


ภาคผนวก ข

เทอร์โมแกรม DSC

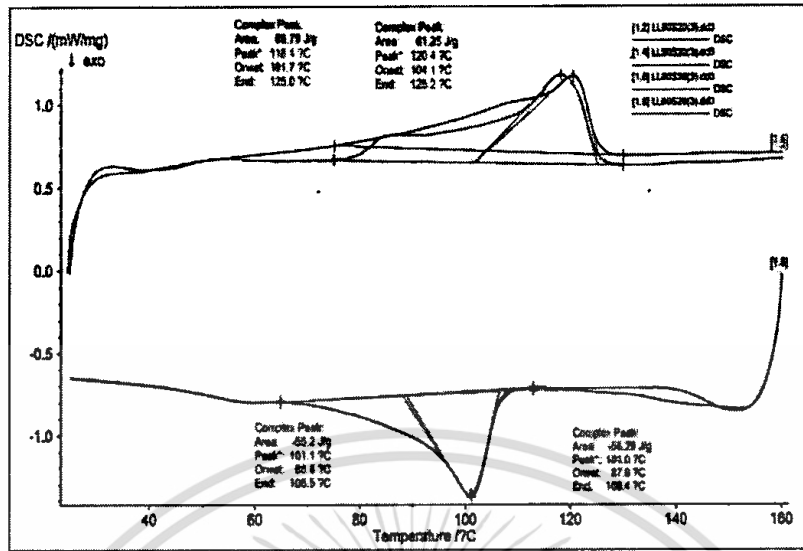


ภาพที่ ข.1 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LLDPE

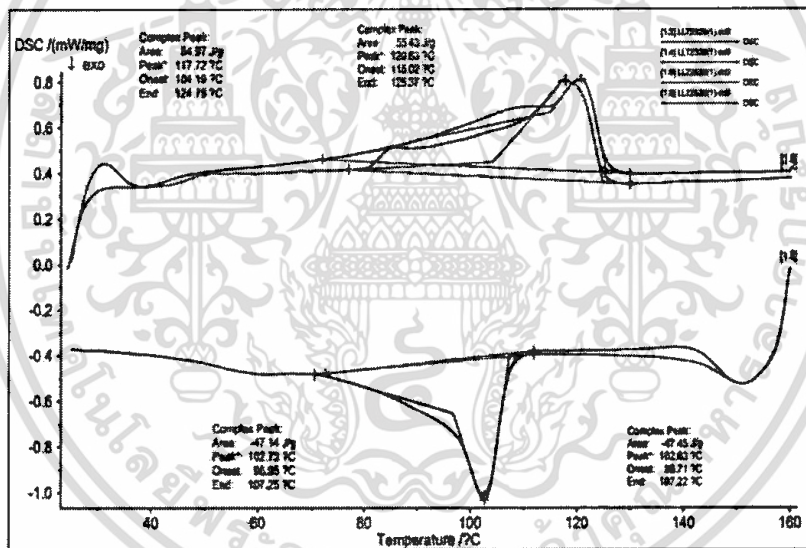


ภาพที่ ข.2 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL90S10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

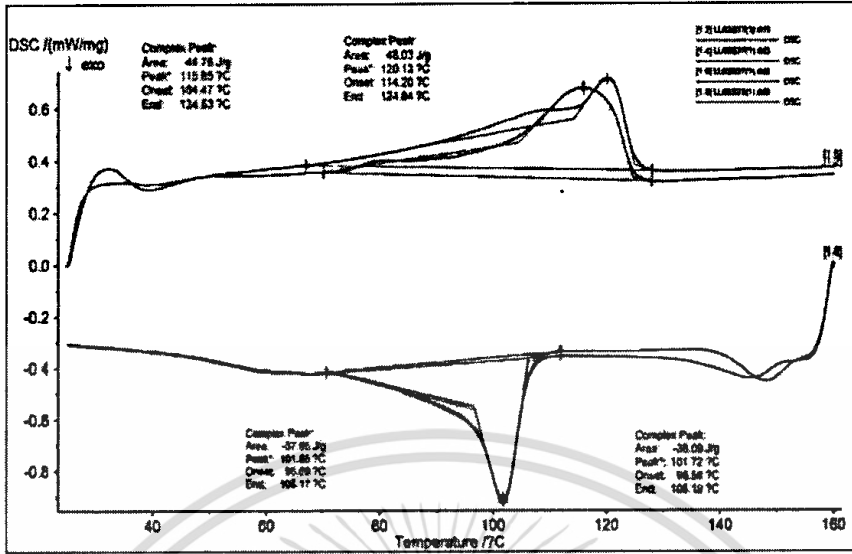


ภาพที่ ข.3 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL80S20

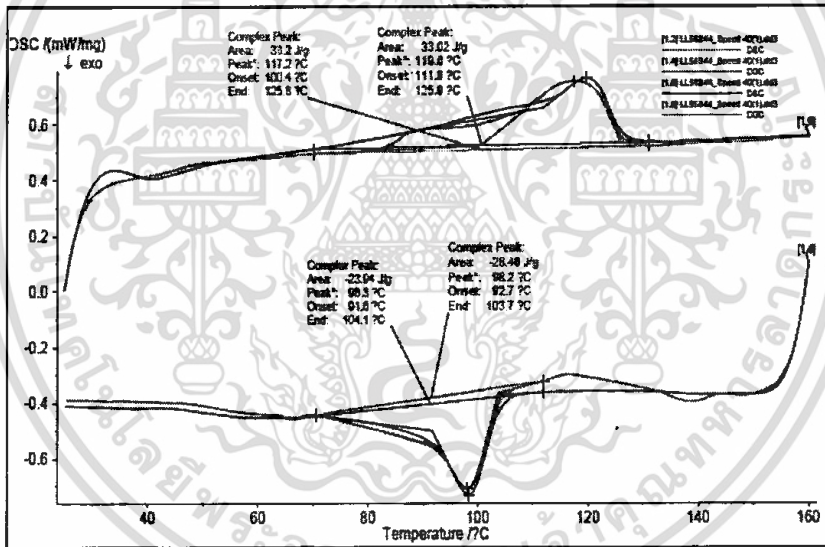


ภาพที่ ข.4 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL72S28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

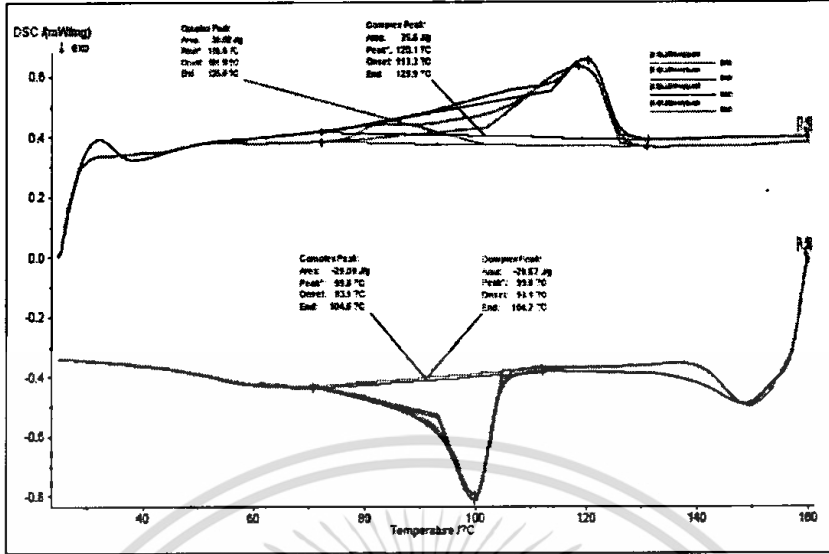


ภาพที่ ข.5 เทอร์เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL63S37

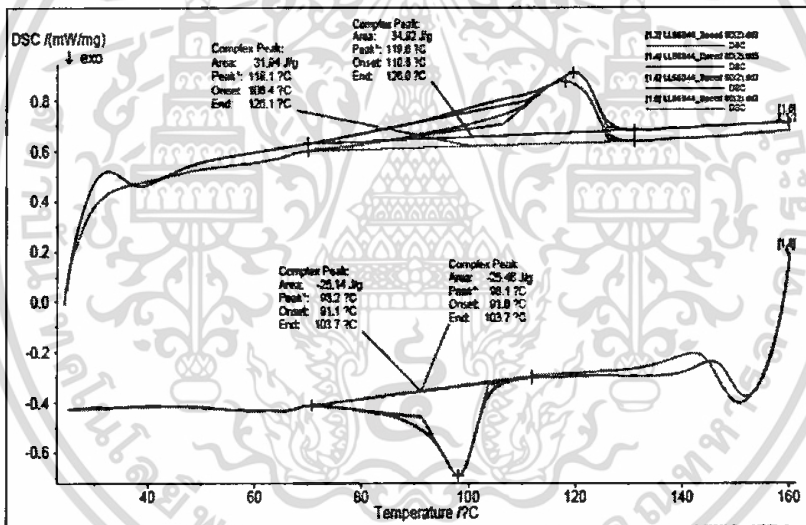


ภาพที่ ข.6 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (40 rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.7 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (60 rpm)



ภาพที่ ข.8 เทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL56S44 (80 rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
สมบัติเชิงกล

ตารางที่ ค.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ความหนา (μm)	ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)	ร้อยละการดึง ยืด ณ จุดขาด (%)	ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (MPa)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
LLDPE	51 \pm 4.2	15.9 \pm 3.1	1370 \pm 141	6.4 \pm 0.4	162.0 \pm 8.8
SEBS G1652	77 \pm 6.3	23.8 \pm 1.3	723 \pm 100	2.8 \pm 0.0	42.6 \pm 5.8
SEBS G1657	78 \pm 4.0	4.1 \pm 0.7	855 \pm 76	0.7 \pm 0.0	22.3 \pm 2.4
*LL90S10	53 \pm 3.0	14.3 \pm 2.3	969 \pm 91	6.1 \pm 0.7	148.5 \pm 15.4
*LL80S20	55 \pm 5.7	14.6 \pm 3.0	884 \pm 55	5.3 \pm 0.5	126.4 \pm 27.2
*LL79S21	53 \pm 3.5	15.7 \pm 2.9	871 \pm 60	4.8 \pm 0.6	111.1 \pm 24.3
*LL76S24	52 \pm 7.2	17.0 \pm 2.8	879 \pm 35	4.1 \pm 0.6	78.7 \pm 14.8
LL90S10	56 \pm 1.2	14.5 \pm 1.5	1015 \pm 165	6.2 \pm 0.3	140.1 \pm 11.0
LL80S20	52 \pm 3.0	15.4 \pm 1.4	877 \pm 121	5.1 \pm 0.3	121.6 \pm 15.2
LL72S28 หรือ LL72S28 (G1652)	52 \pm 7.5	16.2 \pm 1.3	835 \pm 120	4.9 \pm 0.4	90.7 \pm 14.8
LL63S37	56 \pm 5.3	19.3 \pm 2.7	797 \pm 26	4.2 \pm 0.5	84.5 \pm 10.4
LL56S44	57 \pm 7.3	20.3 \pm 3.6	855 \pm 99	3.1 \pm 0.7	56.0 \pm 19.3
LL72S28 (G1657)	54 \pm 4.2	11.5 \pm 2.5	999 \pm 168	3.5 \pm 0.3	79.6 \pm 16.1

หมายเหตุ: * คือการผลิตด้วยเครื่อง Twin-screw extruder

ตารางที่ ค.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL56S44 ที่ผสมด้วยความเร็วโรเตอร์ต่างกัน

ความเร็วโรเตอร์ (rpm)	ความหนา (μm)	ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (MPa)	ร้อยละการดึง ยืด ณ จุดขาด (%)	ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (MPa)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
40	58 \pm 4.9	20.8 \pm 3.1	881.0 \pm 109	3.5 \pm 0.0	59.9 \pm 17.7
60	57 \pm 7.3	20.3 \pm 3.6	855 \pm 99	3.1 \pm 0.7	56.0 \pm 19.3
80	56 \pm 6.4	19.0 \pm 2.6	937 \pm 48	4.0 \pm 0.4	54.7 \pm 13.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

ตารางที่ ง.1 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ความหนา (μm)	ETR ($\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}.\text{atm}$)	EP ($\text{cm}^3.\text{mm}/\text{m}^2.\text{day}.\text{atm}$)
LLDPE	35	7821	274
	35	8393	294
	33	8407	277
ค่าเฉลี่ย	34 ± 1	8207 ± 334	282 ± 11
SEBS G1652	39	77536	3024
	40	69421	2777
	40	671589	2686
ค่าเฉลี่ย	40 ± 1	71732 ± 5456	2829 ± 175
SEBS G1657	70	70684	4948
	74	70909	5247
	80	70829	5666
ค่าเฉลี่ย	75 ± 5	70807 ± 114	5287 ± 361
*LL90S10	32	18655	597
	38	12212	464
	35	13790	483
ค่าเฉลี่ย	35 ± 3	14886 ± 3357	515 ± 72
*LL80S20	35	17884	626
	35	16766	587
	38	13439	511
ค่าเฉลี่ย	36 ± 2	16030 ± 2312	575 ± 58
*LL79S21	35	13963	489
	30	20181	605
	30	20451	613
ค่าเฉลี่ย	32 ± 3	18198 ± 3670	569 ± 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความหนา (μm)	ETR ($\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day.atm}$)	EP ($\text{cm}^3.\text{mm}/\text{m}^2.\text{day.atm}$)
*LL76S24	30	21120	634
	35	20608	721
	33	20900	690
ค่าเฉลี่ย	33 \pm 3	20876 \pm 256	682 \pm 44
LL90S10	35	15747	551
	38	15859	603
	38	14906	566
ค่าเฉลี่ย	37 \pm 2	15504 \pm 521	573 \pm 26
LL80S20	37	16627	615
	34	18624	633
	34	18271	621
ค่าเฉลี่ย	35 \pm 2	17841 \pm 1066	623 \pm 9
LL72S28 หรือ	37	20338	753
	35	24954	873
LL72S28 (G1652)	38	18327	696
ค่าเฉลี่ย	37 \pm 2	21206 \pm 3398	744 \pm 90
LL63S37	39	25440	992
	35	28707	1005
	34	29056	988
ค่าเฉลี่ย	36 \pm 3	27734 \pm 1995	955 \pm 9
LL72S28 (G1657)	38	28195	1071
	36	28378	1022
	35	28661	1003
ค่าเฉลี่ย	36 \pm 2	28411 \pm 234	1032 \pm 35
LL56S44 (40 rpm)	38	43572	1656
	40	40864	1635
	35	44200	1547
ค่าเฉลี่ย	38 \pm 3	42879 \pm 1773	1612 \pm 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความหนา (μm)	ETR ($\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}.\text{atm}$)	EP ($\text{cm}^3.\text{mm}/\text{m}^2.\text{day}.\text{atm}$)
LL56S44 (60 rpm)	37	37367	1383
	35	42363	1483
	39	34842	1359
ค่าเฉลี่ย	37 ± 2	38190 ± 3827	1408 ± 66
LL56S44 (80 rpm)	35	35604	1246
	35	38202	1337
	35	33238	1163
ค่าเฉลี่ย	35 ± 0	35681 ± 2483	1249 ± 87

หมายเหตุ: * คือการผสมด้วยเครื่อง Twin-screw extruder



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

ตารางที่ จ.1 สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร: ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	36,000.00	31,330.00	4,670.00
ค่าวัสดุ	14,000.00	18,711.20	(-4,711.20)
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	50,000.00	50,000.00	-41.20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ. เคมี	เคมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2535
M.Sc.	Polymer science and Technology	UMIST, U.K	2538
Ph.D.	Polymer science and Technology	UMIST, U.K	2542

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....Packaging films.....and.....photo degradable films.....

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2549	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทเวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด
2551	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ
2551	ทุนฝึกอบรม	รัฐบาลญี่ปุ่น หลักสูตร Technical Support for SME Promotion (Plastics Technology)
2553	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทเวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด
2554	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	บริษัทไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)
2555	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2557	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2558	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2558	ทุนสนับสนุนงานวิจัย	คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patents

1. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. Austratian Patent no. 2011293914. December 2014.
2. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. New Zealand Patent no. 606351. September 2014.
3. Tawan Sooknoi, Chonlada Ritvirulh, Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul and Phatchareeya Raksa. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. United States Patent no. 8697777B2. April 2014.
4. Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. European Patent no. 11760880.2-1302. March 2013.
5. Tawan Sooknoi, Chonlada Ritvirulh, Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul and Phatchareeya Raksa. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. PCT Patent no. WO 2012/026893 A1. March 2012.
6. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for plastic film with high ethylene transmission rate and permeation and plastic film prepared from this master batch. Thai patent no. 1001001199. August 2010.
7. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Plastic film with high ethylene transmission rate for prolonging shelf life of fresh produces. Thai patent no. 0801001835. April 2008.

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Warintorn Booncharoen, Phatchareeya Raksa, Chonlada Ritvirulh and Tawan Sooknoi, Hydrophobic Zeolite-Filled Polymeric Films with High Ethylene Permselectivity for Fresh Produce Packaging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Applications, *Packag. Technol. Sci.*, Volume 27, Issue 10 (2014) 763-773. (Impact factor 2014: 1.584)
2. P. Monprasit, C. Ritvirulh, T. Sooknoi, S. Rukchonlatee, A. Fuongfuchart and D. Sirikittikul, Selective ethylene permeable zeolite composite double-layered film for novel modified atmosphere packaging, *Polym. Eng. Sci.*, Volume 51, Issue 7 (2011) 1264-1272. (Impact factor 2009: 1.248)
 3. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ณัฐวุฒิ กวีวิวิชัย ณรงค์เดช สุวรรณดาลัย และตะวัน สุขน้อย. 2548. การสลายตัวของพอลิไอโซพรีนโดยใช้ของแข็งเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 12(1): 69-80.
 4. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ วิไลรัตน์ เมืองแก้ว สุมาลี ขอมอินทร์ และตะวันสุขน้อย .2547.การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของยางไอโซพรีนด้วยพาราโทลูอินซิลโฟนิลไฮดราไซด์. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 32(3) : 158-167.
 5. ชลลดา ฤตวิรุฬห์. 2543. พอลิเมอร์ผสม. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 10(1) : 14-19.

การเสนอผลงานวิชาการ

1. Pratyia Kunjit, Tawan Sooknoi Tosapol Maluangnont, Suparat Rukchonlatee and Chonlada Ritvirulh. "Photodegradable film prepared from LDPE/TiO₂ nanotube", *The proceeding of The International Polymer Conference of Thailand (PCT-6)*, June 30-July 1, Bangkok, Thailand, pp. 454—458, 2016.
2. Kritsana Makphon, Suparat Rukchonlatee, Tawan Sooknoi, Masayuki Yamaguchi and Chonlada Ritvirulh, "Mechanical and rheological properties of LLDPE/SEBS/modified zeolite ZSM-5 blends", *The proceeding of The International Polymer Conference of Thailand (PCT-6)*, June 30-July 1, Bangkok, Thailand, pp. 355—360, 2016.
3. Chonlada Ritvirulh, Hydrophobic zeolite composite film with selective ethylene permeation for packaging application, *The 3rd International Symposium for Green-Innovation Polymers (GRIP2016)*, March 4-7, Nomi, Japan, 2016.
4. Thanaporn Sahassanon, Suparat Rukchonlatee, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh, Improvement of ethylene permeation in LLDPE/SEBS film with zeolite Y, *The proceedings Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON 2015)*, January 21-23, Bangkok, Thailand, 432-435, 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. C. Ritvirulh, S. Rattanapaiboonjij, T. Sooknoi and S. Ruckchonlatee, Initial delay in photodegradation of Zn doped TiO₂/LDPE films, ACS 247th National meeting, March 16-20, Dallas, USA, 2014.
6. R. Wiwattananukul, T. Sooknoi, S. Ruckchonlatee and C. Ritvirulh, Improved the ethylene transmission rate of LLDPE/SEBS blend film, *The proceedings Pure and Applied Chemistry International Conference 2013 (PACCON 2013)*, January 23-25, Bangsaen, Thailand, 1033, 2013
7. สมยศ รัตนไพบูลย์กิจ, ตะวัน สุขน้อย, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ์ “ฟิล์มพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 4, 12-15 มีนาคม พิชญโลก, 2555 หน้า 153-158.
8. ขวัญใจ พูลสวัสดิ์, อธิพิล แจ่งชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และปราณี ภิญโญชีพ, อธิพิลของความหนืดที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากยางธรรมชาติ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ, เรื่องเติมการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1-4 กุมภาพันธ์, กรุงเทพมหานคร, 2554 หน้า 265-272.
9. S. Laowakul, C. Ritvirulh, T. Sooknoi, S. Rukchonlatee, A. Fuongfuchart and D. Sirikittikul, Ethylene transmission rate through zeolite modified double-layered films for Packaging of fresh produce, *The 7th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, September 30- October 1, Kanazawa, Japan, 45, 2010.
10. P. Monprasit, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, T. Sooknoi and A. Fuongfuchart, Tensile Properties of the Zeolite Composite Double-Layered Film, *The 6th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 156, 2009.
11. S. Laowakul, T. Sooknoi, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, and A. Fuongfuchart, Study on Tensile Properties of SEBS/LDPE and SEBS/OPP double-layer films for Packaging Application, *The 6th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 163, 2009.
12. P. Monprasit, C. Ritvirulh, S. Rukchonlatee, Sooknoi, T. and A. Fuongfuchart, Study on Ethylene Gas Permeability of Double-layer Composite Film, *Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)*, January 14-16, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand, 82, 2009.
13. A. Fuongfuchart, W. Boonchareon, S. Apisittinet, D. Sirikittikul, C. Ritvirulh, and T. Sooknoi, Highly ethylene permeable film : development and application in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- packaging, *Proceeding of the 16th IAPRI World Conference of Packaging*, Bangkok, June 8 - 12, 2008.
14. W. Boonchareon, S. Apisittinet, D. Sirikittikul, S. Loykulnant, A. Fuongfuchat, C. Ritvirulh, and T. Sooknoi, "Structure and Gas Selectivity of PE/Zeolite Composite Film", *Proceeding of The 2nd International Conference on Advanced in Petrochemicals and Polymers*, Bangkok, 25 – 28 June, 2007.
 15. S. Apisittinet, T. Sooknoi, C. Ritvirulh, D. Sirikitikul, S. Loykulnant, A. Fuongfuchat and W. Boonchareon, Ethylene permeation of silicalite I composite film, NSTDA Annul Conference 2007, Pathumthanee, 28-30 March 2007.
 16. A. Fuongfuchat, C. Ritvirulh, S. Loykulnant, T. Sooknoi, An Investigation of the Effect of Zeolite Structure on Adsorption of Gases in Postharvest Environment, *Proceedings of the 3rd Thailand Materials Science and Technology Conference*, 444-446, 10-11 August 2004, Bangkok, Thailand.
 17. C. Ritvirulh, P. Liawsomboon and S. Woramongkolchai, Compatibilisation effect of SBS on Recycling PS/NR Blends, *PPC 8*, 2003, Thailand.
 18. C. Ritvirulh, A.J. Ryan and A.N. Wilkinson, Copolymers as compatibilisers in LDPE/PS Blends, *PPS Symposium*, 1999, Thailand.
 19. ระพี เจริมสูงเนิน ปุณณมา ศิริพันธ์อินน ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธี, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิ(สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน) กับมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิคการหล่อแบบสารละลาย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TICHe 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.
 20. อภิขญา เจียนประเสริฐ ปุณณมา ศิริพันธ์อินน สุภารัตน์ รักชลธี และชลลดา ฤตวิรุฬห์, ผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของวัสดุประกอบนาโน LDPE/MMT, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TICHe 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.
 21. อมรรัตน์ สวัสดิมงคล ภัทธารุช มนต์วิเศษ ปุณณมา ศิริพันธ์อินน และชลลดา ฤตวิรุฬห์, การเตรียมวัสดุ ประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์ร่วมพอลิเมทิลเมทาคริเลตพอลิอะคริลิกแอซิดกับ โคลโตซานมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยวิธีพอลิเมอไรซชันแบบขั้นรูป, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TICHe 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

1. Asira Fuongfuchat, Doungporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh, Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- permselectivity and the plastic films produced therefrom. Japanese Patent no. 5914477. April 2016.
2. Asira Fuongfuchat, Dounporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. Austratian Patent no. 2011293914. December 2014.
 3. Asira Fuongfuchat, Dounporn Sirikittikul, Phatchareeya Raksa, Tawan Sooknoi and Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. New Zealand Patent no. 606351. September 2014.
 4. Tawan Sooknoi, Chonlada Ritvirulh, Asira Fuongfuchat, Dounporn Sirikittikul and Phatchareeya Raksa. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. United States Patent no. 8697777B2. April 2014.
 5. Chonlada Ritvirulh. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. European Patent no. 11760880.2-1302. March 2013.
 6. Tawan Sooknoi, Chonlada Ritvirulh, Asira Fuongfuchat, Dounporn Sirikittikul and Phatchareeya Raksa. Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom. PCT Patent no. WO 2012/026893 A1. March 2012.
 7. เลขที่คำขอ 1001001199 มาสเตอร์แบทช์สำหรับเตรียมฟิล์มพลาสติกที่มีค่าอัตราการซึมผ่านและค่าการเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนสูงและฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจากมาสเตอร์แบทช์ดังกล่าว, 4 สิงหาคม 2553
 8. เลขที่คำขอ 0801001835 ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงเพื่อชะลอการสุก และการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด, 11 เมษายน 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้