



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่มีอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่สูง

โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์

Development of high ethylene transmission rate of LLDPE/SEBS blend film

by addition of plasticiser

นางสาวชลลดา ฤทธิวิรุฬห์

นายตะวัน สุขน้อย

นางสุภารัตน์ รักชลธี

DCH  
๒๕๕๙  
๒๕๕๖

สาขา.....  
เลขทะเบียน 141510  
รับเดือน.ปี 16 ส.ค. 2559

b. 12๗5๗28๗  
i. ....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การพัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่มีอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่สูงโดยการ  
เติมพลาสติกไซเซออร์

แหล่งเงินทุน ทุนงบประมาณ

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 471,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. นายตะวัน สุขน้อย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. นางสุภารัตน์ รักชลธิ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) และบล็อก โคอพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในงานบรรจุภัณฑ์ โดยศึกษาผลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม ชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม รวมทั้งศึกษาการซึมผ่านของก๊าซชนิดต่างๆ สำหรับใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ โดยเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่องผสมแบบปิด จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการกดอัด นำฟิล์มที่ได้มาศึกษา สัมพันธภาพ สมบัติทางความร้อน ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ และสมบัติเชิงกล จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มปริมาณ SEBS ทำให้ขนาดของ SEBS มีแนวโน้มใหญ่และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น ค่ามอดูลัสของยัง ร้อยละการยืด ณ จุดขาดและความเค้น ณ จุดครากของฟิล์มลดลง แต่ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงขึ้น นอกจากนี้ พบว่าจากการใช้พลาสติกไซเซออร์ในกลุ่มที่เลือกมาศึกษานี้ การเติม DOA ปริมาณ 10%wt ลงในสูตร LL72S28 ให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงสุด ( $29,353 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ ) แต่การเติมพลาสติกไซเซออร์ 10%wt ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดต่ำกว่ามาตรฐานของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ (7 MPa) ในขณะที่การใช้ DOP 5%wt ให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มเท่ากับ 11.9 MPa เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

**คำสำคัญ:** ฟิล์มพลาสติก, อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน, บรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด, พอลิสไตรีน-เอทิลีน

บิวทิลีน-สไตรีน, พลาสติกไซเซออร์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research title** Development of high ethylene transmission rate of LLDPE/SEBS blend film by addition of plasticiser

**Researcher** Miss Chonlada Rtvirulh  
Mr. Tawan Sooknoi  
Mrs. Suparat Rukchonlatee

**Faculty of Science** **Department of 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 film formulation, i.e., blend composition, and plasticiser types and loading, were investigated. In addition, gas permeability of the packaging films was carried out. The blends were prepared using an internal mixer. The films were then fabricated using compression molding, and the film properties including morphological, thermal, gas permeability and mechanical properties were examined. It was found that, 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. Moreover, among the plasticizers used in this study, the addition of 10%wt DOA into the LL72S28 gave the highest ethylene IV permeability ( $29,353 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ ). However, the tensile strength at break of the films with 10%wt plasticizer was lower than that of the standard value of the commercial packaging film (7 MPa) whereas 5%wt DOP film showed higher tensile strength at break (11.9 MPa), which is applicable for packaging film application.

**Keywords:** Plastic film, Ethylene transmission rate, Packaging for fresh produce, Poly (styrene-ethylene/ butylene-styrene), Plasticiser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุจิต สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงาน พอลิ-  
เมอร์ ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอย อำนวย  
ความสะดวกตลอดการทำโครงการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเพื่อ  
นำผลที่ได้มาอธิบายผลงานวิจัย

อีกทั้งการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัย  
แห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ในการทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



ชลลดา ฤตวิรุฬห์  
ตะวัน สุขน้อย  
สุภารัตน์ รักชลธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.5 คำสำคัญของงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตภัณฑ์	4
2.2 เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน	5
2.3 พอลิเมอร์ผสม	6
2.4 พลาสติกไฮเซออร์	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>14</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์	16
3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม	16
3.3.2 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีพลาสติกไฮเซออร์	17
3.4 การเตรียมฟิล์ม	17
3.5 การศึกษาสัณฐานวิทยา	18
3.6 การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย DSC	18
3.6.2 การศึกษาสมบัติความร้อนแบบพลวัตด้วย DMA	18
3.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน	19
3.8 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง	21
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>23</b>
4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสม LLDPE/SEBS	23
4.1.1 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ	23
4.1.2 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ	24
4.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ	24
4.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	27
4.2 การศึกษาผลของการใช้พลาสติกไซเซอร์	28
4.2.1 พฤติกรรมทางความร้อนเชิงพลวัตของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซอร์	29
4.2.2 สัณฐานวิทยาของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซอร์	35
4.2.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซอร์	37
4.2.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซอร์	39
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>41</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>42</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>46</b>
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>47</b>

## สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกผลิตผลบางชนิดตามการหายใจ	4
2.2 การจัดกลุ่มของผลิตผลตามอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน	5
2.3 ค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์และตัวทำละลายชนิดต่างๆ	8
2.4 ค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์	13
3.1 สมบัติบางประการของ LLDPE	14
3.2 สมบัติบางประการของ SEBS	14
3.3 สมบัติบางประการของพลาสติกไซเซออร์	15
3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS (โดยน้ำหนัก)	17
4.1 $T_m$ , $T_c$ และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LLDPE/SEBS	23
4.2 อักษรย่อแทนสูตร LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ในปริมาณ 10%wt ของ SEBS	29
4.3 อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณ 10%wt	29
4.4 ค่าความสามารถในการละลาย ( $\delta$ ) ของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์	32
4.5 พื้นที่ของภูมิภาค SEBS ในฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์	37

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หลักการของกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน	6
2.2 ลักษณะการซึมของก๊าซผ่านเมมเบรนเนื้อแน่น	6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) กับค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter)	7
2.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงจากการเพิ่มอัตราส่วนของพอลิเมอร์ A	9
2.5 กลไกการทำงานของพลาสติกไซเซออร์	9
3.1 เซลล์เมมเบรน ซึ่งฟิล์มถูกติดตั้งระหว่างวงแหวนโลหะ	19
3.2 เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell)	19
3.3 แผนภาพทิศทางการซึมผ่านก๊าซในเซลล์เพอร์มิเอชัน	20
3.4 แผนภาพทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน	21
3.5 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	21
4.1 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า	24
4.2 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	25
4.3 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	25
4.4 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	26
4.5 มอดุลัสของยังของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	26
4.6 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ	27
4.7 สูตรโครงสร้างของพลาสติกไซเซออร์ DOP, Cereclor, DBP, TCP และ DOA	28
4.8 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม (E') กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์	30
4.9 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสีย (E'') กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์	31
4.10 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์	31
4.11 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม (E') กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA	32

ภาพที่	หน้า
4.12 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสีย (E'') กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA	33
4.13 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA	33
4.14 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม (E') กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP	34
4.15 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสีย (E'') กับอุณหภูมิของ LL72S28, L LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP	34
4.16 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP	35
4.17 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วย THF ที่กำลังขยาย 3500 เท่า	36
4.18 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS	38
4.19 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS	38
4.20 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS	39
4.21 มอดุลัสของยังของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS	39
4.22 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS	40

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการผลิต และส่งออกผลิตผลสด (Fresh produce) ทาง การเกษตรเป็นจำนวนมาก พบว่าผลิตผลสดเหล่านั้นมีอัตราการสูญเสียทั้งก่อนและระหว่างการขนส่งมากถึง 40% ซึ่งคิดเป็นมูลค่ากว่าหนึ่งพันล้านบาทนั้นเป็นตัวเลขการสูญเสียที่สูงมาก [1] สาเหตุหนึ่ง ของความเสียหายเกิดจากการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์พลาสติก ที่มีการซึมผ่านของก๊าซที่ไม่เหมาะสมกับผลิตผล สดนั้นๆทำให้ผลิตผลสดเสียหายเร็วมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลิตผลสดยังมี กระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้น เช่น การหายใจ การคายน้ำ และการผลิตก๊าซเอทิลีน เป็นต้น ซึ่ง ก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ช่วยเร่งกระบวนการสุกและการชราภาพ (Ripening and aging) ของผักและผลไม้ เช่น มะม่วง กล้วย มะละกอ เป็นต้น จนกระทั่งเกิดการเน่าเสีย ขึ้น [2] ดังนั้นการกำจัดก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟิล์มบรรจุ ภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบรรจุผักและผลไม้สด กล่าวคือฟิล์มบรรจุภัณฑ์ควรมีประสิทธิภาพในการให้ก๊าซ เอทิลีนซึมผ่าน (Ethylene permeation) ได้ดี ทำให้สามารถช่วยลดการสะสมของก๊าซเอทิลีนในบรรจุ ภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้ชะลอการสุกหรือยืดอายุของผลิตผลสดได้ โดยเริ่มต้นจากการนำด่างทับทิม ผงถ่านกัม-มันต์ และซิลิกาเจลมาใช้เป็นวัสดุสำหรับดูดซับก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามอาจเกิดการ ปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในผลิตผลสด [3] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาปรับสถานะสัดส่วนของก๊าซ ภายในของบรรจุภัณฑ์ เพื่อจะช่วยชะลอการเน่าเสียและรักษาความสดใหม่ของผลิตผลสด [4] ใน อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นฟิล์มจากพอลิโอเลฟิน (Polyolefin) เนื่องจากสามารถนำมาทำเป็น ฟิล์มได้หลากหลายตามสมบัติและประเภทของการนำไปใช้งาน โดยฟิล์มพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากให้สมบัติยืดหยุ่นได้ดี ทนความร้อนได้ สามารถใช้กับกระบวนการ ปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat sealing) และยังสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และไม่ทำ ปฏิกิริยาเคมีกับตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง จึงปลอดภัยเหมาะสำหรับการบรรจุหรือสัมผัสกับอาหาร [5] แต่มีข้อเสียคือมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนในระดับต่ำ เพราะเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) ที่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับ ยืดอายุของผลิตผลสด จึงทำให้มีแนวคิดในการเจาะรูที่บรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ แต่การเจาะรู ที่บรรจุภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และอาจเกิดการปนเปื้อนใน ผลิตผลสดได้ง่ายขึ้น [6-7]

จากผลงานในกลุ่มวิจัยที่ผ่านมา [8] ได้มีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นของพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับพอลิสไตรีน-เอทิลีนบิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) ซึ่ง SEBS เป็นเทอร์โม-พลาสติกอิลาสโตเมอร์ ประกอบด้วย Ethylene-butylene ที่มีความยืดหยุ่น เป็นพอลิเมอร์ออสัญฐาน การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Amorphous polymer) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม (Random orientation) ทำให้ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่าน SEBS ได้ดีกว่า LDPE นอกจากนี้มีการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักลงในฟิล์ม SEBS พบว่าการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ในปริมาณ 5-10% สามารถเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน แต่ถ้าปริมาณที่เติมมากกว่า 10% การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มคอมโพสิตเพิ่มไม่มากนัก เนื่องจากมีชั้น LDPE ที่มีความเป็นผลึก (Crystallinity) ทำให้ขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ (Barrier) จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตสองชั้น [9] ของฟิล์ม SEBS ที่มีการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก กับฟิล์ม LDPE ที่มีการเจาะรูในปริมาณรูที่เจาะ (0-100%) และขนาดของรู (2-5 mm) ก่อนนำไปประกบติดกับชั้น SEBS พบว่าฟิล์มคอมโพสิตสองชั้นที่มีการเจาะรู 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่และมีขนาดรู 2 mm มีความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการเจาะรูที่ฟิล์มทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงและขาดง่าย

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาฟิล์มที่มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนได้ดีด้วยระบบพอลิเมอร์ผสมของ SEBS/LLDPE (Linear low density polyethylene) เนื่องจากกระบวนการเตรียมมีความซับซ้อนและยุ่งยากน้อยกว่าการทำฟิล์มคอมโพสิตสองชั้น โดยฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนี้มี SEBS เป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคหลัก LLDPE ช่วยทำให้ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้เร็วขึ้น การเลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า LDPE เช่น ทนแรงฉีกขาด แรงทิ่มทะลุได้ดีกว่า และมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากราคาที่ถูกลงกว่า LDPE [10] ทำการปรับปรุงการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม โดยศึกษาผลของอัตราส่วนของ LLDPE/SEBS ในพอลิเมอร์ผสม ศึกษาผลของการใช้พลาสติกไซเซอร์ชนิดต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) ของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายโซ่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่ดีขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ผสมกับพอลิสไตรีน-เอทิลีนบิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาและการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม เช่น อัตราส่วน LLDPE/SEBS, สภาวะในการการผสม และการใช้สารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบวิธีการทดลองและวางแผนการทดลอง
3. ดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 และศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซอร์ 5 ชนิด ในพอลิเมอร์ผสมเพียงหนึ่งอัตราส่วน

ตอนที่ 2 การขึ้นรูปฟิล์ม

ตอนที่ 3 วิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

- สมบัติทางความร้อน
- ศึกษาสัณฐานวิทยา
- ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test)
- ทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

#### 1.5 คำสำคัญของงานวิจัย

ฟิล์มพลาสติก, อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน, บรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด, พอลิสไตรีน-เอทิลีน บิวทิลีน-สไตรีน, พลาสติกไซเซอร์

Plastic film, Ethylene transmission rate, Packaging for fresh produce, Poly (styrene-ethylene/butylene-styrene), Plasticiser

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเข้าใจผลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม การเติมพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม นำไปสู่การพัฒนาฟิล์มให้มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่ดี และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดที่ถูกรังให้สุกได้ง่ายด้วยก๊าซเอทิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดในอนาคต ทำให้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค เผยแพร่ผลงานวิจัยที่ได้ในวารสารระดับนานาชาติ นอกจากนี้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการศึกษาในการสอนนักศึกษาเป็นวิชาเลือกเกี่ยวกับฟิล์มบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสด (Packaging film for fresh produce)

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผล [2, 11-12]

เมื่อผลิตผลถูกเก็บเกี่ยว ผลิตผลจะเกิดความเครียดขึ้นภายในเนื่องจากผลิตผลยังคงมีชีวิต แต่ถูกตัดขาดจากแหล่งอาหารและน้ำ จึงต้องมีการนำอาหารและน้ำที่สะสมอยู่มาใช้ควบคู่ไปกับการสร้างสารประกอบชนิดต่างๆ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การหายใจ (Respiration) การคายน้ำ (Transpiration) การเปลี่ยนแปลงในด้านสีของผล (Color change) เป็นต้น

อัตราการหายใจของผลิตผล (ตารางที่ 2.1) โดยทั่วไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเน่าเสีย ดังนั้นจึงใช้เป็นเครื่องแสดงให้เห็นถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวได้เป็นอย่างดี โดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจในระดับที่สูงกว่ามีแนวโน้มที่จะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลิตผลบางชนิดตามการหายใจ [13]

ระดับการหายใจ	ปริมาณการหายใจที่ 5°C (mg CO <sub>2</sub> /Kg Hr)	ชนิดผลิตผล
ต่ำมาก	น้อยกว่า 5	แตงโม แตงไทย (Honeydew) ถั่ว (Nut)
ต่ำ	5-10	ส้ม องุ่น มะเขือเทศ แตงกวา พริก แอปเปิ้ล กีวี แคนตาลูป ฟีช ตระกูลน้ำเต้า (Squash)
ปานกลาง	10-20	กล้วย มะเขือ มะเดื่อฝรั่ง ท้อ สาลี่ แอปริคอต เชอร์รี่ เนคทารีน
สูง	20-40	พาสชั่นฟรุต
สูงมาก	มากกว่า 40	ถั่วเมล็ดกลม (Pea) ข้าวโพดหวาน

การสุก (Ripening) เป็นการพัฒนาขั้นสุดท้ายของผลิตผลก่อนเข้าสู่ระยะร่วงโรย การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับไม่ได้ และเป็น การเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นผลจากก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ที่ถูกผลิตขึ้นจากตัวของผลิตผลเอง [2] เอทิลีน (Ethylene) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ติดไฟได้ง่าย จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืช เอทิลีนถือว่าเป็นฮอร์โมนธรรมชาติที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาหลายอย่างในผลิตผล เช่น ทำให้เกิดการแก่ (Aging) การสุก (Ripening) และ/หรือการแยกตัว (Abscission) ของอวัยวะของพืช และมีการสร้างสารให้กลิ่นรส แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยเพียง 1 ส่วนในเอกสารก็เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้านส่วน (0.1 ppm) [14] ดังที่กล่าวมาแล้วก๊าซเอทิลีนสามารถถูกผลิตขึ้นจากตัวของผลิตผล ดังนั้นการปล่อยให้ผลิตผลได้รับก๊าซเอทิลีนมีแนวโน้มที่จะทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตผลสั้นลง การจัดกลุ่มของผลิตผลพืชสวน โดยอาศัยอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนเป็นเกณฑ์แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่มของผลิตผลตามอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน [13]

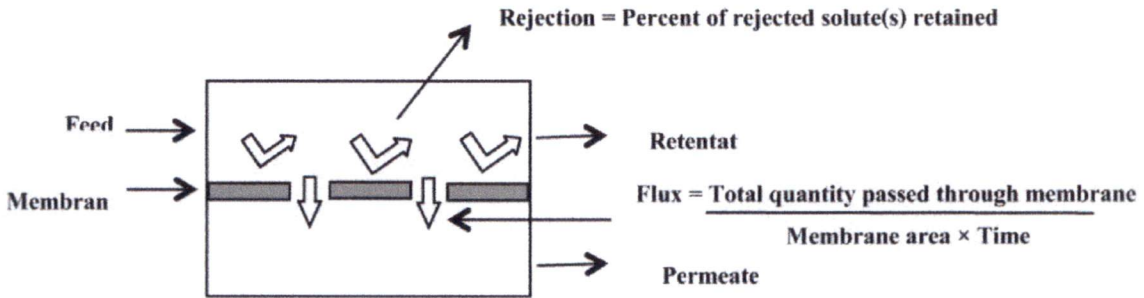
กลุ่ม	ช่วงการผลิต ที่ 20°C ( $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 / \text{Kg-hr}$ )	ชนิดของผลิตผล
ต่ำมาก	ต่ำกว่า 0.1	ส้ม องุ่น พุทรา ทับทิม เชอร์รี่ สตรอเบอรี่
ต่ำ	0.1-1.0	แตงกวา มะเขือ กระเจี๊ยบ พริก พลับ สับปะรด พักทอง โอลีฟ ราสเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่
ปานกลาง	1.0-10.0	กล้วย มะเดื่อฝรั่ง ฝรั่ง มะม่วง มะเขือเทศ แตงไทย
สูง	10.0-100.0	มะละกอ สาลี่ ท้อ แอปเปิ้ล แอปริคอต อะโวคาโด แคนตาลูป กีวี (ผลสุก) เนคทารีน พลัม
สูงมาก	มากกว่า 100.0	น้อยหน่า ละมุด พาสชันฟรุต

บทบาทของก๊าซเอทิลีนมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความเสียหายทางกายภาพของผลิตผลสด เช่น การทำให้เกิดบาดแผล ซึ่งเป็นการเร่งกระบวนการสุกด้วยเหมือนกัน เพราะฉะนั้นการระบายอากาศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการสะสมเอทิลีนจากผลไม้ที่เสียหายหรือกำลังสุก

## 2.2 เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน [15-17]

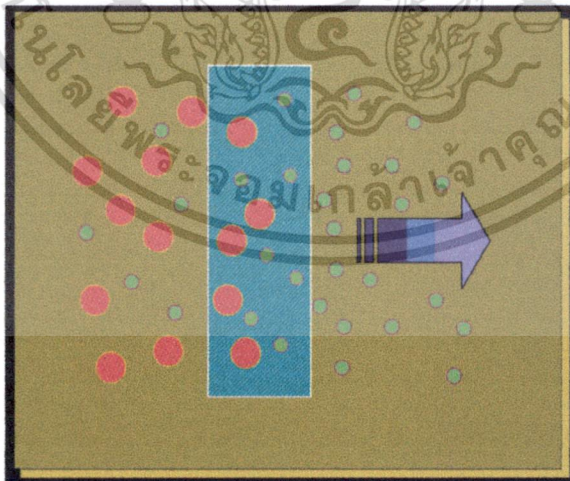
เมมเบรน (Membrane) คือตัวกลางซึ่งอาจเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ของสารอินทรีย์สังเคราะห์ หรือสารอนินทรีย์ที่ทำหน้าที่กั้นระหว่างสองวัฏภาคที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคในของไหล คือก๊าซและของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของเมมเบรนคือ มีสมบัติในการเลือกผ่าน (Semi-permeable) เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพ เช่น ความสามารถในการละลายและการมี/ไม่มีขั้ว ของสารนั้นๆ ในเมมเบรนและซึมผ่านออกไป เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรนมีหลักการ ดังแสดงใน ภาพที่ 2.1 โดยมีสารละลายป้อน (Feed) ไหลผ่านเมมเบรน โดยแรงขับเคลื่อน (Driving force) ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการถ่ายมวล ตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมมเบรนหรือละลายในเนื้อเมมเบรนได้น้อยจะถูกกักไว้ สารที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) ส่วนตัวทำละลาย หรือสาร โมเลกุลที่มีขนาดเล็ก หรือละลายในเนื้อเมมเบรนได้ดี สามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 หลักการของกระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน [16]

กระบวนการแยกก๊าซด้วยเมมเบรน (Gas separation) [18-19] เป็นกระบวนการแยกของผสม ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นแบบกลไกการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeation) เป็นการแยกก๊าซโดยใช้แรงขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนด้วยกลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion mechanism) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 กล่าวคือสารที่ต้องการแยกหรือเพอร์มิเอต (Permeate) ต้องละลายเข้าไปในเมมเบรนก่อนแล้วซึมผ่าน โดยใช้แรงขับเคลื่อนจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร (Concentration gradient) โดยสารที่ละลายในเนื้อเมมเบรน สามารถเกิดการแพร่จากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงไปยังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งอัตราการซึมผ่านของสารแต่ละชนิดผ่านเมมเบรนขึ้นอยู่กับความต่างของความเข้มข้น ถ้าความแตกต่างของความเข้มข้นสูง อัตราการซึมผ่านเมมเบรนจะสูง ระยะเวลาที่ใช้ในการซึมผ่านขึ้นกับความหนา ถ้าความหนาของเมมเบรนน้อย ทำให้การซึมผ่านเร็วขึ้นหรือฟลักซ์ (Flux) สูง



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการซึมของก๊าซผ่านเมมเบรนเนื้อแน่น [20]

### 2.3 พอลิเมอร์ผสม [21-23]

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) คือการนำพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยวิธีทางกายภาพซึ่งส่วนมากจะปราศจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยวัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม คือปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์เอกลักษณะเป็นเอกลักษณ์ใหม่หรือการเรียงใหม่เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูทูปเห็นใช้เชิงประจักษ์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ชนิดใหม่ซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อน แต่พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่ไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible blend) ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interphase) ที่ไม่แข็งแรง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมด้อยกว่าพอลิเมอร์เดิมได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณา โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันควรมีความเข้ากันได้ที่ดี (Compatibility)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวนั้น สามารถพิจารณาได้จากค่าพลังงานอิสระในการผสม (Free energy of mixing) ซึ่งขึ้นกับเอนทาลปี (Enthalpy) และเอนโทรปี (Entropy) ในการผสม ซึ่งเอนโทรปีของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีค่าน้อย ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมจึงถูกกำหนดโดยเอนทาลปีเป็นหลัก จึงส่งผลให้ค่าพลังงานอิสระในการผสมมีค่าเป็นบวก พิจารณาได้จากสมการ (2.1)

$$\Delta G_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} - T\Delta S_{\text{mix}} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\Delta G$  คือ พลังงานอิสระในการผสม (kJ/mol)

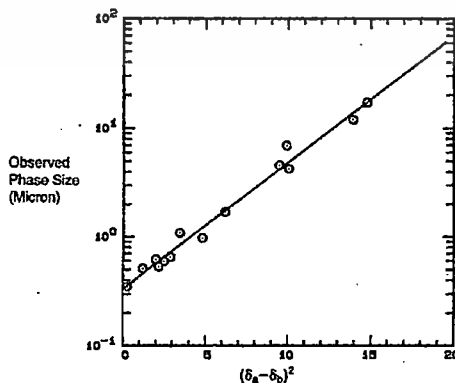
$\Delta H$  คือ ความแตกต่างของเอนทาลปีในการผสม (kJ/mol)

$\Delta S$  คือ ความแตกต่างของเอนโทรปีในการผสม (kJ/mol)

T คือ อุณหภูมิ (K)

ถ้าพอลิเมอร์สองชนิด ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ อย่างสมบูรณ์จะแยกออกเป็น 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคหลัก (Matrix) และวัฏภาคกระจาย (Disperse phase)

นอกจากการพิจารณาค่าพลังงานอิสระในการผสมแล้ว ยังสามารถพิจารณาจากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter,  $\delta$ ) โดยถ้าหากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีค่าความสามารถในการละลายต่างกันมาก ทำให้ผสมเข้ากันได้ยาก และเกิดวัฏภาคใหญ่เพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาค ดังนั้นในการเลือกคู่ผสมจะต้องเลือกคู่ที่มีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกัน จากภาพที่ 2.3 พบว่า ขนาดวัฏภาคกระจายเพิ่มขึ้น ตามความแตกต่างของความสามารถในการละลายที่เพิ่มขึ้น ในตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์และตัวทำละลายบางชนิด



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase)

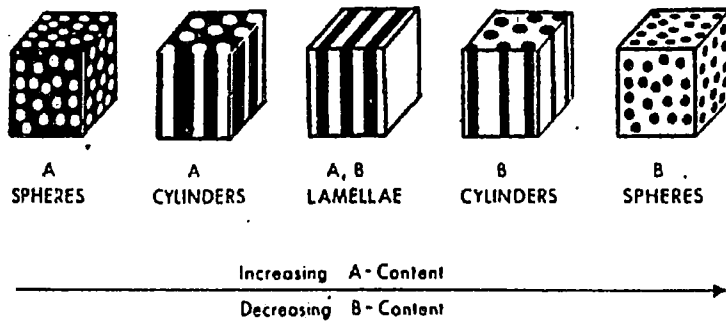
กับค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์และตัวทำละลายชนิดต่างๆ [25]

Solvent	$\delta_1$ (cal/cm <sup>3</sup> )	Polymer	$\delta_2$ (cal/cm <sup>3</sup> )
n-Hexane	7.24	Polyethylene	7.90
CCl <sub>4</sub>	8.58	Polybutadiene	8.40
Xylene	8.80	Polystyrene	8.60
2-Butanone	9.04	Poly(methyl methacrylate)	9.10
Benzene	9.15	Poly(vinyl chloride)	9.50
Chloroform	9.24	Poly(ethylene terephthalate)	10.70
Acetone	9.71	Nylon 66	13.60
Methanol	14.50	Polyacrylonitrile	15.40

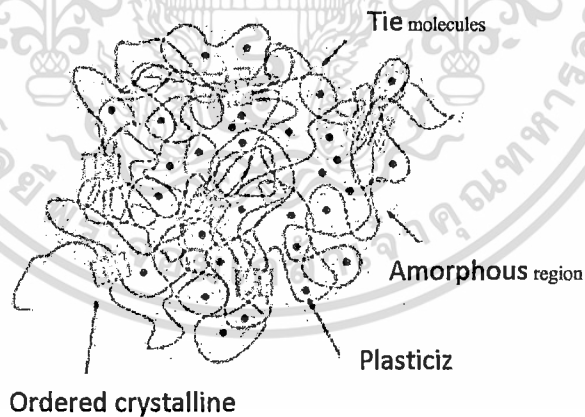
นอกจากนี้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างของสัณฐานวิทยา โดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนที่มากกว่าเป็นวัฏภาคหลัก (Matrix) เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ทำหน้าที่ควบคุมสมบัติส่วนใหญ่ของพอลิเมอร์ผสม ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนน้อยกว่าเป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคหลัก ด้วยเหตุนี้ถ้าอัตราส่วน A/B มีค่าเพิ่มขึ้น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเปลี่ยนไปจากเดิม ที่มีการกระจายตัวเป็นทรงกลม A (Sphere A) ในวัฏภาคต่อเนื่อง B ไปเป็นแบบแท่ง A (Cylinder A) ที่กระจายตัวในวัฏภาคต่อเนื่อง B และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ A ให้สูงขึ้นได้เป็นโครงสร้างของ A และ B ซ้อนกันเป็นชั้นๆ ที่เรียกว่า Lamellae และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ A ให้มากพอจะเกิดการเปลี่ยนวัฏภาคกลับ (Phase reversion) นั่นคือวัฏภาค B จะกระจายตัวในวัฏภาคต่อเนื่องของ A ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงจากการเพิ่มอัตราส่วนของพอลิเมอร์ A [26]

#### 2.4 พลาสติกไซเซอร์ [27-30]

พลาสติกไซเซอร์ (Plasticiser) คือสารเติมแต่งที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ โดยพลาสติกไซเซอร์นั้นสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์แล้วไปลดพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal) ระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ ทำให้สายโซ่อยู่ห่างกันมากขึ้น การเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง โมเลกุลจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันและกันได้มากขึ้น ส่งผลให้จุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ลดลง ทำให้พลาสติกมีความยืดหยุ่นและนิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กลไกการทำงานของพลาสติกไซเซอร์ [30]

พลาสติกไซเซอร์สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ มอนอเมอร์พลาสติกไซเซอร์ (Monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่ม ได้แก่

- 1) กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ (Phthalate ester) เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี จัดเป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์มากที่สุด พทาเลตเอสเทอร์ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ เช่น เอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไดเมทิลฟทาเลต (Dimethyl phthalate, DMP)
- ไดเอทิลฟทาเลต (Diethyl phthalate, DEP)
- ไดบิวทิลฟทาเลต (Dibutyl phthalate, DBP)
- บิวทิลเบนซิลฟทาเลต (Butylbenzyl phthalate, BBP)
- ไดออกทิลฟทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP)
- ไดไอโซโนนิลฟทาเลต (Diisononyl phthalate, DINP)

2) กลุ่มอะดิเพต (Adipates) และอะซีเลต (Azelates) ผลิตจากกรดอะดิพิค (Adipic acid) หรือ กรดอะซีเลอิกกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดออกทิลอะดิเพต (Diocetyl adipate, DOA) และ ไดไอโซเดซิลอะดิเพต (Diisodecyl adipate, DIDA) ตัวที่สำคัญที่สุด คือ DOA ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

3) กลุ่มฟอสเฟต มีออกทิล ไดฟีนิลฟอสเฟต (Octyl diphenyl phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่ องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้น ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การออกดอก การสุกของผลไม้ และการหลุดร่วงของใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ประเภท Climacteric มีการผลิตก๊าซเอทิลีนเมื่อเริ่มสุกสูงกว่า ผลไม้ประเภท Non-climacteric ทำให้การหายใจสูงขึ้นและผลิตผลเกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น [31] ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาสารยับยั้งหรือกำจัดเอทิลีนมาใช้เพื่อชะลอการเสื่อมเสียของผลผลิตสด โดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ ค่างทับทิม (Potassium permanganate,  $\text{KMnO}_4$ ) โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลผลิต เช่น กล้วย มะม่วง กีวี ร่วมกับการใช้ค่างทับทิม ทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลผลิต เนื่องจากค่างทับทิมทำปฏิกิริยากับเอทิลีนที่มีในบรรยากาศเกิดเป็นสารประกอบแมงกานีสออกไซด์ ( $\text{MnO}_2$ ) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล ทำให้ช่วยลดระดับความเข้มข้นของเอทิลีนที่มีอยู่ในบรรยากาศได้ [32] แต่อย่างไรก็ตามค่างทับทิมเป็นพิษ สามารถทำลายเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ และละลายน้ำได้ง่ายจึงเกิดการปนเปื้อนในผลผลิตสด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับต่อการบริโภค ต่อมามีการค้นพบ 1-methylcyclopropene (1-MCP) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{C}_4\text{H}_6$  มีสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนทั้งในผัก ผลไม้ และดอกไม้ไม้ประดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้การใช้งานในระดับความเข้มข้นเพียง 2.5 ml/l ถึง 1  $\mu\text{l/l}$  ทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ [33] โดยมีการศึกษาผลของการใช้ 1-MCP ที่มีต่อการเน่าเสียของใบโหระพา โดยนำใบโหระพามารมด้วย 1-MCP ที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 0.2, 0.4 และ 0.6  $\text{g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $15^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบรรจุด้วยถุง LDPE ที่ผนึกด้วยความร้อนแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  พบว่าการใช้ 1-MCP ช่วยชะลออัตราการสูญเสียน้ำหนัก การเน่าเสียของใบโหระพาและลดการหลุดร่วงของใบ เนื่องจากก๊าซเอทิลีนมีการซึมผ่านได้ดีกว่าจุดควบคุม และการใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 0.4

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g/cm<sup>3</sup> ให้ผลที่ดีที่สุด นอกจากนี้เมื่อนำ 1-MCP มาใช้กับแอปเปิ้ล พบว่าอัตราการผลิตเอทิลีน และสารประกอบของกลิ่นลดลง [34] และเมื่อนำมาใช้รมพุทรา พบว่าการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนลดลง [35]

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มที่ผลิตจากพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอสเทอร์ และพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น โดยพอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกที่สามารถแปรรูปได้ง่ายและตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้อย่างหลากหลายจึงมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีราคาถูกและมีสมบัติที่เอื้อต่อการใช้งานหลายๆ ด้าน [5] มีการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเอทิลีน (LDPE, LLDPE และ HDPE) และการใช้ฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน (50, 80 และ 100  $\mu\text{m}$ ) 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 และการใช้ฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการซึมผ่านของก๊าซ [5] นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มกลูเตน (Wheat gluten film) โดยศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ (0-100%) และอุณหภูมิ (3-45°C) ที่มีต่อการซึมผ่านก๊าซ โดยมีฟิล์ม LDPE เป็นชุดควบคุม พบว่าฟิล์มกลูเตนมีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 1 ถึง 3098  $\text{amol}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  ซึ่งปริมาณก๊าซเอทิลีนที่ซึมผ่านฟิล์มขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ คือที่อุณหภูมิเดียวกันภายใต้สภาพความชื้นสัมพัทธ์สูง ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้สูงกว่าสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โดยพบว่าสภาวะที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ฟิล์มกลูเตนมีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงสุด อย่างไรก็ตามค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มกลูเตน ไม่แตกต่างไปจากฟิล์ม LDPE (ชุดควบคุม, 3110  $\text{amol}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ ) [36]

การยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดด้วยภาชนะบรรจุตัดแปลงบรรยากาศ (MAP) เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลสด ทำให้ผลิตผลยังคงความสดใหม่และรักษาคุณภาพทางโภชนาการ โดยมีการศึกษาผลของการใช้สภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำต่อคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวของมะม่วงมหาชนก โดยการเก็บมะม่วงในกล่องพลาสติกที่มีการผ่านก๊าซที่ความเข้มข้นที่ต้องการ ได้แก่ สภาพบรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม), ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 (ชุดที่ 2) และ ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 (ชุดที่ 3) เป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% แล้วย้ายมาเก็บในสภาพบรรยากาศปกติเป็นเวลา 4 วัน พบว่าอัตราการหายใจของมะม่วงที่เก็บในสภาพตัดแปลงบรรยากาศที่มีก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 100 (ชุดที่ 2) มีอัตราการหายใจต่ำกว่าชุดควบคุม ในช่วง 2 วันแรก และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อนำมะม่วงมาเก็บในสภาพบรรยากาศปกติ ส่วนมะม่วงที่เก็บในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 (ชุดที่ 3) มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นมีค่าลดลงเมื่อนำมะม่วงมาเก็บในสภาพบรรยากาศปกติ โดยมะม่วงชุดนี้มีอัตราการหายใจต่ำที่สุด และพบว่ามะม่วงทั้ง 3 ชุด มีอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมะม่วงมีการผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยชุดควบคุมมีการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตเพิ่มมากที่สุด [37] นอกจากนี้ยังมีการใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าผสมต่างทับทิม เพื่อช่วยให้การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น [38]

นอกจากนี้ยังมีการนำเอาซีโอไลต์ที่เป็นผลึก มีรูพรุน และเหมาะสำหรับใช้เป็นสารดูดซับก๊าซเอทิลีนมาประยุกต์ใช้แทนสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีต่างทับทิมเป็นองค์ประกอบ สำหรับการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร [39] ซึ่งได้มีการศึกษาการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน โดยใช้ซีโอไลต์ชนิด Chabazite และ Clinoptilolite พบว่า Clinoptilolite ไม่สามารถดูดซับเอทิลีนได้ ในขณะที่ Chabazite แสดงสมบัติ ในการดูดซับเอทิลีนได้เป็นอย่างดี [40]

การศึกษาฟิล์มคอมพอลิเมอร์ซีโอไลต์-พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และซีโอไลต์-พอลิไทริน-เอทิลีนบิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) โดยเลือกสารดูดซับเป็นซีโอไลต์ทางการค้า คือ ZSM-5(280), ZSM-5(50), และซิลิกาไลต์สังเคราะห์ พบว่าการเติม ZSM-5(280) ในฟิล์ม LDPE ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น เนื่องจาก ZSM-5(280) มีโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก และการเติม ZSM-5(280) ในฟิล์มคอมพอลิเมอร์ช่วยให้การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนดีกว่าการเติม ZSM-5(50) เนื่องจากความมีขั้วต่ำกว่า และการเติมซิลิกาไลต์ลงในฟิล์ม SEBS โดยการหล่อแบบสารละลาย พบว่า การซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้นแต่มีแรงยึดติดระหว่างภูมิภาค SEBS และอนุภาคซิลิกาไลต์ต่ำเนื่องจากเกิดช่องว่างที่พื้นผิวของ SEBS และอนุภาคซิลิกาไลต์ และพบว่าค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนในฟิล์ม ZSM-5(280)/SEBS มีค่าสูงกว่าฟิล์ม ZSM-5(280)/LDPE แต่อย่างไรก็ตาม SEBS มีความเหนียวตึงสูง และขึ้นรูปยาก [48] จึงมีการนำพอลิโอฟีนมาใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และทำให้ขึ้นรูปฟิล์มง่ายขึ้น โดยเตรียมฟิล์มคอมพอลิเมอร์สองชั้นของ LDPE กับ SEBS ที่มีการเติมซีโอไลต์ชนิดไม่มีขั้ว ZSM-5(280) ใน ปริมาณ 5, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก ลงในฟิล์ม SEBS และทำการเตรียมซีโอไลต์ ZSM-5(280) ให้มีการกระจายตัวในชั้น SEBS 2 แบบ (แบบ Surface-rich และแบบ Well-dispersed) พบว่าการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 ในปริมาณ 5-10% สามารถเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีน แต่ถ้าปริมาณที่เติมมากกว่า 10% การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มคอมพอลิเมอร์เพิ่มไม่มากนัก และการกระจายตัวที่ต่างกันของซีโอไลต์ไม่ส่งผลต่อการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน เนื่องจากมีชั้น LDPE ที่มีความเป็นผลึก (Crystallinity) ขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ ทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ช้า [8] จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยต่อมาได้มีการเตรียมฟิล์มคอมพอลิเมอร์สองชั้นของพอลิโอฟีน (LDPE และ OPP) กับ SEBS ที่มีการเติมซีโอไลต์ ZSM-5(280) ปริมาณ 5% ลงในฟิล์ม SEBS โดยทำการเจาะรูฟิล์มในชั้น LDPE และ OPP ให้มีปริมาตรรูที่เจาะ 0-100% และขนาดของรู 2-5 mm เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม ก่อนนำไปประกบติดกับชั้น SEBS พบว่าฟิล์มที่มีการเจาะรู 40% ของพื้นที่และมีขนาดรู 2 mm มีค่าความแข็งแรงเชิงกลดี และมีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูง และการเติมซีโอไลต์ ZSM-5 5% ช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเจาะรูที่ฟิล์มทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงและขาดง่ายขึ้น [9] นอกจากนี้มีการศึกษาใช้ฟิล์ม PE ที่มีการเจาะรูให้มีขนาดของรูเป็น 1, 5 และ 9 mm ในการห่อบล็อคออลี สปีแนชมะเขือเทศ และแตงกวา พบว่าฟิล์มที่มีการเจาะรูขนาดรู 1 mm สามารถใช้เก็บผลิตผลสดดังกล่าวได้ดี [41]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนาฟิล์มที่มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนได้ดีด้วยระบบพอลิเมอร์ผสม โดยเลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เพราะพอลิเมอร์ชนิดนี้มีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากราคาที่ถูกลงและมีสมบัติเชิงกลดีกว่า LDPE เช่น ทนแรงฉีกขาดและแรงที่มทะเล่ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามความเป็นผลึกของ LLDPE ทำให้มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนต่ำ จึงทำการปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนโดยการผสม LLDPE กับ SEBS และศึกษาผลของอัตราส่วน LLDPE/SEBS เพราะปริมาณ SEBS ที่เพิ่มขึ้น สามารถช่วยเพิ่มค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนให้สูงขึ้น เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน และการใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ที่มีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับ SEBS (ตารางที่ 2.4) ทำให้มีความเข้ากันได้ดี และส่งผลทำให้ฟิล์ม LLDPE/SEBS นิ่มลงและช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) ในภูมิภาคของ SEBS ซึ่งมีผลต่อสัณฐานวิทยาและทำให้การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น

ตารางที่ 2.4 ค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์

สาร	$\delta$ (cal/cm <sup>3</sup> )
PE	8.10
SEBS	8.50
DOA	8.78
DOP	9.14
Cereclor	9.30
DBP	10.09
TCP	11.54

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

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

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ LLDPE

สมบัติ	PE1220G	หน่วย
ดัชนีการไหล (Melt flow index)	2	g/10min
ความหนาแน่น (Density)	0.919	g/cm <sup>3</sup>

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

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ SEBS

สมบัติ	SEBS G1652
ปริมาณสไตรีน (Styrene content, %wt)	29.0 ถึง 30.8
ดัชนีการไหล (Melt flow rate, g/10 min)	5
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	0.910
ความหนืด (Viscosity, cPs)	400 ถึง 525
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break, %)	500
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength, psi)	4500
ความเค้นดึงเมื่อมีการยืดร้อยละ 300 (300% Modulus, psi)	700
ความแข็งกด (Hardness) ด้วย Shore A, 10 วินาที	69

- ไดออกทิลพทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP) เกรดการค้า จากบริษัท เซ้าท์ ซีดี พี โตร เคมี จำกัด
- ซีเรคลอร์ (Cereclor) เกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด
- ไดบิวทิลพทาเลต (Dibutyl phthalate, DBP) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Sigma-Aldrich จำกัด
- ไตรครีซิลฟอสเฟต (Tricresyl phosphate, TCP) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Sigma-Aldrich จำกัด
- ไดออกทิลอะดิเพต (Diocetyl adipate, DOA) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัท Sigma-Aldrich จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของพลาสติกไซเซอร

สมบัติ	DOP	Cereclor	DBP	TCP	DOA
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	0.985	1.491	1.042	1.1701	0.926
จุดเดือด (Boiling point, °C)	231	200	340	255	214
จุดวาบไฟ (Flash point, °C)	218	150	189	>225	196
ความหนืด (Viscosity, cPs)	78	25	15	63	14
ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Reflective index) ที่ 20°C	1.483	1.491	1.491	1.550	1.447

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางที่ 3.1 ถึง 3.3 เป็นข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

8. ก๊าซ Air Zero ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด
9. น้ำกลั่น (Distilled water)
10. ก๊าซเอทิลีน (Ethylene gas) ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด
11. ก๊าซเอทิลีนมาตรฐาน (Standard ethylene gas) ความเข้มข้น 589 ppm จากบริษัท ไทย อินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด
12. ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas) ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.9% จากบริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด
13. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เกรดการค้า จากองค์การสุรา กรมสรรพสามิต
14. ไซลีน (Xylene) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system จำกัด
15. เททระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system จำกัด
16. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N<sub>2</sub>) จากบริษัท แล็บไซลูชั่นแอนด์เอ็นจิเนียริง จำกัด

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) บริษัท C. Melchers (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น PL 2000/PL 2001
  2. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) บริษัท Bosco Engineering จำกัด รุ่น Bosco A600
  3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) บริษัท แมช กรุ๊ป (1992) จำกัด รุ่น MGLP 20 AT
  4. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM) บริษัท LLOYD Instrument จำกัด รุ่น LR 5K
  5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5410LV
  6. เครื่องคัลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter) บริษัท Perkin Elmer จำกัด รุ่น DSC 7 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัต (Differential mechanical analyzer) บริษัท UBM จำกัด รุ่น Rheogel-E4000
8. เครื่องทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทีลิน (เครื่องประกอบ Home-made)
9. เครื่อง Gas chromatograph บริษัท Varian จำกัด รุ่น CP-3800
10. เครื่องชั่งแบบดิจิทัล ความละเอียด 4 ตำแหน่ง (g)
11. เครื่องปั๊มสุญญากาศ
12. เครื่องปั๊มลม บริษัท ฮิตาชิ จำกัด รุ่น BEBICON 400
13. ตู้อบความร้อน
14. อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า
25. แท่นให้ความร้อน พร้อมแท่งแก้วคน
26. บริเวณที่เครื่องแก้ว
27. กระบอกใส่ไนโตรเจนเหลว
28. เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell)
29. วงแหวนทดสอบการซึมผ่านก๊าซ (Permeation ring)
30. ไมโครมิเตอร์

### 3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์

#### 3.3.1 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม

การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ทำได้โดยซึ่งให้ได้อัตราส่วน โดยน้ำหนักตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.4 ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด

นำ LLDPE และ SEBS ใส่ลงไปเครื่องผสมแบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

- Front plate	190°C
- Mixer chamber	190°C
- Rear panel	190°C
- Rotor speed	60 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม	10 นาที

จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาบดให้เป็นเม็ดละเอียด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน LLDPE/SEBS	LLDPE	SEBS
100/0	100	0
90/10	90	10
80/20	80	20
70/30	70	30

### 3.3.2 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีพลาสติกไซเซออร์

การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ที่มีพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ DOP, Cereclor, DBP, TCP และ DOA ทำได้โดยผสม SEBS และพลาสติกไซเซออร์ก่อน โดยชั่งน้ำหนักพลาสติกไซเซออร์เป็น 10% ของน้ำหนัก SEBS ทำการกวนของผสมให้ผสมกันในบีกเกอร์ด้วยแท่งแก้ว คนเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปคลุกผสมกับเม็ด LLDPE โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ LLDPE/SEBS เป็น 70/30 ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1

### 3.4 การเตรียมฟิล์ม

การเตรียมฟิล์มบางแบ่งกลุ่มฟิล์มตามการทดสอบดังนี้

- 1) ฟิล์มเพื่อทดสอบการซึมผ่านของก๊าซ เตรียมให้มีความหนาในช่วง 30-40  $\mu\text{m}$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 cm โดยชั่งพอลิเมอร์ผสมประมาณ 0.2 กรัม
  - 2) ฟิล์มเพื่อการวิเคราะห์และทดสอบอื่นๆ เตรียมให้มีความหนาในช่วง 50-70  $\mu\text{m}$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11 cm โดยชั่งพอลิเมอร์ผสมประมาณ 0.6 กรัม
- จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด โดยใช้สภาวะของเครื่องกดอัด ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การศึกษาสัณฐานวิทยา

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด  $1 \times 3 \text{ cm}^2$  แล้วนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว หักชิ้นงาน ในขณะที่ชิ้นงานเย็น (Cryogenic crack) จากนั้นนำแผ่นฟิล์มใส่ในขวดรูปชมพู่และแช่ด้วยตัวทำละลายไซคลินหรือเทระไฮโดรฟูราน (THF ใช้สำหรับการศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซอร์) แล้วแช่เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$  เพื่อสกัดวัฏภาค SEBS ออกจากชิ้นงาน นำฟิล์มไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำไปศึกษาการกระจายตัวของ SEBS ใน LLDPE ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

### 3.6 การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อน

#### 3.6.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย DSC

ทำการตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) อุณหภูมิการตกผลึก ( $T_c$ ) และปริมาณผลึกของ LLDPE ด้วยเครื่อง DSC โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง  $25-160^\circ\text{C}$  ด้วยอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ  $10^\circ\text{C}$  ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) โดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 5-10 มิลลิกรัม นำข้อมูลที่ได้มาหาค่า  $T_m$ ,  $T_c$  และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ LLDPE ตามมาตรฐาน ASTM E794 โดยนำค่า Heat of fusion ( $\Delta H_f$ ) มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}} \quad (3.1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก} = \frac{\Delta H_f \times 100 \times 100}{H_f^0 \times \% \text{โดยน้ำหนักของ PE ที่มีอยู่จริง}} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\Delta H_f$  คือพื้นที่ใต้กราฟของ  $T_m$

$\Delta H_f$  คือพลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% มีค่า  $293 \text{ J/g}$  [72]

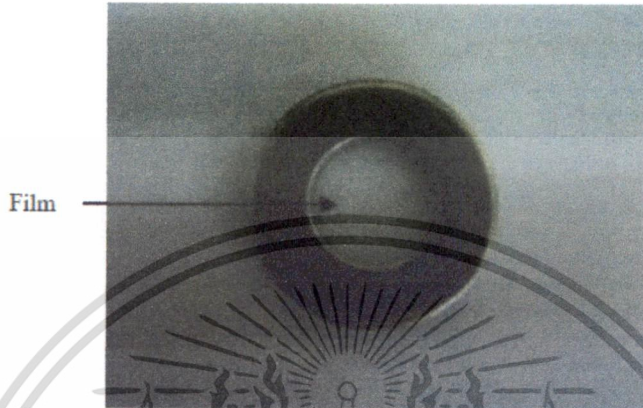
#### 3.6.2 การศึกษาสมบัติความร้อนแบบพลวัตด้วย DMA

ทำการตรวจสอบค่ามอดุลัสสะสม ( $E'$ ) ค่ามอดุลัสสูญเสีย ( $E''$ ) และค่า  $\tan \delta$  ของฟิล์ม LLDPE/SEBS ด้วยเครื่อง Dynamic mechanical analysis (DMA) ใน Tension mode สำหรับทำการทดสอบ ชิ้นงานที่ทดสอบมีขนาด  $0.5 \times 1 \times 0.1 \text{ cm}^3$  โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง  $-100$  ถึง  $120^\circ\text{C}$  ด้วยอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ  $2^\circ\text{C}$  ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ความถี่ในการทดสอบ 10 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

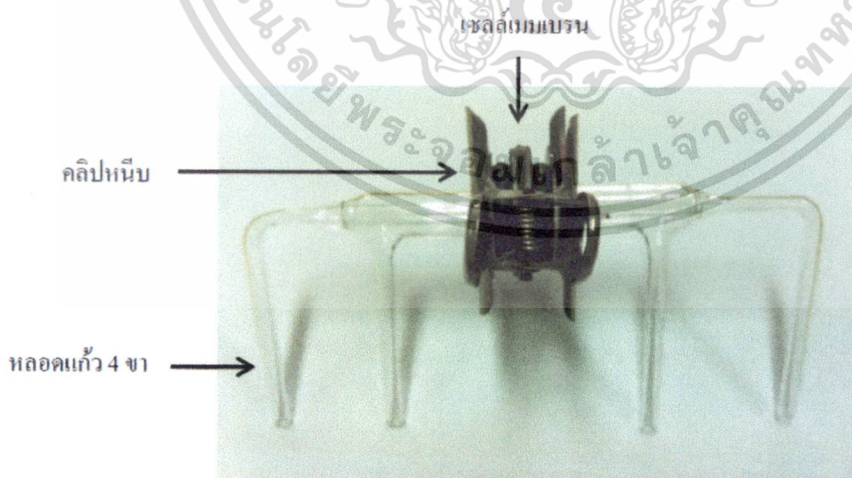
### 3.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

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



ภาพที่ 3.1 เซลล์เมมเบรน ซึ่งฟิล์มถูกติดอยู่ระหว่างวงแหวนโลหะ

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



ภาพที่ 3.2 เซลล์เพอร์มิเอชัน (Permeation cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน ทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ปรับอัตราการไหลของก๊าซ

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

2) ปรับความดันฝั่งเพอร์มิเอตและรีเทนเทต

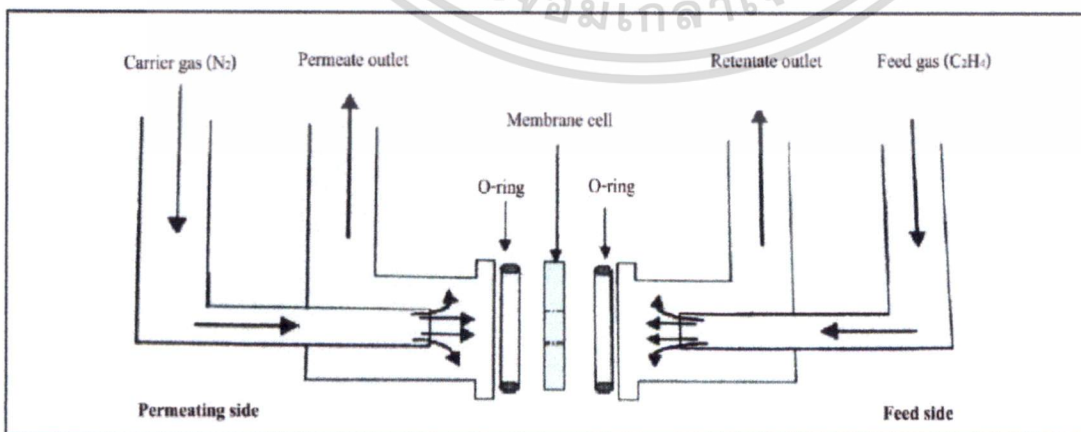
การปรับความดันฝั่งเพอร์มิเอตและรีเทนเทตให้เท่ากัน ใช้เมมเบรนเนื้อแน่นที่ทำจากแผ่นเปลวอะลูมิเนียม (Aluminium foil) แล้วดูระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube) ดังรูปที่ 3.4 โดยทำการปรับความดันฝั่งรีเทนเทตให้เท่าความดันฝั่งเพอร์มิเอตด้วยวาล์วรูเข็ม (Needle valve) ตามหลักการสมดุลความดัน (Balance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

3) การทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มตัวอย่าง

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

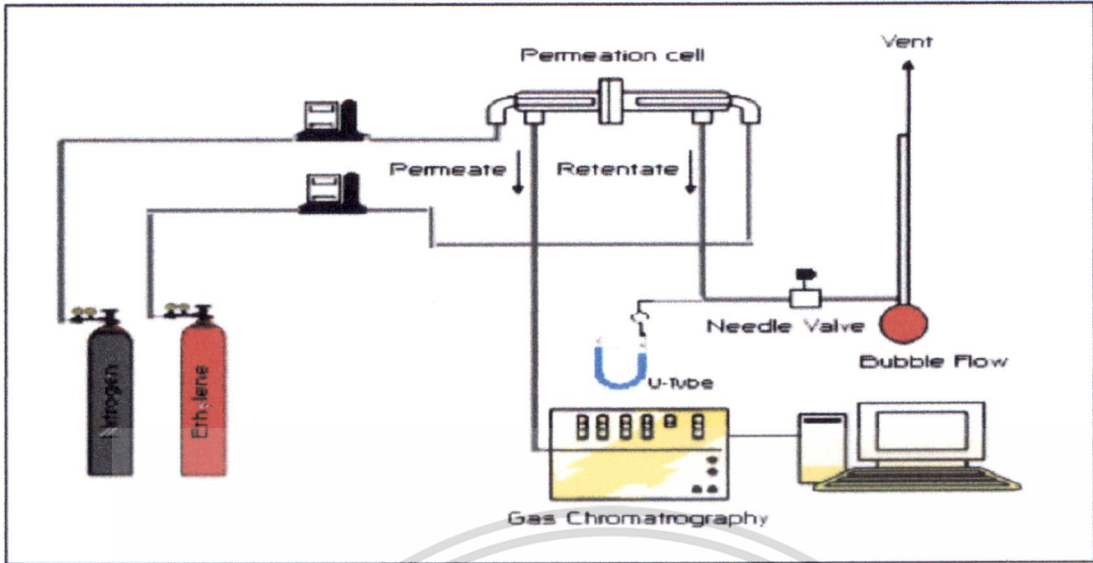
- Injector port 200°C
- Column oven 150°C
- Flame ionization detector (FID) 200°C

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



ภาพที่ 3.3 แผนภาพทิศทางการซึมผ่านก๊าซในเซลล์เพอร์มิเอชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

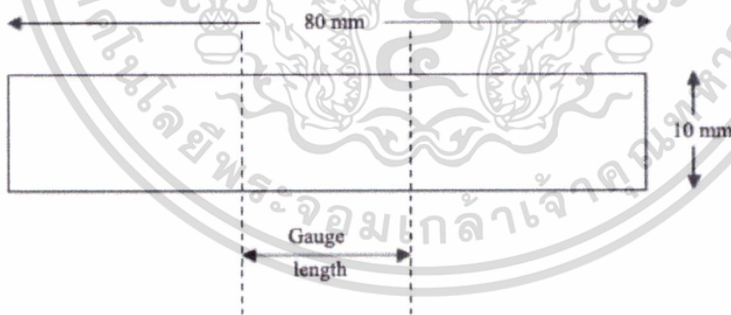


ภาพที่ 3.4 แผนภาพทดสอบการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน

### 3.8 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของฟิล์มตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D 882 โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตัดฟิล์มตัวอย่างให้มีขนาด  $10 \times 80 \text{ mm}^2$  โดยใช้สภาวะในการทดสอบ ดังนี้

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



ภาพที่ 3.5 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด, ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด, ความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยัง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break)} = \frac{F_{\text{at break}}}{A} \quad (3.3)$$

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)} = \frac{[l - l_0]}{l_0} \times 100 \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเค้น ณ จุดคราก (Stress at yield)} = \frac{F_{\text{at yield}}}{A} \quad (3.5)$$

$$\text{มอดุลัสของยัง (Young's Modulus)} = \text{ความเค้น (Stress)} / \text{ความเครียด (Strain)} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $F$  = แรงดึงยึดชิ้นงาน ณ จุดนั้นๆ

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

$l$  = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด

$l_0$  = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length)

หมายเหตุ ค่ามอดุลัสของยังคำนวณจากค่าความชันเริ่มต้น (ที่ 0.5 และ 1%)



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาฟิล์มที่มีการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนได้ดี โดยทำการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) กับบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน (SEBS) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม และผลของการใช้พลาสติกไซเซอร์ทั้งชนิดและปริมาณต่างกัน และเลือกบางสูตรผสมในการศึกษาการซึมผ่านของก๊าซชนิดต่างๆ เพื่อใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

#### 4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสม LLDPE/SEBS

การศึกษาผลของอัตราส่วน LLDPE/SEBS โดยใช้ SEBS เกรด Kraton G1652 ที่ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดแล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด นำฟิล์มมาทดสอบสมบัติต่างๆ โดยการเขียนสูตรฟิล์มจะระบุปริมาณพอลิเมอร์ที่มีอยู่จริงในฟิล์ม ดังแสดงตามตารางที่ 4.1 เช่น ในสูตรที่มี SEBS อยู่ 28% เขียนเป็นสูตร LL72S28

##### 4.1.1 พฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

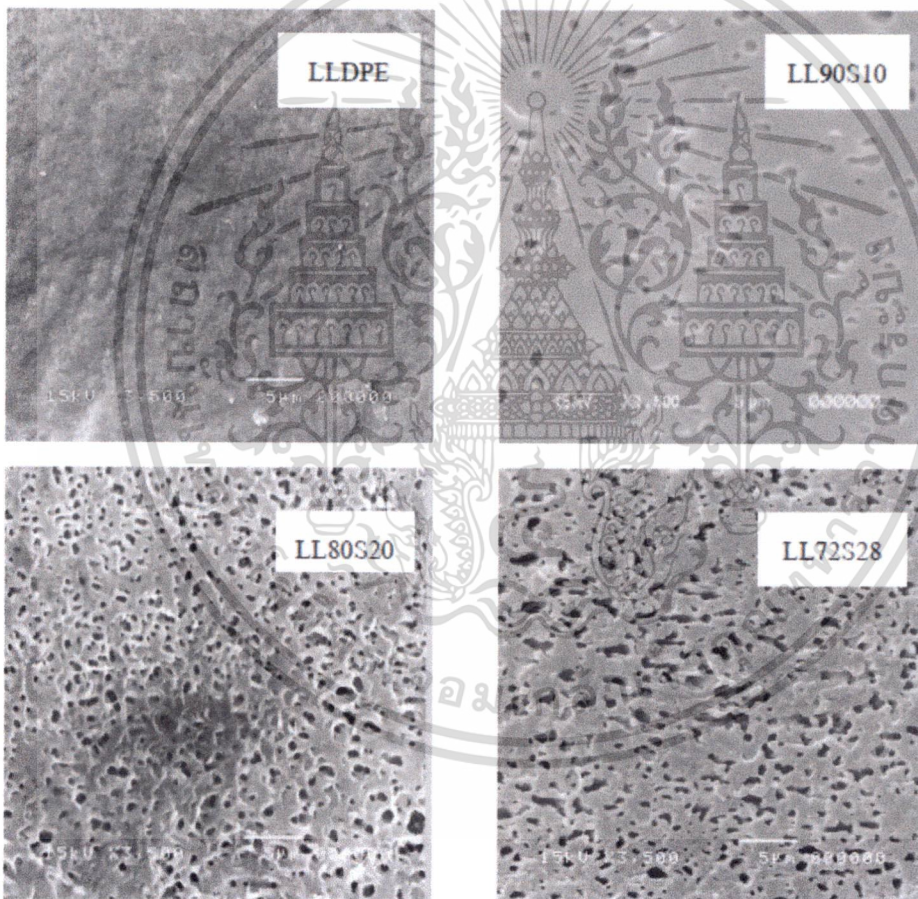
การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ด้วย DSC แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) และอุณหภูมิการเกิดผลึก ( $T_c$ ) ของ LLDPE มีค่าใกล้เคียงกันในทุกสูตรฟิล์ม อาจเนื่องมาจาก LLDPE และ SEBS มีแรงยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่ดี จึงมีความเข้ากันได้ต่ำ ทำให้การเติม SEBS ไม่มีผลต่อขนาดของผลึก LLDPE ยังสามารถเกิดผลึกที่มีขนาดใกล้เคียงกับสูตรที่ไม่ได้เติม SEBS แต่เมื่อเติม SEBS ในปริมาณตั้งแต่ 20%wt ความเป็นผลึกของ LLDPE ลดลง เนื่องจาก SEBS เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วและมีส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีโครงสร้างคล้ายกับ LLDPE จึงมีความเข้ากันได้บางส่วนเมื่อมีปริมาณ SEBS มากขึ้น จึงมี SEBS กระจายตัวอยู่ในวัฏภาค LLDPE ทำให้ความต่อเนื่องของเมทริกซ์ LLDPE ลดลง และทำให้ระบบมีความหนืดสูง สายโซ่โมเลกุลของ LLDPE จึงเคลื่อนที่มาจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบเพื่อสร้างผลึกยากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเติม SEBS 20-44%wt พบว่าไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึก (ซึ่งมีค่าในช่วง 22-24%)

ตารางที่ 4.1  $T_m$ ,  $T_c$  และความเป็นผลึกของ LLDPE ในฟิล์ม LLDPE/SEBS

สูตร	$T_m$ (°C)	$T_c$ (°C)	ความเป็นผลึก (%)
LLDPE	117	105	29.3
LL90S10	119	104	26.6
LL80S20	118	102	22.2
LL72S28	118	103	23.4

#### 4.1.2 ลักษณะวิทยาของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะวิทยาภาคตัดขวางของ 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



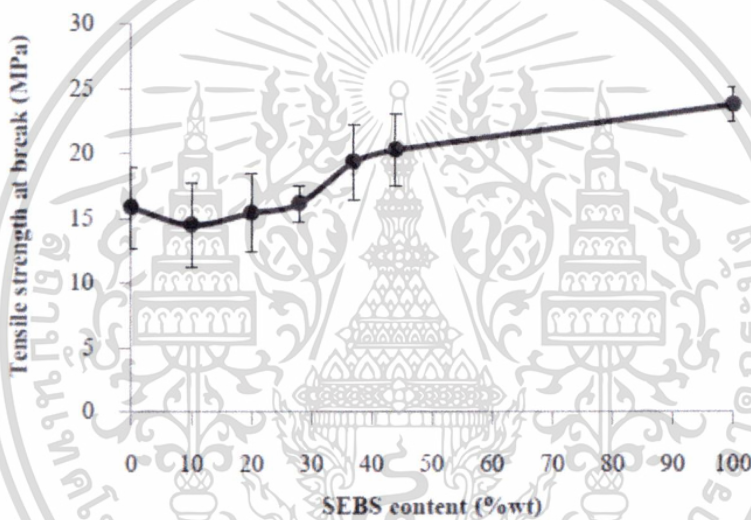
ภาพที่ 4.1 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วยไซลีน ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

#### 4.1.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

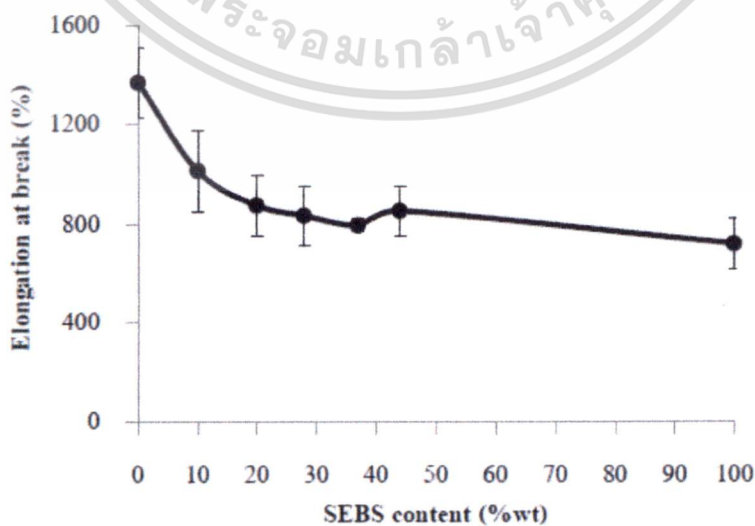
จากภาพที่ 4.2-4.5 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่มีปริมาณ SEBS ต่างๆ พบว่าฟิล์ม SEBS (100%wt SEBS content) มีค่าความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์ม LLDPE (0%wt SEBS content) เนื่องจาก SEBS เกรด Kraton G1652 ที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ออสถฐาน

เอทิลีนและโพรพิลีนหรือที่เรารู้จักกันในชื่อพลาสติกเอทิลีน และโพรพิลีนเหล่านี้จะเชื่อมกันโดยการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยส่วนของพอลิโพรพิลีน 30%wt ที่มีความแข็ง และเอทิลีน/บิวทิลีน 70%wt ที่มีความนิ่มคล้ายยาง ซึ่งส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีน ที่มีความอ่อนนุ่ม ทำให้เกิดการเสียรูปได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ ขณะที่ LLDPE เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบจึงสามารถรับแรงได้มากกว่าก่อนเกิดการเสียรูป สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม SEBS สูงกว่าฟิล์ม LLDPE เนื่องจากพอลิโพรพิลีน ในโครงสร้าง SEBS ทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพ ยึดให้สายโซ่โมเลกุลของเอทิลีน/บิวทิลีนติดกันคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติ ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้น เป็นผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงขึ้น แต่มีรอยละการยืด ณ จุดขาดต่ำ อย่างไรก็ตาม SEBS มีความนิ่มคล้ายยางและเหนียวติดสูง (Sticky) ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ยาก จึงต้องนำมาเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมกับ LLDPE เพื่อช่วยให้การขึ้นรูป

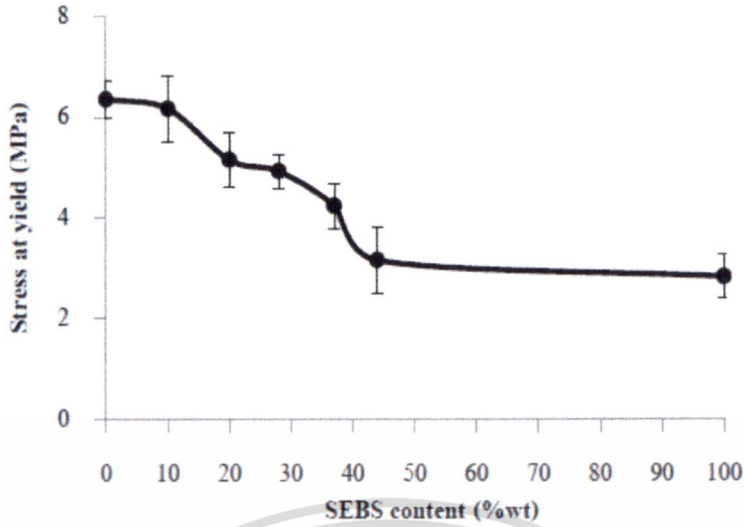


ภาพที่ 4.2 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

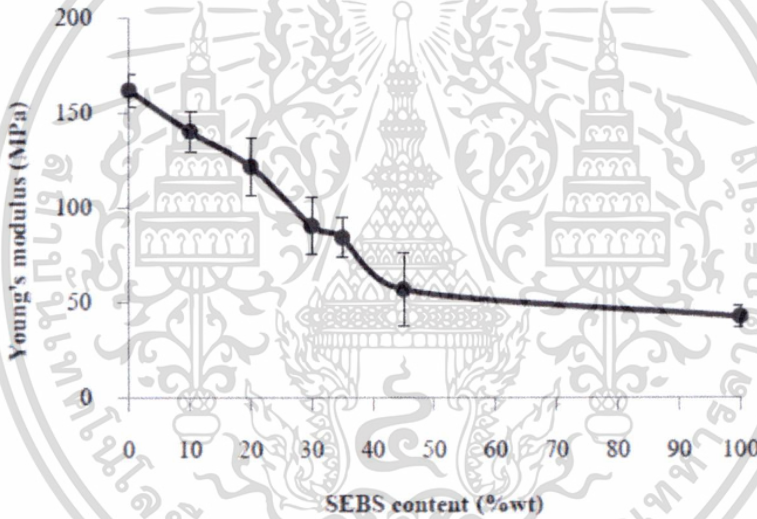


ภาพที่ 4.3 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ



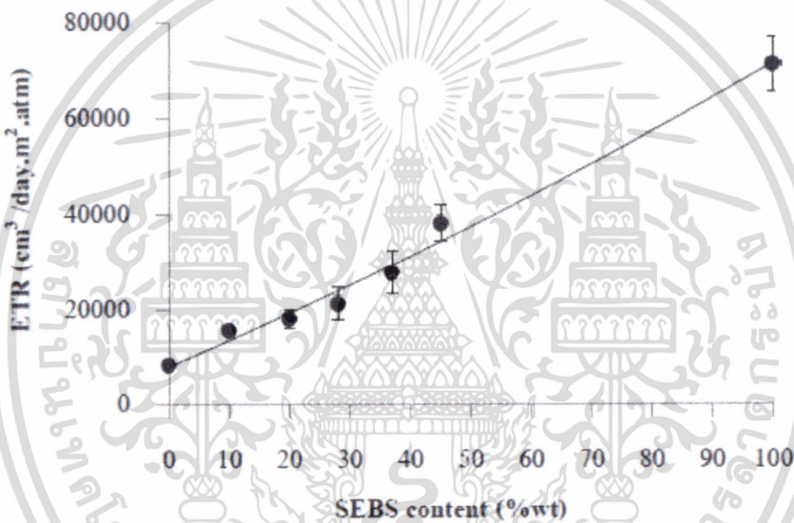
ภาพที่ 4.5 โมดูลัสของยังของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

จากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณ SEBS ลงไปใน LLDPE/SEBS ทำให้ฟิล์มมีความนิ่ม คล้ายยางมากขึ้น เมื่อดึงฟิล์มตัวอย่าง ฟิล์มมีการเสียรูปร่างแบบอลาสติก เมื่อให้แรงดึงต่อไปอย่าง ต่อเนื่อง ฟิล์มเกิดการคราก (Yielding) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ส่งผล ให้ค่าความเค้น ณ จุดครากและค่ามอดูลัสของยังมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณ SEBS ที่มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความเหนียว (Toughness) และมีความแข็งแรงดึงมากขึ้น ขณะดึงฟิล์มตัวอย่าง ภูมิภาค SEBS ที่มีสถานะวิทยาแบบทรงกลมจะถูกยึดออกจนกลายเป็นทรงรี ทำให้สามารถรับและกระจาย พลังงานที่ได้รับดีกว่าการมีปริมาณ SEBS น้อย เป็นผลให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามจุดเชื่อมโยงทางกายภาพของ SEBS ที่มากขึ้น ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

จากภาพที่ 4.6 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มต่างๆ พบว่าฟิล์ม LLDPE มีค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนต่ำ เพราะความเป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึกของ LLDPE มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบบางส่วน ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านส่วนอสัณฐานได้ดีกว่าส่วนผลึก ส่วนฟิล์ม SEBS เป็นอสัณฐาน ไม่มีขั้วเหมือนก๊าซเอทิลีน และมีส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่มีความนุ่ม สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่าย ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านได้ดี จากผลดังกล่าวจึงนำ SEBS มาผสมกับ LLDPE เพื่อเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านก๊าซเอทิลีน พบว่าอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ SEBS มากขึ้น (เพิ่มขึ้น 4.6 เท่า เมื่อเติม SEBS 44%) เนื่องจากการมี SEBS ช่วยเพิ่มความเป็นอสัณฐานให้กับฟิล์ม LLDPE/SEBS ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.6 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LLDPE/SEBS ที่ปริมาณ SEBS ต่างๆ

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LLDPE/SEBS ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณ SEBS ที่มีความเป็นอสัณฐาน ทำให้ฟิล์มมีวิถุภาคอสัณฐานมากขึ้น ปริมาตรอิสระของระบบจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงขึ้น แต่สมบัติเชิงกลของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากผลของสัณฐานวิทยาพบว่าสูตร LL72S28 มีการกระจายตัวของวิถุภาค SEBS ในวิถุภาค LLDPE ที่ดี และมีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนที่สูง มีสมบัติการรับแรงดึงที่ดี เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง แต่เมื่อมีปริมาณ SEBS มากกว่า 30%wt พบว่าค่ามอดุลัสของยังและความเค้น ณ จุดครากลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากฟิล์มนุ่มและเหนียวติดมากขึ้น การขึ้นรูปฟิล์มจึงค่อนข้างทำได้ลำบาก ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มสูตร LL72S28 มาศึกษาผลของการใช้พลาสติกไซเซอร์ต่อไป



ตารางที่ 4.2 อักษรย่อแทนสูตร LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ในปริมาณ 10%wt ของ SEBS

สูตร	ชนิดของพลาสติกไซเซออร์				
	DOP	Cereclor	DBP	TCP	DOA
LL72S28	-	-	-	-	-
LL72S28+DOP	√	-	-	-	-
LL72S28+Cereclor	-	√	-	-	-
LL72S28+DBP	-	-	√	-	-
LL72S28+TCP	-	-	-	√	-
LL72S28+DOA	-	-	-	-	√

#### 4.2.1 พฤติกรรมทางความร้อนเชิงพลวัตของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์

ในเบื้องต้นได้ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ โดยเลือกพลาสติกไซเซออร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันสองชนิดคือ DOP (มีโครงสร้างประกอบด้วยวงอะโรมาติก) และ Cereclor (มีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติก) มาเติมลงไป ใน LLDPE และ SEBS ในปริมาณ 10%wt โดยใช้อักษรย่อแทนสูตรต่างๆ (ตามตารางที่ 4.2) และผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.8-4.10

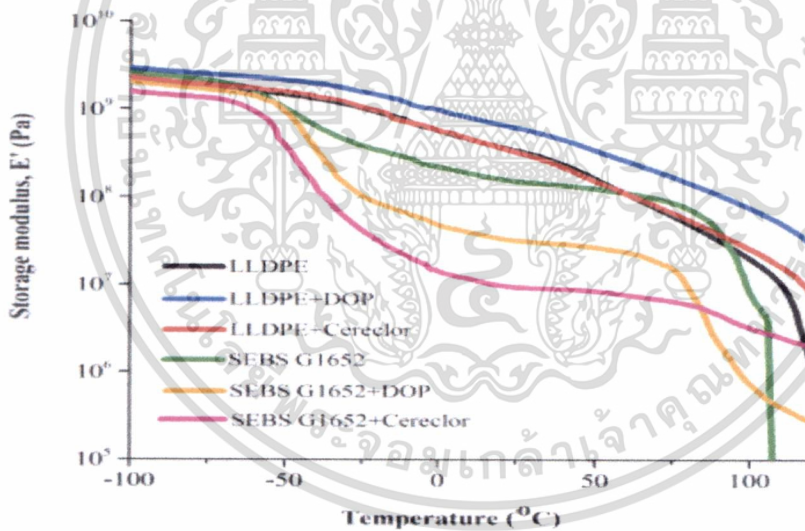
ตารางที่ 4.3 อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณ 10%wt

สูตร	ชนิดของพลาสติกไซเซออร์	
	DOP	Cereclor
LLDPE	-	-
LLDPE+DOP	√	-
LLDPE+Cereclor	-	√
SEBS G1652	-	-
SEBS G1652+DOP	√	-
SEBS G1652+Cereclor	-	√

จากภาพที่ 4.8-4.10 แสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์ม LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 80°C คือตำแหน่ง  $\alpha$ -transition ของ LLDPE เมื่อเติม DOP และ Cereclor ลงไปใน LLDPE พบว่าไม่ทำให้ช่วงอุณหภูมิของ  $\alpha$ -transition ของ LLDPE เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก LLDPE, DOP และ Cereclor มีค่าความสามารถในการละลาย ( $\delta$ ) ต่างกัน เท่ากับ 8.10 cal/cm<sup>3</sup>,

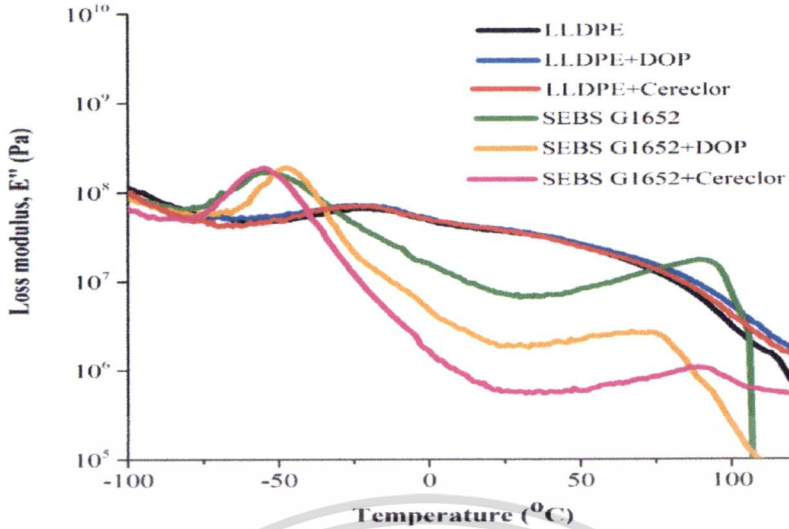
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการค้าเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นไปเองจะขอคืนดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.14 cal/cm<sup>3</sup> และ 9.30 cal/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ [47] ความเข้ากันได้ของ LLDPE และ พลาสติกไซเซออร์ทั้งสองชนิดจึงต่ำ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ  $T_g$  ในฟิล์ม LLDPE ในกรณีของ SEBS ปรากฏ  $T_g$  2 ตำแหน่ง คือที่อุณหภูมิ -43°C และ 100°C ซึ่งเป็น  $T_g$  ของเอทิลีน/บิวทิลีนและสไตรีน ตามลำดับ เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ทั้งสองชนิดลงไป SEBS พบว่าสามารถแทรกเข้าไประหว่างสายโซ่ SEBS และทำให้ค่า  $T_g$  เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ทั้งสองมีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับ SEBS (8.50 cal/cm<sup>3</sup>) มากขึ้น [43] เมื่อพิจารณาค่า  $T_g$  ในแต่ละส่วนของ SEBS เห็นได้ว่าการเติม DOP และ Cereclor ลงไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ  $T_g$  ในส่วนของสไตรีนชัดเจน (ลดลงจาก 100°C ไปที่ 93°C และ 92°C ตามลำดับ) เพราะสไตรีนเป็นส่วนที่มีขั้ว จึงมีความเข้ากันได้กับ DOP และ Cereclor ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีขั้ว ได้ดีกว่าส่วนของเอทิลีน/บิวทิลีนที่ไม่มีขั้ว ความเข้ากันได้ของพลาสติกไซเซออร์ทั้งสองชนิดนี้กับเอทิลีน/บิวทิลีนจึงต่ำ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ  $T_g$  ในส่วนนี้ นอกจากนี้ การเติม DOP และ Cereclor ลงไปใน SEBS ทำให้ค่า  $E'$  ในช่วง Rubbery plateau มีค่าลดลง เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ สายโซ่โมเลกุลจึงสามารถเคลื่อนที่ง่ายขึ้น SEBS จึงมีความแข็งแรงลดลงและเสียรูปง่ายขึ้น

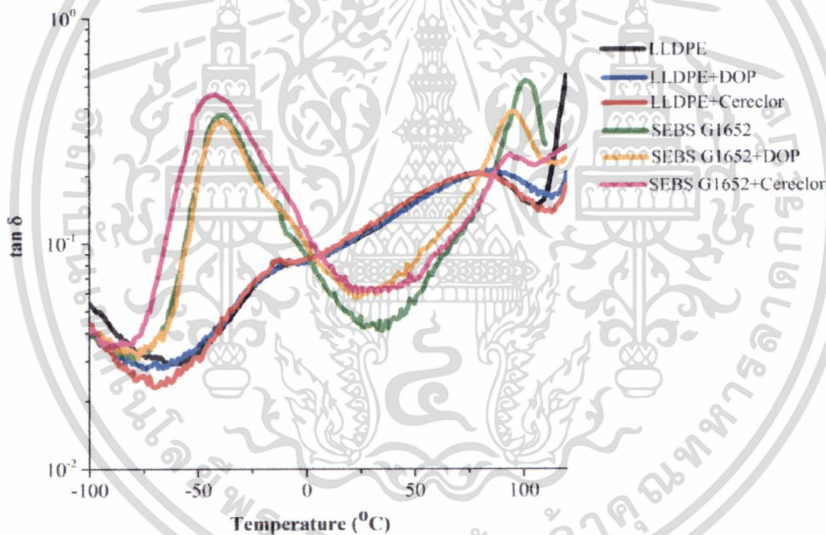


ภาพที่ 4.8 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม ( $E'$ ) กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสสูญเสีย ( $E''$ ) กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์



ภาพที่ 4.10 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tan \delta$  กับอุณหภูมิของ LLDPE และ SEBS ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์

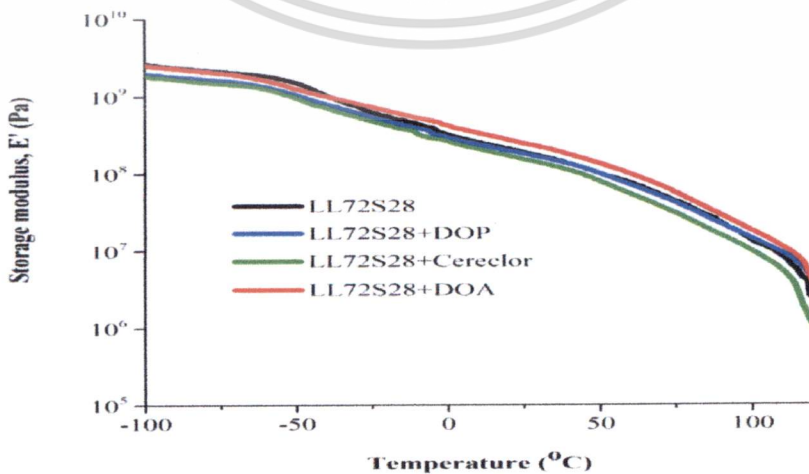
จากผลการทดลอง พบว่าการใช้พลาสติกไซเซออร์ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระของ SEBS ได้จากผลของค่า  $T_g$  ที่ต่ำลง จึงศึกษาสมบัติความร้อนเชิงพลวัตของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ในปริมาณ 10%wt ของน้ำหนัก SEBS โดยค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter,  $\delta$ ) ของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 4.4 และผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11-4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลาย ( $\delta$ ) ของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอร [47-48]

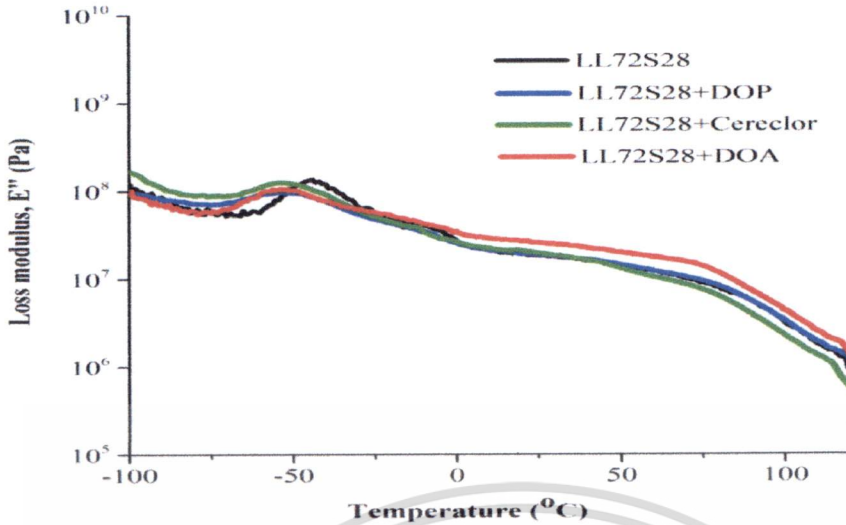
สาร	$\delta$ (cal/cm <sup>3</sup> )
PE	8.10
SEBS	8.50
DOA	8.78
DOP	9.14
Cereclor	9.30
DBP	10.09
TCP	11.54

จากภาพที่ 4.11-4.13 แสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA พบว่าการใช้พลาสติกไซเซอรทั้ง 3 ชนิดสามารถช่วยลด  $T_g$  ของพอลิเมอร์ผสมได้ โดย DOP และ Cereclor ช่วยลด  $T_g$  ของพอลิสไตรีนใน SEBS ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นส่วนที่มีขั้ว จึงมีความเข้ากันได้ดีกับ DOP และ Cereclor ซึ่งเป็น พลาสติกไซเซอรที่มีขั้วได้ดี ทำให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น สายโซ่โมเลกุลของพอลิสไตรีนจึงเคลื่อนที่ง่ายขึ้น ในขณะที่การใช้พลาสติกไซเซอร DOP และ Cereclor ไม่มีผลทำให้ค่า  $T_g$  ของเอทิลีน/บิวทิลีนเปลี่ยนแปลง เพราะเอทิลีน/บิวทิลีนเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงเข้ากับพลาสติกไซเซอรที่มีขั้วได้ไม่ดี สำหรับการเติม DOA ลงไปในฟิล์ม LL72S28 พบว่าสามารถลด  $T_g$  ทั้งในส่วนของพอลิสไตรีน และเอทิลีน/บิวทิลีน โดยลดลงจาก 90°C เป็น 81°C และ -43°C เป็น -49°C ตามลำดับ เนื่องจาก DOA จัดเป็นสารประกอบอะลิฟาติกเอสเทอร์ ที่มีสายโซ่เป็นเส้นตรง และมีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับ SEBS มากที่สุด (ดังตารางที่ 4.4) จึงสามารถเข้ากันได้ดีและช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระให้กับ SEBS ได้สูงสุดเมื่อเทียบกับพลาสติกไซเซอรชนิดอื่น ส่งผลให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่า  $T_g$  ของ SEBS ในพอลิเมอร์ผสมได้ชัดเจน

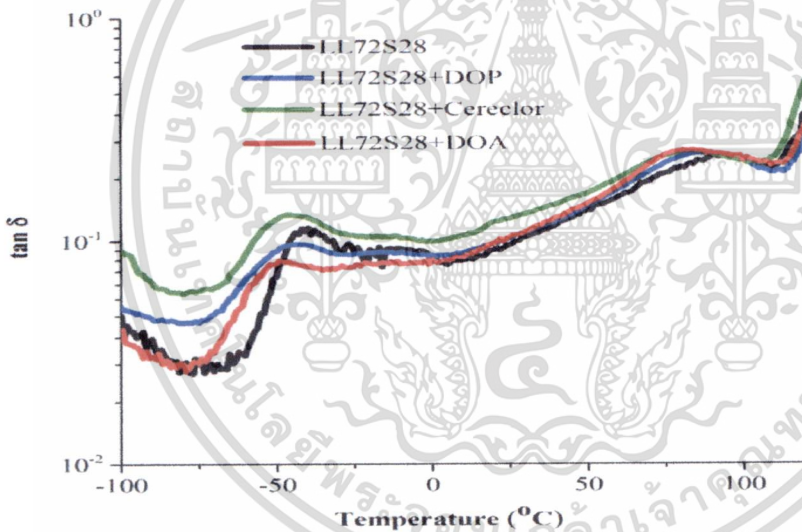


ภาพที่ 4.11 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสสะสม ( $E'$ ) กับอุณหภูมิของ LL72S28,

เอกลสาร LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

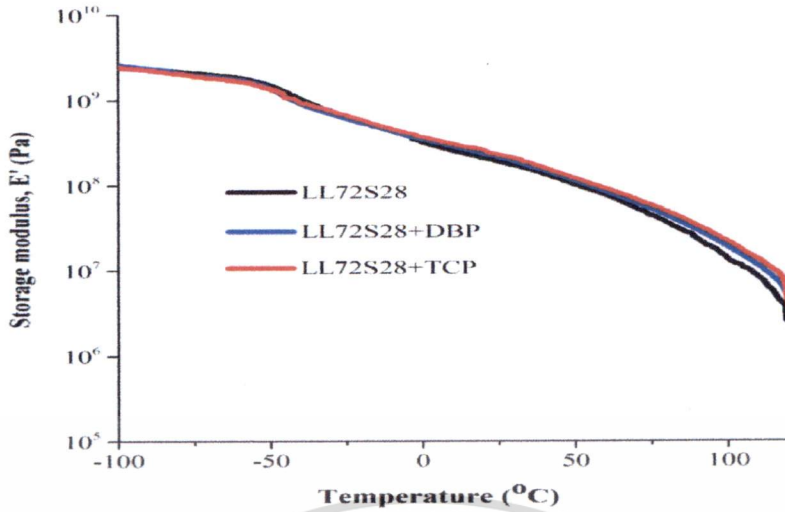


ภาพที่ 4.12 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสีย ( $E''$ ) กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA

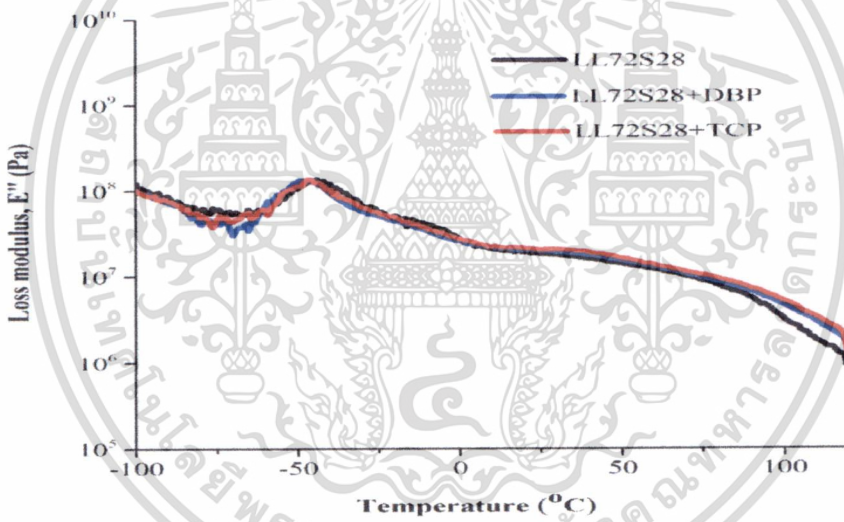


ภาพที่ 4.13 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tan \delta$  กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DOP, LL72S28+Cereclor และ LL72S28+DOA

จากภาพที่ 4.14-4.16 แสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์ม LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP พบว่าการใช้พลาสติกไซเซอร์ทั้งสองชนิด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง  $T_g$  ของ SEBS เนื่องจาก DBP และ TCP มีค่าความสามารถในการละลายต่างจาก SEBS (ดังตารางที่ 4.6) จึงมีความเข้ากันได้เล็กน้อย นอกจากนี้ โครงสร้างของ DBP ประกอบด้วยวงอะโรมาติก 2 วง ส่วน TCP ประกอบด้วยวงอะโรมาติก 3 วง และมีฟอสฟอรัสในโครงสร้าง ทำให้พลาสติกไซเซอร์ทั้งสองชนิดนี้มีขั้วสูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด ห้องผสมที่เป็นเหล็กมีอันตรกิริยาที่ดีกับ DBP และ TCP ทำให้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ส่วนใหญ่ถูกดูดซับไว้ที่ผนังของห้องผสมมากกว่าแทรกเข้าไปในสายโซ่ SEBS จึงทำให้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของ  $T_g$  เมื่อกวนจนใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

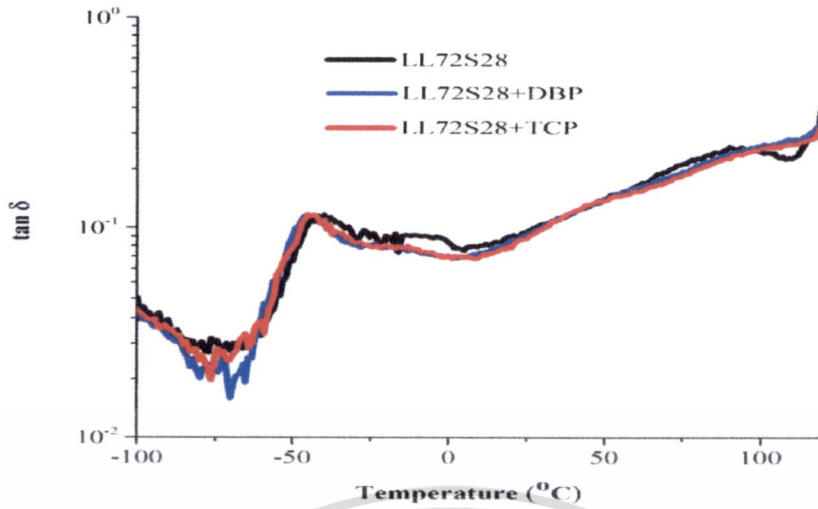


ภาพที่ 4.14 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสม ( $E'$ ) กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP



ภาพที่ 4.15 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสีย ( $E''$ ) กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP

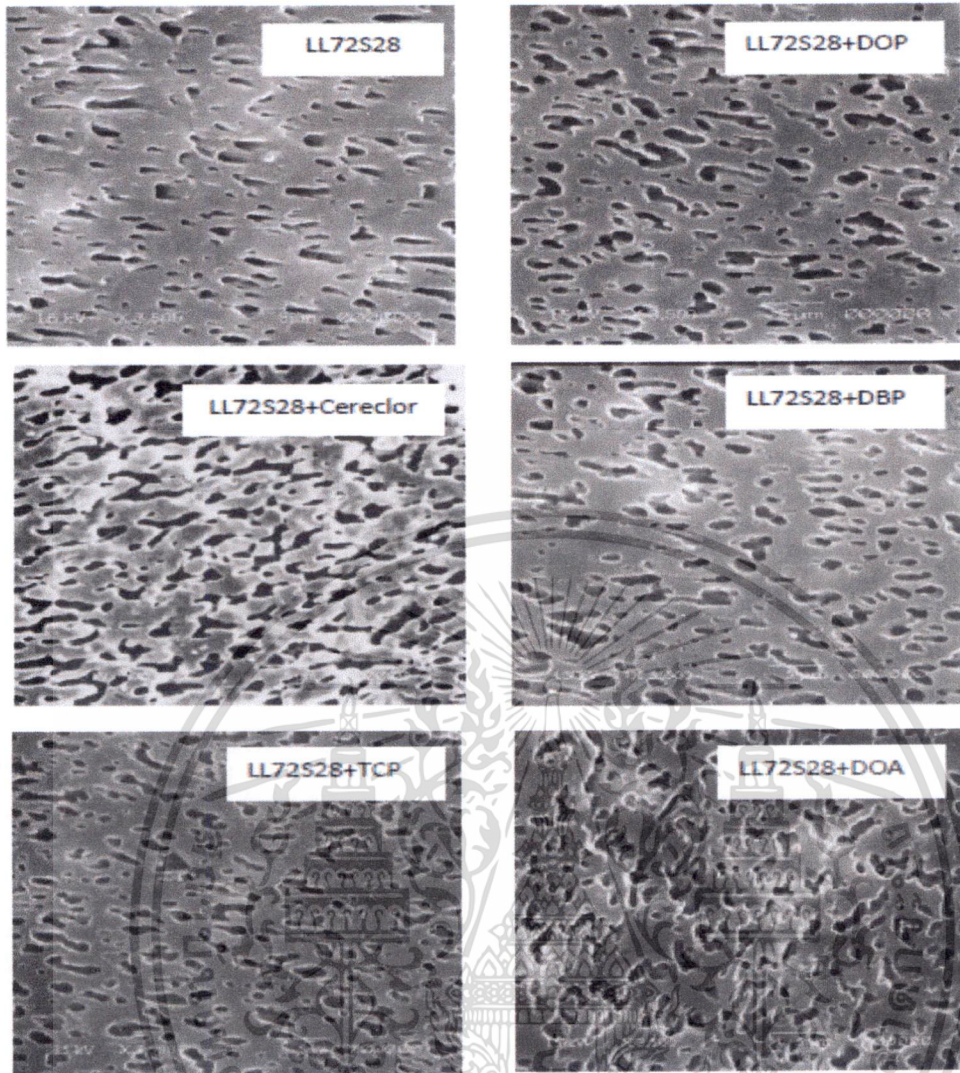
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tan \delta$  กับอุณหภูมิของ LL72S28, LL72S28+DBP และ LL72S28+TCP

#### 4.2.2 สันฐานวิทยาของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเบอร์

จากภาพที่ 4.17 แสดงสันฐานวิทยาของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเบอร์ชนิดต่างๆ ในปริมาณ 10%wt ของน้ำหนัก SEBS



ภาพที่ 4.17 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ ที่มีการสกัด SEBS ออกด้วย THF ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

จากผลการศึกษา พบว่าการเติมพลาสติกไซเซออร์ส่วนใหญ่ ทำให้ปริมาณอิสระของ SEBS เพิ่มขึ้น โดยการเติม DOP, DBP, TCP และ DOA ลงไปใน LL72S28 พบว่าได้รูปร่างและการกระจายตัวของ SEBS คล้ายกัน ยกเว้นการเติม Cereclor ที่ทำให้วัฏภาค SEBS มีความต่อเนื่องมากขึ้น แสดงจากลักษณะวิทยาเป็นรูปร่างทรงรีมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ของภูมิภาค SEBS ในฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์

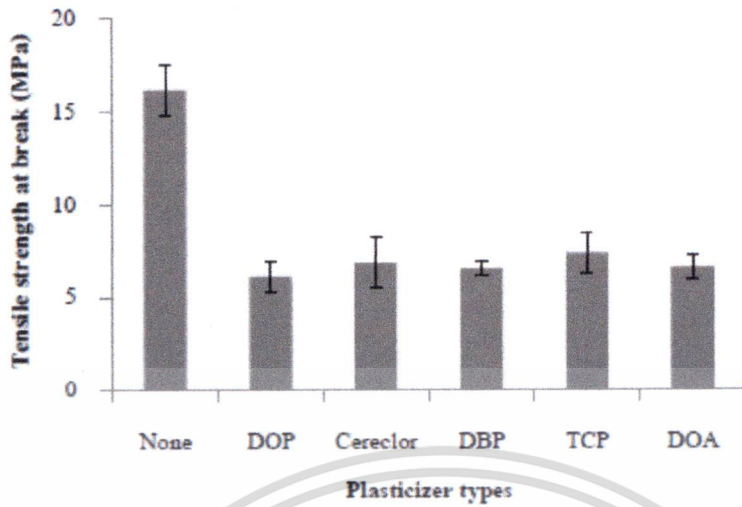
ตัวอย่าง	พลาสติกไซเซออร์ (%wt)	พื้นที่ของ SEBS	พื้นที่ทั้งหมด	%พื้นที่ของ SEBS
LL72S28	0	1202	40837	14
LL72S28+DOP	10	2387	54327	18
LL72S28+Cereclor	10	1061	66122	22
LL72S28+DBP	10	1316	50076	17
LL72S28+TCP	10	1523	41044	16
LL72S28+DOA	10	1906	68232	23

จากภาพที่ 4.17 แสดง SEM ของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ นำมาคำนวณ %พื้นที่ของภูมิภาคกระจาย SEBS ด้วยโปรแกรม ImageJ ได้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่าการเติม DOP, DBP และ TCP สามารถให้ %พื้นที่ของ SEBS ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของสัญญาณวิทยาที่วิเคราะห์ได้ ส่วนการเติม Cereclor ลงในฟิล์ม LL72S28 มี %พื้นที่ของ SEBS มาก ซึ่งสอดคล้องกับภาพ SEM ที่สามารถเห็นความต่อเนื่องของ SEBS ในขณะที่การเติม DOA ลงไปนั้นแม้ว่าขนาดของ SEBS เล็กกว่าการเติม Cereclor แต่จากผลของ %พื้นที่ของภูมิภาคกระจายที่คำนวณ ได้มีค่ามากที่สุด

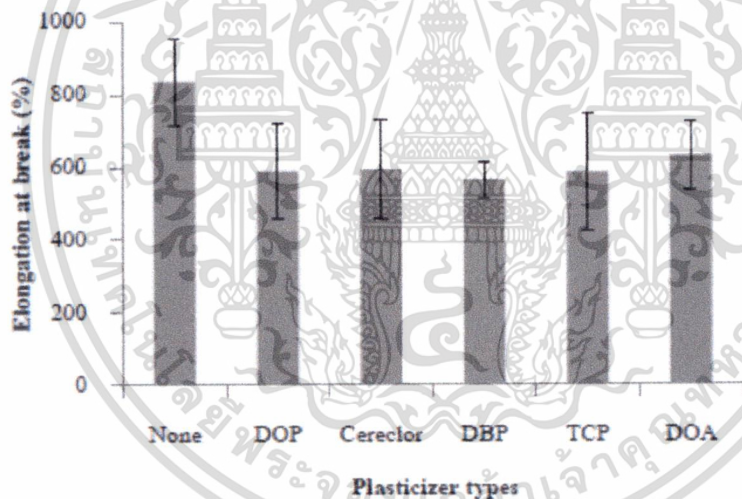
#### 4.2.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซออร์

จากภาพที่ 4.18-4.21 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ ปริมาณ 10%wt ของน้ำหนัก SEBS ในทางทฤษฎีการเติมพลาสติกไซเซออร์ ทำให้ฟิล์มนิ่มขึ้นเพราะพลาสติกไซเซออร์เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ง่าย ค่ามอดูลัสของยังควรลดลง แต่จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มที่เติมพลาสติกไซเซออร์ส่วนใหญ่มีค่ามอดูลัสของยังใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ เพราะพลาสติกไซเซออร์แทรกเข้าไปเฉพาะในส่วนของภูมิภาคกระจาย จึงไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของภูมิภาคหลัก LLDPE ทำให้ค่ามอดูลัสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไม่ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งการเติมพลาสติกไซเซออร์ลงไปทำให้รอยต่อระหว่างภูมิภาค LLDPE กับ SEBS อ่อนแอลง ฟิล์มจึงมีแนวโน้มเสียรูปและขาดง่ายขึ้น แสดงจากความเค้น ณ จุดครากของฟิล์มตัวอย่างทุกสูตรมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 3.70-4.74 MPa และความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างชัดเจน โดยค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานของฟิล์มบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร มาตรฐานเลขที่ มอก. 1027-2553 (7 MPa) [49] นอกจากนี้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มควรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ เพราะพลาสติกไซเซออร์ที่เติมเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ สายโซ่จึงเคลื่อนที่ง่ายขึ้น แต่ผลการทดลองพบว่าฟิล์มมีร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง เพราะฟิล์มมีการเสียรูปง่ายขึ้น และพลาสติกไซเซออร์ที่เติมเข้าไปแทรกอยู่ในส่วนของภูมิภาคกระจายเท่านั้น (จากผล DMA ในภาพที่ 4.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

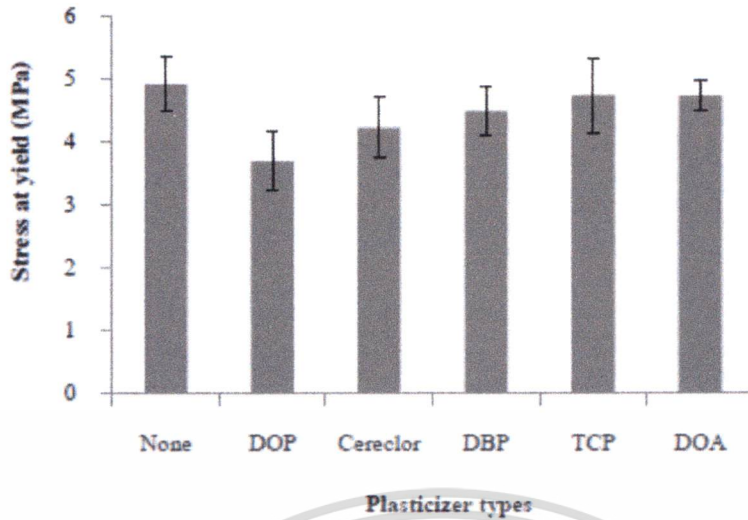


ภาพที่ 4.18 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ ที่ 10%wt ของ SEBS

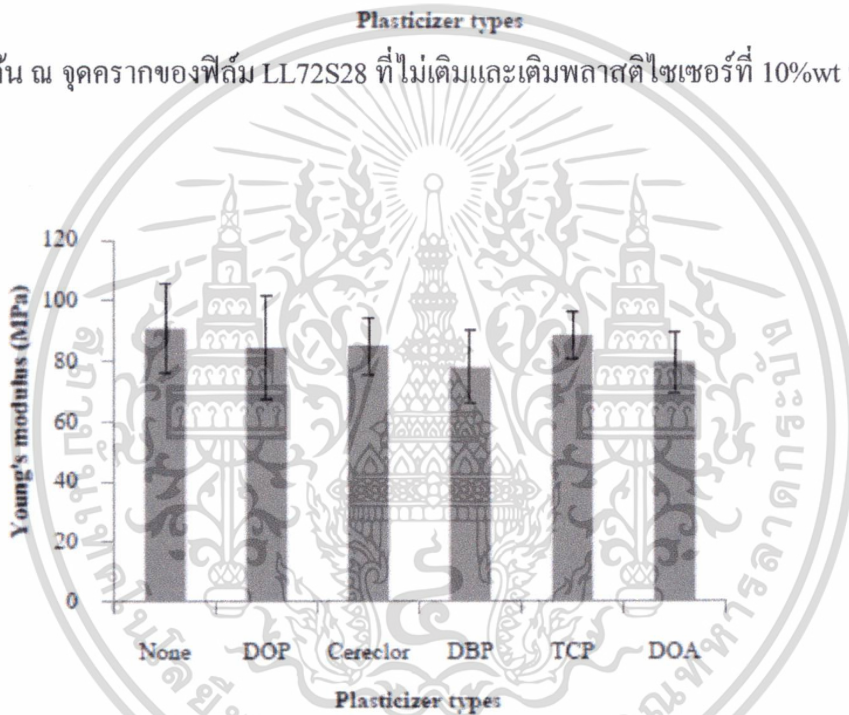


ภาพที่ 4.19 ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ 10%wt ของ SEBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 ความเค้น ณ จุดครากของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ 10%wt ของ SEBS



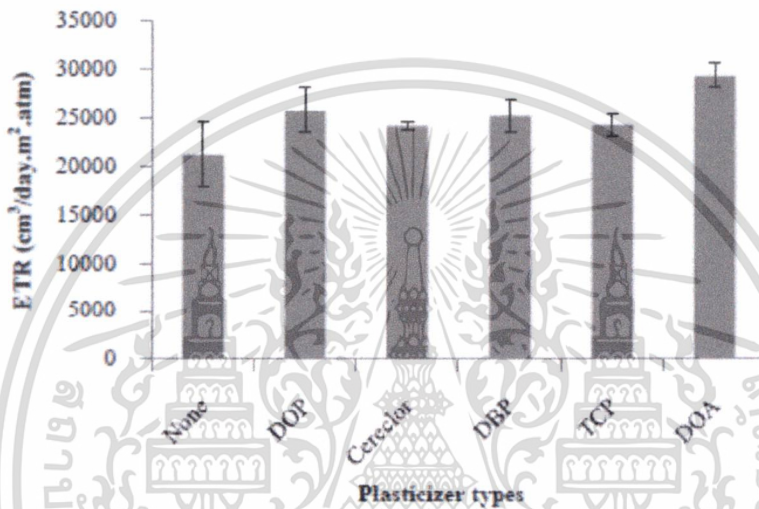
ภาพที่ 4.21 มอดูลัสของยังของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ 10%wt ของ SEBS

#### 4.2.4 การซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ที่เติมพลาสติกไซเซอร์

จากภาพที่ 4.22 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ พบว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไป ทำให้อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงกว่าฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ เพราะการมีพลาสติกไซเซอร์แทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ผ่านกันง่ายขึ้นและสามารถช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระให้กับวัฏภาคกระจาย ก๊าซเอทิลีนซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก จึงสามารถซึมผ่านวัฏภาค SEBS ที่เป็นออสถฐานได้ดี ทำให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงขึ้นเมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์ จากผลการทดสอบ พบว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ส่วนใหญ่ช่วยเพิ่มอัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ได้ใกล้เคียงกัน เพราะแม้จะเติมพลาสติกไซเซอร์ที่ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระลงไป แต่ฟิล์มยังประกอบด้วยส่วนของ LLDPE ที่มีความเป็นผลึก ขัดขวางการซึมผ่าน

ของก๊าซ (Gas barrier) อยู่ โดยอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นประมาณ 14-21% ขณะที่การเติม DOA ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถช่วยเพิ่มการซึมการผ่านก๊าซเอทิลีนได้สูงสุดถึง 38% เพราะในพลาสติกไซเซออร์ทั้ง 5 ชนิดที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ DOA เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับ SEBS มากที่สุด จึงช่วยเพิ่มปริมาณอิสระได้สูงและลด  $T_g$  ทั้งในส่วนของสไตรีนและเอทิลีน/บิวทิลีนลงได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์มสุตรนี้สูง นอกจากนี้ DOA เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร จึงมีความปลอดภัยในการเลือกเติม DOA ลงไปในฟิล์มบรรจุผลิตผลสดมากกว่าการเลือกใช้ DOP, Cereclor, DBP และ TCP



ภาพที่ 4.22 อัตราการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 ที่ไม่เติมและเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ 10%wt ของ SEBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาผลของปริมาณการเติม SEBS ลงในฟิล์ม LLDPE/SEBS พบว่าการเพิ่มปริมาณ SEBS ทำให้ฟิล์มมีค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่ามอดุลัสของยัง และร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง แต่มีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงขึ้น ลักษณะของสัญญาณวิทยาที่ได้ พบว่าขนาดของวัฏภาคกระจายมีแนวโน้มใหญ่ขึ้นและมีความต่อเนื่องมากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความต่อเนื่องของวัฏภาคอสัณฐาน SEBS สูง ก๊าซเอทิลีนจึงสามารถซึมผ่านฟิล์มได้มากขึ้น

การเพิ่มการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม LL72S28 โดยการเติมพลาสติกไซเซออร์ DOP, Cereclor, DBP, TCP และ DOA ในปริมาณ 10%wt พบว่าการเติม DOA สามารถเพิ่มการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนได้สูงสุด เพราะ DOA มีค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ใกล้เคียงกับ SEBS มากที่สุด ทำให้ DOA และ SEBS มีความเข้ากันได้ดี แต่การเติมพลาสติกไซเซออร์ที่ปริมาณ 10%wt ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดต่ำ

หากนำฟิล์มมาหีบห่อหรือบรรจุผลิตภัณฑ์ไวต่อก๊าซเอทิลีน ฟิล์มที่ถูกพัฒนาขึ้นจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาออกไปและช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เลือกสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ประกอบด้วย SEBS ในปริมาณมากที่สุดที่สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้ เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ โดยฟิล์มบรรจุภัณฑ์นี้ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ไวต่อก๊าซเอทิลีนและมีอายุการเก็บรักษาสั้น เช่น กล้วย มะม่วง เป็นต้น
2. เลือกพลาสติกไซเซออร์ที่มีความปลอดภัยและมีค่าความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับ SEBS มากขึ้น มีโครงสร้างเป็น โซ่ตรง เพื่อช่วยเพิ่มความเข้ากันได้กับวัฏภาค SEBS ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนของฟิล์ม
3. เลือกพอลิเมอร์ที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องให้มีความเป็นผลึกต่ำ เพื่อให้ก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา 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*. USA : 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] พรพรรณ มั่นประสิทธิ์. *Study on Ethylene Gas Permeability of SEBS/LDPE Double-Layered Zeolite Composite*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.

[9] ศราวุธ เลาวกุล. “Study on Zeolite-SEBS Composite/Perforated Polyolefins (LDPE and BOPP) Double-Layered Films for Improving Ethylene Permeation.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 2554.

[10] James, D.E. “Linear Low Density Polyethylene.” *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. 6 (1986) 429-454.

[11] จริงแท □ ศิริพานิช. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ □. พิมพ์ □ ครั้งที่ 4. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ □. 2544.

[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] Kader, A.A. “Respiration and Gas Exchange of Vegetables.” *Postharvest Physiology of Vegetables*. New York : Mercel Dekker, Inc. 1987. pp. 25-43.

[14] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). “การสุกของผลไม้.” [Online]. Available : [http://www.tistr-foodprocess.net/Fruit/fruit\\_home/fruit\\_home2.html](http://www.tistr-foodprocess.net/Fruit/fruit_home/fruit_home2.html). 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] ปรียชาติ จันทโชติ. “การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแยกบิวทานอลจากน้ำ- หมัก โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับการแยกด้วยเมมเบรน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
- [16] Rowan University. “**Membrane Gas Separation.**” [Online]. Available : <http://users.rowan.edu/~savelski/uol/gas.html>. 2012.
- [17] Rautenbach, R. and Albrecht, R. “**Membrane Separation Process.**” New York : John Wiley and Sons Inc. 2007.
- [18] ชันทอง สุนทรภา. “เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน.” กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [19] รัตนา จิระรัตนานนท์ และคณะ. “การแยกของผสมเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอร์แวก- เปอร์เรชัน.” เทคโนโลยีชีวภาพกับความหลากหลายทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ : ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. 2537.
- [20] Kargol, M. “**Gas Separation.**” [Online]. Available : [http://www.separationprocesses.com/Membrane/MT\\_ChpGS-1.htm](http://www.separationprocesses.com/Membrane/MT_ChpGS-1.htm). 2012.
- [21] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. “เอกสารประกอบการสอน วิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1.” ภาควิชา วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
- [22] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. “เอกสารประกอบการสอน วิชาสารปรับแต่งพอลิเมอร์.” กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [23] อาทิตยา โยธารักษ์. “ผลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดที่มีต่อโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลง ของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสมแบบหลอม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร. 2549.
- [24] Lohse, D.J. and Datta, S. “**Polymeric Compatibilizers : Uses and Benefits in Polymer Blends.**” New York : Hanser. 1996.
- [25] Burke, J. “**Solubility Parameter : Theory and Application.**” [Online]. Available : <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v03/bp03-04.html>. 1984.
- [26] Lohse, D.J. and Datta, S. **Polymeric Compatibilizers : Uses and Benefits in Polymer Blends.** New York : Hanser. 1996.
- [27] สุภาณี หิรัญชนกิจจากุล. “**พลาสติกไซเซออร์**” . [Online]. Available : [http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_toxic/a\\_tx\\_2\\_001c.asp?info\\_id=146](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146). 2554.
- [28] วราภรณ์ ต้นรัตนกุล. “**พลาสติกไซเซออร์ในพีวีซี**.” [Online]. Available : <http://www.sc.psu.ac.th/th/Articles/Ar51004.pdf>. 2551.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[29] กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วส.) “วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Materials).” [Online]. Available : <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR26.pdf>. 2554.

[30] University of Minnesota. “Bio-Based Alternative to Phthalate in Polyvinyl Chloride.” [Online]. Available : [http://www.license.umn.edu/Products/Phthalate-Free-Polyvinyl-Chloride-Plasticizer-From-Bio-based-Vegetable-Oils\\_20100213.aspxc](http://www.license.umn.edu/Products/Phthalate-Free-Polyvinyl-Chloride-Plasticizer-From-Bio-based-Vegetable-Oils_20100213.aspxc). 2010.

[31] กฤษณา ชูติมา. “เอทิลีน ฮอร์โมนพืช” *Journal of Royal Institute*. ฉบับที่ 3. 1994. หน้า 69-78.

[32] สัมฤทธิ์ เศรษฐวงษ์. “ฮอร์โมนและการใช้ฮอร์โมนกับไม้ผล.” พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ไทยเส็ง. 2552.

[33] Wu, C. “An Overview of Postharvest Biology and Technology of Fruits and Vegetables.” [Online]. Available : <http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/2813/1/public>. 2010.

[34] Hassan, F.A.S. and Mahfouz S.A. “Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life.” *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 55 (2010) 61-65.

[35] Wang, Y. “Ethylene and Oxygen Permeability Through Polyethylene Packaging Films.” *Packaging Technology and Science*. 11(4). New York : John Wiley & Sons. 1998. pp.169-178.

[36] Mujica Paz, H., Guillard, V., Reynes, M. and Gontard, N. “Ethylene Permeability of Wheat Gluten Film as a Function of Temperature and Relative Humidity” *Journal of Membrane Science*. 256 (2005) 108-115.

[37] หทัยทิพย์ นิมิตรเกียรติไกล, เพียรใจ กาแก้ว และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. “ผลของสภาพบรรยากาศ ที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์มหาชนก” *Journal of Agricultural Science*. 39(3). 2551. หน้า 291-294.

[38] พิชญานู นุญประสม, พรชัย ราชชนะพันธุ์ และ วุฒิรัตน์ พัฒนินบูลย์. “การผลิตสารดูดซับเอทิลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” *Journal of Agricultural Science*. 39(3). 2551. หน้า 107-110.

[39] วีรยา เพ็ญผล. “การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ประเภท Climacteric.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. 2552.

[40] Peiser, G. and Suslow, T.V. “Factors Affecting ethylene adsorption by zeolite: The last word (from us).” *Perishables Handling Quarterly*. 95 (1998) 17-19.

[41] LIU W., Chen W., Chun C. and LI J. 2009. **Effects of perforated polyethylene fresh-keeping bags of different diameters on vegetables.** [online].

Available : [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTTotal-SPKJ200901088.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTTotal-SPKJ200901088.htm)

- [42] Sigma-Aldrich. “**Diethyl Phthalate.**” [Online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/d201154?lang=en&region=TH>. 2013.
- [43] Sigma-Aldrich. “**Dibutyl Phthalate.**” [Online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/d2270?lang=en&region=TH>. 2013.
- [44] Guidechem. “**Chlorinated Paraffin (CAS No. 63449-39-8).**” [Online]. Available : <http://www.guidechem.com/reference/dic-371831.html>. 2013.
- [45] Wikipedia. “**Tricresyl Phosphate.**” [Online]. Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Tricresyl\\_phosphate](http://en.wikipedia.org/wiki/Tricresyl_phosphate). 2013.
- [46] Chemicaland21. “**Diethyl Adipate.**” [Online]. Available : <http://www.chemicaland21.com/industrialchem/plasticizer/DOA.htm>. 2013.
- [47] Hansen, C.M. **Hansen Solubility Parameter: A User's Handbook.** 2nd ed. Boca Raton, FL : CRC Press. 2007.
- [48] Peng, W., Shuhua, Q., Nailiang, L., Kangqing, D. and Haiying, N. “Investigation of Thermodynamic Properties of SIS, SEBS, and Naphthenic Oil by Inverse Gas Chromatography.” **Journal of Elastomers and Plastics.** 43(4) (2011) 369-386.
- [49] กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4228, พ.ศ. 2553. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร.” ราชกิจจานุเบกษา. 127 ตอนพิเศษ 128 ง. 2553.

## ภาคผนวก

## งบประมาณของโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้ง โครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	116,800.00	116,800.00	0.00
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	85,000.00	59,599.00	25,401.00
ค่าวัสดุ	120,000.00	145,401.00	(-25,401.00)
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	150,000.00	149,800.00	200.00
รวม	471,800.00	471,600.00	200.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

### หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวชลลดา ฤตวิรุฬห์  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Chonlada Rtvirulh
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1006 00411 78 1
- ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
เงินเดือน (บาท): 35,750  
เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) 20
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลข โทรศัพท์ โทรสาร และ ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
หน่วยงาน: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ซ.ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
ติดต่อ: โทรศัพท์ 02 329 4111 ต่อ 6250  
โทรศัพท์มือถือ 081 692 5458 แฟกซ์ 02 329 8428  
Email: krchonla@kmitl.ac.th
- ประวัติการศึกษา  
2535 วท.บ. เคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
2538 M.Sc. (Polymer science and Technology), UMIST, U.K.  
2542 Ph.D. (Polymer science and Technology), UMIST, U.K.
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
Polymer blend and composite  
Membrane technology
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

- การเตรียมกาวที่มีน้ำเป็นตัวกลางสำหรับการยึดติดยางกับโลหะ (สนับสนุนทุนวิจัยโดย : ศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงาน พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)

### ผู้ร่วมวิจัย (5 ปีย้อนหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Solubility study on adhesives: phase I ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบริษัทเวสเทิร์นดิเจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
2. Preparation of tunable PS/PMMA block copolymer ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบริษัทไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (5 ปีย้อนหลัง)

1. 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)
2. International application number PCT/TH2011/000028 Masterbatch for preparing plastic films with high ethylene permselectivity and the plastic films produced therefrom, 1<sup>st</sup> March 2012
3. เลขที่คำขอ 1001001199 มาสเตอร์แบทช์สำหรับเตรียมฟิล์มพลาสติกที่มีค่าอัตราการซึมผ่านและค่าการเลือกผ่านก๊าซเอทิลีนสูงและฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจากมาสเตอร์แบทช์ดังกล่าว, 4 สิงหาคม 2553
4. เลขที่คำขอ 0801001835 ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านก๊าซเอทิลีนสูงเพื่อชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด, 11 เมษายน 2551
5. R. Wiwattanankul, 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
6. สมยศ รัตนไพบูลย์กิจ, ตะวัน สุขน้อย, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักษลธิ “ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 4, 12-15 มีนาคม พิชญ โลก, 2555 หน้า 153-158.
7. K. Poolsawat, I. Jangchud, C. Ritvirulh and P. Phinyocheep, Effects of viscosity properties of therplastic natural rubber (TPNR) prepared from natural rubber (NR) and low density polyethylene (LDPE), *The proceeding of 49<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference*, February 1-4, Bangkok, Thailand, 265, 2011.
8. 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 proceeding of 7<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, September 30- October 1, Kanazawa, Japan, 45, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. P. Monprasit, **C. Ritvirulh**, S. Rukchonlatee, T. Sooknoi and A. Fuongfuchart, Tensile Properties of the Zeolite Composite Double-Layered Film, *The proceeding of 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 156, 2009.
10. 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 proceeding of 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 163, 2009.
11. P. Monprasit, **C. Ritvirulh**, S. Rukchonlatee, T. Sooknoi, 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.

### ผู้วิจัยร่วมคนที่หนึ่ง

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายตะวัน สุขน้อย  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Tawan Sooknoi
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1202 00351 46 3
3. ตำแหน่งปัจจุบัน: รองศาสตราจารย์  
เงินเดือน (บาท): 38,390  
เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์): 10
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ซ.ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ติดต่อ: โทรศัพท์ 02 329 4111 ต่อ 6250

โทรศัพท์มือถือ 081 929 8288 แฟกซ์ 02 329 8428

Email: kstawan@gmail.com

### 5. ประวัติการศึกษา

2534 วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2536 M.Sc. (Hydrocarbon Chemistry), UMIST, U.K.

2539 Ph.D. (Hydrocarbon Chemistry), UMIST, U.K.

### 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Zeolites Catalysis & Adsorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ ในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย (5 ปีย้อนหลัง)

1. Controlled deoxygenation of cellulose to chemicals and hydrocarbon feedstocks, Research & Development Grant, PTT Public Co.,Ltd. (1.5 year)
2. Synthesis of Zeolite A Nanoparticles, Research & Development Grant, PQ Chemicals Co.,Ltd. (1 year)
3. Catalytic Conversion of Glycerol to C3 Petrochemicals, Research & Development Grant, PTT Public Co.,Ltd. (1 year)
4. Preparation of tunable PS/PMMA block copolymer, Research & Development Grant, IRPC Co.,Ltd. (1.5 year)
5. Controlled deoxygenation of cellulose to low-oxygen-leveled fuels, Research & Development Grant, PTT Public Co.,Ltd. (1 year)
6. Decarbonylation / Decarboxylation of fatty acid to produce renewable long chain  $\alpha$ -olefin, ทุนวิจัยองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนา (วุฒิเมธีวิจัย สกว.), สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
7. Visible Light Photocatalysis in Emulsion Paint (Clear & White Base), Research & Development Grant, TOA Paints (Thailand) Co.,Ltd. (1 year)
8. Upgrading higher hydrocarbons by-products of naphtha steam cracking, Research & Development Grant, SCG Chemicals Co.,Ltd. (1 year)
9. Transformation of C5-C6 hydrocarbons to cyclopentane and its derivatives over metal catalysts, Research & Development Grant, SCG Chemicals Co.,Ltd. (1 year)
10. Reduction of Bromine Index and heteroatom contaminants in aromatic hydrocarbon feedstocks using modified clays, Research & Development Grant, SCG Chemicals Co.,Ltd. (1 year)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (5 ปีย้อนหลัง)

1. Aqueous-phase ketonization of acetic acid over Ru/TiO<sub>2</sub>/carbon catalysts, Tu Nguyet Pham, Dachuan Shi, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, *Journal of Catalysis*, 295 (2012), 169–178.
2. Aromatization of Cyclopentane Over ZSM-5 Catalysts: A Proposal of Reaction Pathway, N. Peamaroon, **T. Sooknoi**, *Petroleum Science and Technology*, Volume 30(16) (2012), 1647-1655.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Hydrodeoxygenation of m-cresol over gallium-modified beta zeolite catalysts, Artit Ausavasukhi, Yi Huang, Anh T. To, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, *Journal of Catalysis*, 290 (2012), 90-100.
4. Direct conversion of glycerol to acrylic acid via integrated dehydration-oxidation bed system, Ayut Witsuthammakul and **Tawan Sooknoi**, *Applied Catalysis A: General*, 413-414 (2012) 109-116
5. Effect of extra-framework cesium on the deoxygenation of methylester over CsNaX zeolites, Tanate Danuthai, **Tawan Sooknoi**, Siriporn Jongpatiwut, Thirasak Rirksomboon, Somchai Osuwan, Daniel E. Resasco, *Applied Catalysis A: General*, 409-410 (2011) 74-81
6. Selective ethylene-permeable zeolite composite double-layered film for novel modified atmosphere packaging, P. Monprasit, C. Ritvirulh, **T. Sooknoi**, S. Rukchonlatee, A. Fuongfuchat, D. Sirikittikul, *Polymer Engineering & Science*, 51(7) (2011) 1264-1272
7. Conversion of furfural and 2-methylpentanal on Pd/SiO<sub>2</sub> and Pd-Cu/SiO<sub>2</sub> catalysts, Surapas Sitthisa, Trung Pham, Teerawit Prasomsri, **Tawan Sooknoi**, Richard G. Mallinson, Daniel E. Resasco, *Journal of Catalysis*, 280 (2011) 17-27
8. Kinetics and mechanism of hydrogenation of furfural on Cu/SiO<sub>2</sub> catalysts, Surapas Sitthisa, **Tawan Sooknoi**, Yuguang Ma, Perla B. Balbuena, Daniel E. Resasco, *Journal of Catalysis*, 277 (2011) 1-13
9. Conversion of 1-Tetralone over HY zeolite: An indicator of the extent of hydrogen transfer, Teerawit Prasomsri, Roberto E. Galiasso Tailleur, Walter E. Alvarez, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, *Applied Catalysis A: General*, Volume 389 Issue 1-2 (2010) 140-146
10. A comparison of the reactivities of propanal and propylene on HZSM-5, Trung Q. Hoang, Xinli Zhu, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, Richard G. Mallinson, *Journal of Catalysis*, 271 (2010) 201-208
11. Condensation reactions of propanal over CexZr1-xO<sub>2</sub> mixed oxide catalysts, Anirudhan Gangadharan, Min Shen, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, Richard G. Mallinson, *Applied Catalysis A: General*, 385(1-2) (2010) 80-91
12. Etherification of aldehydes, alcohols and their mixtures on Pd/SiO<sub>2</sub> catalysts, Trung T. Pham, Steven. P. Crossley, **Tawan Sooknoi**, Lance L. Lobban, Daniel E. Resasco, Richard G. Mallinson, *Applied Catalysis A: General*, 379 (2010) 135-140.

13. Conversion of 1- and 2-Tetralone Over HY Zeolite, Teerawit Prasomsri, Roberto E. Galiasso Tailleur, Walter E. Alvarez, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, *Catalysis Letter*, 135 (2010) 226-232
14. Improved selectivity, response time and recovery time by [010] highly preferred-orientation silicalite-1 layer coated on SnO<sub>2</sub> thin film sensor for selective ethylene gas detection, Damrongsak Jadsadapattarakul, Chanchana Thanachayanont, Jiti Nukeaw, **Tawan Sooknoi**, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 144 (2010) 73-80
15. Catalytic deoxygenation of benzaldehyde over gallium-modified ZSM-5 zeolite, Artit Ausavasukhi, **Tawan Sooknoi**, Daniel E. Resasco, *Journal of Catalysis*, 268 (I) (2009) 68-78
16. Oxidative extraction of thiophene from n-dodecane over TS-1 in continuous process: a model for non-severe sulfur removal from liquid fuels, Thasaneeya Napananga, **Tawan Sooknoi**, *Catalysis Communications*, 11, Issue 1 (2009) 1-6
17. Deoxygenation of benzaldehyde over CsNaX zeolites, Maria A. Peralta, **Tawan Sooknoi**, Tanate Danuthai, Daniel E. Resasco, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 312, Issues 1-2 (2009) 78-86
18. Additional Brønsted acid sites in [Ga]HZSM-5 formed by the presence of water, Artit Ausavasukhi, **Tawan Sooknoi**, *Applied Catalysis A: General*, 361, Issues 1-2 (2009) 93-98

#### งานวิจัยที่กำลังทำ

1. Decarboxylation of Fatty acid to long chain -olefin, Basic Research Grant, The Thailand Research Fund (3 years)
2. Swift response catalytic testing system for innovative approach, Research & Development Grant, SCG Chemicals Co.,Ltd. (1 year)
3. Glycerol conversion to C3 alcohols, Research & Development Grant, PTT Public Co.,Ltd. (1.5 years)

#### ผู้วิจัยร่วมคนที่สอง

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวสุภารัตน์ รักษลธิ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs Suparat Rukchonlatee
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1005 02780 42 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์

เงินเดือน (บาท): 38,900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์): 10  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลข โทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ซ.ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ติดต่อ: โทรศัพท์ 02 329 4111 ต่อ 6251

โทรศัพท์มือถือ 081 8207671 แฟกซ์ 02 329 8428

Email: kjsupara@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

2534 วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2536 M.Sc. (Polymer science and Technology), Loughborough University, U.K.

2541 Ph.D. (Polymer Rheology), Loughborough University, U.K.

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
Polymer Rheology

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย  
หัวหน้าโครงการวิจัย

1. การปรับปรุงสูตรพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีการผสมสารตัวเติม เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการเป่าขึ้นรูป (สนับสนุนทุนวิจัยโดย : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)

2. การเตรียมและปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ กับเอทิลีน ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์) ด้วยซีไอโกลด์เพื่องานบรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (สนับสนุนทุนวิจัยโดย : เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๒)

ผู้ร่วมวิจัย (5 ปีย้อนหลัง)

1. ชื่อโครงการวิจัย : Solubility study on adhesives: phase I (สนับสนุนทุนวิจัยโดย : บริษัทเวสต์เทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2553)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (5 ปีย้อนหลัง)

1. Monprasit, P., Ritvirulh, C., Rukchonlatee, S., Sooknoi, T. and Fuongfuchart, A., 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.

2. คงใจ โอชัยกุล, สุภารัตน์ รักขลณี, นवलพรรณ ณ ระนอง และพิชพันธ์ พงษ์สกุล, ผลของ โคลโคซานต่อการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสแบบที่เรียและสมบัติที่ได้, การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, เล่มที่ 6 สาขาวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ, 313-320, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Moungrmee, N., **Rukchonlatee, S.** and Sooknoi, T, Improvement on Tensile Properties of Water-Permeable LDPE Film with EVA as Co-Matrix and Non-Reinforcing Zeolite Filler, *The 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 121, 2009.
4. Monprasit, P., Ritvirulh, C., **Rukchonlatee, S.**, Sooknoi, T. and Fuongfuchart, A., Tensile Properties of the Zeolite Composite Double-Layered Film, *The 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 156, 2009.
5. Laowakul, S., Sooknoi, T., Ritvirulh, C., **Rukchonlatee, S.** and Fuongfuchart, A., Study on Tensile Properties of SEBS/LDPE and SEBS/OPP double-layer films for Packaging Application, *The 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (ISAMAP)*, November 21-23, Bangkok, Thailand, 163, 2009.
6. Laowakul, S., Ritvirulh, C., Sooknoi, T., **Rukchonlatee, S.**, Fuongfuchart, A. and Sirikittikul, D., Ethylene Transmission Rate through Zeolite Modified Double-Layered Films for Packaging of Fresh Produces, *The 7<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific (ISAMAP)*, September 30-October 1, Ishikawa, Japan, 45, 2010.
7. Moungrmee, N., Sooknoi, T. and **Rukchonlatee, S.**, Improved Water Vapor Permeability of Fresh Produces Packaging Film: Zeolite A-Filled LDPE/EVA, *The 7<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific (ISAMAP)*, September 30-October 1, Ishikawa, Japan, 49, 2010.
8. **Rukchonlatee, S.**, Amornsakchai, T. and Payaksiri, N., Investigation on Extrusion Blow Molding Process and Properties of Modified CaCO<sub>3</sub>-Filled HDPE Bottles, *The 7<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific (ISAMAP)*, September 30-October 1, Ishikawa, Japan, 147, 2010.
9. Monprasit, P., Ritvirulh, C., Sooknoi, T., **Rukchonlatee, S.**, Fuongfuchart, A. and Sirikittikul, D., Selective Ethylene-Permeable Zeolite Composite Double-Layered Film for Novel Modified Atmosphere Packaging, *Polymer Engineering and Science*, **51(7)**, 1264, 2011.
10. สมยศ รัตนไพบูลย์กิจ, ตะวัน สุขน้อย, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธี, ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง, การประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 4, ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 12-13 มีนาคม, พิษณุโลก, 2554.

11. Jaisomboon, N., Sooknoi, T., **Rukchonlatee, S.**, Enhancement of Water Vapor Permeation of LLDPE Film with EVA as Dispersed Phase, The 38<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand (STT38), October 17-19, Chiang Mai, Thailand, E\_E0007, 2012.
12. 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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้