



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วย EVOH

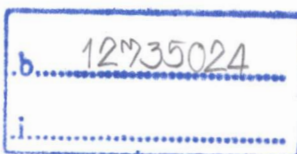
และซีโอไลต์เอ เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด

Preparation and Property Investigation of LDPE Film Modified with

EVOH and Zeolite A for Application of Fresh Produce Packaging

RCH  
๙ ๘๓๘๗  
๒๕๕๗

นางสุภารัตน์ รัชชตรี



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...140080  
วันเดือนปี...11 S.A. 2558

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย  
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วย EVOH และซีโโอลิต์เอ  
เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสุภารัตน์ รักชลธิ์ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์)

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาสมบัติฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)/เอทิลีน ไวนิล-แอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH) และมีซีโโอลิต์เอเป็นองค์ประกอบ เพื่อปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม โดยการสังเคราะห์ EVOH จากเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต โคพอลิเมอร์ (EVA) ที่มีไวนิลอะซิเตต (VA) เท่ากับ 18.0% และ 27.5% โดยน้ำหนัก ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้ EVOH ที่มีไวนิลแอลกอฮอล์ (VOH) เท่ากับ 10.0% และ 16.2% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เตรียมสูตรพอลิเมอร์ LDPE/EVOH และ LDPE/EVA เพื่อศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน ศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH ที่ 100/0, 90/10, 85/15 และ 80/20 และศึกษาผลของการใช้ซีโโอลิต์เอ (20% โดยน้ำหนัก) การผสมสูตรทำได้โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด และนำไปขึ้นรูปฟิล์มโดยกระบวนการกดอัด จากการศึกษาพบว่า EVOH และ EVA มีการกระจายตัวดีในทุกสูตรฟิล์มพอลิเมอร์ ความเป็นผลึกของทุกสูตรฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกัน ฟิล์ม LDPE/EVOH มีค่าการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำ และค่า Young's modulus สูงกว่าฟิล์ม LDPE/EVA เนื่องจาก EVOH มีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนทำให้มีโครงสร้างที่แข็งแรง และ EVOH ในฟิล์ม LDPE/EVOH สามารถเกิดผลึกได้ ในขณะที่ EVA ในฟิล์ม LDPE/EVA แสดงความเป็นอสัณฐาน ฟิล์ม LDPE/EVOH และ LDPE/EVA ที่มีหมู่ฟังก์ชันใกล้เคียงกันมีค่าการซึมผ่านไอน้ำไม่แตกต่างกันเนื่องจากเกิดการแข่งขันกันระหว่างสัณฐานวิทยาและความมีขั้ว เมื่อเพิ่มปริมาณ EVOH ในฟิล์ม LDPE/EVOH ค่า Young's modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม การมีขั้วเพิ่มขึ้นของฟิล์มโดยใช้ EVOH เพิ่มขึ้นไม่ได้ช่วยให้การซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้นค่าการซึมผ่านไอน้ำสามารถเพิ่มได้โดยการเติมซีโโอลิต์เอ 20% เพราะความมีรูพรุนและมีขั้วสูงของซีโโอลิต์เอ

คำสำคัญ : ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ, เอทิลีน ไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์, ฟิล์ม LDPE/EVOH, ซีโโอลิต์เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Research Title:** Preparation and Property Investigation of LDPE Film modified with EVOH and Zeolite A for Application of Fresh Produce Packaging

**Researcher:** Mrs. Suparat Rukchonlatee

**Faculty:** Science

**Department:** Chemistry

### ABSTRACT

This research studied properties of low density polyethylene (LDPE)/ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH) blend films. In order to improve water vapor permeation (WVP) of the LDPE/EVOH films, the zeolite A filler at a 20%wt loading was employed. The hydrolysis of EVA with vinyl acetate (VA) contents of 18.0% and 27.5%wt resulted in the production of EVOH with vinyl alcohol (VOH) contents of 10.0% and 16.2%wt, respectively. LDPE/EVOH and LDPE/EVA films were prepared to study the effect of polymer functional groups on the film properties. The effect of LDPE/EVOH ratios on the film properties were carried out at 100/0, 90/10, 85/15 and 80/20 ratios. All compounds were prepared using an internal mixer and the films were shaped using a compression molding process. The results revealed that EVOH and EVA could be well dispersed in all films. The crystallinity of all films was insignificantly different. LDPE/EVOH films had higher Young's modulus and lower elongation at break a compared to those of LDPE/EVA films. This was induced by the hydrogen bonding interaction of the OH groups presence in EVOH and a semi-crystalline structure of EVOH. The WVP values of both LDPE/EVOH and LDPE/EVA films were in the same range. This was attributed to the amorphous structure for LDPE/EVA but polarity for LDPE/EVOH. The effect of the blend ratio in the LDPE/EVOH films showed that the higher the EVOH content, the greater the Young's modulus, but the lower the elongation at break. However, WVP of the LDPE/EVOH films was not affected by increasing EVOH in films but was markedly increased with 20%wt of zeolite A due to its high polarity and porosity.

**Keywords :** Water Vapor Permeability, ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH), LDPE/EVOH Films, zeolite A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์ม LDPE ที่ปรับปรุงด้วย EVOH และ ซีโอไลต์เอ เพื่องานบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด (Preparation and Property Investigation of LDPE Film modified with EVOH and Zeolite A for Application of Fresh Produce Packaging) ดำเนินงานได้เป็นอย่างดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทุนวิจัยเงินงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี งบประมาณ ๒๕๕๗

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวจิตรา ศักดาพิสุทธิ์ นางสาวเมธาวี อุดตสุรดี นางสาวรันตี บุญตา นักศึกษาปริญญาตรี นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาเคมีทุกท่านในการอำนวยความสะดวก และช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี



นางสุภารัตน์ รักชลธิ  
หัวหน้าโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว.....	4
2.1.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของพืช.....	6
2.1.1.1 การหายใจ.....	7
2.1.1.2 การคายน้ำ.....	11
2.1.1.3 การสุก.....	11
2.2 บรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพผักและผลไม้.....	12
2.2.1 การซึมผ่านของก๊าซ.....	12
2.2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	13
2.2.3 ฟิล์มที่ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์.....	13
2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE).....	14
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของ LDPE.....	14
2.3.2 สมบัติโดยทั่วไปของ LDPE.....	15
2.3.3 การประยุกต์ใช้งาน.....	16
2.4 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์.....	17
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของ EVA.....	17
2.4.2 สมบัติโดยทั่วไปของ EVA.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การประยุกต์ใช้งาน.....	18
2.5 เอทิลีน ไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH).....	18
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ EVOH.....	18
2.5.2 สมบัติทั่วไปของ EVOH .....	19
2.5.3 การประยุกต์ใช้งาน.....	20
2.6 ซีโอไลต์เอ.....	21
2.6.1 โครงสร้างของซีโอไลต์เอ.....	21
2.6.2 การสังเคราะห์.....	22
2.6.4 การนำซีโอไลต์เอไปใช้งาน.....	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>29</b>
3.1 สารเคมี.....	29
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	32
3.3.1 การสังเคราะห์ EVOH จาก EVA .....	32
3.3.2 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์.....	33
3.3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ.....	34
3.3.3.1 การเตรียมสูตรเข้มข้นของ EVOH และซีโอไลต์เอ.....	34
3.3.3.2 สูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ.....	34
3.3.4 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีกดอัด.....	35
3.3.5 ความหนาของฟิล์ม.....	36
3.3.6 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม EVOH ที่ได้จากการไฮโดรไลซิส EVA .....	36
3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณซีโอไลต์เอในฟิล์ม.....	36
3.3.8 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึก.....	37
3.3.9 การศึกษาสัณฐานวิทยา.....	38
3.3.9.1 การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ.....	38
3.3.9.2 การกระจายตัวของ EVA และ EVOH.....	38
3.3.10 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง.....	38
3.3.11 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b> .....	41
4.1 การสังเคราะห์ EVOH และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ.....	41
4.2 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม EVOH .....	45
4.3 ผลการทดสอบฟิล์มตัวอย่าง.....	48
4.3.1 ความหนาของฟิล์มตัวอย่าง.....	48
4.3.2 การศึกษาการกระจายตัวของ EVA และ EVOH ในฟิล์มตัวอย่าง.....	48
4.3.2.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน.....	48
4.3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณ EVOH ในฟิล์ม LDPE.....	50
4.3.2.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอในฟิล์มตัวอย่าง.....	51
4.3.3 ผลการตรวจสอบปริมาณของซีโอไลต์เอในฟิล์มตัวอย่าง.....	52
4.3.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	52
4.3.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม.....	54
4.3.5.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน.....	54
4.3.5.2 การศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH.....	57
4.3.5.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ.....	60
4.3.6 การวัดค่ามุมสัมผัส.....	63
4.3.7 ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง.....	64
4.3.7.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน.....	64
4.3.7.2 การศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH.....	66
4.3.7.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ.....	67
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	70
<b>ข้อมูลประวัติคณะวิจัย</b> .....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และระยะเวลาในการเก็บรักษาผัก.....	6
2.2 ชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก	10
2.3 อัตราการหายใจของผลไม้แต่ละชนิดประเภท Non- Climacteric.....	10
2.4 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Climacteric.....	11
2.5 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ.....	12
2.6 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ.....	13
2.7 สมบัติบางประการของ LDPE.....	16
2.8 สมบัติบางประการของ EVOH.....	20
3.1 สมบัติบางประการของ EVA.....	29
3.2 สมบัติบางประการของ LDPE.....	30
3.3 สมบัติบางประการของ Zeolite A.....	30
3.4 พอลิเมอร์ผสมสูตรทั้งหมดโดยน้ำหนัก.....	34
3.5 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ (โดยน้ำหนัก).....	35
4.1 อักษรย่อแทนสูตรและสูตรผสมทั้งหมด.....	44
4.2 ค่าดัชนีคาร์บอนิลและไฮดรอกซิลของ EVA และ EVOH.....	47
4.3 ความหนาของฟิล์ม.....	48
4.4 ปริมาณของซีโอไลต์เอในฟิล์ม.....	52
4.5 $T_m$ , $T_c$ และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์.....	53
4.6 $T_m$ , $T_c$ และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ในฟิล์มสูตรต่างๆ.....	53
4.7 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขป ทั้งแบบใช้ก๊าซ $O_2$ และไม่ใช่ก๊าซ $O_2$ .....	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจและอายุการเก็บรักษาเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $60^\circ F$ .....	9
2.3 โครงสร้างของ LDPE.....	15
2.4 เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (EVA).....	17
2.5 เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH).....	19
2.6 Frame work ของซีโอไลต์เอ.....	22
2.7 โครงผลึกของซีโอไลต์เอ.....	22
2.8 ภาพขยายของซีโอไลต์เอ จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	22
4.1 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR.....	45
4.2 การกระจายตัวของ EVA หรือ EVOH ใน LDPE ของพื้นผิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า).....	49
4.3 การกระจายตัวของ EVOH ใน LDPE ของพื้นผิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า) ของฟิล์ม LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆที่มีการสกัดวัฏภาคของ EVOH ออก.....	50
4.4 พื้นผิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า) ของฟิล์มตัวอย่าง.....	51
4.5 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVA และ LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	54
4.6 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	57
4.7 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVOH/Zeolite A.....	60
4.8 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน.....	64
4.9 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH.....	66
4.10 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลักทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิต และส่งออกสินค้าเกษตรที่สำคัญรายหนึ่งของโลกแต่อุปสรรคอย่างหนึ่งของการส่งออกสินค้าเกษตรคือ การถนอมความสดของพืชผัก ผลไม้เอาไว้ให้นานที่สุดจนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายขณะขนส่ง เนื่องจากภายหลังจากเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ยังมีการหายใจ มีการคายน้ำอยู่ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนัก การสุก และการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ ดังนั้นต้องมีการควบคุมการหายใจเพื่อชะลอการสุกและการเก็บรักษาที่ถูกต้อง โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะต้องป้องกันการสูญเสียน้ำ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไม่สูญเสียน้ำหนักไปมากนัก ต้องมีการถ่ายเทไอน้ำและอากาศที่เพียงพอเพื่อคงความสดให้อยู่ได้นานขึ้น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ถูกต้องจะช่วยรักษาผลผลิตให้คงอยู่ในสภาพเดิมมากที่สุดและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการขนส่งสินค้า [1]

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้สด นิยมใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เนื่องจาก LDPE มีข้อดีคือ ราคาถูก ใญ่เยื่อต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องจึงปลอดภัยกับอาหาร และก๊าซสามารถซึมผ่านได้ดี แต่มีข้อเสีย คือมีการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ จึงต้องมีการเจาะรูเพื่อช่วยระบายไอน้ำแต่การเจาะรูทำให้บรรจุภัณฑ์ฉีกขาดได้ง่าย ขาดความสวยงาม และอาจทำให้จุลินทรีย์ในอากาศสัมผัสกับผักผลไม้ได้ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำได้โดยไม่ต้องมีการเจาะรู [2]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ นันทวรรณ ม่วงมี [3] ได้ศึกษาการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่เตรียมจาก LDPE โดยมีการเติมซีโอไลต์เอ (Zeolite A) ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุน มีขั้วสูง และมีสมบัติดูดซับน้ำได้ดี แต่เนื่องจากซีโอไลต์เอมีขั้วสูงและ LDPE ไม่มีขั้วจึงมีความแตกต่างของขั้วมาก ทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวไม่ดี จึงนำเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymers, EVA) มาผสมเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์ม LDPE เนื่องจาก EVA มีส่วนของเอทิลีนสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ LDPE และมีส่วนที่มีขั้วของ ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate, VA) ที่เข้ากันได้ดีกับซีโอไลต์เอได้ดี ผลการทดลองพบว่าฟิล์ม LDPE/EVA มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์ม LDPE และฟิล์ม LDPE/EVA ที่มีซีโอไลต์เออยู่ 25% โดยน้ำหนัก มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์ม LDPE/EVA และฟิล์ม LDPE ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติความมีขั้วของ EVA และสมบัติความเป็นออสัญฐานของ EVA และ การเติมซีโอไลต์เอ จึงช่วยเพิ่มสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังจรรยาบรรณที่ปรับปรุงขึ้นใหม่เพื่อใช้ทางวิชาการเท่านั้น ผู้ใช้เอกสารนี้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานการคัดลอก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเตรียมฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านไอน้ำได้ดีเพื่อนำไปใช้สำหรับผลิตผลทางการเกษตร โดยการเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และเอทิลีนไวนิล-แอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl alcohol copolymer, EVOH) ซึ่ง EVOH มีขั้วมากกว่า EVA การมีโมเลกุลที่มีขั้วมากขึ้น น่าจะช่วยเพิ่มสมบัติการซึมผ่านไอน้ำได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์ EVOH จาก EVA เพื่อเตรียมฟิล์มนำมาศึกษาสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่เตรียมจาก LDPE/EVOH เพื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มจาก LDPE/EVA และมีการเติมซีโอไลต์ 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งซีโอไลต์เอมีขั้วและมีรูพรุนจะทำให้มีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำได้ดีขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVOH เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม LDPE/EVOH เปรียบเทียบกับฟิล์มจาก LDPE/EVA และมีการใช้ซีโอไลต์เอ เพื่อเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สังเคราะห์ EVOH โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ EVA ที่มีปริมาณ VA ใน EVA เท่ากับ 18.0% และ 27.5% โดยน้ำหนัก
2. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของ EVOH ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)
3. เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EVOH ในอัตราส่วน 100/0, 90/10, 85/15, 80/20 โดยน้ำหนัก และ LDPE/EVA ในอัตราส่วน 90/10 และ 85/15 โดยน้ำหนัก
4. เลือกพอลิเมอร์ LDPE/EVOH ในอัตราส่วน 90/10 และ 85/15 มาเติมซีโอไลต์เอ เท่ากับ 20% โดยน้ำหนัก
5. ขึ้นรูปฟิล์มสูตรต่างๆ จากกระบวนการกดอัด
6. นำฟิล์ม ไปวิเคราะห์และศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม เช่น สัมฐานวิทยา ความแข็งแรงดึง และการซึมผ่านไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสังเคราะห์ EVOH จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ EVA ได้ และนำมาผสมกับ LDPE ในกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม เพื่อเป็นฟิล์มที่มีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำได้ดี เพื่อนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ ในการยืดอายุการเก็บรักษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว

การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อรักษาคุณภาพที่ดีของผักและผลไม้ไว้ ซึ่งหลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลิตผลนั้นจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้รับจากราก แต่การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เนื่องจากผลิตผลนั้นยังคงมีการหายใจและคายน้ำอยู่เหมือนกับขณะที่อยู่บนต้น การสูญเสียน้ำนอกจากจะทำให้น้ำหนักที่จะขายขาดหายไปแล้ว ยังทำให้รูปร่างลักษณะของผลิตผลนั้นเปลี่ยนไปในทางที่แย่ลง ทำให้รสชาติและคุณภาพของผลิตผลนั้นๆ เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการป้องกันการสูญเสียน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง การสูญเสียน้ำออกจากพืชนั้นขึ้นกับความชื้นบรรยากาศภายนอก ความชื้นนี้จะแปรผันไปตามสภาพแวดล้อม จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มาของน้ำและอุณหภูมิ ดังนั้นหลังจากการเก็บเกี่ยว เราควรมีวิธีการเก็บรักษาที่ดี เพราะการเก็บรักษาเป็นวิธีการสำคัญในการยืดอายุของผลิตผลทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยวให้มีอายุการใช้ประโยชน์ได้นานขึ้น โดยที่ยังมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล สามารถเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่ายในท้องตลาดได้ตลอดทั้งปี นอกจากนี้การเก็บรักษายังมีประโยชน์ในเรื่องของการชะลอไม่ให้ผลิตผลออกสู่ตลาดมากเกินไป ทำให้ราคาของผลิตผลไม่ตกต่ำ รวมทั้งสามารถเก็บรักษาไว้เพื่อจำหน่ายในช่วงตลาดขาดแคลน ทำให้ขายได้ราคาอีกด้วย

ในการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรนั้นจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเพียงใดเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้คือ [4]

- ความชื้นในบรรยากาศ ความชื้นหรือความดันไอน้ำในบรรยากาศปกติจะมีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความชื้นอิ่มตัว นั่นคือความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100% จึงจะมีโอกาสที่บรรยากาศจะรับน้ำได้อีกมาก ส่วนผักและผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70% และส่วนใหญ่มีน้ำอยู่ถึง 90% ความดันไอน้ำในผลไม้ก่อนข้างสูงเพราะผลไม้เปรียบเสมือนภาชนะปิด ไอน้ำรอบๆ เซลล์จะอยู่ในสมดุลกับน้ำภายในเซลล์ ซึ่งอาจถือได้ว่าความดันไอน้ำภายในผลิตผลจะมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว เพราะฉะนั้นจึงมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการเรียนการสอนได้โดยไม่ผิดลิขสิทธิ์ แต่ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% น้ำยังมีโอกาสสูญเสียจากผลผลิตให้กับบรรยากาศได้ เนื่องจากผลผลิตเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจทำให้มีพลังงานความร้อนออกสู่บรรยากาศรอบๆ ทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นและทำให้อากาศรับน้ำได้มากขึ้นกว่าเดิม

- อุณหภูมิ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความชื้นและการสูญเสียน้ำ ทั้งนี้เพราะสารทุกอย่างมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะพวกของเหลวและก๊าซ จะเห็นได้ชัดยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนไหวของโมเลกุลจะมีมาก โอกาสของน้ำที่จะหลุดออกจากผิวและผลไม้จึงมีค่าสูงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ความดันไอน้ำของอากาศที่อยู่รอบๆ ไม่ได้สูงตามไปด้วย เพราะมีปริมาณโมเลกุลของน้ำอยู่เท่าเดิม แต่ไม่ได้ถูกจำกัดปริมาณเหมือนในผลไม้ ดังนั้นความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำระหว่างภายในผลผลิตกับภายนอกผลผลิตจึงเพิ่มสูงมากขึ้น โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลผลิตสู่ภายนอกจึงมีมากขึ้น อุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษานอกจากจะต้องควบคุมให้ต่ำแล้วยังต้องควบคุมให้สม่ำเสมออยู่ตลอดเวลาด้วย เพราะถ้าหากอุณหภูมิขึ้นลงอยู่เสมอผลผลิตจะสูญเสียน้ำออกไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอากาศรอบๆ อิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำอยู่ตามภาชนะบรรจุหรือผนังห้องเก็บรักษา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกอากาศจะรับไอน้ำจากผลผลิตได้อีกเรื่อยๆ ทำให้ผลผลิตสูญเสียน้ำไปมาก สภาพในที่เก็บรักษาจะขึ้นและทำให้อากาศรับน้ำได้ง่าย

- การถ่ายเทอากาศ ในระหว่างการเก็บรักษาจำเป็นต้องมีการระบายถ่ายอากาศเนื่องจากสภาพบรรยากาศปกติประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิดซึ่งชนิดที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อการหายใจของผลผลิตคือ ก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ฉะนั้นสภาพของการเก็บรักษาที่ดีจะต้องมีการถ่ายเทของอากาศที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และระยะเวลาในการเก็บรักษาผัก [5]

ชนิดของผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ		ความชื้นสัมพัทธ์	ระยะเวลาที่เก็บรักษาได้
	°F	°C		
หน่อไม้ฝรั่ง	32	0	85-90	3-4 สัปดาห์
บรอกโคลี	32	0	90-95	7-10 วัน
กะหล่ำปม	32	0	90-95	3-4 สัปดาห์
กะหล่ำปลี				
พันธุ์เบา	32	0	90-95	3-6 สัปดาห์
พันธุ์หนัก	32	0	90-95	3-4 สัปดาห์
ดอกกะหล่ำ	32	0	85-97	2-3 สัปดาห์
ข้าวโพดหวาน	31-32	0	85-95	4-8 วัน
แตงกวา	45-50	11	85-95	2-3 สัปดาห์
มะเขือ	45-50	11	85-90	10 วัน
ฮันนี่ดีว	45-50	11	85-90	2-3 สัปดาห์
เห็ด	32	0	85-90	3-5 สัปดาห์
กระเจียบผัก	50	11	85-95	2 สัปดาห์
หอมหัวใหญ่	32	0	70-75	6-8 เดือน
มันเทศ	55-60	13-16	85-90	4-6 เดือน
มะเขือเทศสุก	50	11	85-90	8-12 วัน
แก่-ดิบ	55-70	13-21	85-90	2-6 สัปดาห์

### 2.1.1 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของพืช

ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่างๆ ทั้งทางกายภาพ และชีวเคมี ยังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับที่ยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ดังนั้นผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงหายใจต่อไป โดยดูดก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) เข้าไปและคายก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และความร้อนออกมา มีการคายน้ำและสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพืชหลังการเก็บเกี่ยว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.1.1 การหายใจ [6]

ผลิตผลทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการหายใจอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลาที่ยังมีชีวิตอยู่ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องการพลังงานในการดำเนินปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ พลังงานที่ได้มานั้นมาจากการหายใจ ซึ่งอัตราการหายใจของผักและผลไม้แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันไปตามระยะเวลาและสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปผักและผลไม้จะถูกเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงหลังการเก็บเกี่ยวมักจะเสียเร็วกว่าผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีแล้ว จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ และอายุการเก็บรักษา จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงการปฏิบัติต่อผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ผลิตผลมีความสมดุลในการรักษาสภาพหรือลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีให้น้อยที่สุดอันจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพการเก็บรักษาได้นานที่สุด ผลิตผลสดที่ยังมีชีวิตอยู่จะมีการหายใจตลอดเวลา ซึ่งการหายใจของผลิตผลสดนั้นมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

-การย่อยคาร์โบไฮเดรตพวกที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายๆ โมเลกุลให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

-ขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นให้เป็นกรดไพรูวิก

-ขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไพรูวิกและกรดอินทรีย์อื่นๆที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซ CO<sub>2</sub> น้ำ และพลังงานซึ่งเกิดในการหายใจของผลิตผลหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ สรุปได้เป็นสมการอย่างง่ายคือ

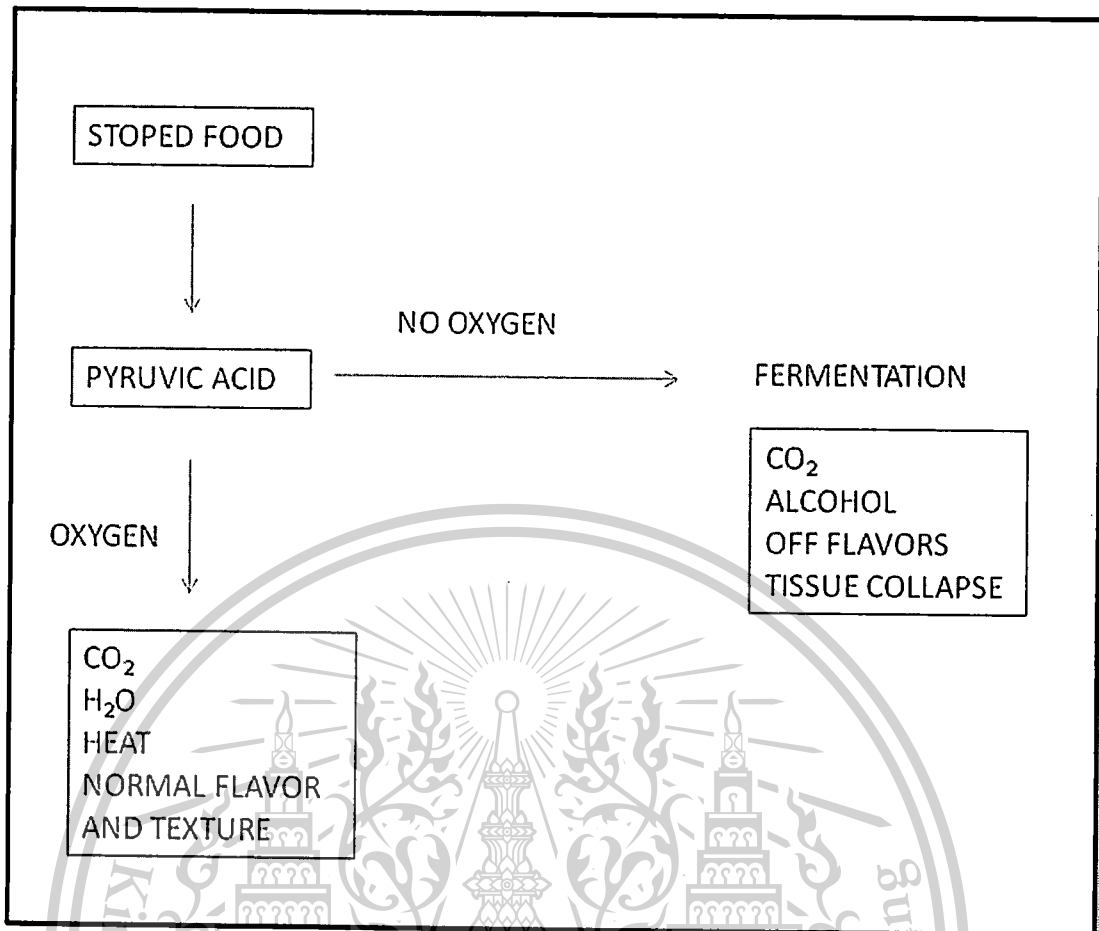


โดยที่การหายใจในสภาพที่มีก๊าซ O<sub>2</sub> สมบูรณ์จะได้ปริมาณ ATP (Adenosine triphosphate) ต่อโมเลกุลน้ำตาลมากกว่าการหายใจในสภาพที่มีก๊าซ O<sub>2</sub> น้อยหรือไม่มีก๊าซ O<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



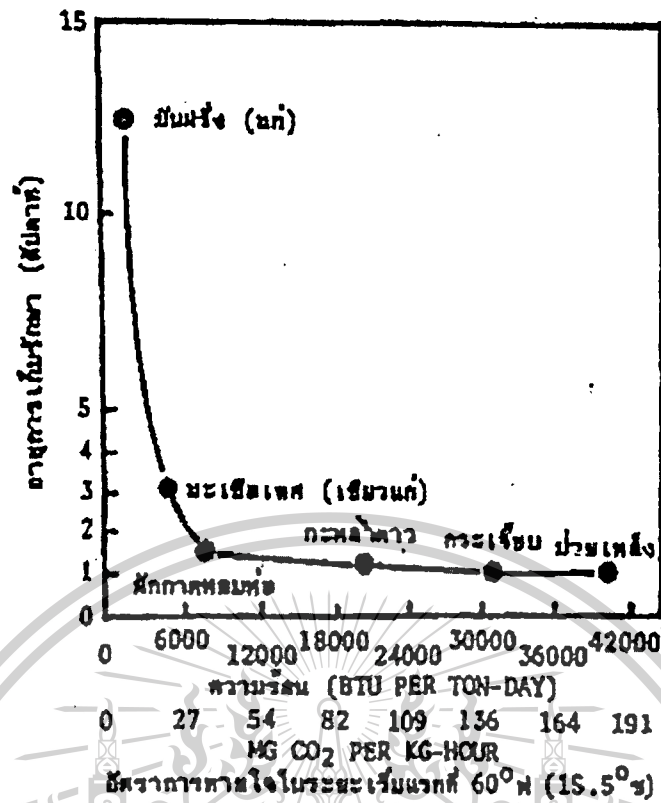
ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขป ทั้งแบบใช้ก๊าซ O<sub>2</sub> และไม่ใช้ก๊าซ O<sub>2</sub> [6]

อัตราการหายใจของพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปพืชที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น ส่วนพืชที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวได้นาน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจและอายุการเก็บรักษา  
เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 60 °F [7]

รูปแบบการหายใจของพืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการหายใจที่ไม่เท่ากัน ซึ่งแบ่งตามชนิดของพืชดังต่อไปนี้ [8]

1. Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากที่มีผลแก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงมาก เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกอัตราการหายใจจะสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งการเพิ่มอัตราการหายใจนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงมากด้วย เมื่อสุกเต็มที่แล้วอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย ฉะนั้นผลไม้พวกนี้สามารถเก็บแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะเขือเทศ มังคุด ละครุด กล้วย ทูเรียน

2. Non-Climacteric Fruit คือ ผลไม้ที่ไม่มีการสุกเมื่อแก่จัด หลังจากที่มีผลแก่จัดจะมีอัตราการหายใจต่ำลงในระยะเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากคือ อัตราการหายใจค่อนข้างที่จะคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระยะเสื่อมสลาย รสชาติคงที่ อายุการเก็บรักษา

ค่อนข้างยาว ฉะนั้น ถ้าเก็บเกี่ยวผลที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่ จะได้ผลไม้ที่มีรสชาติเหมือนเดิมตลอดไป จึง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่จัด เช่น ส้ม สับปะรด มะนาว เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ แดงกวาง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 ชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจขณะผลแก่หรือสุก [9]

ประเภท Climacteric	ประเภท Non-Climacteric
แอปเปิ้ล	สตอเบอรี่
สาลี่	องุ่น
ท้อ	ส้มชนิดต่างๆ
กล้วย	มะพร้าว
กีวี	ทับปัด
อโวคาโด	เงาะ
น้อยหน่า	มังคุด
มะละกอ	ลิ้นจี่
มะม่วง	ลำไย
ทุเรียน	มะไฟ
แตงเทศ	ลองกอง
แตงโม	มะเฟือง
มะเขือเทศ	แตงกวา
ขนุน	มะเขือเทศพันธุ์ Rin และ Nor
ฝรั่ง	เชอรี่
ละมุด	มะกอกและกลางสาต

ตารางที่ 2.3 อัตราการหายใจของผลไม้แต่ละชนิดประเภท Non- Climacteric [10]

ผลไม้	พันธุ์	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการหายใจ (ml/CO <sub>2</sub> /kg/hr) Non-Climacteric ตลอดเวลา การแก่และสุก
องุ่น	Vi 5061	20	15
มะนาว	Eureka	20	5
ส้ม	Valencia	21	13
ทับปัด	Cayenne	15	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับสำหรับงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตารางที่ 2.4 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิดประเภท Climacteric [10]

ผลไม้	พันธุ์	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการหายใจ (ml/CO <sub>2</sub> /kg/hr)	
			ต่ำสุด	สูงสุด
แอปเปิ้ล	Barnley Seedling	23	10	16
อโวคาโด	Fuerte	20	35	155
กล้วย	Grous Michel	20	20	60
มะเดื่อ	Mission	20	22	40
มะม่วง	Kent	20	15	22
ท้อ	Alberta	20	25	35
สาลี่	Bartlett	20	8	23
มะเขือเทศ	Grand Rapids	18	8	20

### 2.1.1.2 การคายน้ำ [10]

การคายน้ำเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของผักและผลไม้ อัตราการคายน้ำจะขึ้นกับพื้นที่ผิวและลักษณะโครงสร้างผิว ผักที่มีใบมากจะมีอัตราการคายน้ำหรือสูญเสียน้ำรวดเร็ว และมีค่าสูงเนื่องจากพื้นที่ผิวสูงเนื่องจากพื้นที่ผิวสูง และ โครงสร้างของใบมีช่องเปิดทำให้สูญเสียน้ำได้ง่าย ส่วนแอปเปิ้ลจะมีการสูญเสียน้ำน้อย เนื่องจากมีรูปร่างกลมซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรต่ำ และยังมีไขเคลือบผิวช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำด้วย อัตราการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อจะขึ้นกับความดันไอที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายในเนื้อเยื่อ ถ้าความแตกต่างมีมากอัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้น ปกติความดันไอน้ำภายในเนื้อเยื่อจะมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอก

### 2.1.1.3 การสุก [10]

การสุกเป็นการพัฒนาขั้นสุดท้ายของผลไม้ก่อนเข้าสู่ระยะร่วงโรย การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับไม่ได้ และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนหลายขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของผลไม้สุกที่อาจพบได้คือ เมล็ดแก่เต็มที สีเปลี่ยนแปลง ผลหลุดจากขั้ว อัตราการหายใจเปลี่ยนแปลง เนื้อนุ่มลงมีการสร้างสารให้กลิ่นรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2 บรรจุก๊าซเพื่อรักษาคุณภาพผักและผลไม้ [10]

ปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยทำให้ก๊าซต่างๆ ที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์เป็นไปตามที่ต้องการตลอดเวลาที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์คือ ภาชนะบรรจุ สมบัติที่สำคัญของวัสดุบรรจุหรือภาชนะบรรจุที่ต้องพิจารณามีดังนี้

### 2.2.1 อัตราการซึมผ่านของก๊าซ

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซ (Gas permeability) เพื่อเลือกชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษา และสถานะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้วัสดุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมาก ควรเลือกวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน  $2 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr}$  ส่วนวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนประมาณ  $20\text{-}30 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr}$  สำหรับผักและผลไม้สดจะต้องใช้วัสดุที่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี โดยทั่วไปค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าตั้งแต่  $2000 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr}$  ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในฟิล์มชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ [11]

ชนิดของพลาสติก	ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ( $\text{cc}/25\mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ที่ $23/25^\circ\text{C}$ , $50\%\text{RH}$ )
พอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate)	47-49
พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC)	80-9000
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)	2100-2900
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE)	7100-7800
พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)	2400-3800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

การเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water-vapor transmission rate, WVTR) ต้องระมัดระวังปัญหาที่เกิดจากหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุภัณฑ์ และปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันไอน้ำได้ดีจะช่วยลดปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มักเกิดปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะ และในทางกลับกันวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้มักจะทำให้เกิดปัญหาผลิตภัณฑ์แห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ไขปัญหาอาจทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging agent) ในฟิล์มพลาสติกหรือการเจาะรูเล็กๆ เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกจากภาชนะ

ตารางที่ 2.6 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ [12]

ชนิดของพลาสติก	ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (cc/25 $\mu$ m/m <sup>2</sup> .day ที่ 38°C, 90%RH)
พอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต	16-20
พอลิไวนิลคลอไรด์	80-500
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	4.7
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	16-24
พอลิพรอพิลีน	11

## 2.2.3 ฟิล์มที่ใช้สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์

ฟิล์มเป็นวัสดุที่มีความหนาไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตร มีสมบัติหลากหลายขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์ที่นำมาผลิตเป็นฟิล์ม พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาผลิตเป็นฟิล์มจัดเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline polymer) ในส่วนของสายโซ่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบหรือส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) จะเป็นส่วนที่ไม่ยอมให้ก๊าซหรือไอน้ำผ่าน ส่วนที่ไม่มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่หรือส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) จะเป็นส่วนที่ยอมให้ก๊าซหรือไอน้ำผ่านได้ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) สายโซ่พอลิเมอร์จะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ ปริมาตรอิสระ (Free volume) ถูกจำกัด แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $T_g$  จะเกิดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของสายโซ่นี้จะส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่านก๊าซและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความแตกต่างของความสามารถในการซึมผ่านของฟิล์มขึ้นอยู่กับ

- ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์
- ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ต่อการละลายของก๊าซในส่วนที่เป็นอสัณฐาน

การซึมผ่านของก๊าซสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเชื่อมโยง ซึ่งเป็นการจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่ของพอลิเมอร์ ความสามารถในการซึมผ่านจะลดลง และการยึดฟิล์มเป็นการเพิ่มความสามารถในการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านลดลง

ตัวอย่างฟิล์มที่ใช้สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์

1. ฟิล์มพอลิเอทิลีน เป็นฟิล์มที่ยอมให้ก๊าซ  $\text{CO}_2$  และก๊าซ  $\text{O}_2$  ผ่านได้ง่าย ป้องกันการเกิดฝ้าไอน้ำภายใน โดยทั่วไปนิยมใช้ทำฟิล์มพลาสติกที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 25-65 ไมครอน ฟิล์มพอลิเอทิลีนนิยมผลิตจาก LDPE เนื่องจากมีการขยายตัวตามแนวขวางเครื่องจักรได้มาก สามารถทำฟิล์มที่มีความบางมากๆ ได้ และสามารถยึดตัวได้
2. ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ ฟิล์มชนิดนี้สามารถยึดและหดได้ทุกทิศทาง ก๊าซและไอน้ำสามารถผ่านเข้าออกได้ง่าย มีสมบัติดีกว่า LDPE นิยมใช้ในงานลักษณะของแผ่นฟิล์มปิดภาชนะ ไม่เหมาะแก่การทำเป็นถุงบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปแบบเป่าได้
3. ฟิล์มพอลิพรอพิลีน ฟิล์มชนิดนี้จะมีความใสมากกว่าฟิล์ม LDPE สามารถขึ้นรูปแบบเป่าได้ ใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทถุงและถาดสามารถใช้ความร้อนในการปิดผนึกได้
4. เซลโลเฟน (Cellophane) เป็นวัสดุที่ทำจากเซลลูโลส (Cellulose) ในไม้หรือพืชเส้นใยอื่นๆ โครงสร้างทางเคมีเป็นกระดาษ แต่รูปร่างลักษณะจัดเป็นพลาสติก เป็นวัสดุโปร่งแสงและใส ความชื้นผ่านได้มาก อากาศผ่านได้น้อย ดังนั้นจึงมักใช้เป็นแผ่นกันความชื้น

## 2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

### 2.3.1 ลักษณะทั่วไปของ LDPE

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากในงานฟิล์มบรรจุภัณฑ์และมีชื่อสามัญเรียกว่า “ถุงเย็น”

มักจะใช้ทำถุง ฟิล์มหัด ฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยึดตัวได้ดีทนต่อการที่มทะเล

และการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของพอลิเอทิลีนจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ตารางที่ 2.7 สมบัติบางประการของ LDPE [14]

สมบัติ	หน่วย	ASTM	LDPE
ความถ่วงจำเพาะ	-	D792	0.91-0.925
ความเป็นผลึก	%	-	50.0-70.0
อุณหภูมิหลอมเหลว	°C	-	98.0-120.0
ความแข็งแรงดึง	MPa	D638	4.1-16.0
มอดุลัส	GPa	D638	0.10-0.26
การดึงยืด ณ จุดขาด	%	D638	90-800
ความแข็งแรงกระแทก	J.m <sup>-1</sup>	D256	No break
อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน	°C	D648	38.0-49.0

### 2.3.3 การประยุกต์ใช้งาน

1. งานแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ถุงขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดที่บรรจุสินค้าทั่วไป ตลอดจนถึงขนาดใหญ่ที่ต้องแบกรับน้ำหนักมากๆ ได้แก่

- ถุงบรรจุอาหาร เช่น ผัก ผลไม้สด ขนมันบั้ง ลูกกวาด อาหารแช่แข็ง อาหารแห้ง
- ถุงบรรจุสินค้าหนัก เช่น ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ข้าวสาร ปุ๋ย ชิ้นส่วนเครื่องจักร
- ถุงชั้นในของถุงกระดาษหรือกระสอบพลาสติกซึ่งใช้บรรจุอาหารสัตว์ ปุ๋ย ฯลฯ
- ถุงบรรจุสินค้าอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น เสื้อผ้าสำเร็จรูป สิ่งทอ กระดาษชำระ ฯลฯ
- ฟิล์มหด (Shrink film) และฟิล์มยืด (Stretch film) ที่ต้องการความเหนียวสูง เช่น ใช้

รัดสินค้าที่วางเรียงบนแท่นรองรับสินค้า (Pallet) เพื่อการขนส่งเป็นหน่วยใหญ่

2. งานฉีดเข้าแบบ ได้แก่ ภาชนะ ของเล่นที่ต้องการลักษณะชิ้นงานที่นูนเล็กน้อย งานจัดของสวยงาม เช่น ดอกไม้พลาสติก ไขว้พลาสติก รวมทั้งเครื่องใช้ในบ้านอื่นๆ เช่น ตะกร้า ถัง ซามอ่า

3. งานเป่าเข้าแบบ ได้แก่ การเป่าทำขวดต่างๆ เช่น ขวดน้ำเกลือ ขวดยาหยอดตา ขวดน้ำดื่ม และเป่าเพื่อทำกระป๋องและกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. งานแผ่นเคลือบหรือแผ่นประกบ ได้แก่ งานเคลือบบนผิวฟิล์ม บนแผ่นอะลูมิเนียม พอยล์ เช่น ซองบรรจุอาหารแห้งประเภทบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อาหารเสริมเด็กอ่อน ขนมขบเคี้ยว ซึ่งต้องการสมบัติป้องกันความชื้นและการซึมผ่านของก๊าซต่างๆ

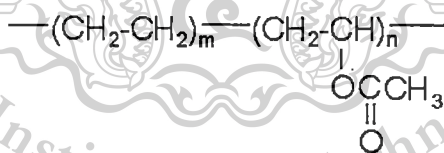
5. งานเคลือบผิวโลหะ ได้แก่ การเคลือบลดเอนกประสงค์ เช่น ตะแกรงวางสินค้า ชั้นวางของ ตะกร้า รถจักรยานยนต์ ตลอดจนงานเคลือบพิเศษ เช่น สายเคเบิล สายโทรศัพท์ สายไฟฟ้า

## 2.4 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) [14]

### 2.4.1 ลักษณะทั่วไปของ EVA

EVA เป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ เนื่องจากเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตต มีเอทิลีนเป็นเนื้อหลักประมาณ 75-90% และไวนิลอะซิเตตเป็นตัวเสริมแต่งทำให้เกิดความยืดหยุ่นโดยลดการเกิดผลึก (Crystallinity) พบว่า ถ้าปริมาณเอทิลีนมากกว่า 75% จะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติแข็ง

EVA เกิดจากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายใต้ความดันสูงของเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้ต่ำกว่าของกรณีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทิลีนตัวเดียว สารก่ออนุมูลอิสระที่นิยมใช้คือ Azo-bis-isobutyronitrile, Organic peroxides และ Persulfates โครงสร้างของ EVA แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) [15]

### 2.4.2 สมบัติโดยทั่วไปของ EVA

- เป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น
- มีความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 0.926-0.95

- สามารถละลายได้ในสารละลายอะโรมาติก (Aromatic) และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbon) ที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- จุดเปราะ (Brittle Point) อยู่ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า  $-70^{\circ}\text{C}$
- จุดอ่อนตัว (Softening Point) อยู่ระหว่าง  $60-80^{\circ}\text{C}$
- มีค่า  $T_g$  ตั้งแต่  $-20^{\circ}\text{C}$  (ของ โสโมพอลิเมอร์) จนถึง  $20^{\circ}\text{C}$
- ค่าความแข็งกด (Hardness) Shore D เท่ากับ 90-95
- ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 2.9-19.6 MPa
- ค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) เท่ากับ 500-700%
- มีความโค้งงอที่อุณหภูมิสูง
- มีความสามารถในการสปริงตัวได้ดี โดยไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์
- ทนต่อสภาวะการใช้งาน การชะล้าง และมีอายุการใช้งานสูง
- สามารถให้สีได้ง่ายและสวยงาม
- ขึ้นรูปได้ง่าย
- มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ดี โดยไม่ต้องใช้พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)

#### 2.4.3 การประยุกต์ใช้งาน

- EVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดอ่อนตัว (Softening point) ต่ำ มักใช้เป็น Wax additive ในงานเคลือบกระดาษ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารยึดติด และพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)
- EVA ที่มีสมบัติคล้ายยาง มักใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ประเภทอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
- EVA ใช้ในงานผลิตรองเท้าและเบาะรองนั่ง
- ปริมาณไวนิลอะซิเตตน้อยกว่า 7% จะได้ฟิล์มที่มีความเหนียวใส และมีความมันวาว

### 2.5 เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH) [15]

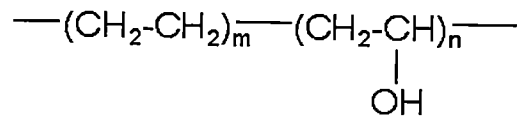
#### 2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ EVOH

EVOH เป็นโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลแอลกอฮอล์ สัดส่วนของมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดการป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซ ถ้าปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น สภาพขั้วจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การซึมผ่านของไอน้ำมีมากขึ้น การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่างๆ จะทำได้ดีในสภาพแห้ง หรือสภาวะที่มีความชื้นต่ำๆ แต่มีความไวต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้การป้องกันการซึมผ่านก๊าซลดลงอย่างมาก ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.5 เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH) [15]

### 2.5.2 สมบัติของ EVOH

- มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีเยี่ยมในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ
- ป้องกันสารเคมีได้ดีเยี่ยม รวมไปถึง น้ำมัน กรด หรือ ตัวทำละลาย
- มีความใสมาก (Very good clarity)
- มีสมบัติการป้องกันกลิ่นได้ดี ช่วยลดกลิ่นหอมและความสดของสินค้าไว้ภายใน
- สามารถอัดรีดร่วมกับพอลิเมอร์อื่นได้หลายชนิดในกระบวนการอัดรีดร่วม
- มีความไวต่อความชื้น
- ทนทานต่อความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตารางที่ 2.8 สมบัติบางประการของ EVOH [16]

สมบัติพื้นฐานของ EVOH สำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Co-extrusion coating และ Laminating

ปริมาณเอทิลีน	% โมลของเอทิลีน	27	32	35	44	48
ความหนาแน่น	g/cc (ASTM D 1505)	1.20	1.19	1.18	1.14	1.12
ค่าดัชนีหลอมเหลว	g/10min 190°C	N/A	4.4	8	5.5	6.4
	210°C	9.0	10.5	16	13	14.7
	240°C (ASTM D 1238 at 2.16 kg)	20.0	24	40	34	36
จุดหลอมเหลว	°C DSC	191	183	179	165	158
ปริมาณเอทิลีน	% โมลของเอทิลีน	27	32	35	44	48
ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน	cc.20 $\mu\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$	0.2	0.4	0.6	1.5	1.2

### 2.5.3 การประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากเม็ดพลาสติก EVOH มีราคาแพงจึงไม่นิยมนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด แต่นำมาใช้ร่วมกับพลาสติกชนิดอื่น โดยการนำ EVOH ทำให้เป็นแผ่นแล้วประกบด้วยกาวหรือวิธีการรีดร่วมหรือการเคลือบบางเพียงบางๆ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ หลอดลามิเนตซึ่งประกอบด้วยชั้นของพลาสติกหลายชั้น แผ่นลามิเนตหนาประมาณ 0.33 มิลลิเมตร ทำโดยการประกบแบบอัดรีด (Extrusion lamination) โดยใช้ EVOH ซึ่งเป็นพลาสติกใสและมีสมบัติในการเป็นตัวสกัดกั้นที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

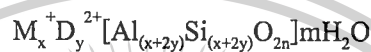
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แทนแผ่นเปลวอะลูมิเนียม โดยใช้วิธีการรีดร่วม (Co-extrusion) หรือโดยการอัดรีด ซึ่งจะช่วยให้ หลอดเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีรอยต่อเชื่อมที่ทำให้มีการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำต่ำ

## 2.6 ซีโอไลต์เอ [17]

ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต มีโครงสร้างเป็นรูพรุนสามมิติและมี ลักษณะเป็น tetrahedral ที่มีออกซิเจน 4 ตัวล้อมรอบ การแทนที่ Si ด้วย Al ทำให้ เกิดความไม่สมดุลของประจุจึงต้องมีประจุบวกเพื่อทำให้เกิดความสมดุลของประจุ สูตรเคมีของซี- โอไลต์เป็นดังนี้



โดยที่  $M_x^+ D_y^{2+}$  คือ ประจุบวกสมดุล (Charge balance cation)

ซีโอไลต์เป็นสารที่มีรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวมากคือ ประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม ใน โครงสร้างของผลึกซีโอไลต์จะมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกันซึ่งมีไอออนประจุบวกและโมเลกุลของน้ำอยู่ ในโพรงช่องว่างนี้ ธรรมชาติของช่องว่างและโพรงที่เชื่อมต่อกันของซีโอไลต์จะเป็นตัวการสำคัญ ในการกำหนดสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของซีโอไลต์ในการแลกเปลี่ยนไอออนและดูดซับ สาร

### 2.6.1 โครงสร้างของซีโอไลต์เอ

ซีโอไลต์เอ มีสูตรทางเคมีคือ  $Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)] \cdot 27H_2O$  โดยมีอัตราส่วนระหว่าง ช่องว่างต่อปริมาตรเท่ากับ 0.47 อัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 เส้นผ่าน ศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ 4.2 อังสตรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



### 2.6.3 สมบัติของซีโอไลต์เอ [18]

#### - สารดูดน้ำ (Desiccants)

เนื่องจากซีโอไลต์เอ มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ซีโอไลต์เอมีความมีขั้วสูงจึงสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดี เช่น น้ำ และเมื่อดูดซับน้ำแล้วจะเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้เป็นอย่างดี

#### - การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchangers)

เนื่องจากซีโอไลต์เอมีขั้วจึงทำให้ดูดซับน้ำได้ดี น้ำที่อยู่ในซีโอไลต์จึงเปรียบเสมือนไอออนบวกที่ถูกละลายในซีโอไลต์เอ โดยน้ำที่อยู่ในซีโอไลต์นั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ตลอดเวลา ดังสมการ



ไฮโดรเนียมไอออนนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกชนิดอื่นๆที่ต้องการแลกเปลี่ยน ซึ่งปฏิกิริยาลักษณะนี้จะเกิดเฉพาะกับซีโอไลต์ที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบสูงซึ่งดูดซับน้ำได้ดี เช่น ซีโอไลต์เอ

#### - สมบัติการคัดแยกโมเลกุล (Molecular sieves)

เมื่อทำให้ซีโอไลต์แห้งโดยการไล่น้ำออกแล้ว ซีโอไลต์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการดูดซับสารชนิดต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับความเป็ขั้วของซีโอไลต์ และสารหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เช่น ซีโอไลต์เอซึ่งขั้วสูง (มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมต่ำ) สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วสูง ส่วนซีโอไลต์ที่มีขั้วต่ำจะดูดซับ โมเลกุลที่มีขั้วต่ำ ด้วยเหตุนี้ซีโอไลต์จึงมีสมบัติในการคัดแยกโมเลกุล

### 2.6.4 การนำซีโอไลต์เอไปใช้งาน

ซีโอไลต์เอ เป็นซีโอไลต์ที่มีโครงสร้างแบบซูเปอร์เคจ (Supercage) เหมาะกับการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Specio-specific catalysis) พื้นที่ภายในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนนั้นมีมากในการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนสาร ขนาดของรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะมีความเฉพาะเจาะจง (Selective) ในการจำกัดขนาดของโครงสร้างที่จะเข้าออกของซีโอไลต์ นอกจากนี้ยังใช้งานอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กว้างขวางในการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนสาร และแลกเปลี่ยนไอออน ได้อีกด้วย และเนื่องจากการที่ซีโอไลต์เอเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูงและมีขนาดรูพรุนจำนวนมาก

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mousavi S. A. และคณะ [21] ได้ศึกษาผลของการเตรียมที่มีต่อสัณฐานวิทยา (Morphology) และสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeation properties) ของฟิล์ม PE และฟิล์ม EVA พบว่าความหนาของฟิล์ม PE และฟิล์ม EVA มีผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ คือเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถของการซึมผ่านของก๊าซลดน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ  $\text{CO}_2$  และก๊าซ  $\text{O}_2$  ในฟิล์มทั้งสอง พบว่าก๊าซ  $\text{CO}_2$  มีความสามารถในการซึมผ่านมากกว่าก๊าซ  $\text{O}_2$  เนื่องจาก ก๊าซ  $\text{CO}_2$  มีขนาดเล็กกว่าก๊าซ  $\text{O}_2$  และมีความหนาแน่นของโมเลกุลสูงกว่า จึงส่งผลให้มีความสามารถในการซึมผ่านก๊าซที่มากกว่าและจากการศึกษาพบว่า ฟิล์ม EVA จะมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ  $\text{CO}_2$  ได้ดีกว่าฟิล์ม PE อย่างมาก เนื่องจากการมีหมู่ VA ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วจึงเกิดการดูดซับและส่งผ่านโมเลกุลของก๊าซ  $\text{CO}_2$  ที่มีขั้วได้ดียิ่งขึ้น

Marais S. และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซ  $\text{CO}_2$  และก๊าซ  $\text{O}_2$  ของแผ่นฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณ VA ต่างกัน โดยขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณ VA เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเป็นผลึกของ EVA ลดลง และส่งผลให้การดูดซึมน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำที่ดีขึ้น เนื่องจากมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เพิ่มขึ้นทำให้ความมีขั้วเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ลงไปใน EVA เพื่อศึกษาสมบัติเช่นเดียวกัน พบว่าเมื่อปริมาณ PVC เพิ่มขึ้นการซึมผ่านของน้ำไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากหมู่ VA จะเข้าไปสร้างพันธะกับ PVC ซึ่งจะปลดจำนวนหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วที่จะไปเกิดอันตรกิริยากับน้ำ สำหรับความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ  $\text{CO}_2$  และก๊าซ  $\text{O}_2$  พบว่าปริมาณ VA ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยในการเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากปริมาณ VA เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเป็นผลึกลดลง ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของ EVA จะเพิ่มขึ้นด้วย

เนื่องจากมีโอกาสดังกล่าวที่กระตุ้นระหว่างหมู่ที่มีขั้วสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Faker M. และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาสมบัติการไหล สันฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PE/EVA กับพฤติกรรมทางความร้อน จากการศึกษาการไหลของ PE และ EVA ที่มีอันตรกิริยาบริเวณผิวสัมผัส พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณ PE สูงจะมีอันตรกิริยาปฏิกิริยาสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณ EVA สูง ซึ่งนำไปสู่การกระจายตัวที่ดีในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม มีความหนืดและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองใช้เครื่อง Rheometric mechanical spectrometer (RMS) วัดสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม PE/EVA ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อทำการศึกษาสันฐานวิทยาโดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM) พบว่าพอลิเมอร์ผสมของ PE/EVA เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วน EVA จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของบริเวณ EVA เพิ่มขึ้น ด้วยการกระจายของเมทริกซ์ในสันฐานวิทยา สังเกตจากพอลิเมอร์ที่มี EVA จะมีปริมาณการกระจายของขนาดของอนุภาคมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่มีปริมาณ PE สูง ดังนั้น การศึกษาสันฐานวิทยาจะมีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ที่มี PE สูง และเมื่อทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนพอลิเมอร์ผสมจะมีอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting temperatures,  $T_m$ ) ลดลง เนื่องจากผลการละลายของ EVA หรือ การเกิดผลึกร่วมของ PE กับบางส่วนของ EVA การเกิดผลึกร่วมสูงขึ้นในพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วน 90/10 ทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นและการยืดออก ณ จุดขาดลดลง เพราะการเกิดผลึกร่วมทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างภูมิภาคเพิ่มขึ้น และความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่จะลดลง

Gholizadeh M. และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ของก๊าซ  $O_2$  และก๊าซ  $CO_2$  สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusivity) และการละลาย (Solubility) ของฟิล์ม LDPE และฟิล์ม EVA เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, ความดัน และความหนาของฟิล์มเมื่อฟิล์มหนาขึ้น จะทำให้ Permeability และ Solubility ลดลง แต่ Diffusivity เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ Permeability เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ Permeability และ Diffusion เพิ่มขึ้นชัดเจนในก๊าซ  $CO_2$  นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ  $O_2$  และ  $CO_2$  ในฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณหมู่ VA 28%wt เมื่อเทียบกับ LDPE ที่ไม่มีขั้วจะเพิ่ม Permeability ของก๊าซ  $O_2$  และ  $CO_2$  เนื่องจากความเป็นขั้วของก๊าซ  $CO_2$  จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่าง  $CO_2$  กับ VA

Sadeeghi M. และคณะ [24] ได้ศึกษาสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ  $O_2$  ก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) ก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) และก๊าซ  $CO_2$  ผ่านฟิล์ม EVA/ซิลิกานาโนคอมโพสิต (Nanocomposite-

membrane) (EVA/Si) โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของซิลิกา ได้แก่ 5%, 6% และ 10% เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
องค์ประกอบ ทำการเตรียมฟิล์ม EVA โดยวิธีหล่อแบบสารละลาย และทำการสังเคราะห์อนุภาค  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นาโนซิลิกาผ่านกระบวนการโซลเจล (Sol-gel) จากการศึกษาพบว่าเมื่อฟิล์ม EVA/Si มีปริมาณอนุภาคซิลิกามากจะทำให้ความสามารถการซึมผ่านของก๊าซ  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$  และ  $CO_2$  มากขึ้นเนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นอสัณฐานมากขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกลดลง จึงมีปริมาตรอิสระให้ก๊าซต่างๆ ซึมผ่านฟิล์มได้ดีขึ้น

วารภรณ์ พุทธิสสะ [25] ทำการผลิตฟิล์ม LDPE กับซีโอไลต์เอ (Zeolite A) ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำได้ดี เพื่อปรับปรุงสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม โดยทำการผสม LDPE กับ ซีโอไลต์เอ (0-8% โดยน้ำหนัก) โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ จากนั้นนำไปบดและแบ่งส่วนหนึ่งไปทดสอบสมบัติการไหล และนำส่วนที่เหลือไปขึ้นรูปโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงฉีกขาด และ เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จากการศึกษาสูตรที่มีปริมาณซีโอไลต์เอ 4% และ 6% การปรับปรุงพื้นผิวของซีโอไลต์ด้วยกรดสเตียริก (SA) 1% และพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) 3% พบว่าเมื่อใช้ SA และ PEG มีผลให้ความหนืดของระบบลดลงเล็กน้อย สมบัติในการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซ  $O_2$  ขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มและปริมาณซีโอไลต์เอ โดยพบว่าสูตรที่มีซีโอไลต์เอเพิ่มขึ้นความหนาของฟิล์มมีค่าลดลง ส่งผลให้สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ  $O_2$  เพิ่มขึ้น และจากการเลือกฟิล์มที่มีซีโอไลต์เอ 6% ทั้งที่มีและไม่มีปรับปรุงพื้นผิวเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีซีโอไลต์มาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ตัวอย่างสำหรับมะเขือเทศ โดยเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 15 วัน พบว่าฟิล์มที่มีซีโอไลต์เอ 6% ที่ไม่มีปรับปรุงพื้นผิว มีปริมาณไอน้ำกักเก็บน้อยที่สุด เพราะเป็นฟิล์มที่บางที่สุด และมีค่าการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซ  $O_2$  มากที่สุด และนอกจากนี้ซีโอไลต์เอยังช่วยลดการรวมตัวกลายเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่ภายในบรรจุภัณฑ์อีกด้วย

นันทวรรณ ม่วงมี [3] ได้มีการทดลองเตรียมฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยมีการเติมซีโอไลต์เอที่มีรูพรุน มีขั้วสูง และมีสมบัติดูดซับน้ำได้ดีมาผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ แต่การนำซีโอไลต์เอที่มีขั้วสูงมาผสมกับ LDPE ที่ไม่มีขั้วนั้นจะทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวไม่ดี เพราะมีความแตกต่างระหว่างขั้วมาก จึงนำ EVA ที่มีขั้วมาผสมเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของซีโอไลต์เอในฟิล์ม LDPE เนื่องจาก EVA สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ LDPE ทั้งนี้ยังมีส่วนที่เป็นขั้วของ VA ซึ่งสามารถผสมเข้ากับซีโอไลต์เอ ได้ดีอีกด้วย ผลการทดลองพบว่า

ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของ LDPE/EVA เท่ากับ 80/20 โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าฟิล์มของ LDPE 29% และเมื่อเติมซีโอไลต์เอลงไป พบว่าฟิล์ม LDPE/EVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เท่ากับ 80/20 โดยน้ำหนัก ที่มีซีโอไลต์เอ 25 % โดยน้ำหนัก จะมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าฟิล์ม LDPE/EVA (80/20) อยู่ 60% และสูงกว่าฟิล์ม LDPE ถึง 106% เนื่องจากสมบัติที่มีขั้วของ EVA และซีโอไลต์เอซึ่งดูดซับไอน้ำได้ดี จึงช่วยเพิ่มสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอย่างมาก โดยที่ยังมีสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างจากฟิล์ม LDPE นัก

Lasagaba ster A. และคณะ [26] ได้ทำการทดสอบสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิ-เมอร์ผสมระหว่าง PP และ EVOH (มีปริมาณเอทิลีน 32.9% โมล) โดยมีอัตราส่วนการผสม PP/EVOH เท่ากับ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, และ 60/40 โดยขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการกดอัด พบว่าการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของ EVOH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการรวมตัวของน้ำรอบๆ หมู่ไฮดรอกซิลของ EVOH ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วที่สร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแกร่งกับโมเลกุลของน้ำ และผลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมนี้ ที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง PP และ EVOH มีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ ซึ่งรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อสัดส่วนของ EVOH เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากความเป็นผลึกที่แตกต่างกันของ PP กับ EVOH โดยที่ความเป็นผลึกของ PP เพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสม EVOH ตั้งแต่ 20% แต่การลดผลึกของ EVOH ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ความเป็นรูพรุนนี้ทำให้มีการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่การเพิ่มขึ้นของไอน้ำเนื่องจากความมีขั้วของ EVOH เป็นกลไกที่เกิดขึ้นได้มากกว่า

Muriel-Galet V. และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาฟิล์ม PP ที่เคลือบชั้นด้วย EVOH (ที่มีปริมาณเอทิลีน 29% โมล) ผสมกับน้ำมันหอมระเหยออริกาน (Oregano essential oil, OEO) โดยใช้การพิมพ์แบบเซาะร่อง (Gravure printing) ให้มีความหนา  $1.15 \pm 0.05 \mu\text{m}$  เพื่อปรับปรุงบรรจุภัณฑ์สำหรับสลัดผัก จากผลของการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซพบว่าในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 0% การซึมผ่านของก๊าซ  $\text{O}_2$  และ  $\text{CO}_2$  ลดลงมากกว่า 100 เท่า ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะสมบัติการป้องกันก๊าซของ EVOH แต่ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 90% การซึมผ่านของก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์ม PP ที่เคลือบด้วยชั้น EVOH ทำให้ฟิล์มมีปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น ก๊าซจึงสามารถซึมผ่านไปได้ง่าย โดยทั่วไปแล้ว EVOH มีสมบัติการป้องกันก๊าซได้ดีเมื่ออยู่ในที่แห้ง อย่างไรก็ตาม เมื่อสัมผัสกับผักสดชั้น EVOH จะมีความชื้นทำให้สมบัติการป้องกันนั้นลดลงอย่างมาก การเคลือบ EVOH บนฟิล์ม PP ทำให้ ฟิล์ม PP มีความต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)

ลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของสัณฐานวิทยาของ EVOH และ PP ซึ่ง PP มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อุดหนุนเปลี่ยนแปลงคล้ายแก้วต่ำกว่าอุณหภูมิห้องให้อยู่ในสถานะคล้ายยาง ในขณะที่ EVOH ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงกว่าอุณหภูมิห้องทำให้อยู่ในสถานะคล้ายแก้ว EVOH จึงแข็งและเปราะกว่า PP

จากงานวิจัยที่ผ่านมารเตรียมฟิล์ม PE ที่มีซีโพลีเอ ต้องมี EVA เป็นตัวช่วยเพิ่มการกระจายตัวเพื่อให้มีการซึมผ่านไอน้ำที่ดี ส่วนการใช้ EVOH อาจจะมีการเพิ่มการซึมผ่านไอน้ำได้ เพราะ EVOH ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกับโมเลกุลของน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงจะเตรียมฟิล์ม LDPE/EVOH และศึกษาผลการมีและไม่มีการใช้ซีโพลีเอเพื่อช่วยให้สมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มดีขึ้น เปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE/EVA เพื่อดูสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมี

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด LD1905F จากบริษัท ไทยพอลิเอทิลีน จำกัด
2. เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA)
  - VA 27.5% เกรด UL00728CC จากบริษัท ExxonMobile Chemical จำกัด
  - VA 18.0% เกรด N8038F จากบริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด
3. ซีโอไลต์เอ (Zeolite A) เกรดการค้า จากบริษัท พีคิวเคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
4. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N<sub>2</sub>)
5. ไซลีน (Xylene)
6. เอทานอล (Absolute ethanol) เกรดวิเคราะห์
7. เมทานอล (Methanol) เกรดการค้า
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, KHP)
9. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH)
10. ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) เข้มข้น 0.1 M
11. เททระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran, THF)

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ EVA\*

สมบัติ	N8038F	UL00728CC	หน่วย
ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate)	18.0	27.5	wt%
ดรรรชนีการไหล (Melt flow rate, 190 °C /2.16 kg)	2.3	7	g/10min
ความหนาแน่น (Density)	0.941	0.952	g/cm <sup>3</sup>
การดึงยืด ณ จุดขาด (Tensile elongation at break)	-	100	%

\*ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ LDPE\*

สมบัติ	LD1905F	หน่วย
ดรรชนีการไหล (Melt flow rate, 190 °C /2.16 kg)	5.00	g/10min
ความหนาแน่น (Density)	0.919	g/cm <sup>3</sup>
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield)	TD:9.81*	MPa
การดึงยืด ณ จุดขาด (Tensile elongation at break)	MD:400*, TD:700*	%
จุดหลอมเหลว (Melting point)	108	°C

\*\*ฟิล์มหนา 40 ไมครอน MD: ทดสอบตามแนวเครื่องจักร, TD: ทดสอบตามแนวขวางเครื่องจักร

\*ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ Zeolite A\*

สมบัติ	Zeolite A	หน่วย
ลักษณะ	ผงละเอียด	-
สี	ขาว	-
% ความเป็นผลึก	99%	-
ความหนาแน่น (Bulk density)	366	g/cm <sup>3</sup>
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	2-5 และ <10 (90%)	µm
ความแข็ง	4-5	Mohs

\*ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer, รุ่น MX500-D75L90)
2. เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding, รุ่น LP 20; Labtech Engineering Co.,Ltd.)
3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder, รุ่น Bosco Engineering)
4. เครื่องทดสอบหาดรรชนีการหลอมไหล (Melt flow indexer, รุ่น 6814; Ceast)
5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM. รุ่น LR 5K; LLOYD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM. รุ่น JSM-5410LV; JEOL)
7. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR. รุ่น FTIR Spectrum Gx; Perkin Elmer )
8. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC, รุ่น DSC 204 F1 Phoenix® ASC)
9. เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA, รุ่น TG 209 F3 Tarsus)
10. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeation analyzer, Illinois Instrument, Inc รุ่น 7002)
11. เครื่อง Contact angle system OCA (Dataphysics, model OCA20)
12. เครื่องบีบลม รุ่น (BEBICON 400; Hitachi Co.,Ltd.)
13. คีม
14. ตู้อบลมความร้อน
15. เครื่องชั่งละเอียด
16. ไมโครมิเตอร์
17. กระบอกใส่ไนโตรเจน
18. ขวดกั้นกลมขนาด 500 ml
19. บิวเรตขนาด 50 ml
20. ปีกเกอร์ขนาด 100 ml, 500 ml, 1000 ml
21. ปิเปตขนาด 25 ml
22. กระบอกตวง 250 ml
23. หลอดหยด
24. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ml
25. เตาหลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
26. เครื่องปั่นกวน (Stirrer)
27. จุกยาง
28. กระดาษกรองเบอร์ 4
29. กระบอกน้ำกลั่น
30. กรวยกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

31. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
32. ช้อนตักสาร (Spatula)
33. แท่งแก้วกวนสาร
34. ตู้ดูดควัน
35. เครื่องกรองสุญญากาศ
36. กระดาษลิตมัส
37. คอนเดนเซอร์ (Condenser)
38. สายยาง
39. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์ EVOH จาก EVA

ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เข้มข้น 0.35M

1. ชั่งสาร KHP ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml จำนวน 7.1480 g จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำกลั่นใช้แท่งแก้วกวนจนสารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน

2. เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

ข. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้น 2.5 M

1. ชั่งสาร KOH จำนวน 21.0375 g

2. ตวงเอทานอลจำนวน 150 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml จากนั้นนำ KOH ใส่ลงไปบีกเกอร์ที่มีเอทานอลอยู่ พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ค. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย KOH โดยใช้สารละลาย KHP เป็นสารละลายมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐาน KHP จำนวน 25 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน จำนวน 2-3 หยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย KOH ที่อยู่ในบิวเรต จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นเป็นสีชมพูอ่อน

4. จดบันทึกปริมาตรของสารละลาย KOH ที่ใช้ แล้วทำซ้ำอีกครั้ง หาค่าเฉลี่ย

5. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย KOH

### ง. การสังเคราะห์ EVOH จากการไฮโดรไลซิส EVA

1. ละลายเม็ดพลาสติก EVA จำนวน 30 g ใน Xylene 300 ml ทำในขวดก้นกลมขนาด 500 ml โดยใช้อุณหภูมิ 100 °C จนกระทั่งสารละลายที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน

2. ใส่สารละลาย KOH ที่เตรียมได้โดยควบคุมให้จำนวน โมลของ KOH ใกล้เคียงกับ VA ทั้งนี้ให้เพื่อปริมาณ KOH มากกว่าประมาณ 1% - 1.5 % โดยปริมาตร

3. ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการรีฟลักซ์ ใส่เศษกระเบื้องในขวดปฏิกิริยา 2-3 ชิ้นก่อนนำไปทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4. ทำการตกตะกอน EVOH ที่ได้ในเมทานอล โดยเมทานอลอยู่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ค่อยๆ หยด EVOH ลงไป พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างรวดเร็ว

5. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนในตู้ดูดควัน เพื่อระเหยตัวทำละลายออก จากนั้นล้างตะกอนที่ได้ด้วยเมทานอลแล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ทำการล้างตะกอนซ้ำจนตะกอนที่ได้มีฤทธิ์เป็นกลาง

6. นำตะกอนไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

### 3.3.2 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตรเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ โดยทำการผสมตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.4

ซึ่งส่วนผสม LDPE, EVA และ EVOH ให้ได้ตามตาราง ในการผสมแต่ละครั้งใช้ปริมาณพอลิเมอร์ผสมรวม 300 กรัม เขย่าเพื่อให้ผสมกัน จากนั้นนำมาเทใส่ในเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) โดยตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 160 °C

- ความเร็วรอบ (Screw speed) 60 rpm

- เวลาที่ใช้ในการผสม 30 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปบดให้เป็นเม็ดละเอียด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับการอัดขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

ตารางที่ 3.4 พอลิเมอร์ผสมสูตรทั้งหมดโดยน้ำหนัก

สูตร	% VA ใน EVA	LDPE/EVA	% OH ใน EVOH	LDPE/EVOH
1	-	-	-	100/0
2	27.5%	90/10	-	-
3	18.0%	85/15	-	-
4	-	-	16.2%	90/10
5	-	-	10.0%	85/15
6	-	-	16.2%	85/15
7	-	-	16.2%	80/20

### 3.3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอโลต์เอ

#### 3.3.3.1 การเตรียมสูตรเข้มข้นของ EVOH และซีโอโลต์เอ

เตรียมโดยนำซีโอโลต์เอ ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาผสมกับ EVOH ที่อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก ทำการเขย่าเพื่อให้เข้ากัน ในการผสมแต่ละครั้งใช้ปริมาณสารผสมรวม 300 กรัม จากนั้นนำมาเทใส่ในเครื่องผสมระบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 160 °C
- ความเร็วรอบ 60 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 30 min

นำสูตรที่ได้มาบด เพื่อเตรียมสำหรับผสมสูตรพอลิเมอร์ที่มีซีโอโลต์เอ

#### 3.3.3.2 สูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอโลต์เอ

การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอโลต์เอจากสูตรเข้มข้น ทำได้โดยเตรียม

LDPE, EVOH และสูตรเข้มข้น EVOH/ซีโอโลต์เอ ให้ได้สัดส่วนของพอลิเมอร์ระหว่าง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิใช่ผู้เขียนหรือเจ้าของลิขสิทธิ์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LDPE/EVOH เป็น 90/10 และ 85/15 ให้มีปริมาณซีโอไลต์เอเป็น 20% โดยน้ำหนัก ในการผสมแต่ละครั้งใช้ปริมาณสารผสมรวม 300 กรัม

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีซีโอไลต์เอ (โดยน้ำหนัก)

Filler	Content (%wt)	LDPE/EVOH = 85/15		LDPE/EVOH = 90/10	
		LDPE	EVOH	LDPE	EVOH
-	-	85	15	90	10
Zeolite A	20	68	12	72	8

นำเม็ดพอลิเมอร์ใส่ลงไปในเครื่องผสมระบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 160 °C
- ความเร็วรอบ 60 rpm
- เวลาที่ใช้ในการผสม 30 min

นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปบดให้เป็นเม็ดละเอียดเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับการอัดขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

### 3.3.4 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีกดอัด

นำพอลิเมอร์ผสมสูตรที่บดแล้วไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปฟิล์ม โดยตั้งสภาวะของเครื่องกดอัดดังนี้ เพื่อควบคุมความหนาให้ได้ 50-70  $\mu\text{m}$  โดยชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมในแต่ละครั้งประมาณ 1 กรัม

- อุณหภูมิในการกดอัด 200 °C
- ความดันในการกดอัด 1800 psi
- เวลาในการกดอัด 5 min
- อุณหภูมิในการเย็นตัว 15 °C
- เวลาในการเย็นตัว 5 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.5 ความหนาของฟิล์ม

วัดความหนาของฟิล์มทุกชนิดที่ผลิตขึ้นมา โดยใช้ไมโครมิเตอร์ ประมาณ 50 จุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 3.3.6 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม EVOH ที่ได้จากการไฮโดรไลซิส EVA

นำแผ่นฟิล์มเรียบที่ได้ มาทำการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) โดยใช้ Transmission mode ในช่วงเลขคลื่น  $370\text{ cm}^{-1}$  ถึง  $4,000\text{ cm}^{-1}$  จากนั้นคำนวณหาอัตราส่วนความเข้มระหว่าง Absorbance ของพีก C=O Stretching ที่  $1714\text{ cm}^{-1}$  กับพีก Absorbance ของ C-H Rocking ที่  $720\text{ cm}^{-1}$  และ อัตราส่วนระหว่าง Absorbance ของพีก O-H Stretching ที่  $3400\text{ cm}^{-1}$  กับ Absorbance ของ C-H Rocking ที่  $720\text{ cm}^{-1}$  เพื่อหาการมีอยู่ของพีกของหมู่ C=O Stretching ใน EVA และการมีอยู่ของหมู่ O-H Stretching ใน EVOH ตามลำดับ

### 3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณซีโอไลต์ในฟิล์ม

ทำการหาปริมาณซีโอไลต์ที่มีอยู่ในฟิล์ม ด้วยการเผาที่อุณหภูมิ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

**ตอนที่ 1** นำครุชชีเบลแบบถ้วยมาเผาด้วยเตาเผา (Furnace) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำครุชชีเบลที่ผ่านการเผาแล้วมาชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่งพร้อมทั้งจดบันทึกค่า โดยน้ำหนักที่ได้ให้กำหนดเป็นน้ำหนักของครุชชีเบล

**ตอนที่ 2** นำครุชชีเบลที่ผ่านการเผาแล้วมาใส่ชิ้นงานตัวอย่าง โดยให้มีปริมาณ 2 ใน 3 ของความสูงครุชชีเบลจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่งพร้อมทั้งจดบันทึกค่าโดยน้ำหนักที่ได้ให้กำหนดเป็นน้ำหนักของครุชชีเบลก่อนเผา

**ตอนที่ 3** นำครุชชีเบลที่มีตัวอย่างที่ผ่านการชั่งแล้วมาเผาด้วยตะเกียงเบนเสนจนกระทั่งไม่เห็นเปลวไฟในครุชชีเบล จากนั้นทำการทดลองซ้ำตอนที่ 1 ค่าโดยน้ำหนักที่ได้ให้กำหนดเป็นน้ำหนักของครุชชีเบลหลังเผา โดยปริมาณของซีโอไลต์ในฟิล์มตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

น้ำหนักสารที่เหลือ = น้ำหนักของครุชชีเบลหลังเผา - น้ำหนักของครุชชีเบล

น้ำหนักสารทั้งหมด = น้ำหนักของครุชชีเบลก่อนเผา - น้ำหนักของครุชชีเบล

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของซีโอไลต์เอ} = \frac{\text{น้ำหนักสารที่เหลือ} \times 100}{\text{น้ำหนักสารทั้งหมด}}$$

### 3.3.8 การหาอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึก

นำฟิล์มตัวอย่างมาศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่อง DSC ซึ่งน้ำหนักฟิล์มประมาณ 5-10 มิลลิกรัม นำมาให้ความร้อน ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 °C/min จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 160 °C และทำให้เย็นโดยการลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 10 °C/min จนถึงอุณหภูมิห้อง นำข้อมูลจากกราฟที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) อุณหภูมิการตกผลึก ( $T_c$ ) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกตามมาตรฐาน ASTM E794 [28]

$$\text{Heat of fusion } \Delta H_f \text{ (J/g)} = \frac{\text{พลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึก (ที่ตำแหน่ง } T_m \text{) (mJ)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\text{ความเป็นผลึก (\%)} = \frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^\circ}$$

เมื่อ  $\Delta H_f$  คือ พลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึก (ที่ตำแหน่ง  $T_m$ )

$\Delta H_f^\circ$  คือ พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% มี

ค่าเท่ากับ 293 J/g [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.9 การศึกษาพื้นฐานวิทยา

#### 3.3.9.1 การกระจายตัวของซีโอไลต์เอ

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด  $1 \times 3 \text{ cm}^2$  แล้วนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 45 นาที จากนั้นหักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่ นำชิ้นงานส่วนพื้นที่ภาคตัดขวางไปเคลือบด้วยทองคำแล้วนำไปทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของซีโอไลต์เอด้วยเครื่อง SEM

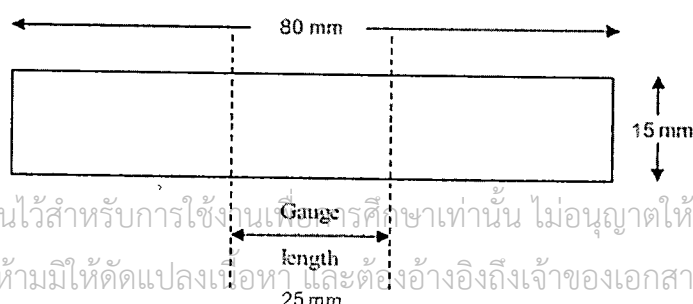
#### 3.3.9.2 การกระจายตัวของ EVA และ EVOH

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด  $1 \times 3 \text{ cm}^2$  แล้วนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นหักชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานยังเย็นอยู่ แล้วนำชิ้นงานที่หักไปแช่ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  พร้อมกับทำการโซนิกเคตด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้ Xylene เป็นตัวทำละลายสำหรับ EVA และใช้ THF ผสมกับ Xylene ในอัตราส่วน THF/Xylene เท่ากับ 90/10 โดยปริมาตร เป็นตัวทำละลายสำหรับ EVOH เพื่อสกัดเอา EVA หรือ EVOH ออกจากชิ้นงานตามลำดับ จากนั้นนำไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานพื้นที่ภาคตัดขวางไปเคลือบด้วยทองคำ แล้วนำไปทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของ EVA หรือ EVOH ด้วยเครื่อง SEM

#### 3.3.10 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

การรับแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield) ค่ายังมอดูลัส (Young's Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ตามมาตรฐาน ASTM D882 [30] โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ใช้สภาวะที่ทดสอบดังนี้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก, ค่ายังมอดุลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield)} = F_{\text{at yield}} / A$$

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break)} = F_{\text{at break}} / A$$

$$\text{ค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus)} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}}$$

$$\text{ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at yield)} = \frac{(l_{\text{at yield}} - l_0) \times 100}{l_0}$$

$$\text{ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)} = \frac{(l_{\text{at break}} - l_0) \times 100}{l_0}$$

เมื่อ	$F_{\text{at yield}}$	=	แรงดึงยืดขึ้นงาน ณ จุดคราก
	$F_{\text{at break}}$	=	แรงดึงยืดขึ้นงาน ณ จุดขาด
	$A$	=	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )
	$l_{\text{at yield}}$	=	ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดคราก
	$l_{\text{at break}}$	=	ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด
	$l_0$	=	ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length) เท่ากับ 25 mm

หมายเหตุ ค่ายังมอดุลัสคำนวณจากค่าความชันเริ่มต้น (ที่ 2 และ 3 % การดึงยืด)

### 3.3.11 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

ส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำการหาปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวฟิล์มด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ของฟิล์มพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนด

และภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$  ที่อุณหภูมิ  $38^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 90% โดยวิธี Transfer time method โดยใช้เครื่อง Lyssy water permeability ตัดชิ้นงานให้มีขนาดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6×6 cm<sup>2</sup> เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E) Plastic-film and Sheeting-determination of Water vapor transmission rate-part 1: Humidity detection sensor method ตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E)

### 3.3.12 การทดสอบมุมสัมผัส

การทดสอบหยดน้ำที่พื้นผิวฟิล์ม โดยใช้ฟิล์มตัวอย่างขนาด 20 x 40 mm<sup>2</sup> และการทดสอบหยดน้ำลงบนผิวของพื้นที่ตัดขวางของชิ้นงาน โดยนำพอลิเมอร์ผสมมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดเป็นแผ่นซีท สภาวะเครื่องกดอัดตาม 3.3.4 แม่พิมพ์ขนาด 40 x 40 x 6 mm<sup>2</sup> ตัดชิ้นงานทำการทดสอบผิวของพื้นที่ตัดขวางของฟิล์ม ใช้ปริมาตรหยดน้ำ 2  $\mu$ L ทำการบันทึกค่ามุมสัมผัสเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที วัดมุมที่หยดน้ำกระทำกับผิววัสดุด้วยเครื่อง Contact angle system OCA ตามมาตรฐาน ASTM D 5946-09 [31]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักของ EVOH ที่ได้จากไฮโดรไลซิสสมบูรณ์} &= \text{น้ำหนักของเอทิลีน} + \text{น้ำหนักของ VOH} \\
 &= 72.5 + 14.0668 \\
 &= 86.5668 \text{ g}
 \end{aligned}$$

สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ VOH ใน EVOH ได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ VOH} &= \frac{\text{น้ำหนักของ VOH} \times 100}{\text{น้ำหนักของ EVOH}} \\
 &= \frac{14.0668}{86.5668} \times 100 \\
 &= 16.2\%
 \end{aligned}$$

การกำหนดชื่อย่อ

EA(A) คือ EVA ที่มีปริมาณ VA เท่ากับ 27.5%

EO(A) คือ EVOH ที่มี VOH เท่ากับ 16.2% (จากการไฮโดรไลซิส EVA ที่มีปริมาณ VA เท่ากับ 27.5%)

EVA ที่มีปริมาณ VA เท่ากับ 18.0% โดยน้ำหนัก

EVA 100 g มี VA เท่ากับ 18 g และมีเอทิลีน เท่ากับ 82 g

$$\text{VA } 18 \text{ g คิดเป็น VA} = \frac{18 \text{ g}}{86 \text{ g/mol}} = 0.2093 \text{ mol}$$

จากสมการ จำนวนโมลของ VA = จำนวนโมลของ VOH = 0.2093 mol

จะได้น้ำหนักของ VOH = 0.2093 mol  $\times$  44 g/mol = 9.2092 g

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักของ EVOH ที่ได้จากไฮโดรไลซิสสมบูรณ์} &= \text{น้ำหนักของเอทิลีน} + \text{น้ำหนักของ VOH} \\
 &= 72.5 + 9.2092 \\
 &= 91.2092 \text{ g}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ VOH ใน EVOH ได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ VOH} &= \frac{\text{น้ำหนักของ VOH}}{\text{น้ำหนักของ EVOH}} \times 100 \\ &= \frac{9.2092}{91.2092} \times 100 \\ &= 10.0\% \end{aligned}$$

การกำหนดชื่อย่อ

EA(B) คือ EVA ที่มีปริมาณ VA เท่ากับ 18.0%

EO(B) คือ EVOH ที่มี VOH เท่ากับ 10.0% (จากการไฮโดรไลซิส EVA ที่มีปริมาณ VA เท่ากับ 18.0%)

ในการเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EVA และ LDPE/EVOH และมีการเติมซี-ไอโกลด์เอ 20% โดยน้ำหนัก นำเสนอโดยใช้อักษรย่อเพื่อแสดงแทนสูตรต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรและสูตรผสมทั้งหมด

ลำดับ	อักษรย่อแทนสูตร	อัตราส่วนของ LDPE/EVA หรือ LDPE/EVOH (โดยน้ำหนัก)	หมู่ฟังก์ชันจาก EVA หรือ EVOH (%โดยน้ำหนักของโคพอลิเมอร์)	Zeolite A (%โดยน้ำหนักสูตรผสม)
1	L100	100/0	-	-
2	L90EA10(A)	90/10	VA 27.5%	-
3	L85EA15(B)	85/15	VA 18.0%	-
4	L90EO10(A)	90/10	VOH 16.2%	-
5	L85EO15(B)	85/15	VOH 10.0%	-
6	L85EO15(A)	85/15	VOH 16.2%	-
7	L80EO20(A)	80/20	VOH 16.2%	-
8	L90EO10(A)Z20	90/10	VOH 16.2%	20
9	L85EO15(B)Z20	85/15	VOH 10.0%	20

**หมายเหตุ**

สูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 นำ EVA และ EVOH ที่สังเคราะห์ได้มาทำเป็นพอลิเมอร์ผสมกับ LDPE โดยควบคุมจำนวนโมลของหมู่ฟังก์ชัน VA หรือ VOH ในแต่ละสูตรให้ใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.03 โมลใน 100 g ของพอลิเมอร์ผสม) ใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 4.1

สูตรที่ 1, 4, 6 และ 7 คูผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH โดยใช้ EO(A)

สูตรที่ 8 และ 9 คูผลของการใช้ซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก

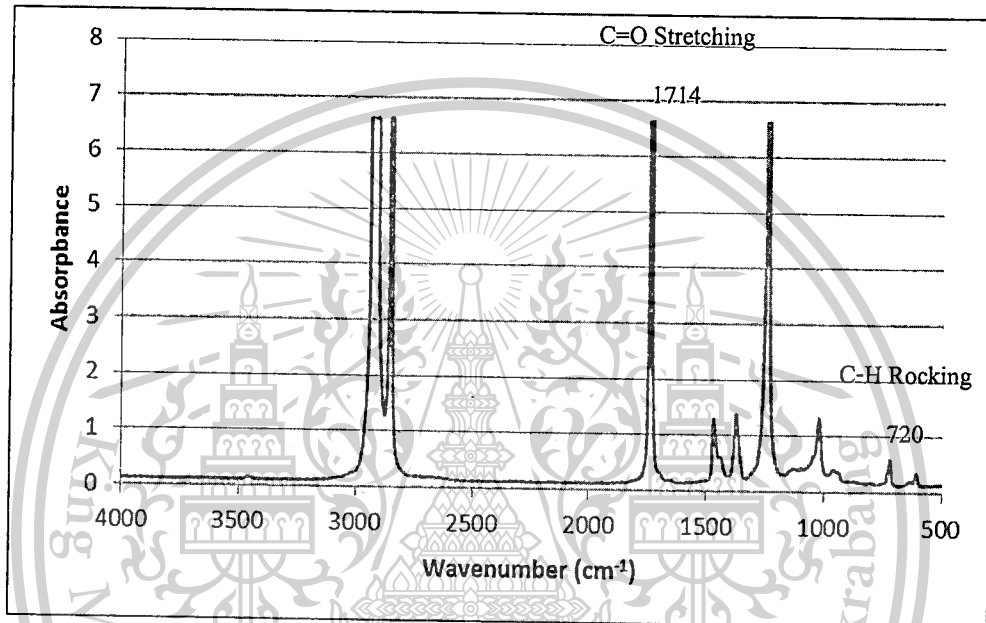
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

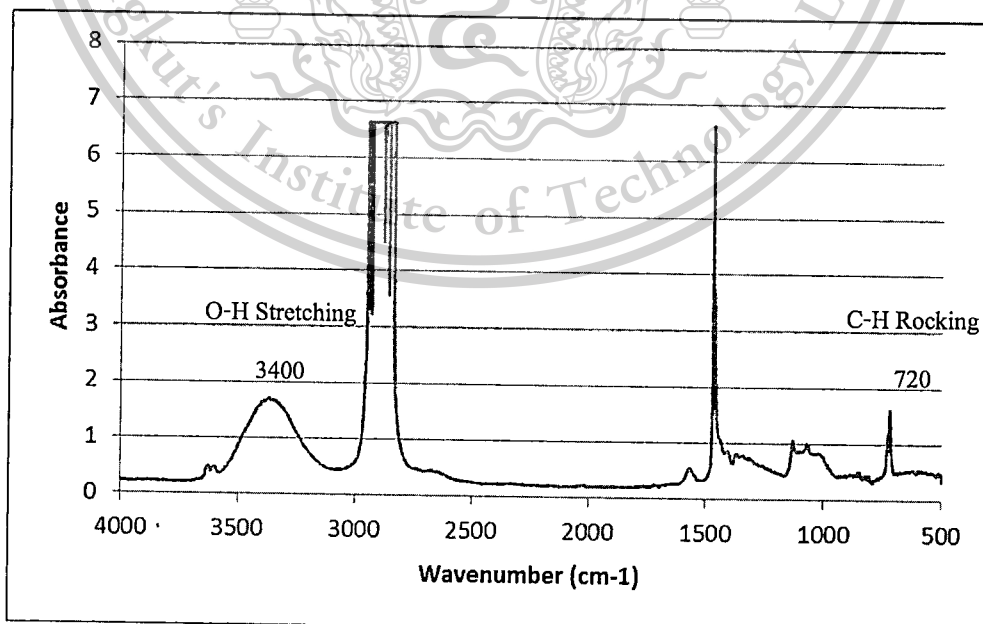
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม EVOH

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของฟิล์ม EVOH ที่ได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส EVA ด้วยการศึกษามาจาก FT-IR จากภาพที่ 4.1 (a) และ (c) เป็นสเปกตรัมของ EVA ที่มี VA 27.5% และ 18.0% ตามลำดับ โดย EVA จะมีหมู่ฟังก์ชันของ C=O Stretching ที่  $1714\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเมื่อทำการไฮโดรไลซิส EVA จะได้ EVOH สังเกตพบหมู่ฟังก์ชันของ O-H Stretching ที่ประมาณ  $3600\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$  และการหายไปของหมู่ C=O Stretching ที่ตำแหน่ง  $1714\text{ cm}^{-1}$  ในรูป (b) และ (d)



(a) EA(A)

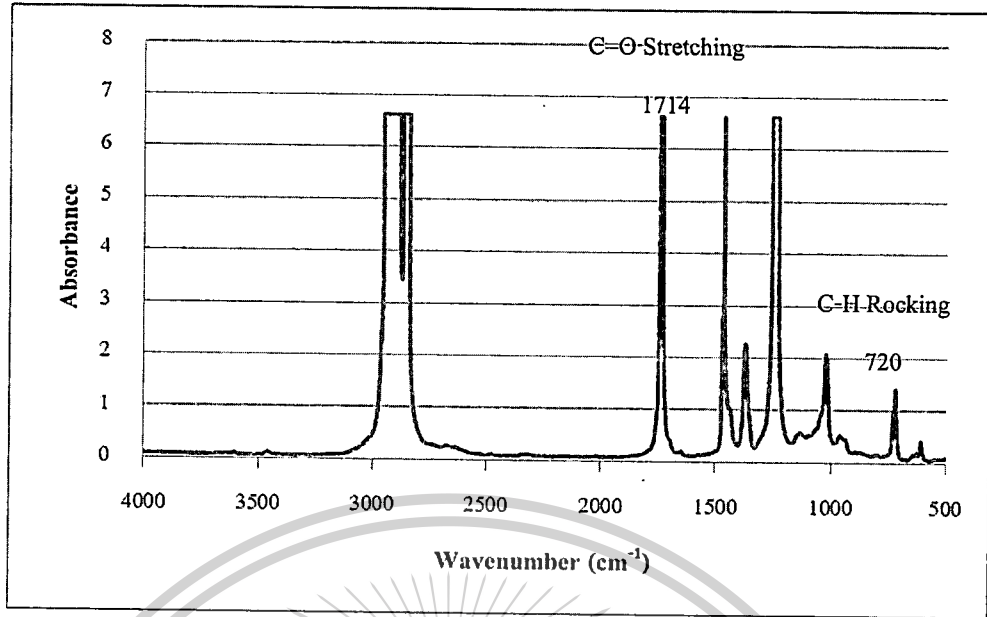


(b) EO(A)

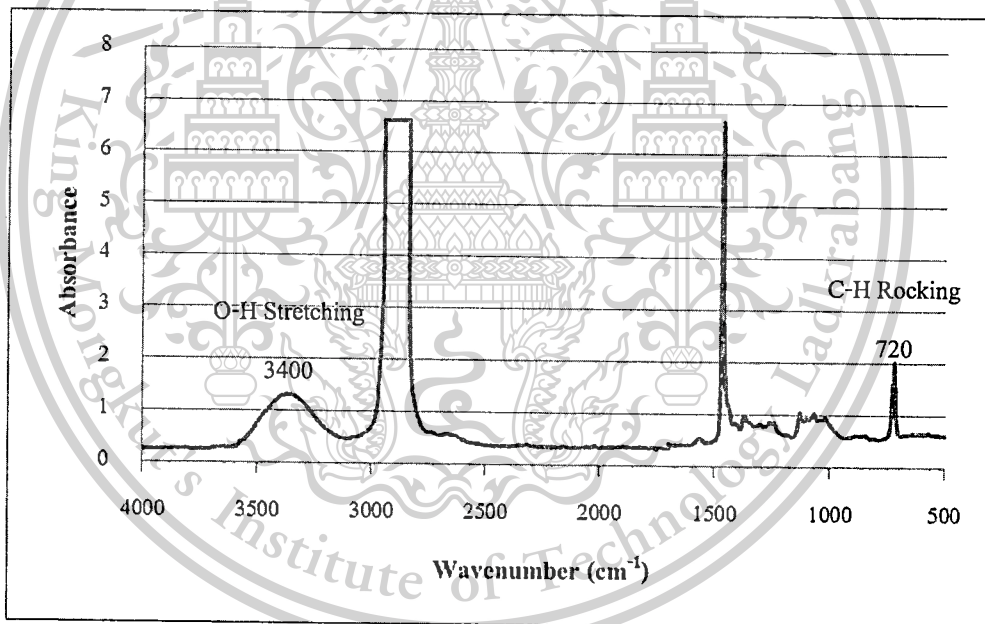
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(c) EA(B)



(d) EO(B)

ภาพที่ 4.1 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR

จากภาพที่ 4.1 สามารถคำนวณหาดัชนีคาร์บอนิล (CI) ซึ่งใช้แสดงการมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชัน

ใน EVA จาก อัตราส่วนการดูดกลืนแสง (Absorbance) จากค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C=O

Stretching ที่  $1714 \text{ cm}^{-1}$  ต่อกับค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H Rocking ที่  $720 \text{ cm}^{-1}$  และคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของหมู่ O-H Stretching ที่ประมาณ  $3400\text{ cm}^{-1}$  ต่อค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H Rocking ที่  $720\text{ cm}^{-1}$  แสดงค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีคาร์บอนิลและไฮดรอกซิลของ EVA และ EVOH

ตัวอย่าง	ปริมาณ VA ในEVA (%wt)	ปริมาณ VOH ใน EVOH (%wt)	ดัชนีคาร์บอนิล	ดัชนีไฮดรอกซิล
EA(A)	27.5%	-	2.05	0
EO(A)	-	16.2%	0	1.04
EA(B)	18.0%	-	1.99	0
EO(B)	-	10.0%	0	0.75

EVA (EA) ได้ถูกสังเคราะห์ไปเป็น EVOH (EO) เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้สมบูรณ์ แสดงได้จาก EVOH ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีค่าดัชนีคาร์บอนิลเท่ากับศูนย์ แสดงว่าหมู่ VA ได้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ VOH ได้หมด และค่าดัชนีไฮดรอกซิลที่แสดงในตารางที่ 4.2 แสดงการมีอยู่ของหมู่ ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของ EVOH การสังเคราะห์ EVOH จาก EVA ที่มีหมู่ฟังก์ชัน VA มากกว่า (EA(A)) จะได้ EVOH ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3 ผลการทดสอบฟิล์มตัวอย่าง

#### 4.3.1 ความหนาของฟิล์มตัวอย่าง

จากการวัดความหนาของฟิล์มพบว่ามีความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50-66  $\mu\text{m}$

ตารางที่ 4.3 ความหนาของฟิล์ม

สูตร	ความหนาเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
L100	50.00 $\pm$ 6.49
L90EA10(A)	52.00 $\pm$ 4.10
L85EA15(B)	53.50 $\pm$ 4.89
L90EO10(A)	57.00 $\pm$ 8.65
L85EO15(B)	51.00 $\pm$ 6.41
L85EO15(A)	58.50 $\pm$ 9.33
L80EO20(A)	61.50 $\pm$ 5.87
L90EO10(A)Z20	64.50 $\pm$ 6.86
L85EO15(B)Z20	66.00 $\pm$ 8.21

#### 4.3.2 การศึกษาการกระจายตัวของ EVA และ EVOH ในฟิล์มตัวอย่าง

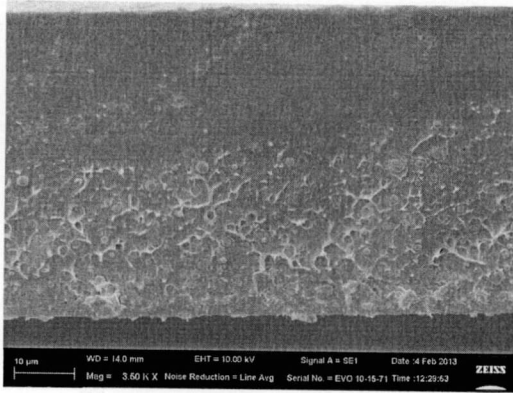
##### 4.3.2.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน

การศึกษาการกระจายตัวของ EVA และ EVOH ในฟิล์ม LDPE/EVA และ LDPE/EVOH จากภาพที่ 4.2 แสดงพื้นที่ตัดขวางของฟิล์มสูตร LDPE/EVA และ LDPE/EVOH ก่อนการสกัด จะเห็นว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVA (ภาพที่ 4.2(a)) และ LDPE/EVOH (ภาพที่ 4.2(b)) ไม่มีช่องว่างเกิดขึ้น ไม่มีรอยต่อระหว่างภูมิภาคกระจายและภูมิภาคต่อเนื่องให้เห็น การสกัดเพื่อดูการกระจายตัวของภูมิภาคกระจายคือ EVA และ EVOH ในฟิล์ม ทำให้เกิดช่องว่างที่แสดงในภาพที่ 4.2 (c), (d), (e) และ(f) ซึ่งบริเวณที่เคยมีภูมิภาคของ EVA และ EVOH อยู่ พบว่าทุกสูตรมีการกระจายตัวของ EVA หรือ EVOH ดี จะพบว่าฟิล์มที่มีอัตราส่วนของ EVA หรือ EVOH เท่ากัน จะมีปริมาณของช่องว่างใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนหมู่ฟังก์ชันของ EVA หรือ EVOH ไปเป็น

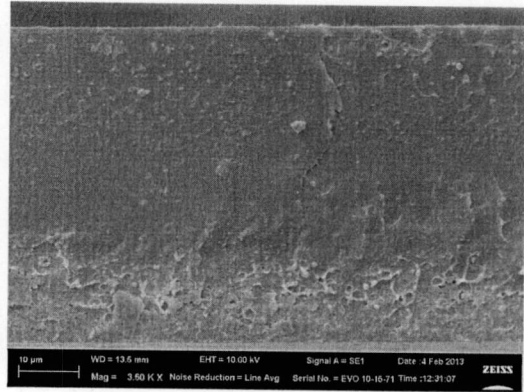
15% โดยน้ำหนัก พบว่าจะมีปริมาณของช่องว่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



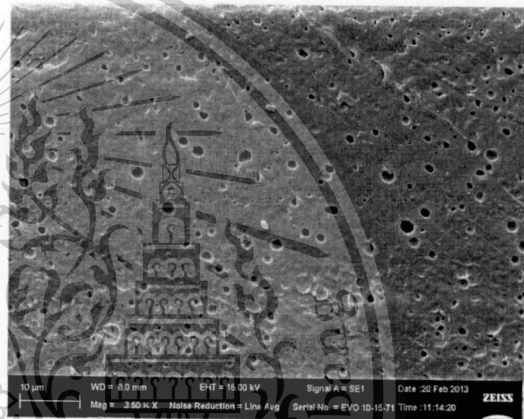
(a) LDPE/EVA ก่อนสกัด



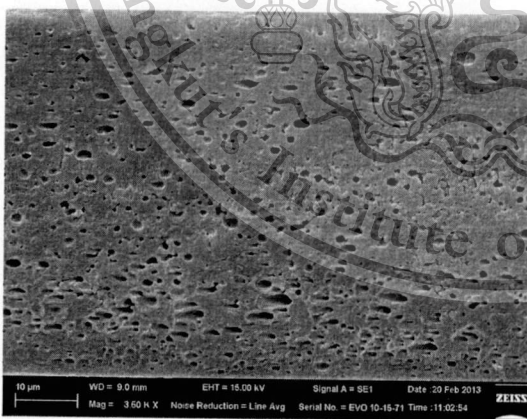
(b) LDPE/EVOH ก่อนสกัด



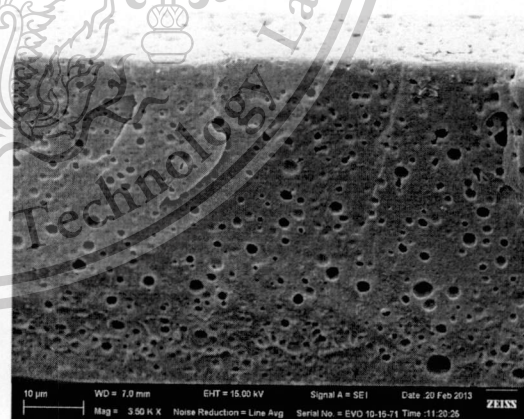
(c) L90EA10(A) หลังสกัด



(d) L90EO10(A) หลังสกัด



(e) L85EA15(B) หลังสกัด



(f) L85EO15(B) หลังสกัด

#### ภาพที่ 4.2 การกระจายตัวของ EVA หรือ EVOH ใน LDPE

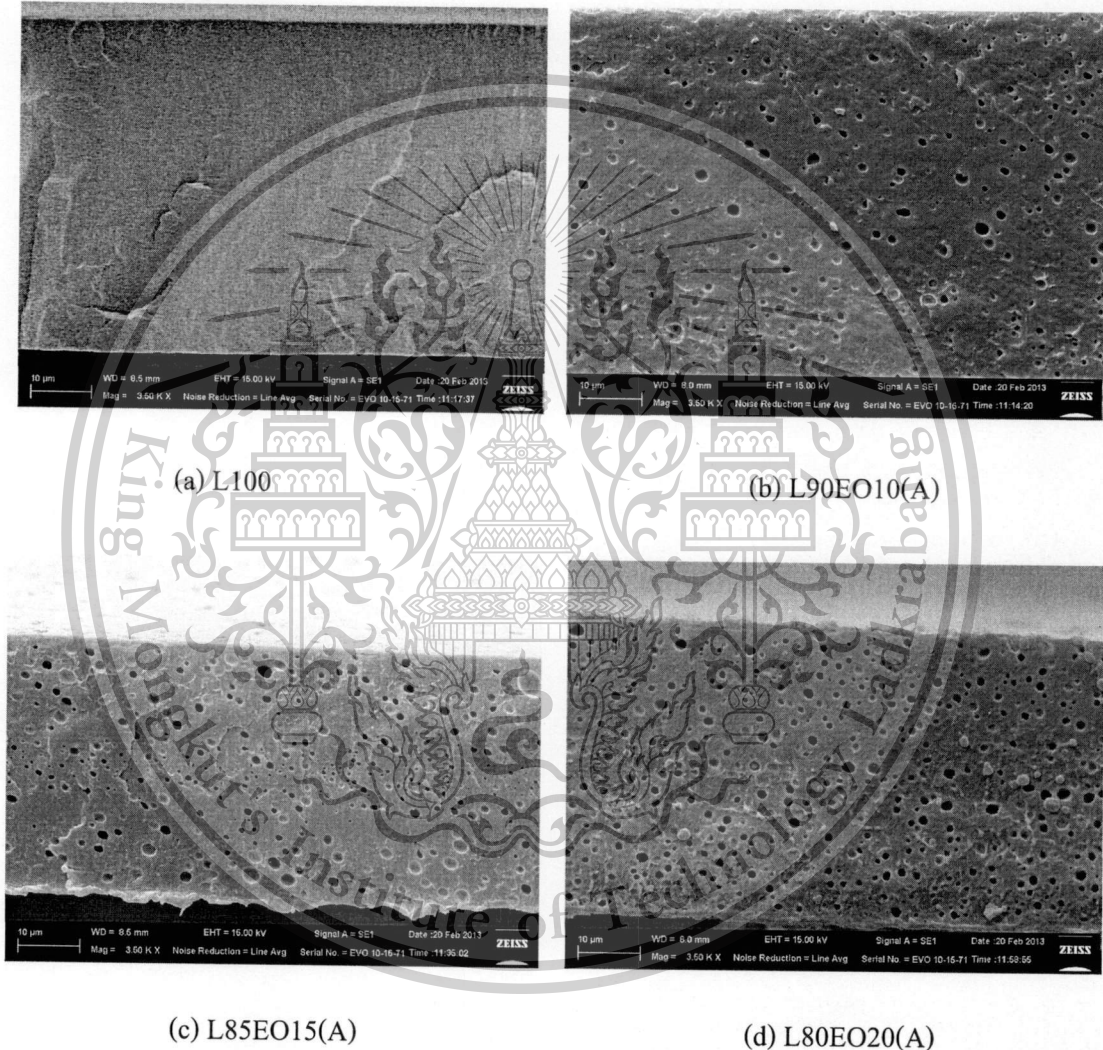
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางวิชาการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของพันศิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณ EVOH ในฟิล์ม LDPE

การศึกษาการกระจายตัวของ EVOH ใน LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยช่องว่างที่แสดงในภาพที่ 4.3 คือบริเวณที่มีวัฏภาคของ EVOH อยู่ ซึ่งพบว่าทุกสูตรมีการกระจายตัวของ EVOH ดี และเมื่อมีปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้น ปริมาณช่องว่างในฟิล์มมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าจำนวนวัฏภาคของ EVOH มีมากขึ้น



ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวของ EVOH ใน LDPE ของพื้นผิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า) ของฟิล์ม LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆที่มีการสกัดวัฏภาคของ EVOH ออก

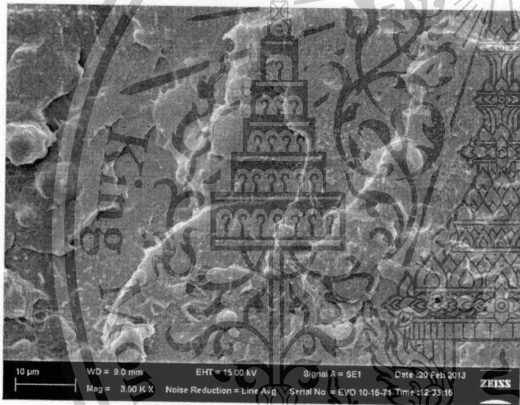
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.2.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอในฟิล์มตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.4 (a) และ (c) แสดงรูปก่อนสกัด EVOH สังเกตการแตกตัวและการกระจายตัวของซีโอไลต์เอได้ยาก เนื่องจากซีโอไลต์เอมีการฝังตัวเข้าไปอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ รูปหลังสกัด EVOH พบว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวดี แสดงว่า EVOH มีการกระจายตัวดี และช่องว่างที่เหลืออยู่มีขนาดใหญ่ประมาณ  $3.5 \mu\text{m}$  และมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างในกรณีที่ไม่มีซีโอไลต์เอ ในภาพที่ 4.3 (b) และ (c) แสดงว่าการแตกตัวของซีโอไลต์เออาจจะยังไม่คืนัก อนุภาคของซีโอไลต์เอรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและหลุดออกไปพร้อมกับ EVOH ในระหว่างการสกัด เนื่องจากทำการผสมผ่านสูตรเข้มข้นของ EVOH และซีโอไลต์เอ โดยทางทฤษฎี EVOH ซึ่งมีขั้วสูงเหมือนซีโอไลต์เอ ทำให้ EVOH ทำหน้าที่คล้ายกาวยึดติดกับซีโอไลต์เอ จึงเห็นซีโอไลต์เออยู่เป็นอนุภาคเดี่ยวและบางส่วนรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนอยู่ในวัฏภาคของ EVOH มากกว่าที่จะไปกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ LDPE



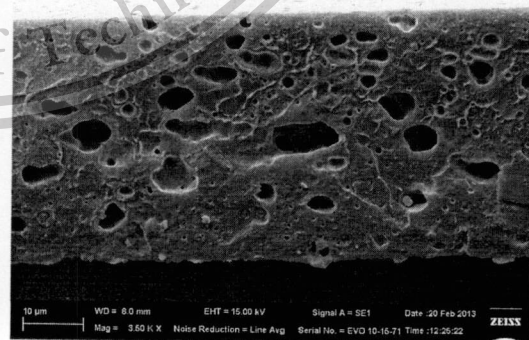
(a) L90EO10(A)Z20 ก่อนสกัด



(b) L90EO10(A)Z20 หลังสกัด



(c) L85EO15(B)Z20 ก่อนสกัด



(d) L85EO15(B)Z20 หลังสกัด

#### ภาพที่ 4.4 พื้นผิวที่แตกหัก (กำลังขยาย 3500 เท่า) ของฟิล์มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยผู้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.3 ผลการตรวจสอบปริมาณของซีโอไลต์เอในฟิล์มตัวอย่าง

ปริมาณที่แท้จริงของซีโอไลต์เอในฟิล์มแสดงในตารางที่ 4.4 เนื่องจากธรรมชาติของซีโอไลต์เอมีการฟุ้งกระจายง่าย ในขั้นตอนการผสมได้ทำการผสมผ่านสูตรเข้มข้นโดยใช้เครื่องผสมระบบปิด เพื่อช่วยในการกระจายตัวของซีโอไลต์เอ พบว่าปริมาณซีโอไลต์เอในฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของซีโอไลต์เอในฟิล์ม

สูตรผสม	ปริมาณของซีโอไลต์เอที่ ต้องการ (%wt)	ปริมาณของซีโอไลต์เอที่พบ (%wt)
L90EO10(A)Z20	20	21
L85EO15(B)Z20	20	21

#### 4.3.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ พบว่า LDPE, EVA และ EVOH เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก โดยที่ LDPE และ EVOH มีอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) อุณหภูมิการเกิดผลึก ( $T_c$ ) และมีเปอร์เซ็นต์ความ เป็นผลึกใกล้เคียงกัน ส่วน EVA มี  $T_m$  และ  $T_c$  ต่ำกว่า LDPE และ EVOH เพราะหมู่ VA ใน EVA มีความเกะกะ ทำให้สายโซ่หลักของ EVA อยู่ห่างกันจึงเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า และจัดเรียงตัวเป็นระเบียบยากกว่าความเป็นผลึกจึงต่ำกว่า ในกรณีฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVA พบ  $T_m$  ของ LDPE แต่ไม่พบ  $T_m$  ของ EVA แสดงว่า EVA ไม่สามารถเกิดผลึกได้ EVA แสดงความเป็นอสัณฐาน และพบว่าฟิล์ม LDPE/EVA ทั้งสองสูตรมีความเป็นผลึกใกล้เคียงกัน เพราะ LDPE กับ EVA เป็น Immiscible blend ซึ่ง EVA จะไม่เข้าไปรบกวนการเกิดผลึกของ LDPE ดังนั้น ผลการทดลองแสดง  $T_m$ ,  $T_c$  และความเป็นผลึกส่วนของ LDPE ซึ่งมีความเป็นผลึกในช่วง 23-29% แต่ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVOH พบว่าผลึกที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลึกของทั้ง LDPE และ EVOH มีความเป็นผลึกในช่วง 24-31% โดยภาพรวมแล้วพบว่าความเป็นผลึกของทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการเติมซีโอไลต์เอไม่ได้ไปรบกวนการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ในฟิล์มสูตรผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5  $T_m$ ,  $T_c$  และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์

สารตัวอย่าง	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ความเป็นผลึก (%)
LDPE	112.5	94.6	32%
EA(A)	58.0	48.0	20%
EA(B)	91.1	62.2	10%
EO(A)	111.7	92.8	30%
EO(B)	111.1	93.0	24%

ตารางที่ 4.6  $T_m$ ,  $T_c$  และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ในฟิล์มสูตรต่างๆ

สูตร	พอลิเมอร์ที่เกิดผลึก	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ความเป็นผลึก (%)
L100	LDPE	112.7	94.9	29%
L90EA10(A)		114.0	93.6	26%
L85EA15(B)		113.8	94.2	23%
L90EO10(A)		117.0	93.5	31%
L85EO15(B)	LDPE และ EVOH	112.1	93.0	26%
L85EO15(A)		113.4	94.4	29%
L80EO20(A)		114.3	94.9	24%
L90EO10(A)Z20		113.3	94.4	24%
L85EO15(B)Z20		112.1	94.3	25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

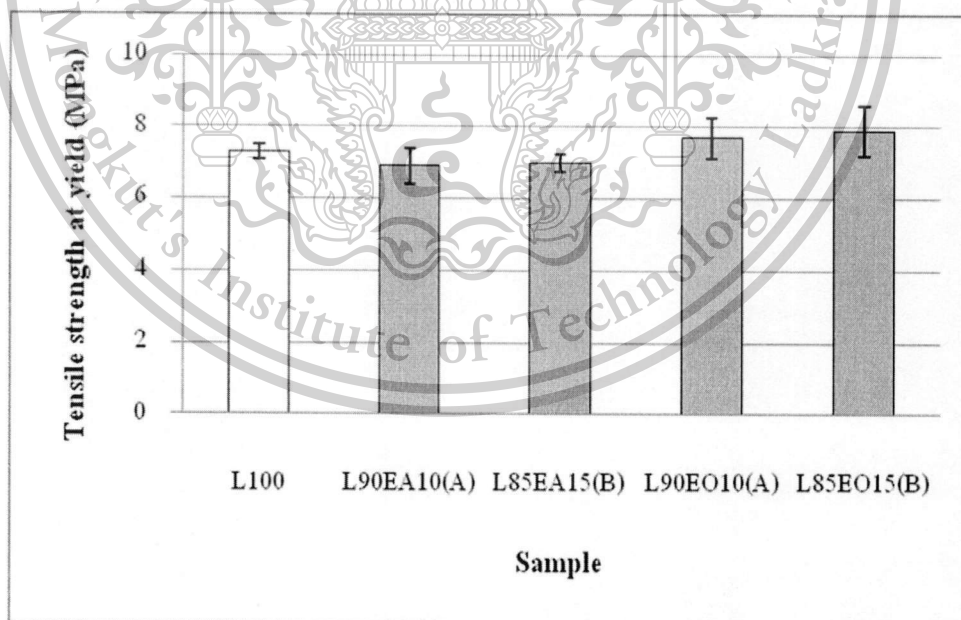
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

#### 4.3.5.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มดังภาพที่ 4.5 พบว่าฟิล์มทุกสูตรมีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก และความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบ L90EA10(A) และ L85EA15(B) ซึ่งเป็นการใช้ EVA ที่มีปริมาณ VA ที่แตกต่างกันแต่ควบคุมจำนวนโมลของหมู่ฟังก์ชันที่มีซ้ำให้ใกล้เคียงกัน พบว่าสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน แสดงว่าเกรดของ EVA ที่ใช้ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม และเมื่อเปรียบเทียบฟิล์ม LDPE, LDPE/EVA และ LDPE/EVOH จะพบว่าฟิล์ม LDPE/EVA มีค่าการดึงยืด ณ จุดคราก และการดึงยืด ณ จุดขาดมากกว่าฟิล์ม LDPE/EVOH เนื่องจาก EVA มีสมบัติคล้ายยางมีความยืดหยุ่นทำให้เกิดการเสียรูปได้ง่าย และนอกจากนี้ EVA ยังแสดงความเป็นอสัณฐานใน LDPE/EVA ซึ่งยืนยันได้จากผล DSC ฟิล์ม LDPE/EVA จึงมีค่า Young's Modulus ต่ำกว่า LDPE และ LDPE/EVOH ส่วนฟิล์ม LDPE/EVOH พบว่ามีค่า Young's Modulus สูงที่สุด เนื่องจาก EVOH มี VOH ในโครงสร้างซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ และ LDPE/EVOH สามารถเกิดผลึกได้ทั้งในส่วนของ LDPE และ EVOH ทำให้ฟิล์ม LDPE/EVOH มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดน้อยที่สุด

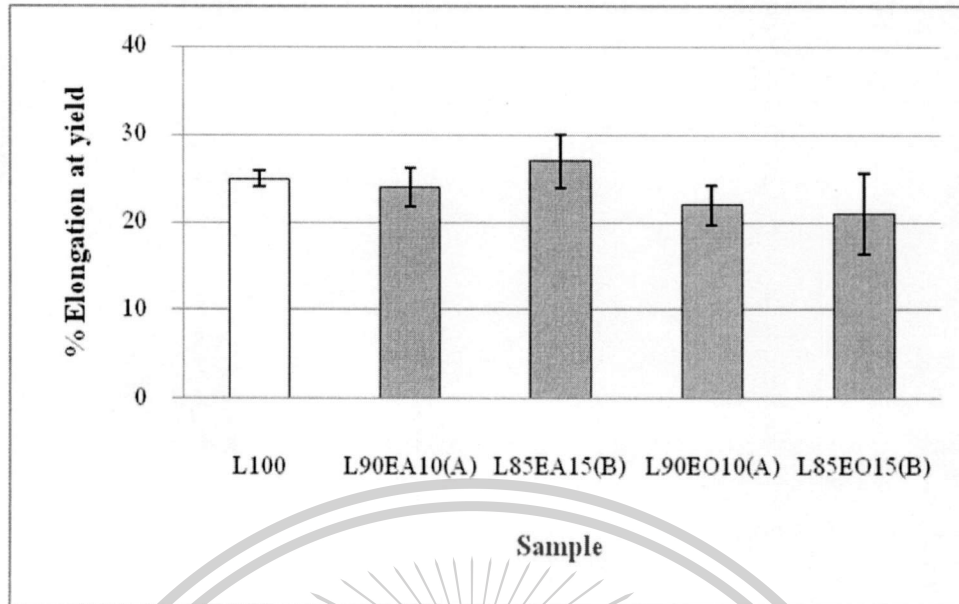


(a) ความแข็งแรง ณ จุดคราก

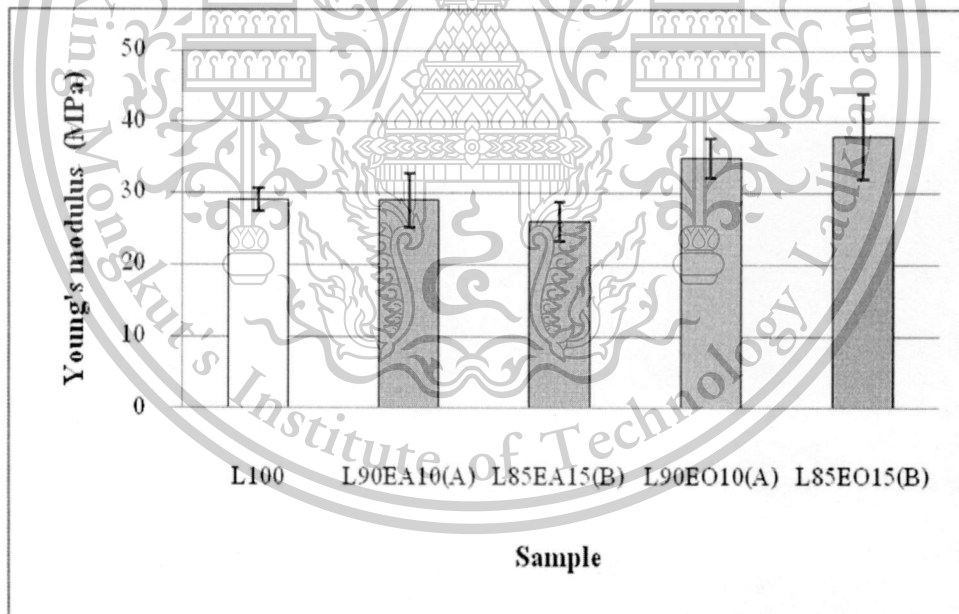
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(b) การดึงยืด ณ จุดคราก

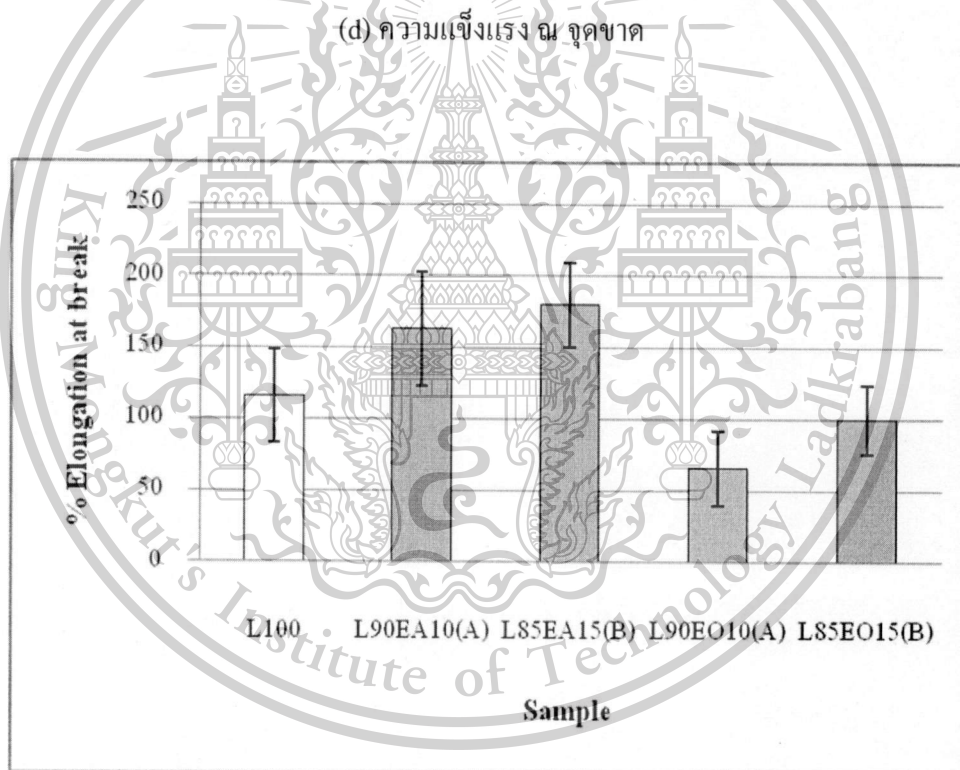
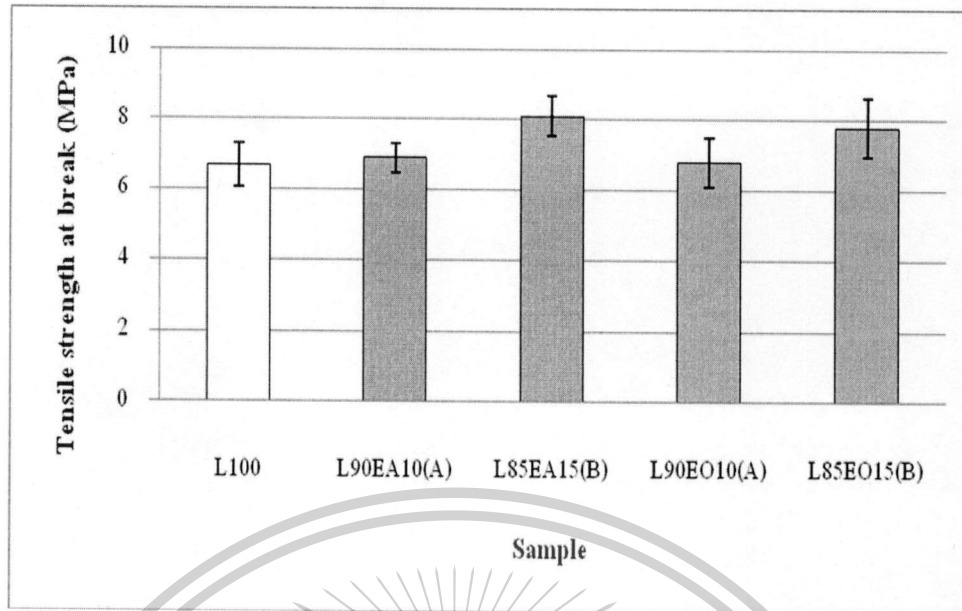


(c) ยั่งมอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(e) การดึงยืด ณ จุดขาด

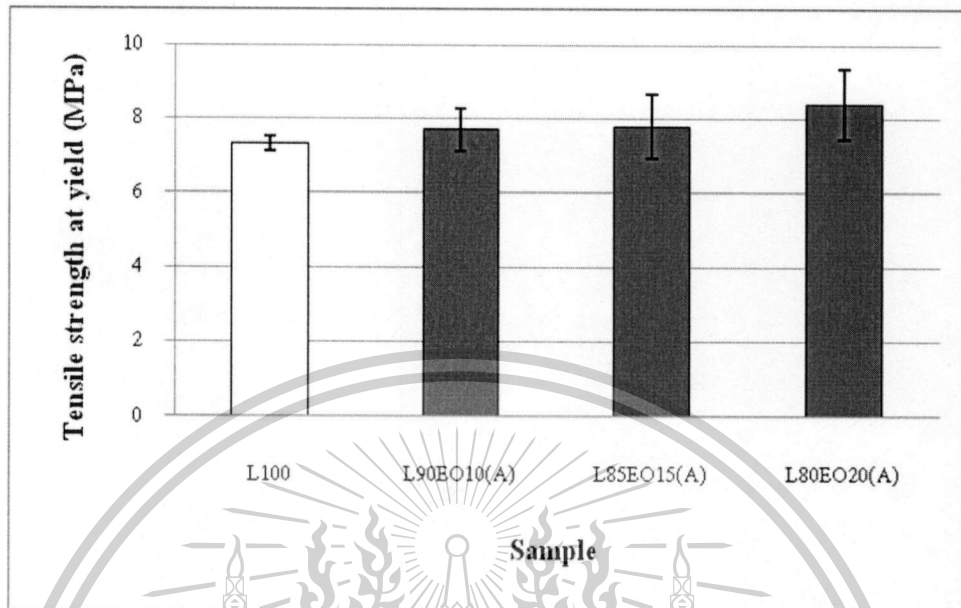
ภาพที่ 4.5 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVA และ LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

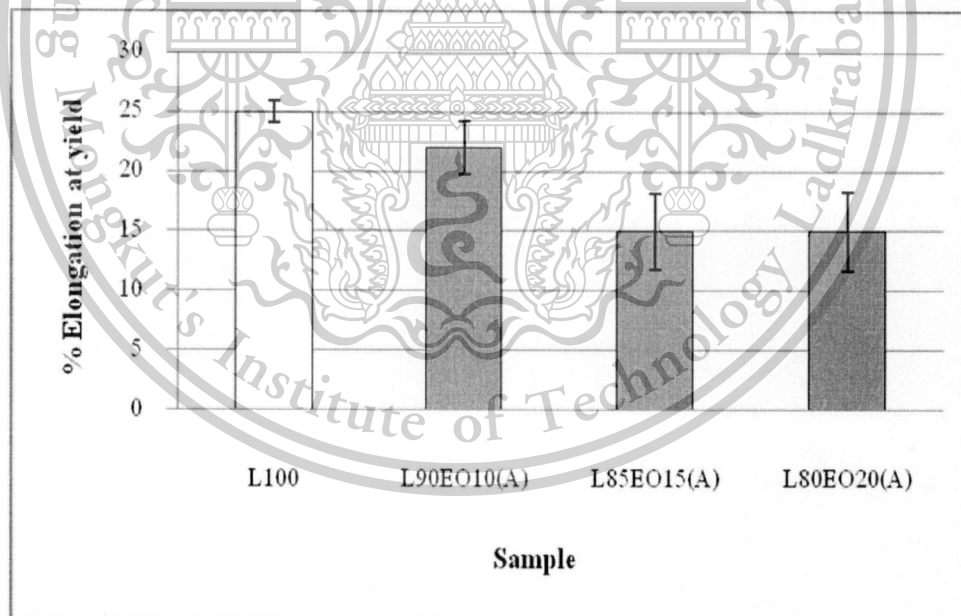
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.5.2 การศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH



(a) ความแข็งแรง ณ จุดคราก

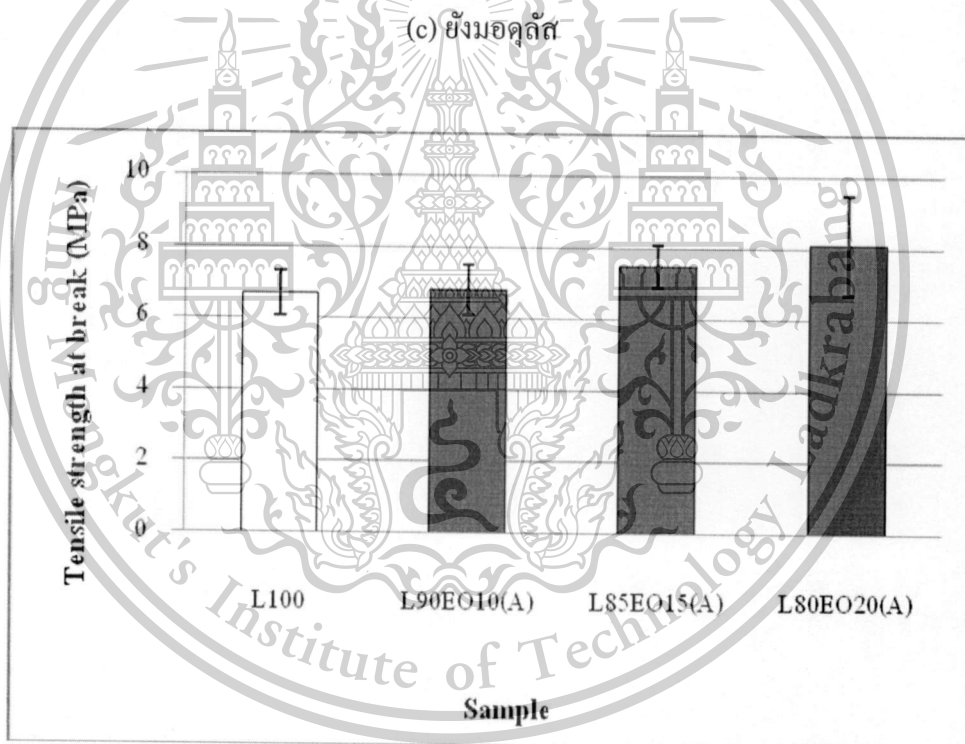
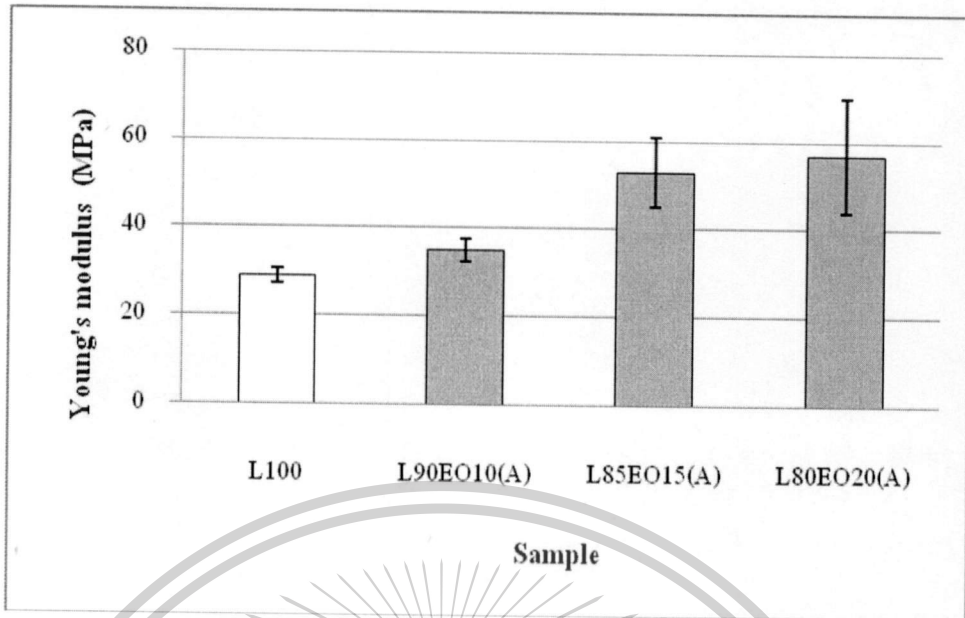


(b) การดัดยัด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

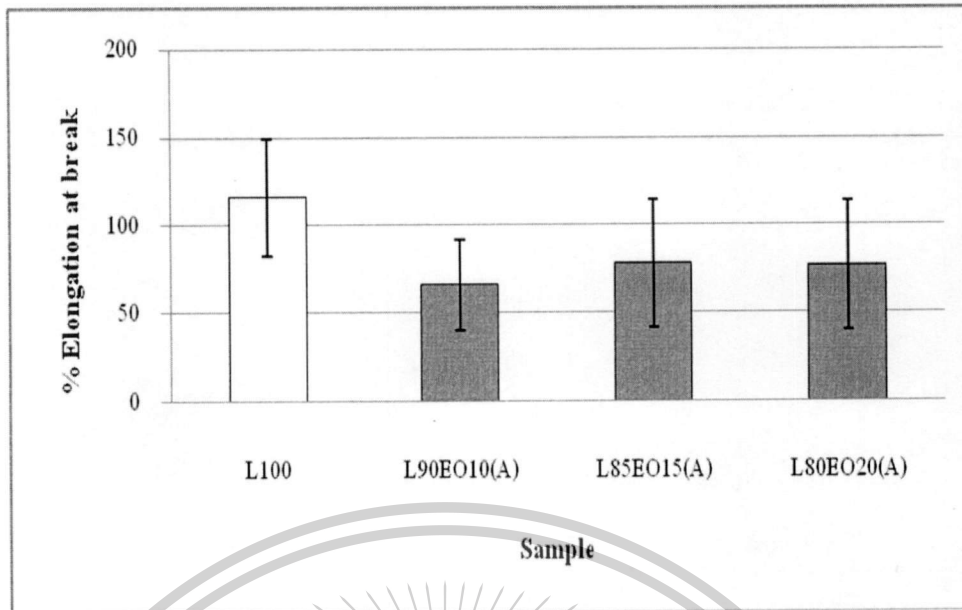


(d) ความแข็งแรง ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(e) การดึงยืด ณ จุดขาด

ภาพที่ 4.6 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 4.6 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก และความแข็งแรง ณ จุดขาดของฟิล์ม LDPE/EVOH มีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์ม LDPE แต่ค่า Young's Modulus ของ LDPE/EVOH มีสูงกว่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่ม EVOH เป็นการเพิ่มปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วเข้าไป ซึ่ง EVOH มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้ฟิล์ม เสียรูปได้ยากขึ้น ส่งผลให้มีค่าการดึงยืด ณ จุดคราก และการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง

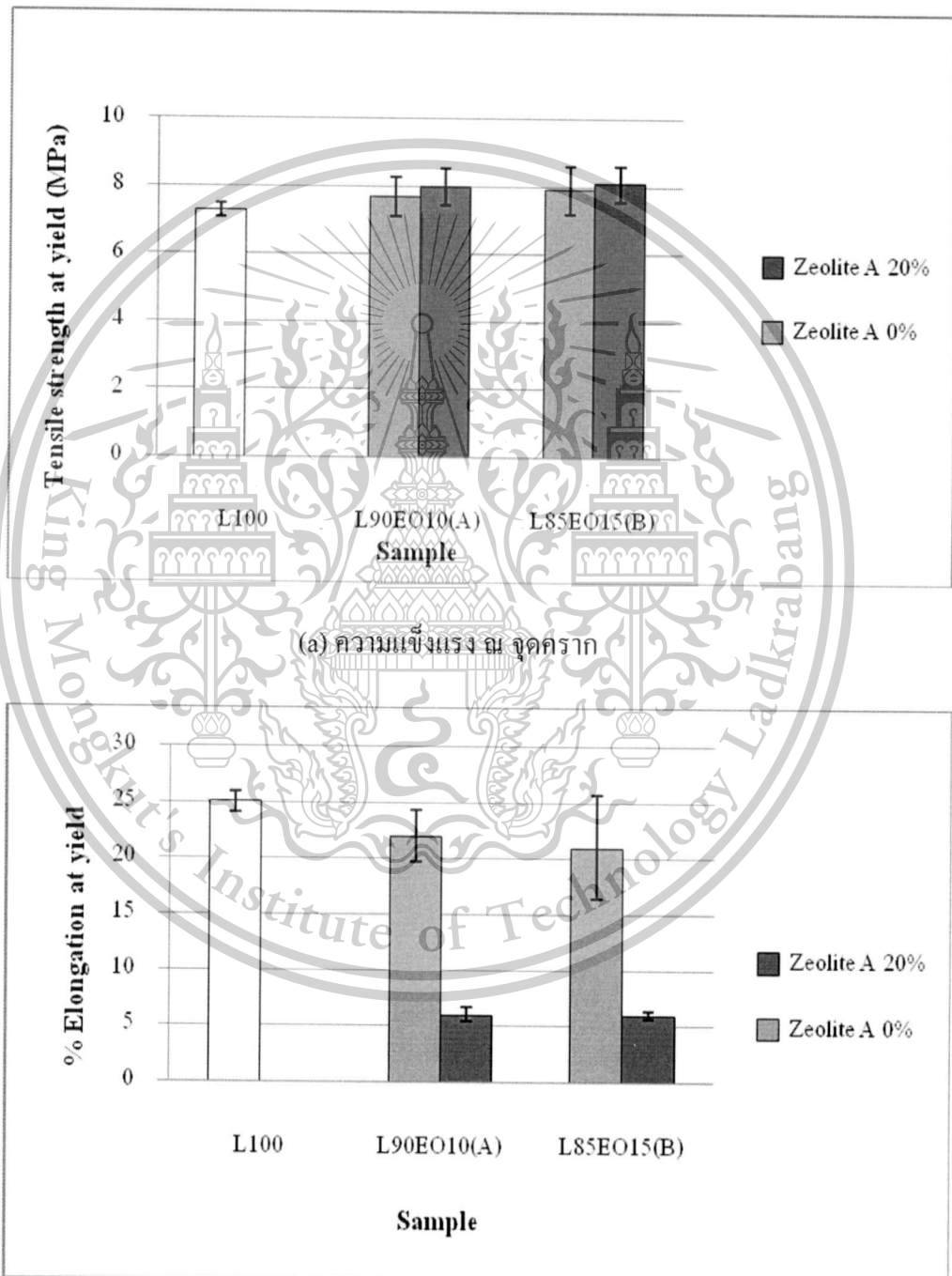
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.5.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ

ในงานวิจัยนี้เลือกเฉพาะสูตรพอลิเมอร์ผสม L90EO10(A) กับ L85EO15(B) มาผสมกับซีโอไลต์เอ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำมาทดสอบสมบัติการรับแรงดึง แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.7

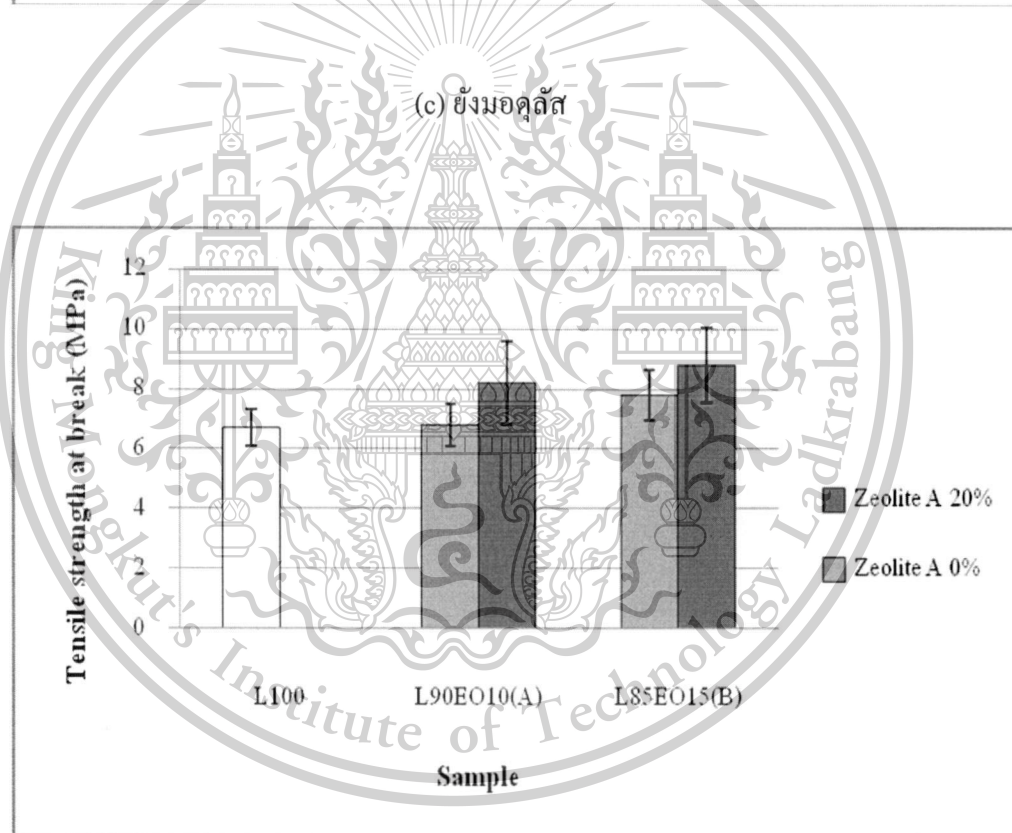
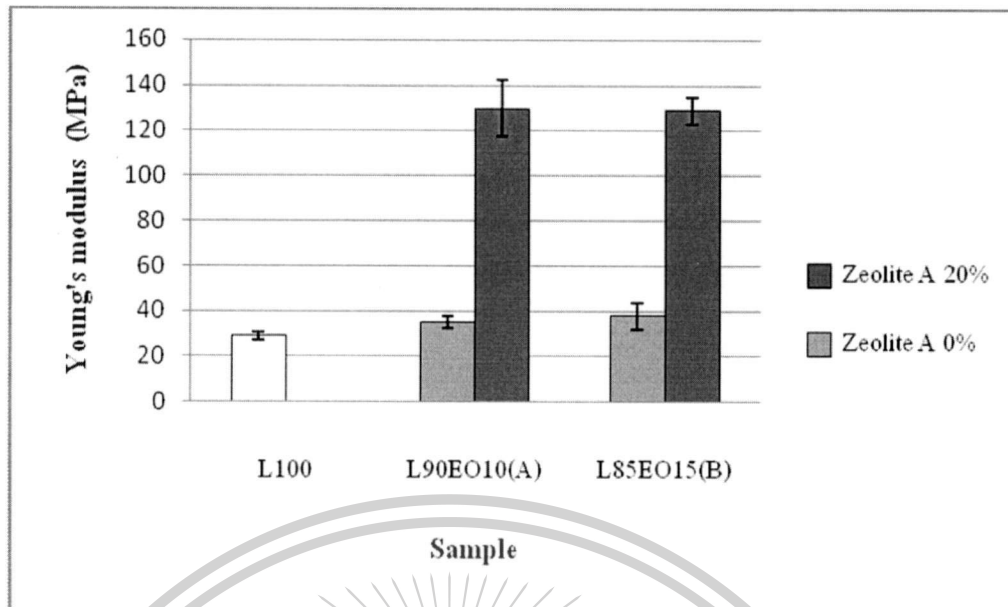


#### (b) การดึงยืด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

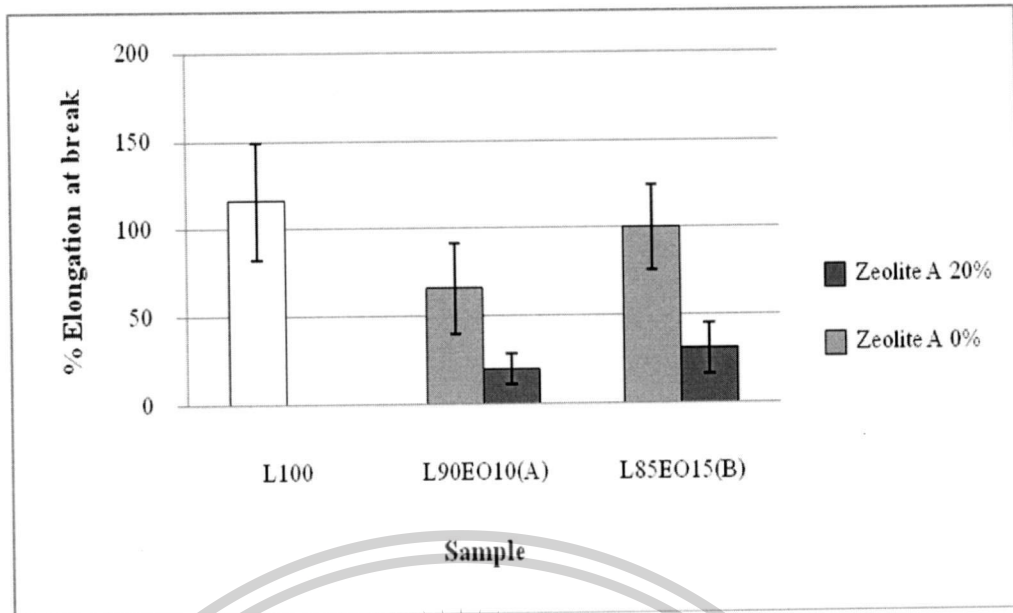


(d) ความแข็งแรง ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(e) การดึงยืด ณ จุดขาด

ภาพที่ 4.7 สมบัติการรับแรงดึงของฟิล์ม LDPE/EVOH/Zeolite A

จากภาพที่ 4.7 การเติมซีโอไลต์เข้าไปในชั้นงานทำให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก และความแข็งแรง ณ จุดขาดใกล้เคียงกัน แต่การดึงยืด ณ จุดคราก และการดึงยืด ณ จุดขาดจะมีค่าลดลง และมียังมีมอดูลัสสูงขึ้น แสดงว่าวัสดุเสียรูปได้ยากขึ้น เนื่องจากความมีขั้วที่ค่อนข้างสูงของ EVOH ทำให้มีอันตรกิริยาที่ติดกับซีโอไลต์เอ ซึ่งสามารถดูได้จาก SEM ในภาพที่ 4.4 ซึ่งพบว่าซีโอไลต์เอมีการฝังตัวในพอลิเมอร์และไม่มีรอยต่อระหว่างภูมิภาค และเมื่อทำการสกัดภูมิภาคของ EVOH ออกพบว่าซีโอไลต์เอหลุดออกไปพร้อมกับ EVOH เกือบทั้งหมด ซึ่งอันตรกิริยาที่ติดนี้ทำให้ความแข็งแรงโดยรวมของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งสังเกตได้จากค่ายังมีมอดูลัสที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE/EVOH ที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.6 การวัดค่ามุมสัมผัส

เนื่องจากการทดลองไม่สามารถวัดความมีขี้วของ LDPE/EVA และ LDPE/EVOH ได้โดยตรง ดังนั้นจึงทำการวัดความมีขี้วทางอ้อม โดยการวัดค่ามุมสัมผัส ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการเปียก (Wettability) ของพื้นผิววัสดุ วัสดุที่มีมุมสัมผัสกับน้ำน้อยกว่า แสดงว่ามีความสามารถในการเปียกที่พื้นผิวได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่ามุมสัมผัสมาก ผลการทดสอบวัดมุมสัมผัสน้ำระหว่างผิวของตัวอย่างสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า สูตรที่มีการผสม EVA หรือ EVOH เข้าไป จะทำให้ค่ามุมสัมผัสน้อยกว่าสูตร LDPE เนื่องจาก EVA หรือ EVOH มีความเป็นขี้วทำให้ชอบกับโมเลกุลของน้ำซึ่งมีขี้ว ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบ L90EA10(A) และ L90EO10(A) ซึ่งทั้งสองสูตรที่มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีขี้วเท่ากัน พบว่าฟิล์มที่การผสม EVOH จะมีค่ามุมสัมผัสน้อยกว่าฟิล์มที่มีการผสม EVA ซึ่งแสดงให้เห็นว่า EVOH มีความเป็นขี้วสูงกว่า EVA เนื่องจาก EVOH นั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งสามารถเกิดพันธะพันธะไฮโดรเจนได้ เมื่อปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามุมสัมผัสลดลง และเมื่อเปรียบเทียบ L90EO10(A) กับ L90EO10(A)Z20 พบว่าการเติมซีโอโลต์เอลงไปทำให้ค่ามุมสัมผัสลดลงอย่างมาก เนื่องจากซีโอโลต์เอเป็นสารที่มีขี้วสูง จึงทำให้มีความสามารถเปียกผิวของน้ำดีขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง	มุมสัมผัส (องศา)
LDPE	97.0
L90EA10(A)	92.5
L90EO10(A)	88.0
L85EO15(A)	86.4
L80EO20(A)	84.9
L90EO10(A)Z20	82.8

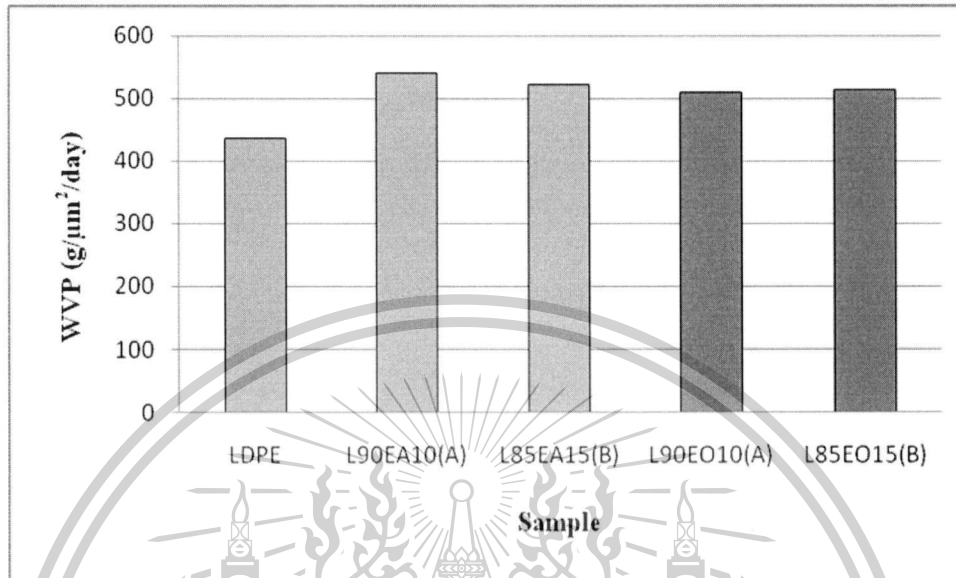
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3.7 ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง

#### 4.3.7.1 การศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน



ภาพที่ 4.8 การซึมผ่าน ไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชัน

ภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าการผสม EVA หรือ EVOH ใน LDPE ฟิล์ม ช่วยให้การซึมผ่านไอน้ำดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE ฟิล์ม เนื่องจาก EVA มีหมู่ VA และ EVOH มีหมู่ VOH ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว ทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความชอบน้ำมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่ามุมสัมผัสน้ำที่ลดลงในตารางที่ 4.7 จึงเห็นขบวนการที่ไอน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วแพร่ผ่านไปได้ดี และจากผล SEM ในภาพที่ 4.2 การผสม EVA หรือ EVOH ใน LDPE ฟิล์ม มีการกระจายตัวดี ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสของส่วนที่มีขั้วเป็นจำนวนมาก สามารถเห็นขบวนการโมเลกุลของน้ำให้ดูดซับในผิวฟิล์มได้ดี

นอกจากนี้ในฟิล์ม LDPE/EVA ผลึกเกิดขึ้นเฉพาะใน LDPE ดังผล DSC ในตารางที่ 4.6 การมี EVA ที่มีความเป็นอสัณฐานที่มีขั้ว ทำให้มีอัตราการที่ติดกับน้ำ ทำให้น้ำสามารถแพร่ผ่านไปได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE ฟิล์ม เมื่อเปรียบเทียบ L90EA10(A) และ L85EA15(B) ซึ่งเป็นการใช้ EVA ที่มีปริมาณ VA ที่แตกต่างกันแต่ควบคุมจำนวนโมลของหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมให้ใกล้เคียงกัน ยืนยันจากการที่ L90EA10(A) และ L85EA15(B) ให้ค่ามุมสัมผัสน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์จะเอื้อต่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไม่แตกต่างกัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.7) และจากผล SEM ในภาพที่ 4.2 (c) และ (e) เห็นได้ว่าฟิล์มทั้งสองสูตรมีการกระจายตัวของ EVA ดีทำให้โมเลกุลของไอน้ำดูดซับในผิวฟิล์มได้ดี และจากผล DSC ในตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์มทั้งสองสูตรมีความเป็นผลึกใกล้เคียงกัน ดังผลการทดลองข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มทั้งสองสูตรนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าเกรดของ EVA ที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำหากมีการควบคุมความมีขี้วของฟิล์มให้ใกล้เคียงกัน สำหรับในกรณีของฟิล์ม LDPE/EVOH การใช้ฟิล์ม L90EO10(A) และ L85EO15(B) ที่มีปริมาณ VOH ที่แตกต่างกันแต่ควบคุมจำนวน โมลของหมู่ฟังก์ชันที่มีขี้วให้ใกล้เคียงกัน พบผลการทดลองเช่นเดียวกันกับฟิล์ม LDPE/EVA คือการควบคุมจำนวน โมลของหมู่ฟังก์ชันที่มีขี้วให้ใกล้เคียงกัน ทำให้ค่ามอดุลสัมพัทธ์ การกระจายตัวของ EVOH ใน LDPE และ ความเป็นผลึกใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน

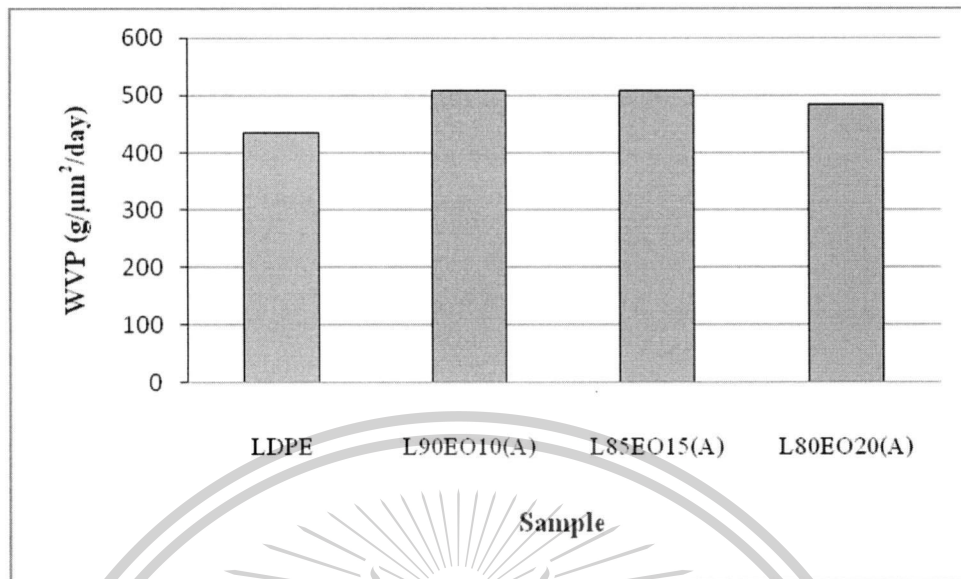
จากการควบคุมจำนวน โมลของหมู่ฟังก์ชันที่มีขี้วให้มีปริมาณใกล้เคียงกัน ในฟิล์ม LDPE/EVA และ LDPE/EVOH จากภาพที่ 4.8 พบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้พบว่า ฟิล์ม LDPE/EVOH มีค่ามอดุลสัมพัทธ์ต่ำกว่า แสดงว่ามีขี้วสูงกว่าฟิล์ม LDPE/EVA (ตารางที่ 4.7) อย่างไรก็ตาม จากผล DSC ในตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์ม LDPE/EVOH มีผลึกเกิดขึ้นทั้งใน LDPE และ EVOH ส่วนในกรณีของฟิล์ม LDPE/EVA แม้ว่าจะมีขี้วต่ำกว่า แต่ EVA ไม่สามารถเกิดผลึกได้ จึงให้ความเป็นอสัณฐานที่มากกว่า จากปัจจัยความเป็นอสัณฐานและความเป็นขี้วที่แตกต่างกันนี้ ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.7.2 การศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH



ภาพที่ 4.9 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของอัตราส่วน LDPE/EVOH

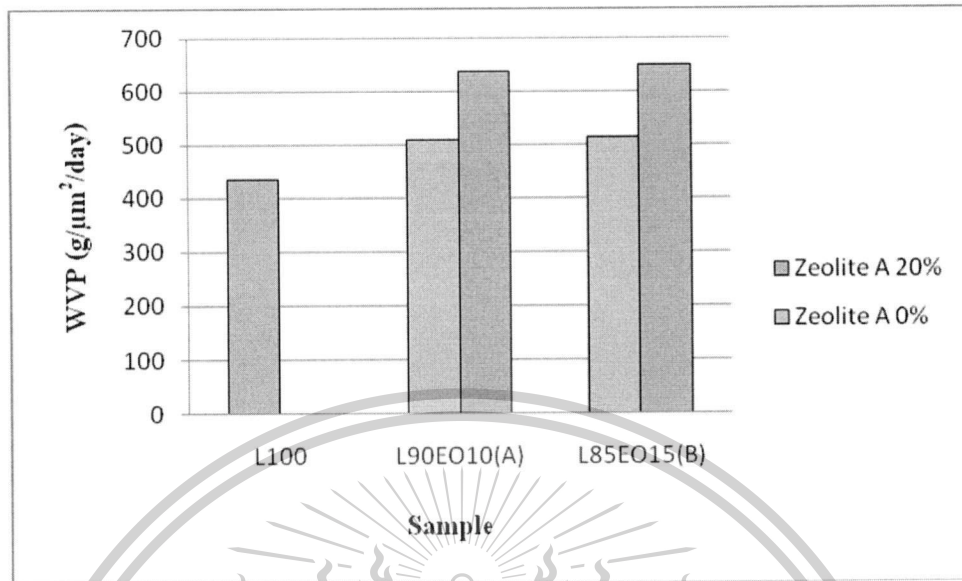
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE/EVOH ที่อัตราส่วนต่างๆ จาก SEM ในภาพที่ 4.3 พบว่าฟิล์มทุกสูตรมีการกระจายตัวของ EVOH ดี และเมื่อปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์ม LDPE/EVOH มีขั้วสูงขึ้น สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสน้ำที่ลดลงดังตารางที่ 4.7 แต่พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการซึมผ่านไอน้ำที่อาศัยทั้งสมบัติความเป็นอสัณฐานและความมีขั้ว การเพิ่มปริมาณ EVOH ซึ่งแสดงสมบัติความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกในฟิล์ม LDPE/EVOH ให้ความเป็นผลึกไม่แตกต่างกันดังจะเห็นได้จากผลของ DSC ดังตารางที่ 4.6 แสดงว่าความเป็นอสัณฐานใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะปัจจัยหลักที่ทำให้การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มได้ก็คือ ความเป็นอสัณฐานของพอลิเมอร์ในฟิล์มนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.7.3 การศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ



ภาพที่ 4.10 การซึมผ่าน ใช้น้ำของฟิล์มตัวอย่างจากการศึกษาผลของการเติมซีโอไลต์เอ

การซึมผ่านของ ใช้น้ำจะซึมผ่านวัฏภาคอสัณฐานของฟิล์ม LDPE/EVOH ซึ่งการเติมซีโอไลต์เอลงไป (ดังภาพที่ 4.10) ทำให้การซึมผ่าน ใช้น้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ความเป็นผลึกของฟิล์มไม่แตกต่างกันเมื่อมีการใช้ซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก เห็นได้จากผลของ DSC ดังตารางที่ 4.6 แสดงว่าการที่ซีโอไลต์เอเป็นสารที่มีรูพรุนและมีขั้วสูง ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีขั้วสูง ทำให้สูตรฟิล์มที่มีการผสมซีโอไลต์เอมีขั้วสูงขึ้น (ยืนยันได้จากการวัดมุมสัมผัสน้ำที่ลดลงดังตารางที่ 4.7) และรูพรุนที่มีขั้วของซีโอไลต์เอทำให้ซีโอไลต์เอมีอันตรกิริยากับ ใช้น้ำได้ดี ซึ่งธรรมชาติของซีโอไลต์เอมีน้ำอยู่ในรูพรุนอยู่แล้ว เมื่อซีโอไลต์เอดูดซับโมเลกุลของ ใช้น้ำเข้ามา โมเลกุลของ ใช้น้ำจะเข้ามาแทนที่โมเลกุล ใช้น้ำที่มีอยู่เดิม ทำให้โมเลกุล ใช้น้ำหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่าการซึมผ่าน ใช้น้ำ อาจเกิดมาจากการเติมซีโอไลต์เอในปริมาณมาก ทำให้ซีโอไลต์เอรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ยืนยันได้จากภาพ SEM ในภาพที่ 4.4 (b) และ (d) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์เอมีการแตกกระจายทั้งในลักษณะอนุภาคเดี่ยวและเป็นกลุ่มก้อน ใช้น้ำสามารถซึมผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียม EVOH ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส EVA เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVOH เปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE/EVA เพื่อศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม โดยมีการใช้ซีโอไลต์เอ 20% โดยน้ำหนัก จากการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันในฟิล์ม LDPE/EVOH และ LDPE/EVA โดยควบคุมจำนวนหมู่ฟังก์ชันให้ใกล้เคียงกัน พบว่า EVOH และ EVA มีการกระจายตัวดีในทุกสูตรฟิล์มพอลิเมอร์ผสม และพบว่า EVOH ในฟิล์ม LDPE/EVOH สามารถเกิดผลึกได้ในขณะที่ EVA ในฟิล์ม LDPE/EVA ไม่เกิดผลึก ฟิล์ม LDPE/EVA มีความนิ่ม เสียรูปได้ง่ายกว่าฟิล์ม LDPE/EVOH เพราะ EVA มีความเป็นอสัณฐานยืดหยุ่นคล้ายยาง ส่วนฟิล์ม LDPE/EVOH มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนทำให้โครงสร้างมีความแข็งมากกว่า โดยที่ฟิล์มทั้ง 4 สูตรที่มีหมู่ฟังก์ชันเท่ากันคือ L90EA10(A), L85EA15(B), L90EO10(A), L85EO15(B) พบว่ามีค่าการซึมผ่านไอน้ำใกล้เคียงกัน เพราะมีการแข่งขันกันระหว่างอสัณฐานกับความมีขั้วของฟิล์ม

2. จากการศึกษาผลของปริมาณ EVOH ในฟิล์ม LDPE พบว่าเมื่อปริมาณ EVOH เพิ่มขึ้น การกระจายตัวของ EVOH ยังคงกระจายตัวดี และมีปริมาณความเป็นผลึกใกล้เคียงกันทุกสูตร พบว่าความสามารถในการดึงยึด ณ จุดครากมีค่าน้อยลง ในขณะที่ยังมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการมี EVOH เพิ่มขึ้นสามารถทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนมากขึ้นทำให้ฟิล์มมีความแข็งมากขึ้น ในขณะที่การซึมผ่านไอน้ำไม่ได้มีค่าต่างกัน เนื่องจากการซึมผ่านไอน้ำที่ได้อาศัยทั้งสมบัติความเป็นอสัณฐาน และความมีขั้ว การเพิ่มปริมาณ EVOH ซึ่งแสดงสมบัติความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกในฟิล์ม LDPE/EVOH ความเป็นอสัณฐานยังคงเดิม แม้ความมีขั้วของฟิล์ม LDPE/EVOH เพิ่มขึ้น ทำให้ไม่เห็นการเพิ่มขึ้นของค่าการซึมผ่านไอน้ำอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะการซึมผ่านไอน้ำจะผ่านวัฏภาคของอสัณฐานเป็นหลัก

3. จากการศึกษาผลของซีโอไลต์เอ พบว่า EVOH และซีโอไลต์เอมีการกระจายตัวดีในทุกสูตรฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ซีโอไลต์เอส่วนมากจะอยู่ในวัฏภาคของ EVOH และมีแนวโน้มที่จะเกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์อยู่เป็นอนุภาคเดี่ยว นอกจากนี้การมีซีโอไลต์เอไม่ได้ทำให้ความเป็นผลึก  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของฟิล์มเปลี่ยนแปลงไป แต่ทำให้ค่าความสามารถในการดึงยึดลดลง และมีค่ายังมอดุลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีโพลต์เอมีอันตรกิริยาที่ดีกับ EVOH ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงขึ้น และเสียรูปได้ยากขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำให้ดีขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกพอลิเมอร์คู่ผสมที่มีความมีขั้วและความเป็นอสัณฐานมากขึ้น เพื่อช่วยปรับปรุงการซึมผ่านไอน้ำให้ดีขึ้น
2. หาเครื่องมือในการขึ้นรูปฟิล์ม เช่น การเป่าขึ้นรูปฟิล์ม เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต และทำให้สามารถควบคุมความหนาได้ดีกว่า
3. ในการเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมซีโพลต์เอ ควรใช้พอลิเมอร์ผสม EVA กับ EVOH ในการเตรียมสูตรเข้มข้นกับซีโพลต์เอ เพื่อให้ซีโพลต์เอมีโอกาสแตกตัวได้ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. “บรรจุภัณฑ์แอกทีฟ: สิ่งประดิษฐ์ของไทย.” 2551. [online]. Available: <http://www4.eduzones.com/jade/3518>.
- [2] เนตรภา ลามอ และเบญจวรรณ ตานนท์. “สมบัติเชิงกลและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์โซเดียมเอ.” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [3] นันทวรรณ ม่วงมี. “การปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแอลดีพีอีด้วยอีวีเอ และซีโอไลต์เอ.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
- [4] สมชาย กกล้าหาญ. “วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน.” ภาควิชาพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [5] Dirim S., Esin A. and Bayindirli A. “A New Protective Polyethylene Based Film Containing Zeolite for the Packaging of fruits and Vegetables : Film Preparation.” Journal of Food Engineering. Vol. 63. 2004. pp. 9-13.
- [6] Pantastico E.B. “Postharvest Physiology Handling and Utilization of tropical and Subtropical Fruits and Vegetables.” Westport CT : The AVI Publishing Company Inc. 1975.
- [7] Ryall A.L. and Lipton W.J. “Handling, transportation and storage of fruits and vegetables.” Vol. 1. Westport CT : The AVI Publishing Company Inc. 1972.
- [8] จิรา ณ หนองคาย. “เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.” สำนักพิมพ์แมสพลับบลิชชิง. กรุงเทพฯ. 2534.
- [9] Biale J.B. and Young R.B. “In Recent Advance in the Biochemistry of Fruits and Vegetables.” New York : Academic Press. 1981.
- [10] ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนปนนท์. “การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.” สำนักพิมพ์ไอเดียนสโตร์. 2535.
- [11] Paine F.A. and Paine H.Y. “A Handbook of food Packaging.” USA. : Chapman&Hall. 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [12] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ “เคมีพอลิเมอร์.” โครงการตำราภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 2543.
- [13] วันชาติ ปรีชาติวงศ์ “พอลิเมอร์ (Polymer).” สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 2554. [online]. Available:<http://www.gocities.com/thaimafia/orchem/polymer.ppt>
- [14] Brydson J.A., “Plastic Materials.” 7<sup>th</sup> ed. Oxford: Butterworth Heinemann. 1999.
- [15] Armstrong R.B. “New EVAL® EVOH Resins for Flexible Packaging” 2012. [online]. Available:<http://www.tappi.org/content/enewsletters/eplace/2004/27-1Armstrong.pdf>
- [16] Gholizadeh M., Razavi J. and Mousavi S.A. “Gas permeability measurement in polyethylene and its copolymer films.” Materials & Design. Vol. 28. 2007. pp. 2528-2532.
- [17] ตะวัน สุขน้อย. “เอกสารประกอบการเรียนวิชาชีโพลีเมอร์และสารประกอบที่มีรูปพรุนที่เกี่ยวข้อง.” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
- [18] Gates C.B. “Catalytic Chemistry.” Toronto : Wiley & Sons. 1992.
- [19] Woodward P. “Solid State Chemistry.” 2011. [online]. Available: [http://www.Chemistry.ohio-state.edu/woodward/chem\\_754.htm](http://www.Chemistry.ohio-state.edu/woodward/chem_754.htm).
- [20] Loiola A.R., Andrade J.C.R.A., Sasaki J.M. and Silva L.R.D., “Structural analysis of zeolite NaA synthesized by a cost-effective hydrothermal method using kaolin and its use as water softener.” Journal of Colloid and Interface Science. Vol.367. 2012. pp. 34-39.
- [21] Mousavi S. A., Lopez M., Sedghia S., Chenarc M.P., Barmalad M. and Soltania A. “Effects of preparation conditions on the morphology and gas permeation properties of polyethylene (PE) and ethylene vinyl acetate (EVA) films.” Chemical Engineering Research and Design. Vol.88. 2010. pp. 1593-1598.
- [22] Marais S., Bureau E., Gounve F., Salem E.B., Hirata Y., Andrio A., Cabot C. and Atmani H. “Transport of water and gases through EVA/PVC blend films-permeation and DSC investigations.” Polymer Testing. Vol.23. 2004. pp. 475-486.
- [23] Faker M., Aghjeh R, Ghaffari M. and Seyyedi A. “Rheology, morphology and mechanical properties of polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer (PE/EVA) blends.” Polymer Vol.44. 2008. pp.1834-1842.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [24] Hadeghi M., Khanbabaei G., Amir H. and Khatt S. "Gas permeation properties of ethylene vinyl acetate-silica nanocomposite membranes." *Journal of Membrane Science*. Vol.322. 2008. pp. 423-428.
- [25] วราภรณ์ พุทธิสสะ. "การผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมด้วยซีโอไลต์เอโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม." วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [26] Lasagaba' ster A., Barral L., Ares A. and Bouza R. "Application of FTIR spectroscopy to determine transport properties and water-polymer interactions in polypropylene (PP)/poly(ethylene-co-vinyl alcohol) (EVOH) blend films: Effect of poly(ethylene-co-vinyl alcohol) content and water activity." *Polymer*. Vol.50. 2009. pp. 2981-2989.
- [27] Muriel-Galet V., P. Cerisuelo J., López-Carballo G., Aucejo S., Gavara R. and Hernández-Muñoz P. "Evaluation of EVOH-coated PP films with oregano essential oil and citral to improve the shelf-life of packaged salad." *Food Control*. Vol.30. 2012. pp. 137-143.
- [28] American Standard for Testing and Materials. "Standard Test Method for Melting And Cystallization Temperatures by Thermal Analysis." ASTM E794. Annual Book of ASTM Standard 14.02., Philadelphia. 2006.
- [29] Billmeyer F.W. "Text book of Polymer Science." New York : John Wiley & Sons. 1984.
- [30] American Standard for Testing and Materials. "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheet." ASTM D882. Annual Book of ASTM Standard 08.01., Philadelphia. 1998.
- [31] ASTM D5946-09 Committee on Standard "Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films using water Contact Angle measurements." Philadelphia. American Society for Testing and Material. 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### ประวัติส่วนตัว

นางสุภารัตน์ รัชชสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

### ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วทบ. (เกียรตินิยม)	เคมีอุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	พ.ศ. 2535
MSc	Polymer Science and Technology	Loughborough University	พ.ศ. 2537
PhD	Polymer Rheology	Loughborough University	พ.ศ. 2541

### สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ

- Polymer Processing and Compounding

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
พ.ศ. 2536-2541	ทุนเรียนปริญญาโท-เอก ณ สหราชอาณาจักร	กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2543	ทุนวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมขนาดเล็ก	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)
พ.ศ. 2547	ทุนวิจัยบรยายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2548	ทุนวิจัยบรยายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550	ทุนวิจัยความร่วมมือกับเอกชน	บริษัท เวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2552	ทุนงบประมาณแผ่นดิน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553	ทุนวิจัยความร่วมมือกับเอกชน	บริษัท เวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2555	ทุนวิจัยบรยายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัย ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Haworth, B. and Jumpa, S., Understanding Elongational Flow Properties of Filled Polymer Melts for Plastics Blow Molding, *Food, Cosmetics and Drug Packaging*, 21(11), 213, 1998.
2. Haworth, B. and Jumpa, S., Extensional Flow Characterization and Extrusion Blow Molding of High Density Polyethylene Modified by Calcium Carbonate, *Plastics Rubber and Composites*, 28(8), 363, 1999.
3. Haworth, B. and Jumpa, S., Melt-State Elongational Rheometry of Mineral-Filled Polyethylene, *Polymer Testing*, 19(4), 459, 2000.
4. สุภารัตน์ รักชลธิ ฆนเรศ ประเสริฐวงศ์ และธราศรัย แสงภักดี, “ผลของชนิดของสารช่วยผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต”, *วารสารเทคโนโลยีสุรนารี*, 9(4), 253, 2545.
5. สุภารัตน์ รักชลธิ กังสาดล บัวบุตรา ฌัญฉิชาธิ์ ศิริเจียรนัย และกัญญาวิรี สุวรรณชัย, “สมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมสารเติมแต่งซีโอไลต์”, *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 30(4), 262, 2545.
6. สุภารัตน์ รักชลธิ ปรมินทร์ ช้างเพชร และประภุชฌี แสงทองอโณทัย, “สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสม”, *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 12(1), 27, 2546.
7. สุภารัตน์ รักชลธิ พงษ์ธร แซ่ฮุย ชีระชาติ ก่อตระกูล และปานหทัย ชื่นพุดธิ, ผลของเถ้าแกลบในสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ, *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 12(2), 13, 2546.
8. สุภารัตน์ รักชลธิ ชีระชาติ ก่อตระกูล ปานหทัย ชื่นพุดธิ และพงษ์ธร แซ่ฮุย, อิทธิพลของเถ้าแกลบในสารตัวเติมผสมต่อความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*. 12(3), 50, 2547.
9. Rukchonlatee, S., Amornsakchai, T. and Limpong, P., Properties of Calcium Carbonate-Filled Polyethylene Bottles Produced from Extrusion Blow Molding Process, *KMITL Science Journal*, 6(2b), 582, 2006.
10. Monprasit, P., Ritvirulh, C., Sooknoi, T., Rukchonlatee, S., Fuongfuchart, A. and Sirikittikul, D., Selective ethylene permeable zeolite composite double-layered film for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

novel modified atmosphere packaging, *Polymer Engineering and Science.*, 51(7), 1264, 2011. (Impact factor 2009: 1.248)

#### การเสนอผลงานวิชาการ

1. Haworth, B. and Jumpa, S., Elongational Rheometry of Filled Polyethylene Melts, Loughborough Fillers Symposium II, 17<sup>th</sup> –18<sup>th</sup> September 1996, Loughborough, UK.
2. Haworth, B. and Jumpa, S., Processing Behavior of Filled HDPE for Blow Molding, Advances in Blow Molding: New Materials and Processes, 30<sup>th</sup> June – 1<sup>st</sup> July 1998, Loughborough, UK
3. Haworth, B., Jumpa, S., and Miller, N.A., Proceeding International Conference “PPS-15”, S’Hertogenbosch, The Netherlands, 1999, Polymer Processing Society, Paper 132.
4. Jumpa, S and Haworth, B., Extrusion Blow Moulding of CaCO<sub>3</sub>-Filled HDPE Compounds, PPS Symposium, Thailand, P-50, 1999.
5. Jangchud, I. and Rukchonlatee, S., Porous Water Pipe made from Ground Rubber Tire (GRT) and High Density Polyethylene (HDPE): Rheology and Water Irrigation, *The 8<sup>th</sup> Pacific Polymer Conference Proceedings*, November 24-27, Bangkok, Thailand, 120, 2003.
6. Rukchonlatee, S., Water Vapor Permeability, Rheological and Mechanical Properties of Zeolite NaA –filled Linear Low Density Polyethylene, *The 8<sup>th</sup> Pacific Polymer Conference Proceedings*, November 24-27, Bangkok, Thailand, 134, 2003.
7. Ochaikul, D., Rukchonlatee, S., Soisant, P., Aramruang, S., and Fapratanchai, T., Paper Production and Properties from Bacterial Cellulose *Acetobacter xylinum* TISTR 967, *The 1<sup>st</sup> KMITL International Conference Proceedings*, August 25-26, Bangkok, Thailand, Vol.1, 153, 2004.
8. ระพี เจริมสูงเนิน ปุณณมา ศิริพันธ์โนน ชลลดา ฤตวิรุพห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ์, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิ(สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน) กับมอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยเทคนิคการหล่อแบบสารละลาย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TICe 17), 29-30 ตุลาคม, เชียงใหม่, 2550.
9. อภิขญา เจียนประเสริฐ ปุณณมา ศิริพันธ์โนน สุภารัตน์ รักชลธิ์ และชลลดา ฤตวิรุพห์, ผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของวัสดุประกอบนาโน LDPE/MMT, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TICe 17), 29-30 ตุลาคม,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

10. 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.
11. ดวงใจ โอชัยกุล สุภารัตน์ รักชลธี นवलพรรณ ณ ระนอง และพิชพันธ์ พงษ์สกุล, ผลของไคโตซานต่อการผลิตกระดาษจากเซลลูโลสแบคทีเรียและสมบัติที่ได้, การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, เล่มที่ 6 สาขาวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ, 313-320, 2552.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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>*

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

*International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific (ISAMAP)*, September 30-October 1, Ishikawa, Japan, 147, 2010.

18. สมยศ รัตนไพฑูรย์กิจ, ตะวัน สุชน้อย, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ์, फिल्मพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง, การประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 4, ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 12-13 มีนาคม, พิษณุโลก, 2554.
19. 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.
20. Wiwattananukul, R., Sooknoi, T., Rukchonlatee, S. and Ritvirulh, C., Improved the ethylene transmission rate of LLDPE/SEBS blend film, The proceedings Pure and Applied Chemistry International Conference 2013 (PACCON 2013), January 23-25, Bangsae, Thailand, 1033, 2013.

#### บทความวิชาการที่เผยแพร่

1. สุภารัตน์ จำปา, “เครื่อง Uniaxial Elongational Rheometer สำหรับศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว”, *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 10(1), 8, 2543.

#### งานแปลหนังสือ

1. สุภารัตน์ จำปา อะลูมิเนียม นานมีบุ๊คส์ กรุงเทพฯ 2542.
2. จินดา อุดชาชน ตะวัน สุชน้อย อิทธิพล แจ่มชัด สุภารัตน์ จำปา และชลลดา ฤตวิรุฬห์ เคมีหลักสูตร แห่งชาติระดับมัธยมศึกษา (GCSE) ของประเทศอังกฤษ นานมีบุ๊คส์ กรุงเทพฯ 2542.

#### งานเขียนและเรียบเรียงหนังสือ

1. สุภารัตน์ รักชลธิ์ (กองบรรณาธิการ) สาร...อะโรเมติกส์เฉลิมพระเกียรติ บริษัทอะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด 2549.
2. อิทธิพล แจ่มชัด ชลลดา ฤตวิรุฬห์ จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ สุภารัตน์ รักชลธิ์ และสมศักดิ์ วรมงคลชัย ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, จำนวน 77 หน้า 2553.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.