

การปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เพื่อสมบัติการ  
ขึ้นรูปที่ดีขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมาก

MODIFICATION OF ETHYLENE VINYL ACETATE  
COPOLYMER FILM FOR BETTER PROCESSABILITY WITH  
HIGH WATER VAPOR PERMEABILITY PROPERTIES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2565  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF ETHYLENE VINYL ACETATE  
COPOLYMER FILM FOR BETTER PROCESSABILITY WITH  
HIGH WATER VAPOR PERMEABILITY PROPERTIES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ**

การปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เพื่อสมบัติกา  
ขึ้นรูปที่ดีขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมาก  
MODIFICATION OF ETHYLENE VINYL ACETATE  
COPOLYMER FILM FOR BETTER PROCESSABILITY WITH  
HIGH WATER VAPOR PERMEABILITY PROPERTIES

**ชื่อนักศึกษา**

นางสาวเฟื่องลดา ทองชูศักดิ์ รหัสนักศึกษา 62050317  
นางสาวอพรรชชา น้อยใจดี รหัสนักศึกษา 62050355

**ปริญญา**

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

**ภาควิชา**

เคมี

**ปีการศึกษา**

2565

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย

ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เพื่อสมบัติการขึ้นรูปที่ดีขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมาก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเฟื่องลดา ทองชูศักดิ์ รหัสนักศึกษา 62050317 นางสาวอพรรชชา น้อยใจดี รหัสนักศึกษา 62050355
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย ผศ.ดร. ชลลดา ถตวิรุฬห์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) โดยทำการเตรียมเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อทำการศึกษาผลของอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ระหว่าง EVA/LDPE (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 และ 0/100) ที่มีต่อการขึ้นรูปและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม การเตรียมพอลิเมอร์ผสมใช้เครื่องผสมระบบปิดและนำไปบดเพื่อที่จะนำไปผสมต่อในเครื่องอัดรีดเกลียวท่อนเดี่ยว ก่อนตัดเป็นเม็ดแล้วทำการขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เทคนิคการเป่าขึ้นรูปฟิล์มทำการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าค่าคาร์บอนิล (Carbonyl Index) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เมื่อปริมาณ EVA ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสที่มากขึ้น และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำลง เพราะการลดตัวภาคของ EVA ทำให้ความเป็นอสัณฐานและความมีขั้วของฟิล์มลดลง จากการทดสอบการวัดแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE พบว่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และค้ำยังมอดุลัสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ LDPE และยังทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวตึงที่น้อยลงและมีความคงรูปมากขึ้น จากการใช้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE เป็นบรรจุภัณฑ์ในการยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ (ที่ 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 45-50% เป็นเวลา 20 วัน) พบว่า ถูบรรจุภัณฑ์จากสูตรฟิล์มที่มี EVA มาก พบหยดน้ำที่เกิดจากการควบแน่นจากการหายใจของมะเขือเทศน้อยกว่าถุงที่มาจากฟิล์มที่มี EVA น้อย สอดคล้องกับค่า WVTR ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีค่ามากตามปริมาณ EVA ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่าการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

E60L40 ซึ่งเป็นฟิล์มที่ขึ้นรูปง่าย และไม่เหนียวติด ในงานวิจัยนี้ พบว่าฟิล์ม E60L40 มีค่า WVTR มากกว่าฟิล์มเกรดการค้าที่มีการซึมผ่านดี (Commercially High Permeable Film) ดังนั้น ฟิล์ม E60L40 จึงเหมาะจะนำพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสดต่อไป

**คำสำคัญ :** พอลิเมอร์ผสม, พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ, อัตราการซึมผ่านไอน้ำ, เอทิลีนไว นิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	MODIFICATION OF ETYLENE VINYL ACETATE COPOLYMER FILM FOR BETTER PROCESSABILITY WITH HIGH WATER VAPOR PERMEABILITY PROPERTIES
<b>Students</b>	Miss Fuanglada Thongchusak Student ID 62050317 Miss Apanvasa Noijaidee Student ID 62050355
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrail Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>School</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2022
<b>Advisor</b>	Asst.Prof. Dr. Suparat Rukchonlatee
<b>Co-advisor</b>	Prof. Dr. Tawan Sooknoi Asst.Prof. Dr. Chonlada Ritvirulh

### Abstract

This reserch focused on the modification of ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) film by preparing polymer blend film from EVA and low density polyethylene (LDPE). The effect of EVA/LDPE blend ratio by weight (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 and 0/100) on processability and water vapor permeability of blend films was investigated. Polymer blends were prepared by using an internal mixer and then ground for further mixing using a single-screw extrusion and blown film extrusion was employed for film manufacture. The FT-IR result revealed that carbonyl index of blended films were reduced when decreasing EVA content. In addition, the increase in contact angle of the blends and the decrease in water vapor transmission rate of the blended films were observed. That is because the reduction of EVA in the blended films resulted in lowering the amorphous and polar of polymer blend. From tensile test, it was found that tensile strength at break and Young's modulus of the blended films were increased when increasing LDPE content.

In addition, the blended films with less stickiness and more dimensional stability were obviously achieved. Additionally, the extending shelf-life of tomato packaging

was performed at 5 °C with 45-50% relative humidity for 20 days. It was found that the package with high EVA contained film showed less condensed water vapor (resulting from the tomato respiration) than that with low EVA one. This agreed with WVTR values of the blended films as the higher the EVA content the greater the WVTR. Finally, the E60L40 (a sample with good processability and low stickiness) was chosen to be compared with a commercially high permeable film. It was discovered that the E60L40 film gave higher WVTR than the commercial film. Therefore, the E60L40 film should be future developed to be commercial film packaging for fresh products.

**Keywords** : polymer blend, low density polyethylene (LDPE), water vapor transmission rate, ethylene vinyl acetate copolymer (EVA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร. สุภรัตน์ รักชลธิ ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย และ ผศ.ดร. ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ซึ่งคอยให้ความรู้ คำปรึกษา สอนทักษะในการคิดวิเคราะห์ กระบวนการทำงานและคอยดูแลเอาใจใส่ในเรื่องการทำวิจัยเสมอ ผลจากการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และทักษะใหม่ๆ ในการทำงาน อีกทั้งยังได้แก้ไขข้อบกพร่องในตัวข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ภัทรธำมณ มนต์วิเศษ และ รศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด ที่คอยให้คำแนะนำ และคอยสนับสนุนเครื่องมือต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดเวลาที่ปฏิบัติการทำวิจัยที่อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ที่อนุเคราะห์การทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครอบครัว และขอบคุณ เพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง รวมถึงบุคคลรอบข้างที่ไม่ได้กล่าวมา ที่คอยให้กำลังใจ ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ และเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ทุนและสถานที่ในการทำวิจัย ผลจากการทำวิจัยในครั้งนี้ ข้าพเจ้าจะนำประโยชน์ที่ได้ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดผลสูงสุดในชีวิตประจำวันและในการประกอบวิชาชีพต่อไป

เฟื่องลดา ทองชูศักดิ์  
อพรรวษา น้อยใจดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว.....	4
2.1.1 ชีวิตวิทยาของผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว.....	5
2.1.1.1 การหายใจของผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว.....	5
2.1.1.2 การคายน้ำ.....	8
2.1.1.3 การผลิตก๊าซเอทิลีน.....	8
2.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับรักษาคุณภาพผลิตผล.....	9
2.2.1 การซึมผ่านของก๊าซ.....	10
2.2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	11
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติก.....	12
2.3 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA).....	12
2.3.1 สมบัติบางประการของ EVA.....	12
2.3.2 การนำไปใช้ประโยชน์.....	13
2.4 พอลิเอทิลีน (PE).....	13
2.4.1 สมบัติบางประการของ PE.....	14
2.4.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์อื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารหรือการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>18</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....	19
3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม .....	19
3.4 การเตรียมฟิล์มโดยเทคนิคการเป่า.....	20
3.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์.....	21
3.5.1 การทดสอบวัดมุมสัมผัส.....	21
3.5.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสม.....	21
3.5.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	21
3.5.4 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ.....	22
3.5.5 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	22
3.6 การทดสอบโดยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์.....	23
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>24</b>
4.1 การทดสอบวัดมุมสัมผัส.....	24
4.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA/LDPE .....	25
4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	27
4.4 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง.....	28
4.5 การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ.....	30
4.6 การทดสอบโดยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เก็บรักษามะเขือเทศ.....	31
4.7 การเปรียบเทียบฟิล์มที่พัฒนาขึ้นกับฟิล์มในงานวิจัยก่อนหน้า.....	36
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>38</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก .....	43
ภาคผนวก ข .....	47
ภาคผนวก ค .....	48
ภาคผนวก ง .....	52

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ ..... 54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจ .....	7
2.2 อัตราการผลิตเอทิลีนของพืชผล ณ อุณหภูมิ 20 °C.....	8
2.3 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มชนิดต่างๆ.....	11
2.4 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	11
3.1 สมบัติบางประการของ EVA Copolymer เกรด UL00728CC.....	18
3.2 สมบัติบางประการของ LDPE เกรด Innoplus LD2426K.....	18
3.3 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/LDPE.....	20
4.1 ความหนาของแต่ละสูตรฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE.....	24
4.2 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์ .....	25
4.3 ค่า Carbonyl Index ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ.....	26
4.4 $T_c$ , $T_m$ และร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม.....	27
4.5 $T_c$ , $T_m$ และร้อยละความเป็นผลึกของ LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม.....	28
4.6 มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์ก่อน-หลัง การเก็บรักษา 20 วันในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 5 °C.....	32
ข-1 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง .....	47
ข-2 การซึมผ่านไอน้ำของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	47
ค-1 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E100 .....	48
ค-2 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E90L10.....	48
ค-3 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E80L20.....	49
ค-4 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E70L30.....	49
ค-5 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E60L40.....	50
ค-6 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E40L60.....	50
ค-7 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม L100 .....	51
ง-1 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ E90L10.....	52
ง-2 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ E80L20.....	52
ง-3 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ E70L30.....	52
ง-4 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ E60L40.....	53
ง-5 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ E40L60.....	53
ง-6 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ L100.....	53
จ-1 คุณลักษณะของฟิล์มพลาสติก มอก. 1135-2536 .....	54

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration).....	6
2.2 อัตราการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนเทียบกับสีของผลิตผลสด .....	7
2.3 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) .....	12
2.4 โครงสร้างพอลิเอทิลีน (PE) .....	14
2.5 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) .....	15
4.1 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA และ EVA/LDPE.....	25
4.2 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE.....	28
4.3 การดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE .....	29
4.4 ค่า Young's Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE.....	29
4.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE .....	30
4.6 ปริมาณไอน้ำที่สามารถซึมผ่านออกมาจากบรรจุภัณฑ์ในระยะเวลา 20 วัน .....	35
4.7 ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ และปริมาณไอน้ำกักเก็บภายในบรรจุภัณฑ์ เทียบกับปริมาณไอน้ำรวมที่มะเขือเทศหายใจต่อน้ำหนัก 1 กรัม เมื่อมี LDPE ต่างกัน.....	36
4.8 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม E60L40 เทียบกับฟิล์มชนิดต่างๆ ในงานวิจัยที่ผ่านมา.....	37
ก-1 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E100.....	43
ก-2 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E90L10 .....	43
ก-3 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E80L20 .....	44
ก-4 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E70L30 .....	44
ก-5 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E60L40 .....	45
ก-6 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E40L60 .....	45
ก-7 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม L100.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยส่งออกผักและผลไม้ในปริมาณที่มากแต่ละปี ผักและผลไม้เป็นสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี จึงมีการปลูกผักและผลไม้การอย่างแพร่หลายในหลายๆ ภาคในประเทศไทย แต่ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจะมีสุก การเสื่อมสภาพ เกิดการเน่าเสียหลังจากการเก็บเกี่ยวได้ง่าย เพราะผักและผลไม้ยังมีการหายใจได้ต่อ และเกิดการคายน้ำออกมา อีกทั้งยังมีปัจจัยด้านอื่นที่ส่งผลทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียได้เร็วขึ้น อย่างเช่น อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้อัตราการหายใจมากขึ้นเร่งให้เกิดการสุกที่เร็วขึ้นของผักและผลไม้ การกักกินของแมลงต่างๆ ทั้งหมดนี้ทำให้ผักและผลไม้ไม่สามารถคงความสดใหม่ไว้ได้นานเท่าที่ควร ส่งผลกระทบกับทั้งเกษตรกรและ ผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก ดังนั้น การเก็บรักษาให้ผักและผลไม้คงความสดได้ ต้องมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี [1]

การเก็บรักษาผักและผลไม้ในปัจจุบันมักจะใช้การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ และมีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกมาใช้ในการรักษาความสดของผักและผลไม้ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการจัดเก็บควรจะมีลักษณะที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ โดยที่บรรจุภัณฑ์ควรมีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เพื่อลดการมีปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ภายในถุงบรรจุภัณฑ์มากเกินไป

บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาผักผลไม้ คือ บรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (Polyethylene) ที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เนื่องจากปลอดภัยสำหรับการบรรจุอาหาร สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก พลาสติกประเภทนี้เหมาะสมกับการใช้ใส่อาหารที่ต้องแช่ในอุณหภูมิต่ำ ทนต่อความเย็นได้ดี เมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น แต่ข้อเสียคือ เนื่องจากโครงสร้างของ LDPE มีความเป็นผลึกและไม่มีขั้ว จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการบรรจุผลิตผลสดเนื่องจากอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่จะมีการเจาะรูที่บรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยในการระบายไอน้ำ แต่การเจาะรูทำให้บรรจุภัณฑ์สามารถเกิดความเสียหายได้ง่าย และทำให้สิ่งปนเปื้อนภายนอกสามารถสัมผัสกับผักและผลไม้ซึ่งอาจทำให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้มีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำโดยไม่ต้องทำการเจาะรู [2]

นันทวรรณ ม่วงมี [3] ได้มีการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโดยเตรียมฟิล์ม LDPE ที่มีซีโอไลต์เอ (Zeolite A) แต่เนื่องจากซีโอไลต์เอ มีความมีขั้วสูงจึงไม่สามารถกระจายตัวได้ดีใน LDPE ที่ไม่มีขั้ว จึงนำเอทิลีนวินิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer, EVA) มาผสมเพื่อทำให้ซีโอไลต์เอเกิดการแพร่กระจายและกระจายตัวดี

เนื่องจาก EVA มีโครงสร้างที่มีขั้ว จากการทดลองพบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม LDPE/EVA ที่มีการเติมซีโอไลต์เอ มีการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์ม LDPE เนื่องจากความมีขั้วและความเป็นอสัณฐานของ EVA

ไม่ว่าการค้นคว้า ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลที่แบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

และความมีขี้ของซีไอโอดีเอ ช่วยเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีขึ้นแต่มีสมบัติเชิงกลที่ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์ม LDPE

จากการวิจัยก่อนหน้าพบว่าฟิล์มที่มีการซึมผ่านไอน้ำที่ดีต้องมีสมบัติความเป็นอสัณฐานมาก และมีขี้มาก ญัฐนิชา วรศิลป์ และ ปารตี สุกสว่าง [4] ได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE โดยงานวิจัยนี้จะใช้ EVA เป็นวัสดุหลัก ใช้ LDPE เป็นวัสดุกระจาย โดยจากการทดลองพบว่า ฟิล์มที่มี EVA มากจะทำให้มีการซึมผ่านไอน้ำที่ดีเนื่องจากมีความเป็นอสัณฐานและความมีขี้มาก แต่เนื่องจาก EVA มีความนิ่มและสมบัติการเหนียวดีทำให้นำมาขึ้นรูปเพื่อใช้งานจริงได้ยาก จึงใช้ LDPE ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปและคงรูปของฟิล์ม แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง ที่ไม่สามารถควบคุมความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (EVA และ LDPE) ได้ จึงทำให้อัตราส่วนของ EVA/LDPE ที่ได้ออกมาไม่ได้ตรงตามที่ต้องการ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเตรียมบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี สำหรับผักและผลไม้ โดยมีการใช้ EVA กับ LDPE เนื่องจาก EVA มีลักษณะเป็นอสัณฐานและความมีขี้ที่สูง ทำให้ไอน้ำสามารถที่จะแพร่ผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ได้ และ LDPE จะเข้ามาช่วยทำให้ ฟิล์มพอลิเมอร์สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และมีความคงรูปได้ดี โดยมีอัตราส่วน EVA:LDPE ดังนี้คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 0:100 ทั้งนี้เนื่องจาก EVA มีราคาที่สูงกว่า LDPE ถึงประมาณ 3 เท่า จากการที่นำฟิล์มพอลิเมอร์ไปจัดแสดงในงานบรรจุภัณฑ์ ความคิดเห็นส่วนหนึ่งของผู้เยี่ยมชมต้องการฟิล์มที่มีการซึมผ่านไอน้ำที่ดี และมีราคาที่ถูกลงและง่ายต่อการใช้งาน จึงมีปรับการใช้ LDPE ในปริมาณที่มาก ในอัตราส่วน EVA:LDPE เท่ากับ 40:60 ร่วมด้วย โดยทำการผสมพอลิเมอร์ในเครื่องผสมแบบปิดเพื่อให้ได้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE ที่มีสมบัติการขึ้นรูปที่ดีขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมาก

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เตรียมพอลิเมอร์ผสม EVA:LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 40:60 และ 0:100
- 2) ทำการผสมพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer)
- 3) บดชิ้นงานด้วยเครื่องบด
- 4) ผสมพอลิเมอร์ ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอน (Single-Screw Extruder) เพื่อตัดเป็นเม็ด
- 5) ขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ด้วยเทคนิคการเป่าฟิล์ม (Blown Film Extrusion)

เอกสารนี้เป็น 6) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ราคา

ไม่ต่ำกว่า 7) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC) ๕

- 8) ศึกษาสมบัติความชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส Contact Angle (CTA)
- 9) ศึกษาสมบัติการรับแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)
- 10) ศึกษาสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มด้วยเครื่อง Water Vapor Transmission
- 11) ทดลองทำเป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุสำหรับเก็บมะเขือเทศ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/LDPE ที่สามารถช่วยยืดอายุของผักและผลไม้ มีการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถใช้งานได้ง่าย และมีต้นทุนที่ไม่สูงมากเพื่อสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว

ผลิตผลทางการเกษตรหลังจากเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วไม่ว่าจะเป็นผักหรือผลไม้จะยังคงมีชีวิตอยู่ และมีกระบวนการทางชีววิทยาต่างๆเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เช่น การหายใจ การคายน้ำ การผลิตก๊าซเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้ผักและผลไม้มีคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าจะเป็น รสชาติ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รวมไปถึงคุณค่าทางอาหาร ซึ่งกระบวนการทางชีววิทยาเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของผลิตผลนั้นๆด้วย ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบบรรยากาศ เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว มีดังนี้ [5]

#### 1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อกระบวนการเร่งต่างๆไม่ว่าจะเป็นการหายใจ การคายน้ำ การผลิตก๊าซเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การเจริญเติบโตและพัฒนา รวมถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ผลิตผลเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ผลิตผลเสียหายง่าย ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำจะช่วยให้เก็บรักษาผลิตผลในสภาพเดิมได้นานขึ้น

#### 2. ความชื้นสัมพัทธ์

ปริมาณความชื้นในอากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์นั้นมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลทางการเกษตร ความชื้นในบรรยากาศโดยปกติจะมีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความชื้นอิ่มตัว คือมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100% ส่วนผักและผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70% และส่วนใหญ่มีน้ำอยู่ถึง 90% ความดันไอน้ำในผลไม้จึงค่อนข้างสูงเพราะผลไม้นั้นเปรียบเสมือนภาชนะปิด ไอน้ำรอบๆเซลล์จะสมดุลกับไอน้ำภายในเซลล์ส่งผลให้ความดันไอน้ำภายในผลิตผลมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ผลิตผลจึงมีการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับความชื้นของบรรยากาศภายนอกว่ามีมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่ความชื้นของบรรยากาศรอบๆอิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% มีโอกาสที่น้ำจากผลิตผลจะสูญเสียให้กับบรรยากาศภายนอกได้ เนื่องจากผลิตผลเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ทำให้มีพลังงานความร้อนออกสู่บรรยากาศรอบๆ อุณหภูมิของอากาศจึงสูงขึ้นและอากาศรับน้ำได้มากกว่าเดิมทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลา

อีกทั้งความชื้นยังมีผลต่อกระบวนการทางชีววิทยาด้วย ถ้าความชื้นน้อยเกินไปผลิตผลก็จะเหี่ยว แต่ถ้ามักเกินไปจะทำให้ผลิตผลนั้นเน่าเสียได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. องค์ประกอบบรรยากาศ

ออกซิเจนในบรรยากาศนั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจและการสร้างเอทิลีนในพืช ผลผลิต ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนลดต่ำลง จะทำให้ทั้งอัตราการหายใจและการสร้างก๊าซเอทิลีนลดลง การเสื่อมสภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเกิดช้าลงด้วย สำหรับก๊าซที่ได้จากการหายใจอย่างคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีการสะสมมากในสภาพแวดล้อมของการเก็บรักษา จะทำให้ทั้งการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนลดต่ำลงและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตออกไป อย่างไรก็ตามถ้าหากปริมาณออกซิเจนลดต่ำเกินไป หรือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือเกิดกระบวนการหมักขึ้นในผลไม้ ทำให้ผลผลิตเสียหายได้ ส่วนก๊าซเอทิลีนที่เกิดจากผลผลิตเอง หากไม่มีการกำจัดออกไปจากสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาจะไปกระตุ้นให้ผลผลิตเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ผลผลิตจะเสียหายได้

#### 2.1.1 ชีววิทยาของผลผลิตทางการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว

เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ ไม่ว่าจะเป็นผักหรือผลไม้ กระบวนการต่างๆ ทางกายภาพและชีววิทยาจะยังคงดำเนินอยู่ ดังนั้นผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะยังคงหายใจต่อไปโดยการดูดก๊าซออกซิเจนและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความร้อนออกมา มีการคายน้ำและการสูญเสียน้ำหนัก กระบวนการทางชีววิทยาที่เกิดขึ้น ได้แก่ [5]

##### 2.1.1.1 การหายใจของผลผลิตทางการเกษตร

การหายใจเป็นกระบวนการเผาผลาญอาหารสะสมในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำตาลหรือแป้งไปเป็นพลังงาน ทำให้อาหารที่สะสมอยู่ในผลผลิตลดลง คุณภาพในการบริโภคลดลง นอกจากนี้พลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างการหายใจยังมีผลทำให้ผลผลิตมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้นอีกด้วย โดยทั่วไปผลผลิตที่เป็นส่วนของพืชที่กำลังเติบโต เช่น ยอดอ่อนของผัก จะมีอัตราการหายใจที่สูง และผลผลิตที่อยู่ในระหว่างการพักตัวจะมีอัตราการหายใจที่ต่ำ เช่น หัวของมันชนิดต่างๆ ในส่วนของผลไม้จะมีอัตราการหายใจในระดับปานกลาง แต่ในผลไม้บางชนิดเมื่อสุกแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก อีกทั้งยังมีอัตราการหายใจที่เพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น มะม่วงและกล้วย เป็นต้น ผลไม้ประเภทนี้จึงมีการสูญเสียมาก และมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่สั้นกว่าผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำ เช่น ส้ม ดังนั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจึงควรจัดให้ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ [5-6]

การหายใจของผลผลิตสดนั้นมี 3 ขั้นตอน ได้แก่

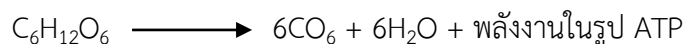
1. ขั้นตอนการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายๆ โมเลกุลให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว

2. ขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นให้เป็นกรดไพรูวิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาบางส่วน ผู้ยาดำเนินการไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไพรูวิกและกรดอินทรีย์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานซึ่งเกิดในการหายใจของผลิตภัณฑ์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ สรุปได้เป็นสมการอย่างง่ายคือ



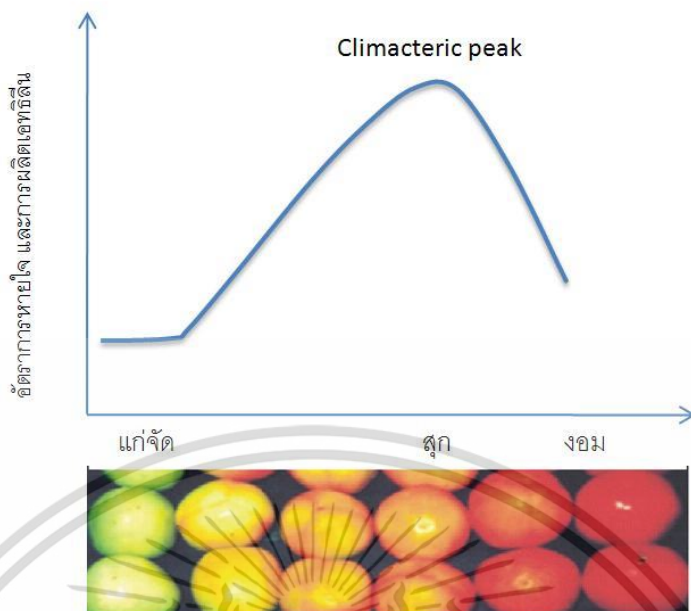
รูปที่ 2.1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration) [6]

โดยที่การหายใจในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนสมบูรณ์จะได้ปริมาณ ATP ต่อโมเลกุลมากกว่าการหายใจในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน [7]

สำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจะมีรูปแบบการหายใจที่แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ได้แก่ ผลไม้กลุ่มที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric และผลไม้กลุ่มที่มีการหายใจแบบ Non-climacteric

1. Climacteric fruit หรือผลไม้ที่บ่มให้สุกได้ เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงตามอายุ นับจากที่ผลไม้แก่จัด อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภายใน เช่น มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก การเปลี่ยนสตาร์ชให้กลายเป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้สุกจะมีรสหวาน เนื้อนิ่ม และมีกลิ่นหอมมากกว่าผลไม้ดิบ ผลไม้ประเภทนี้จะมีการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีนน้อยมากในระยะดิบ แล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ผลไม้บ่มสุก มีการสังเคราะห์เอทิลีน และมีอัตราการหายใจสูงสุดเมื่อผลไม้สุก ก๊าซเอทิลีนมีผลทำให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น ดังนั้นการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนร่วมกับปัจจัยอื่นๆ จะช่วยควบคุมระยะเวลาในการนำผลไม้ไปใช้ประโยชน์ได้ ผลไม้ประเภทนี้จะต้องเก็บมาจากต้นเมื่อผลแก่จัดแล้วจึงปล่อยให้สุกต่อ หรือทำการบ่มให้สุกโดยใช้ก๊าซเอทิลีน หรือใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ จะได้ผลไม้สุกที่มีระยะการสุกสม่ำเสมอ [8-9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 อัตราการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีนเทียบกับสีของผลิตผล [8]

2. Non-climacteric fruit เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อยๆ ลดลงเมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คืออัตราการหายใจค่อนข้างที่จะคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวไปจนถึงระยะเสื่อมสลาย มีรสชาติคงที่ อายุการเก็บรักษาค่อนข้างยาว เพราะฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่จะได้ผลไม้ที่มีรสชาติเหมือนเดิมตลอดไป จึงต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่จัด [9-10]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจ [8]

Climacteric fruit	Non - climacteric fruit
มะเขือเทศ	เงาะ
แอปเปิ้ล	พริกหวาน
สาลี่	มังคุด
ท้อ	ลิ้นจี่
ทุเรียน	ลองกอง
อะโวคาโด	ลำไย
น้อยหน่า	มะไฟ
มะม่วง	มะนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้แต่ไม่ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.2 การคายน้ำ

ผลิตผลทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็นผัก หรือผลไม้จะต้องมีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจ ประกอบกับปริมาณความชื้นภายในผลิตผลจะมีอยู่มากกว่า 80% ขึ้นไปซึ่งสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำที่อยู่ภายในผักและผลไม้จึงพยายามเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอกผลิตผลอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าผักและผลไม้จะมีโครงสร้างต่างๆ ที่ช่วยป้องกันการระเหยของน้ำ เช่น ชั้นของไข และคอร์ก ที่ปกคลุมผิวอยู่ แต่ผักและผลไม้เหล่านั้นมักจะมีช่องเปิดที่น้ำและอากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ เช่น ปากใบ และเลนติเซล การสูญเสียน้ำจึงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้น้ำหนักของผักผลไม้ลดลง รวมถึงทำให้คุณภาพในการรับประทานลดลงด้วย โดยเฉพาะในด้านของเนื้อสัมผัส คือ ทำให้ผักผลไม้ไม่กรอบ มีผิวที่เหี่ยว นอกจากนี้การเกิดบาดแผลยังเป็นช่องทางให้มีการคายน้ำมากขึ้นด้วย หลังจากการเก็บเกี่ยวจึงจำเป็นต้องป้องกันการสูญเสียน้ำให้ได้มากที่สุด [5]

### 2.1.1.3 การผลิตก๊าซเอทิลีน [11]

ก๊าซเอทิลีนเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต และการสุกของผลไม้ ในขณะเดียวกันก็ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง และคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวลดลงหากไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาให้ถูกต้อง เนื่องจากการมีก๊าซเอทิลีนปะปนอยู่ในระหว่างเก็บรักษาจะไปเร่งการสุกและการเสื่อมสภาพ ทำให้ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง

ตารางที่ 2.2 อัตราการผลิตเอทิลีนของพืชผล ณ อุณหภูมิ 20 °C [11]

ระดับการผลิตเอทิลีน	ช่วงผลิตที่ 20 °C (ppm C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /กก./ชม.)	ชนิดพืชผล
ผลิตต่ำมาก	<0.1	ดอกไม้ตัดแล้ว ผัก องุ่น
ผลิตต่ำปานกลาง	0.1-10.0	แตงกวา กัลยัม มะเขือเทศ
ผลิตสูง	10.0-100.0	แอปเปิ้ล อะโวคาโด
ผลิตสูงมาก	>100.0	เสาวรส

แหล่งของเอทิลีน

เอทิลีนเป็นก๊าซที่ผลิตขึ้นได้ตามธรรมชาติจากเนื้อเยื่อของพืชเอง ผลิตผลต่างชนิดกันจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่แตกต่างกันตามตารางที่ 2.2 โดยทั่วไปอัตราการผลิตเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นตามปัจจัยต่างๆ เช่น ความแก่สมบูรณ์ของผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว การเกิดบาดแผล โรค อุณหภูมิสูง ไปจนถึงการขาน้ำ ดังนั้นในการเก็บรักษาจึงจำเป็นต้องแยกเอาผลิตผลสดลักษณะไม่ดีดังกล่าวออกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพวก นอกจากเอทิลีนจะถูกผลิตขึ้นจากพืชเองแล้วเอทิลีนยังเกิดขึ้นได้จากกรเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาขยะ การจูดรูป หรือการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นต้น เอทิลีนจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลได้เช่นกัน

ตัวอย่างการเสื่อมสภาพของผลิตผลชนิดต่างๆ อันเนื่องมาจากเอทิลีน

1. เร่งการเสื่อมเสียและทำให้สีเขียวของผักจางลง
2. ทำให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น
3. เกิดใบร่วง
4. อายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลง
5. เกิดรสมในแครอท
6. ทำให้หน่อไม้ฝรั่งเหนียวและแข็ง
7. เกิดจุดสีน้ำตาลที่ใบผักกาดหอม
8. ผลิตผลติดเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้ง่าย

## 2.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับรักษาคุณภาพผลิตผลสด

การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผลิตผลนั้น สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้เพื่อคงคุณภาพ ความสด และรสชาติของผลิตผลไว้ให้นานมากขึ้น ฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานที่ต่างกัน ฟิล์มที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น [12]

-พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นฟิล์มที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่าน ป้องกันการผ่านของไอน้ำได้

-พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) มีลักษณะโปร่งใสกว่าพวกฟิล์ม LDPE นิยมทำเป็นถุงและภาชนะสามารถใช้ความร้อนในการปิดผนึกได้

-พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) ฟิล์มประเภทนี้ยอมให้ไอน้ำและก๊าซซึมผ่านไปได้ นิยมใช้ในการปิดด้านบนของภาชนะที่ใส่ผลิตผลสด แต่ฟิล์มชนิดนี้ไม่เหมาะกับการทำเป็นถุง

-เซลโลเฟน (Cellophane) มีการใช้กันอยู่หลายชนิด อาจใช้ปิดด้านบนของภาชนะ ทำเป็นถุง มีลักษณะโปร่งแสง ไม่สามารถทำให้ติดกันด้วยความร้อน ยอมให้ความชื้นผ่านได้

-Rubber Hydrochloride หรือ Plioflim เป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงมาก ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ใช้เป็นถุงบรรจุผักและผลไม้สดที่มีน้ำหนักมากๆ อากาศและความชื้นผ่านไปได้ยาก ถ้าใช้ต้องมีการเจาะรูเพื่อระบายอากาศและความชื้น

ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นพลาสติกในการห่อผลิตผลสดกันมากขึ้น แผ่นพลาสติกจะช่วยในการป้องกัน และรักษาผลิตผลให้อยู่ได้นาน โดยทั่วไปแผ่นพลาสติกจะช่วยให้เกิดสภาพแวดล้อมรอบๆ ผลิตผลที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ซึ่งต้องคำนึงถึงสมบัติด้านดาร์ซึมผ่านของฟิล์มขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผลิต พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้จะเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline) ในส่วน

ของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ หรือส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) จะเป็นส่วนที่ไม่ยอมให้ก๊าซ หรือไอน้ำซึมผ่าน ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) สายโซ่พอลิเมอร์จะอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) การเคลื่อนที่ของสายโซ่จะถูกจำกัด ปริมาตรอิสระ (Free volume) ก็จะถูกจำกัดเช่นกัน แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว สายโซ่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอิสระ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อความสามารถของโมเลกุลที่จะแพร่ผ่านวัสดุ

ความแตกต่างของความสามารถในการซึมผ่านก๊าซของพอลิเมอร์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ [13]

- ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการซึมผ่านของก๊าซ
- ความสามารถในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันของสายโซ่พอลิเมอร์
- อิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ต่อการละลายได้ของก๊าซในส่วนที่เป็นอสัณฐานของสายโซ่พอลิเมอร์
- ความสามารถในการซึมผ่านจะลดลงถ้าส่วนของความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ส่วนการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์โดยการยึดฟิล์ม เป็นการเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกและลดความสามารถในการซึมผ่านลง

### 2.2.1 การซึมผ่านของก๊าซ [16]

การซึมผ่านก๊าซ (Gas permeation) หมายถึง กระบวนการแพร่โมเลกุลของก๊าซ ไอน้ำ หรือของเหลวผ่านเมมเบรน ทั้งนี้ไม่รวมการแพร่ผ่านรูรั่วหรือรอยปริแตกของเมมเบรนนั้นๆ โมเลกุลที่แพร่ผ่านเมมเบรนนี้ เรียกว่า Permeant ลำที่แสดงอัตราการแพร่ผ่านเมมเบรนหรืออัตราการซึมผ่านเมมเบรนนี้ เรียกว่า Permeability

การกำหนดอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อเลือกชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษา และสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้วัสดุที่มีการป้องกันก๊าซได้ดีมาก ควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน  $2 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$  ส่วนวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซดีพอควรจะมีค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนประมาณ  $20\text{-}30 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$  สำหรับผักและผลไม้สดที่ต้องใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านก๊าซได้ดี โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนไม่เกิน  $2000 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{day}$  อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในฟิล์มชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มชนิดต่างๆ [14]

ชนิดของพลาสติก	ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (cc/25 $\mu$ m/m <sup>2</sup> .day at 23 °C, 50% RH)
พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET)	47-94
พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	80-9000
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	2100-2900
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	7100-7800
พอลิโพรพิลีน (PP)	2400-3800

### 2.2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) หมายถึง อัตราเร็วในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน การวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุล ที่อุณหภูมิ 38 °C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% [15]

การเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ต้องระมัดระวังปัญหาที่เกิดจากหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุ และปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันไอน้ำได้ดีจะช่วยลดปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มักจะเกิดปัญหาหยดน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ ในทางกลับกันวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้มักจะเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์แห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยเจาะรูเล็กๆ เพื่อช่วยในการระบายไอน้ำบางส่วนออกจากบรรจุภัณฑ์ [6]

ตารางที่ 2.4 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ [15]

วัสดุ	อัตราการซึมผ่าน			
	ไอน้ำ (g/m <sup>2</sup> /day)	O <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	N <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	CO <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)
LDPE	1.3	550	180	2900
HDPE	0.3	600	70	450
PP	0.7	240	60	800
Polyester	0.7	14	0.7	16
PVC	4	150	N/A	970
PS	8	310	50	1,050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติก [16]

- ธรรมชาติของพอลิเมอร์ ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี การจัดเรียงโมเลกุล ความเป็นผลึก ความหนาแน่น สภาพขั้ว เช่น หากพอลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูงจะมีความหนาแน่นในการจัดเรียงสายโซ่ เนื่องจากมีความเป็นระเบียบมาก หรือมีหมู่ฟังก์ชันจำพวกคลอไรด์หรือไฮดรอกไซด์ที่ทำให้มีสภาพขั้วสูง จะทำให้มีการซึมผ่านของก๊าซชนิดที่ไม่มีขั้วผ่านฟิล์มพอลิเมอร์ต่ำ

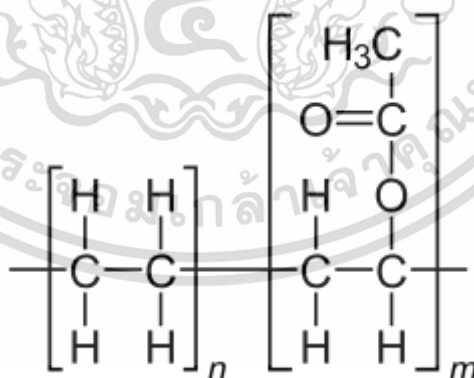
- ธรรมชาติของก๊าซที่ซึมผ่าน เช่น รูปร่างและขนาดของโมเลกุล สภาพขั้ว ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการแพร่

- สารเติมแต่งต่างๆ เช่น พลาสติกไซเซอร์ สารแอนติออกซิแดนต์ สารหล่อลื่น สารเหล่านี้หากช่วยลดแรงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซมีค่ามากขึ้น

- สิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความดัน และความชื้น เป็นต้น

### 2.3 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ [17-19]

เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) เป็นเทอร์โมพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟิน เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต ซึ่งจัดเป็นโคพอลิเมอร์ชนิดสุ่ม (Random Copolymer) การทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดภายใต้ความดันสูงของเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้ต่ำกว่ากรณีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนเพียงตัวเดียว การมีไวนิลอะซิเตตเป็นหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างพอลิเมอร์ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นลดความเป็นระเบียบของโครงสร้าง ทำให้การเกิดผลึกลดลง ถ้าหากมีปริมาณเอทิลีนมากจะทำให้โคพอลิเมอร์มีสมบัติแข็ง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) [20]

#### 2.3.1 สมบัติบางประการ

- EVA มีความยืดหยุ่นได้คล้ายยาง มีความโปร่งใส ยืดหยุ่นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ทนต่อสารเคมีได้ดี ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดสีสูง ไม่เป็นพิษ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.926-0.950 สามารถละลายได้ในอะโรมาติก และคลอริเนตไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง

- EVA มีความทนต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวสูง สามารถเข้ากระบวนการผลิตได้ง่ายเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป

- EVA ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี คือ ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และสภาพอากาศ

- EVA มีสมบัติที่ผสมเข้ากับพลาสติกอื่นๆ ได้ดีหลายชนิด และผสมกับสีได้ในปริมาณสูง จึงนิยมใช้ EVA เป็นตัวผสมกับสีต่างๆ ในระดับเข้มข้น เพื่อใช้ในการผสมกับพลาสติกอื่นๆ ให้มีสีตามต้องการต่อไป

### 2.3.2 การนำไปใช้ประโยชน์

EVA ทั้งที่ผ่านการตัดแปรรและไม่ได้ผ่านการตัดแปรรนิยมนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

-ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการรีด (Calendered goods) ได้แก่ แผ่นลามิเนต ฟิล์ม แผ่นฝ้าฝ้า และบรรจุภัณฑ์

-ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยการอัดรีด (Extruded products) ได้แก่ หลอด ฟิล์ม และท่อหุ้มสายไฟหรือสายเคเบิล

-ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยการกระบวนการอัดแบบ (Molded products) ได้แก่ ของเล่นเด็ก อุปกรณ์ทางการแพทย์ และผลิตภัณฑ์ทางด้านกีฬา

-ผลิตภัณฑ์พิเศษต่างๆ เช่น ถุงมือผ่าตัด และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนึกด้วยความร้อน

-ใช้ในงานเคลือบ เช่น ใช้เคลือบบนกระดาษและผ้าที่ตกแต่งบนรองเท้า และบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร

## 2.4 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่นิยมนำไปใช้งานมากที่สุด มีราคาถูก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่นๆ ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำ พอลิเอทิลีนผลิตขึ้นจากสารตั้งต้นเอทิลีน จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง โดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะสายโซ่สั้นและยาวนั้นส่งผลให้พอลิเอทิลีนมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ตามความหนาแน่น [21] ดังนี้

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) เป็นเม็ดพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ เบาบาง มีความทนทานในระดับหนึ่ง ความเด่นคือสามารถทนต่อสารเคมีได้ดี มีความยืดหยุ่นสูงจนสามารถที่จะป้องกันการขาดหรือการทะลุได้ มีความบางแต่ก็มีความแข็งแรงที่ดี มีราคาถูก สามารถใช้งานได้ทั้งภายในครัวเรือนและงานอุตสาหกรรม นิยมนำมาผลิตเป็นฟิล์มยืด ฟิล์ม

เอกสารนี้เขิน ขวดน้ำ และของเล่นรูปแบบต่างๆ โดยความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำจะอยู่ที่

ไม่ต่ำกว่า 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หากและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene, MDPE) เป็นเม็ดพลาสติกที่มีความแข็งแรงและหนาแน่นมากกว่า LDPE ทนทานต่อสารทำละลายและความร้อนได้ดี นิยมนำมาผลิตเป็นท่อแก๊ส ท่อน้ำ และแก้วพลาสติก โดยความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลางจะอยู่ที่ 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) เป็นเม็ดพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรงและทนทาน เพราะมีโมเลกุลที่ยึดเกาะกันและเชื่อมโยงกันอยู่อย่างหนาแน่น มีความโปร่งแสงน้อย ทนทานต่อสารทำละลายต่างๆ จึงนิยมนำมาผลิตเป็นถังน้ำมันรถ ท่อส่งสารเคมี หีบห่อที่มีแข็งแรงสูง โตะหรือเก้าอี้พลาสติกที่ใช้ในครัวเรือน จานหรือชามที่ทนความร้อนได้ดี เป็นต้น โดยความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะอยู่ที่ 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน (PE) [22]

#### 2.4.1 สมบัติบางประการ

-สมบัติทางเคมีคล้ายกับพวกพาราฟิน มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

-ทนทานต่อทุกสภาพอากาศและสารเคมีหลายชนิด นิยมนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร มีความยืดหยุ่นที่ดี และเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำจะมีความเหนียวสูง จึงไม่ต้องกังวลเรื่องขาดหรือเสียหายง่าย

-ผลิตออกมาเป็นฟิล์มยืดเพื่อใช้ในครัวเรือนได้อย่างปลอดภัย ไม่ว่าจะเป็แบบใสหรือแบบมีสีสััน

-ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างทนทานและแข็งแรง ไม่ละลายง่าย ไม่เสียหายเร็ว ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนบ่อย

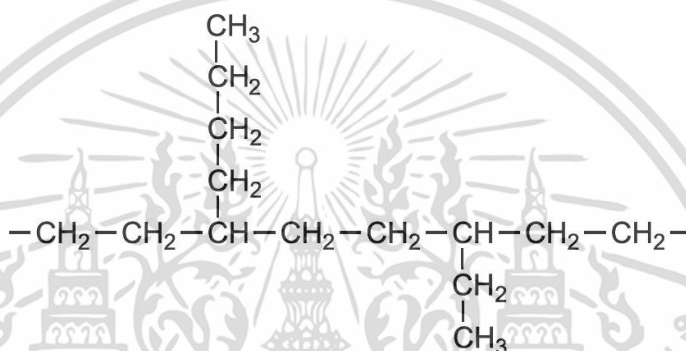
#### 2.4.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) [23]

LDPE ผลิตด้วยกระบวนการความดันระดับสูง (High Pressure Process) เป็นพอลิเมอร์เอกสารนี้ที่มีความหนาแน่นต่ำ อยู่ในช่วง 0.910-0.925 g/cm<sup>3</sup> โครงสร้างมีกิ่งก้านสาขาแยกออกมา มาก ทำให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลมีความไม่เป็นระเบียบ มีการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆ มีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียว ไม่กรอบแตกง่าย นิยม ยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการโจมตีของจุลินทรีย์และฉีกขาด มีความปลอดภัย สามารถนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารได้

LDPE ประมาณ 65% ใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์โดยนำไปแปรรูปฟิล์ม เช่น ใช้ทำถุงเย็น ถุงสินค้าทั่วไป ฟิล์มหัด และฟิล์มยืด เป็นต้น ประมาณ 22% ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล วัสดุเคลือบผิว การเป่าขวด เป็นต้น และประมาณ 13% ใช้ในงานผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด เช่น ขวดถ้วย ถาดบรรจุอาหารและยา ของเล่นเด็ก และของใช้ภายในบ้าน เป็นต้น

การใช้งานฟิล์มที่ผลิตมาจาก LDPE ถือว่าได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากช่วยในเรื่องการถนอมอาหาร และประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) [23]

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปฐมพงศ์ เพ็ญไชยา [24] ได้ทำการศึกษาผลของสภาพบรรยากาศควบคุมอุณหภูมิ และบรรจุภัณฑ์ ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของโหระพา โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเก็บรักษาแบบสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง (ร้อยละ 5 10 และ 15) และสภาพที่มีออกซิเจนต่ำร้อยละ 1.5 ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง (ร้อยละ 0 5 10 และ 15) พบว่า การเก็บรักษาโหระพาในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำร้อยละ 1.5 ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0 มีคุณภาพดีที่สุด โดยสามารถชะลอการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดี และมีอายุการเก็บรักษานาน 24 วัน ในการทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของโหระพา ที่อุณหภูมิ 7 10 12 15 20 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสสามารถรักษาคุณภาพของโหระพาได้ดีที่สุด ช่วยชะลอการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนักได้ ในการทดลองที่ 3 ได้ทำการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการวางจำหน่ายของโหระพา พบว่า โหระพาที่บรรจุด้วยถุง PE และถุง PP สามารถรักษาคุณภาพ และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ดี โดยมีอายุการวางจำหน่ายนานถึง 10 และ 14 วันตามลำดับ

นภาวิณี วินิจฉัย [25] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้ และค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มพอลิเมอร์ งานวิจัยนี้ได้วัดอัตราการหายใจ

ของมะเขือเทศ กล้วยน้ำหว่า ส้มเขียวหวาน และพริกชี้ฟ้า เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ต่ออัตราการหายใจ และได้ทำการทดลองหาความสามารถในการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ จากการทดลองพบว่า ค่าความสามารถในการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์นั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฟิล์มพอลิเมอร์ ชนิดของก๊าซ และแปรผัน อุณหภูมิตามสมการของอาร์เรเนียส

Faker และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมจากพอลิเอทิลีน/เอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (PE/EVA) ร่วมกับพฤติกรรมทางความร้อน งานวิจัยนี้ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสม PE/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 90/10 75/25 และ 50/50 มาทำการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้เทคนิค SEM (Scanning Electron Microscopy) จากการศึกษพบว่าพอลิเมอร์ผสม PE/EVA ที่อัตราส่วน 90/10 และ 75/25 EVA สามารถกระจายตัวได้ดีใน PE แต่ในทางกลับกัน พอลิเมอร์ผสม PE/EVA ที่อัตราส่วน 50/50 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมกลายเป็น Co-continuous อย่างชัดเจน และจากการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนบ่งชี้ว่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Crysattline Melting Point) ของ PE มีค่าลดลง และของ EVA มีค่าเพิ่มขึ้น

Pham [27] ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของ LDPE และ LDPE-Based/EVA ที่มีปริมาณ Vinyl Acetate ปานกลาง (28%) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความต้านทานแรงดึงจากการผสม LDPE กับ EVA28 (2.5%, 5%, 7.5%, 10% และ 12.5%) ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณของ EVA28 ส่งผลให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของตัวอย่างผสม LDPE/2.5%EVA, LDPE/5%EVA, และ LDPE/10%EVA มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็งแรงจะค่อยๆ ลดลง และจากงานวิจัยนี้ยังสรุปได้ว่า การผสม LDPE/EVA28 ทำให้มีค่า Elongation at break สูงกว่า LDPE โดยสูตรที่มี 10% EVA28 มีค่า Elongation at break สูงที่สุด

Marais และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต (VA) ต่างกัน จากการศึกษพบว่า การดูดซึมน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ VA นอกจากนั้นยังทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงใน EVA พบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับปริมาณ VA สรุปได้ว่า VA เป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ โดยจะเข้าไปทำให้ความเป็นผลึกลดลง ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น

นันทวรรณ ม่วงมี [3] ได้ทำการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) โดยใช้อัตราส่วน LDPE/EVA เป็น 100/0, 90/10, 80/20, และ 75/25 และใช้ซีโอไลต์เอเป็นสารตัวเติม 0-25% โดยน้ำหนัก จากการศึกษผลของกระบวนการผสมสูตรฟิล์มด้วยเครื่องผสมเกลียวหนอนคู่ พบว่าการผสม EVA กับซีโอไลต์เอแล้วจึงไปผสมกับ LDPE ทำให้อนุภาคของซีโอไลต์เอมีการกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ EVA และมีการกระจายตัวเป็นวัฏภาคเดี่ยวๆ เนื่องจากการผสมซีโอไลต์เอที่มีขั้วกับ EVA ที่มีหมู่ไวนิลอะซิเตตที่มีขั้วเหมือนกัน ทำให้เข้ากันได้ และกระจายตัวได้ดี จากการศึกษการซึมผ่านไอน้ำ

ของฟิล์มพบว่า เมื่อเติมซีโอโลต์เอและ EVA ในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้มีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำที่สูงด้วย เนื่องจากการมีปริมาณ EVA ที่สูงทำให้สามารถใส่ซีโอโลต์เอได้มากขึ้น โดยจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ฟิล์มสูตร LE(80/20) มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์ม LDPE 29% และเมื่อเติมซีโอโลต์เอ 25% ฟิล์มสูตร LE(80/20)Z25 (มี EVA 20 ส่วนและซีโอโลต์เอ 25%) มีค่า WVP สูงกว่าฟิล์มสูตร LE(80/20) 60% และสูงกว่าฟิล์ม LDPE ถึง 106%

ณัฐนิชา วรศิลป์ และปารตี สุกสว่าง [4] ได้ศึกษาการปรับปรุงฟิล์ม EVA โดยเตรียมเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับ LDPE ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของ EVA/LDPE (100/0, 95/5, 90/10, 85/15 และ 80/20) ที่มีต่อสมบัติการขึ้นรูปและสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว และขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการอัดรีดแบบเป่า จากการศึกษาพบว่าค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณ EVA ลดลง เนื่องจากการลดการเป็นวัฏภาคหลักที่มีความเป็นอสัณฐานและลดความมีขั้ว และจากการทดสอบการใช้ฟิล์มเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ในการยืดอายุการเก็บรักษาพริกสด พบว่าฟิล์มที่มี EVA มาก (E100 และ E90L10) ไม่พบหยดน้ำที่เกิดจากการควบแน่นและไม่พบพริกที่เกิดการเน่าเสียเลย เนื่องจาก EVA มีสมบัติในการซึมผ่านไอน้ำที่ดีมาก จากการที่ EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วและมีความเป็นอสัณฐานสูง และจากการศึกษายังพบว่าเมื่อผสม LDPE ซึ่งมีสายโซ่ที่เป็นระเบียบ และมีส่วนที่เป็นเอทิลีนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับ EVA เข้ามา จะช่วยเพิ่มความคงรูปและลดความเหนียวติดให้กับฟิล์มพอลิเมอร์ ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งได้ศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ที่มีความเป็นอสัณฐานและมีความมีขั้วที่ดี สามารถช่วยส่งเสริมการซึมผ่านไอน้ำได้เป็นอย่างดี การมี LDPE ในฟิล์ม จะช่วยเพิ่มความคงรูปและลดความเหนียวติดให้กับฟิล์ม EVA/LDPE ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และได้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีได้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) เกรด UL00728CC ของ Exxon Mobil Chemical Co., Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ EVA Copolymer เกรด UL00728CC

สมบัติ	UL00728CC	หน่วย
ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate)	27.5	wt%
ดรชนีการไหล (Melt flow rate) at 190 °C, 2.16 kg	7.0	g/10 min
ความหนาแน่น (Density)	0.951	g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว (Melting point)	73	°C
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break)	>100	%
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	2500	psi

2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรด Innoplus LD2426K จาก PTT Global Chemical Pubic Co., Ltd

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ LDPE เกรด Innoplus LD2426K

สมบัติ	LD2426K	หน่วย
ดรชนีการไหล (Melt flow rate) at 190 °C, 2.16 kg	4.0	g/10 min
ความหนาแน่น (Density)	0.924	g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว (Melting point)	110	°C
ความต้านแรงดึง (Max. Tensile Strength) MD/TD	20/18	MPa
การยืดตัวสูงสุด (Ultimate Elongation) MD/TD	500/630	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) จาก CHAREON TUT Co., Ltd. รุ่น MX500-D75L90
2. เครื่องบดพลาสติก
3. เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-Screw Extruder) จาก SPL Machinery Co., Ltd. รุ่น SPL 35G REG-LAB
4. เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก (Film Blowing Tower) จาก Labtech engineering Co., Ltd. รุ่น LE2030/C & LF-250
5. เครื่องทดสอบมุมสัมผัส (Contact Angle) จาก Data Physics Instrument GmbH. รุ่น OAC 20
6. เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารโดยอาศัยสมบัติทางอุณหภูมิจาก (Differential Scanning Calorimeter) จาก METTLER TOLEDO (Thailand) Ltd. รุ่น DSC 3+ STAR<sup>c</sup> System
7. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transform Infrared Spectroscopy) จาก SHIMADZU Co., Ltd. รุ่น IRTracer-100
8. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) จาก Comtech. รุ่น QC-536M1
9. เครื่องทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeation Tester) Illinois instrument (Thailand) Co., Ltd. รุ่น Lyssy L80-4000J
10. ตู้อบความร้อน (Hot air oven)
11. เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 g
12. ไมโครมิเตอร์
13. เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

### 3.3 การเตรียมสูตรพอลิเมอร์ผสม

เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสม โดยทำการผสมดังตารางที่ 3.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/LDPE โดยการชั่ง EVA และ LDPE ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.3 ทำให้ส่วนผสมเข้ากัน โดยการเขย่าให้พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดเข้ากัน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องผสมระบบปิด โดยตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

- อุณหภูมิ	160 °C
- ความเร็วรอบ	80 rpm
- เวลาในการผสม	20 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมไปบดให้เป็นชิ้นเล็ก เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับการผสมในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดียว โดยตั้งสภาวะเครื่องดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ 5 ช่วง (Feed zone 140 °C, 145 °C, 150 °C, 155 °C, Die zone 160 °C)

- ความเร็วสกรู (Screw Speed) 10 rpm

โดยพอลิเมอร์ที่ออกมาจากเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดียวจะผ่านออกมาในลักษณะเป็นเส้นผ่านลงรางน้ำเพื่อให้อุณหภูมิลดลง จากนั้นนำเส้นพอลิเมอร์ผสมเข้าเครื่องตัดเม็ดและนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 55 °C

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/LDPE

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	
	EVA	LDPE
E100	100	0
E90L10	90	10
E80L20	80	20
E70L30	70	30
E60L40	60	40
E40L60	40	60
L100	0	100

### 3.4 การเตรียมฟิล์มโดยเทคนิคการเป่า

นำพอลิเมอร์ที่ตัดเม็ดและอบเรียบร้อยแล้ว ทำการขึ้นรูป โดยการใช้นิตินการเป่าฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนที่เชื่อมต่อกับเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ใช้หัวตายประเภททวงแหวน ฟิล์มที่ออกมาจะถูกเป่าให้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกมีการเป่าลมให้เกิดการขยายตัวของท่อฟิล์ม (TD orientation) และมีการปรับความเร็วในการดึงม้วนฟิล์ม (MD orientation) โดยควบคุมความหนาของฟิล์มที่ 50-55  $\mu\text{m}$  และมีการตั้งสภาวะดังนี้

เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

Feed zone	140 °C
Metering zone	140 °C
Compression zone	140 °C
Screw speed	80-90 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เครื่องเป่าชั้นรูปฟิล์ม

Blowing zone	140 °C
Upper zone	140 °C
Lower zone	140 °C
ความเร็วลูกกลิ้ง 1	3.5-4.5 rpm
ความเร็วลูกกลิ้ง 2	3.5-4.5 rpm

## 3.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์

### 3.5.1 การทดสอบวัดมุมสัมผัส

ศึกษาวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส เพื่อศึกษาความชอบน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ตามมาตรฐาน ASTM D 5946-09 โดยการใช้ตัวอย่างชิ้นงานที่เป็นฟิล์มพอลิเมอร์ ใช้หยดน้ำปริมาณ 2  $\mu\text{L}$  อ่านค่าที่เวลาผ่านไป 1 นาที ทำการทดสอบ 3 ตำแหน่ง/ตัวอย่าง ทดสอบ 2 ชิ้นตัวอย่าง/สูตร แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์

### 3.5.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสม

นำฟิล์มพอลิเมอร์มาตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ในโหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) ในช่วงเลขคลื่น 4,000  $\text{cm}^{-1}$  – 600  $\text{cm}^{-1}$  ที่ความหนาประมาณ 50  $\mu\text{m}$  เพื่อหาค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index)

### 3.5.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เพื่อทดสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวของผลึก ( $T_m$ ) และการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ ( $T_c$ ) ตามมาตรฐาน ASTM E794 โดยการชั่งฟิล์มตัวอย่าง 3-5 mg ในช่วงอุณหภูมิ -50-160 °C ด้วยอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ 10 °C ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นนำค่าความร้อนแฝง (Heat of fusion,  $\Delta H_f$ ) คำนวณหาความเป็นผลึกสามารถหาได้สมการดังนี้

$$\text{ความเป็นผลึก (\%)} = \frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^\circ} \times \frac{100}{(\% \text{โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่เกิดผลึก})} \quad (3.1)$$

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (J)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta H_f$  คือ ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (J/g)

$\Delta H_f^\circ$  คือ พลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% มีค่าเท่ากับ 293 J/g ซึ่งจะเป็นค่าที่ใช้อ้างอิงกับการคำนวณความเป็นผลึกของ EVA เช่นกัน

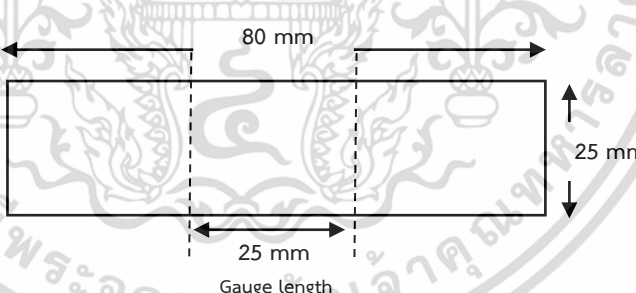
### 3.5.4 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

เตรียมตัวอย่างขนาด  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านฟิล์มด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง โดยทำการส่งฟิล์มไปทดสอบที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย ด้วยวิธี Transfer Time Method โดยใช้ระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่ ที่อุณหภูมิ  $37.8 \text{ }^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ตามมาตรฐาน ISO 15106-1:2003 (E)

### 3.5.5 การศึกษาสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ในการทดสอบแรงดึง ซึ่งค่าที่ต้องการได้แก่ ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break) ตามมาตรฐาน ASTM D 882 โดยตัวอย่างที่เตรียมมีขนาด  $25 \times 80 \text{ mm}^2$  ในการทดสอบใช้สภาวะดังนี้

โหลดเซลล์ (Load Cell)	2K N
ความเร็วในการดึง (Test Speed)	200 mm/min
ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge Length)	25 mm



ค่ามอดูลัส, ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่ามอดูลัสของยัง (ที่ตำแหน่งการยืด 1 และ 3\%)} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}} \quad (3.3)$$

$$\text{ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (\% Elongation at break)} = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break)} = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $F$  = แรงดึงยึดชิ้นงาน ณ จุดขาด

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

$l$  = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด

$l_0$  = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge Length) เท่ากับ 25 mm

### 3.6 การทดสอบโดยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เป็นท่อแบนราบขนาด  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  โดยทำการปิดผนึกฟิล์มด้านหัวและด้านท้ายด้วยความร้อนให้มีลักษณะเป็นถุงสำหรับบรรจุมะเขือเทศจำนวนถุงละ 35-40 กรัม ทำการชั่งบรรจุภัณฑ์ก่อนเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ มะเขือเทศที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีขนาดและน้ำหนักพอ ๆ กัน โดยบรรจุสุตรละ 5 ถุง และเก็บรักษาในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิการเก็บ  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  และ ความชื้นสัมพัทธ์ 45-50 % เป็นเวลา 20 วัน ในขณะที่เก็บรักษาชั่งบรรจุภัณฑ์ทุกๆ 4 วัน แล้วบันทึกค่าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ หลังครบ 20 วันชั่งน้ำหนักบันทึกผลมะเขือเทศ

หลังการเก็บรักษา โดยการเปิดบรรจุภัณฑ์เพื่อทำการชั่งไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์และบนพื้นผิว ชั่งน้ำหนักบันทึกผลหลังการเก็บรักษา นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่แพร่ผ่านบรรจุภัณฑ์ และปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นและกักเก็บภายในบรรจุภัณฑ์ หาได้ดังสมการ

$$A = \frac{[(\text{น้ำหนักมะเขือเทศเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักบรรจุภัณฑ์}) - \text{น้ำหนักมะเขือเทศรวมบรรจุภัณฑ์ทุก 4 วัน}] \times 1000}{\text{น้ำหนักมะเขือเทศเริ่มต้น}} \quad (3.6)$$

$$B = \frac{[\text{น้ำหนักรวมหลังเก็บรักษา} - (\text{น้ำหนักบรรจุภัณฑ์} + \text{น้ำหนักมะเขือเทศวันที่ 20})] \times 1000}{\text{น้ำหนักมะเขือเทศเริ่มต้น}} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของ EVA/LDPE ที่มีต่อสมบัติการซึมผ่านไอน้ำและสมบัติต่างๆ ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม โดยอัตราส่วน EVA/LDPE ดังนี้ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 และ 0/100 ทำการขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการเป่า เพื่อทำเป็นบรรจุภัณฑ์ในการทดสอบบรรจุภัณฑ์สำหรับมะเขือเทศ

อัตราส่วนที่ต่างกันของ EVA/LDPE ส่งผลให้ลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ต่างกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณ LDPE จะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลดลง และมีการควบคุมฟิล์มให้มีความหนาประมาณ 50-55  $\mu\text{m}$  (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ความหนาของแต่ละสูตรฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE

สูตร	อัตราส่วนของพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก		ความหนาฟิล์ม ( $\mu\text{m}$ )
	EVA	LDPE	
E100	100	0	53 $\pm$ 2
E90L10	90	10	50 $\pm$ 1
E80L20	80	20	54 $\pm$ 1
E70L30	70	30	50 $\pm$ 1
E60L40	60	40	50 $\pm$ 1
E40L60	40	60	50 $\pm$ 2
L100	0	100	55 $\pm$ 1

#### 4.1 การทดสอบมุมสัมผัส

การตรวจสอบความมีขี้ของพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรง จึงทำการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพอลิเมอร์ผสม

ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มี EVA/LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า E100 (EVA 100%) มีค่ามุมสัมผัสอยู่ที่ 75.9 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า L100 (LDPE 100%) ที่มีค่า 94.6 แสดงให้เห็นว่า EVA มีความชอบน้ำมากกว่า LDPE เนื่องจากโครงสร้างของ EVA มีโมเลกุลที่มีขี้ ส่วน LDPE มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่มีขี้ การมี EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเป็นการเพิ่มความมีขี้ และแสดงว่าเพิ่มความชอบน้ำให้กับฟิล์ม ในทางตรงข้ามการเพิ่ม LDPE ลงไปในพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่ามากขึ้น ตามปริมาณ LDPE ที่มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีความสามารถ

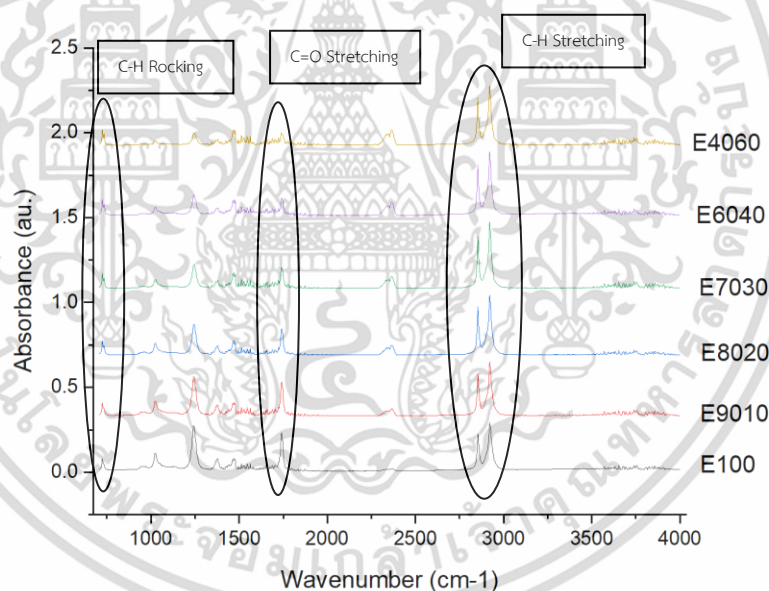
ในการเปียก (Wettability) ลดลง การเพิ่ม LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จึงทำให้ลดสภาพความมีขี้ และความชอบน้ำให้กับพอลิเมอร์ผสม เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

สูตร	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)
E100	75.9 ±0.6
E90L10	81.3 ±0.2
E80L20	87.3 ±0.6
E70L30	88.4 ±0.5
E60L40	88.1 ±0.1
E40L60	90.6 ±0.4
L100	94.6 ±0.3

#### 4.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA/LDPE

การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE โดยการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR เพื่อแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชัน



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA และ EVA/LDPE

จากรูปที่ 4.1 พบว่าสเปกตรัมของ EVA แสดงสัญญาณหมู่ C-H Stretching ของ  $\text{CH}_3$  ในช่วง  $2960\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ , สัญญาณของ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง  $1738\text{ cm}^{-1}$ , สัญญาณของ C-O-C Stretching เกิดจากการสั่นที่ไม่สมมาตร (Asymmetrical Stretching) ที่ตำแหน่ง  $1250\text{ cm}^{-1}$  ของหมู่เอสเตอร์, สัญญาณของ C-O-C Stretching เกิดจากการสั่นที่สมมาตร (Symmetrical Stretching) ที่ตำแหน่ง  $1050\text{ cm}^{-1}$  ของหมู่เอสเตอร์ และสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-H Rocking ที่ตำแหน่ง  $730\text{ cm}^{-1}$  ส่วนสเปกตรัมของ LDPE แสดงสัญญาณหมู่ C-H Stretching ของ  $\text{CH}_3$  ในช่วง  $2960\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$  และ สัญญาณของหมู่ C-H Rocking ที่ตำแหน่ง  $730\text{ cm}^{-1}$

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม (ปริมาณของ EVA ลดลง) ทำให้สัญญาณของหมู่ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง  $1,738\text{ cm}^{-1}$  มีแนวโน้มลดลง

การหาค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index, CI) ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE คำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง  $1738\text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ใน EVA เทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H Rocking ที่ตำแหน่ง  $730\text{ cm}^{-1}$  ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่พบทั้งใน EVA และ LDPE ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย นำมาคำนวณในสมการที่ 4.1

$$\text{ค่าดัชนีคาร์บอนิล (CI)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C=O Stretching ที่ } 1738\text{ cm}^{-1}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H Rocking ที่ } 730\text{ cm}^{-1}} \quad (4.1)$$

จากผลการวิเคราะห์ค่า Carbonyl Index ที่แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า หมู่คาร์บอนิลแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของ EVA ในระบบซึ่งใช้การผสมระบบปิด และค่าดัชนีคาร์บอนิลมีแนวโน้มที่ลดลงเป็นไปตามปริมาณ EVA ที่ลดลงในแต่ละสูตร เนื่องจาก C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิลลดลง

ตารางที่ 4.3 ค่า Carbonyl Index ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ

สูตร	Carbonyl index
E100	2.8
E9010	2.4
E8020	1.5
E7030	1.3
E6040	1.0
E4060	0.8
L100	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม EVA/LDPE โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter ที่แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ในการให้ความร้อนครั้งที่ 1 อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) ของ EVA มีฐานพีคค่อนข้างกว้างและมีค่า  $T_m$  ตำแหน่งพีคมี 2 ค่า เนื่องจาก EVA เป็นโคพอลิเมอร์ร่วมชนิดสุ่ม (Random Copolymer) ระหว่างเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต (VA) 27.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนใน EVA อาจจะมีการเกิดผลึกที่ไม่พร้อมกันและไม่สม่ำเสมอ เพราะในระหว่างที่ทำการขึ้นรูปฟิล์มไม่สามารถควบคุมสภาวะการเย็นตัวของฟิล์มได้ เนื่องจากการเป่าขึ้นรูปฟิล์มอยู่ในสภาวะที่เปิด แต่ในกรณีทดสอบในเครื่อง DSC เป็นสภาวะปิดภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน มีการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิที่ค่าคงที่ ( $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ) ในการหลอมเหลวครั้งที่ 2 พบ  $T_{m2}$  เพียง 1 ค่า แม้จะมีฐานพีคกว้างเช่นเดิม จึงใช้การให้ความร้อนในครั้งที่ 2 ( $2^{\text{nd}}$  Heating) ในการคำนวณความเป็นผลึกของ EVA จากข้อมูล DSC (ตารางที่ 4.4) พบว่า EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์มี  $T_{m2}$  อยู่ในช่วงประมาณ  $75\text{--}76^\circ\text{C}$  มีความเป็นผลึกค่อนข้างต่ำคือ 1-3% แสดงว่า EVA มีความเป็นอสัณฐานสูงมากจึงส่งเสริมการซึมผ่านไอน้ำได้ดี

ในการคำนวณหาค่าความเป็นผลึกของ EVA เนื่องจาก EVA เป็นโคพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต ส่วนที่สามารถเกิดผลึกได้คือส่วนที่เกิดเป็นพอลิเอทิลีนในโครงสร้างของ EVA จึงใช้ค่า  $\Delta H_f^\circ$  ของ PE มาใช้ในการคำนวณความเป็นผลึกของ EVA

ตารางที่ 4.4  $T_c$ ,  $T_m$  และร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

สูตร	EVA				
	$T_c$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{m1}$ ( $^\circ\text{C}$ )		$T_{m2}$ ( $^\circ\text{C}$ )	ความเป็นผลึก (%) $2^{\text{nd}}$ heating
E100	55	44	75	75	1
E90L10	56	45	74	75	3
E80L20	56	45	74	75	3
E70L30	57	47	75	75	2
E60L40	56	45	74	76	1
E40L60	56	47	75	75	0
L100	0	0	0	0	0

จากข้อมูล DSC (ตารางที่ 4.5) พบว่าค่าความเป็นผลึกของ LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมอยู่ในช่วง 25-30% เปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE (L100) มีค่าความเป็นผลึกอยู่ที่ 27% แสดงให้เห็นถึงความสามารถในเกิดผลึกของ LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไม่ถูกรบกวนจากการมีอยู่ของ EVA ในฟิล์ม นอกจากนี้ขนาดและความสมบูรณ์ของผลึก LDPE ยังพอๆ กันในทุกสูตรฟิล์มเห็นได้จากค่า  $T_m$  ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

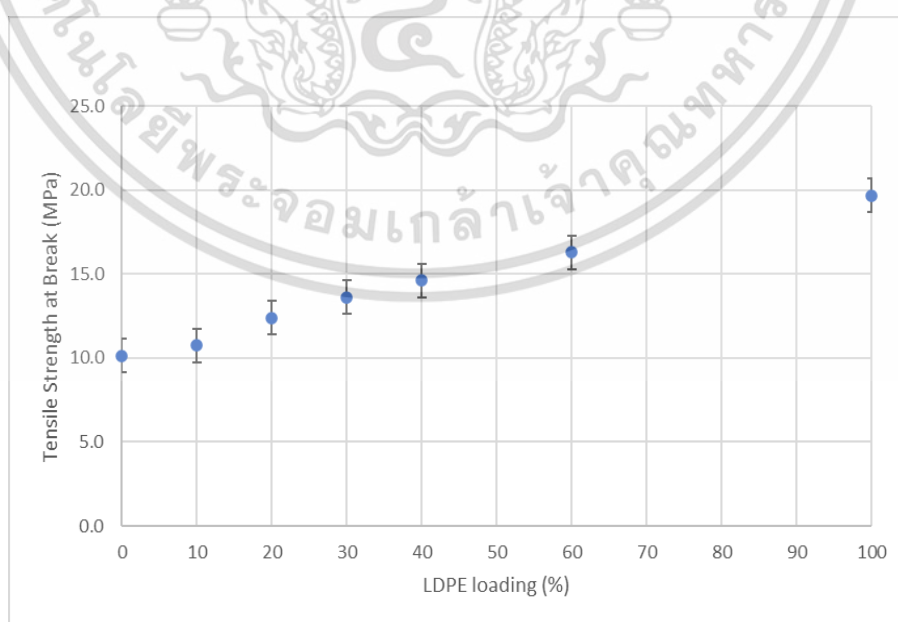
ที่ใกล้เคียงกัน การที่ EVA ไม่รบกวนการเกิดผลึกของ LDPE อาจเนื่องจาก EVA/LDPE เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible Blend) [3] การมีอยู่ของ LDPE และ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการเกิดผลึกซึ่งกันและกัน ดังนั้นการเพิ่ม LDPE ในฟิล์ม EVA/LDPE จึงส่งผลให้ความเป็นผลึกโดยรวมของฟิล์มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5  $T_c$ ,  $T_m$  และร้อยละความเป็นผลึกของ LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

สูตร	LDPE			
	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$T_{m1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{m2}(^{\circ}\text{C})$	ความเป็นผลึก (%) 2 <sup>nd</sup> heating
E100	0	0	0	0
E90L10	98	110	111	25
E80L20	99	111	111	25
E70L30	99	114	111	30
E60L40	99	111	112	28
E40L60	100	112	111	29
L100	100	112	111	27

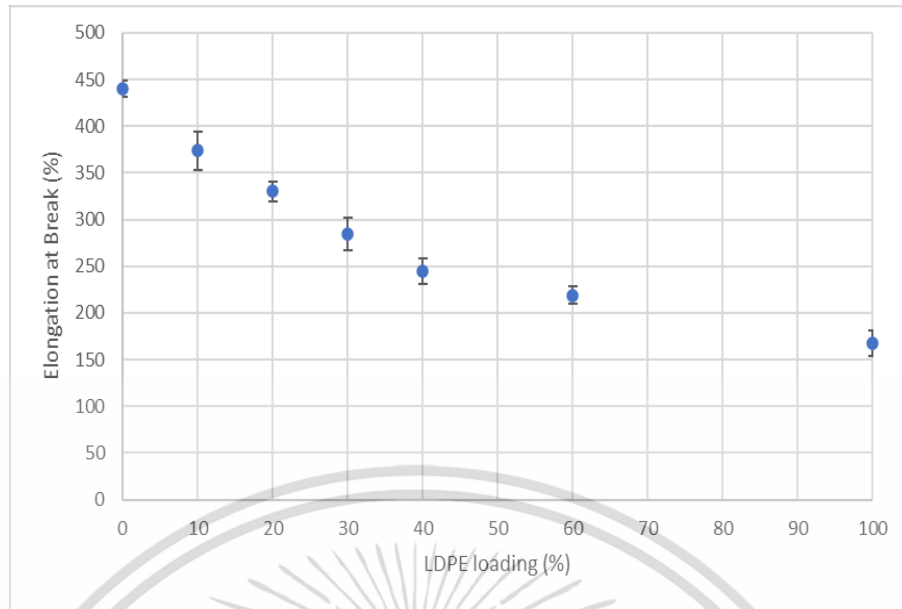
#### 4.4 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มแสดงได้ดังรูปที่ 4.2-4.4

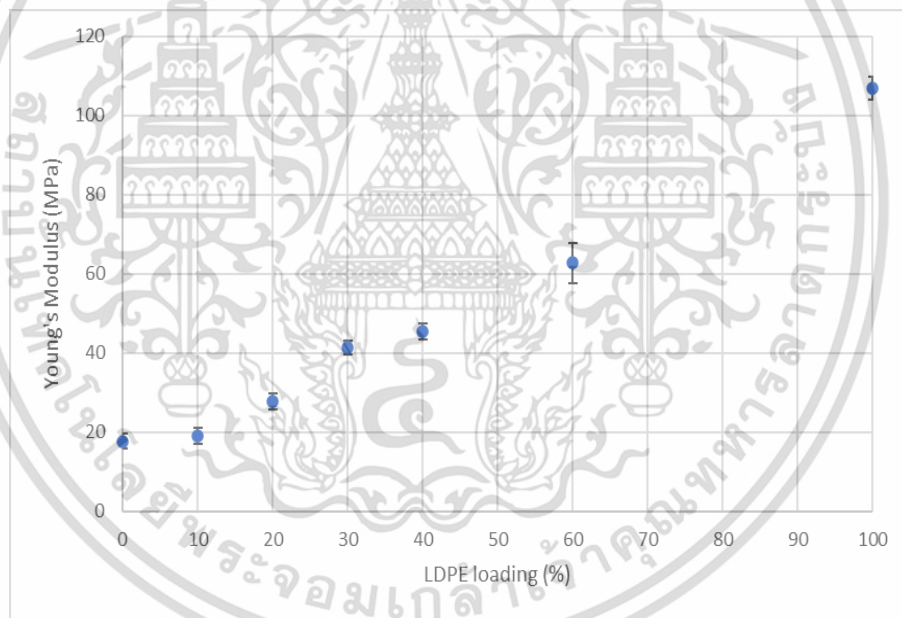


รูปที่ 4.2 ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม EVA/LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการวิจัยเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เป็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การดิ่งยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม EVA/LDPE



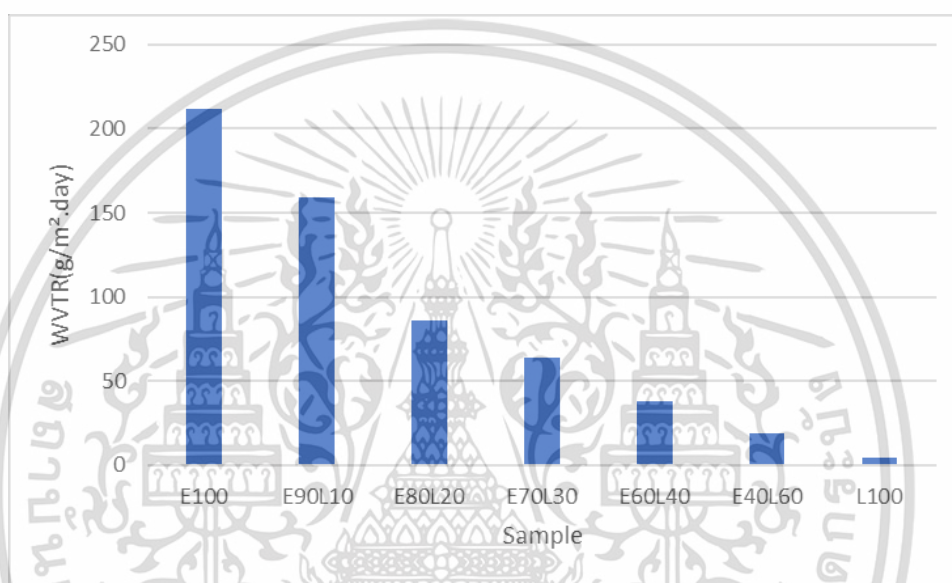
รูปที่ 4.4 ค่า Young's Modulus ของฟิล์ม EVA/LDPE

จากผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE เมื่อทำการเพิ่ม LDPE เข้าไปทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มและ ค่า Young's Modulus ของฟิล์ม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก LDPE มีโครงสร้างที่เรียงกันเป็นระเบียบ มีความเป็นผลึกมากกว่าและ มีความแข็งแรงมากกว่า EVA จึงทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของ LDPE เพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงเพิ่มความคงรูปให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม และลดความเอียงการบิดบนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เกิดจาก EVA ดังนั้นค่าการดิ่งยืด ณ จุดขาดของฟิล์มมีแนวโน้มที่ไม่ว่าการลดลง จากกการเพิ่ม LDPE และจากการเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE กับค่า

มาตรฐาน มอก. 1135-2536 (ภาคผนวก จ) พบว่ามีความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์ม (MD) และการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE ทุกสูตรมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน มอก. 1135-2536

#### 4.5 การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ

การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ทดสอบโดยเครื่องทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ ภายใต้อุณหภูมิ 37 °C ได้ผลดังรูปที่ 4.5

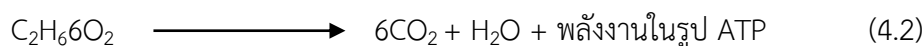


รูปที่ 4.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE

จากรูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA/LDPE ในอัตราส่วนที่แตกต่าง พบว่าเมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE มีแนวโน้มการซึมผ่านไอน้ำลดลง เพราะการเพิ่มขึ้น LDPE ในฟิล์มทำให้ความเป็นผลึกโดยรวมของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก LDPE มีโครงสร้างที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกที่สูง (ตารางที่ 4.5) และ LDPE เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้ต่ำกว่า EVA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE (ตารางที่ 4.2) ที่พบว่าค่าสัมประสิทธิ์มีค่ามากขึ้นตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความสามารถในการเปียกผิวที่ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE มีแนวโน้มลดลง

#### 4.6 การทดสอบโดยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เก็บรักษามะเขือเทศ

ผักและผลไม้หลังจากการเก็บเกี่ยวจะยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่างๆ ทั้งทางกายภาพและชีวเคมีจึงยังดำเนินและมีการหายใจต่อไป โดยมีการใช้  $O_2$  เพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ ได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเป็น  $CO_2$  กับความร้อนออกมา และมีการคายน้ำออกมาทำให้สูญเสียน้ำหนัก ดังสมการ





จากกระบวนการหายใจของพืชสิ่งที่ได้คือ น้ำและ ก๊าซ  $CO_2$  โดยน้ำและ ก๊าซ  $CO_2$  จะซึมผ่านมานอกถุงบรรจุภัณฑ์ โดยความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำฟิล์มที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อพบหยดน้ำที่เกิดขึ้นจากการควบแน่นของไอน้ำภายในถุง แสดงว่ามีไอน้ำส่วนที่หลุดจากการถ่ายเทออกนอกถุงบรรจุภัณฑ์ โดยถ้าภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์เหลืออยู่มาก จะส่งผลให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสียได้ ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ดีควรที่จะมีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำได้ดี ทำให้มีปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์น้อย

ในขั้นตอนการทดสอบนี้ได้เลือกใช้มะเขือเทศในการทำการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศเป็นผลไม้ที่เป็น Climacteric ที่หลังเก็บเกี่ยวจะยังสามารถสุกต่อได้ และเป็นผลิตผลที่น้ำค่อนข้างเยอะทำให้ง่ายต่อการสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ  $5^\circ C$  ความชื้นสัมพัทธ์ 45-50% เป็นเวลา 20 วัน จากตารางที่ 4.6 จะสามารถสังเกตได้ว่า หลังการเก็บรักษามะเขือเทศที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์มีลักษณะที่เหี่ยว มีการเน่าเสียและเกิดเชื้อราในบางถุง มีหยดน้ำอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์โดยที่ปริมาณน้ำภายในบรรจุภัณฑ์จะมีมากขึ้นเมื่อปริมาณของ LDPE ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการหายใจและคายน้ำของมะเขือเทศ ซึ่งไอน้ำที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งสามารถแพร่ผ่านบรรจุภัณฑ์ไปได้แต่บางส่วนควบแน่นเป็นหยดน้ำถูกกักเก็บอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ดังตารางในภาคผนวก ง โดยที่ปริมาณไอน้ำที่เกิดการถ่ายเทจะขึ้นกับค่า WVTR ของฟิล์มที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ซึ่งหากมีค่า WVTR มาก ไอน้ำที่เกิดจากการหายใจจะถ่ายเทได้มากและทำให้มีปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์น้อย หากมีหยดน้ำค้างอยู่ในบรรจุภัณฑ์มากจะส่งผลให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสียได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาหาปริมาณไอน้ำที่สามารถซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ และปริมาณไอน้ำที่กักเก็บในรูปหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ เพื่อหาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ผสม









ตารางที่ 4.6 มะเขือเทศในถุงบรรจุภัณฑ์จากฟิล์มสูตรต่างๆ ก่อน-หลัง การเก็บรักษา 20 วันในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 5 °C

สูตร	ถุงที่	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
E90L10	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดเล็กในปริมาณน้อย มีความเสียหายไม่พบราที่พื้นผิวมะเขือเทศหลังการเก็บรักษา 20 วัน			
E80L20	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดเล็กในปริมาณน้อย มีผิวเหี่ยว ไม่พบราเกิดขึ้นหลังการเก็บรักษา 20 วัน			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

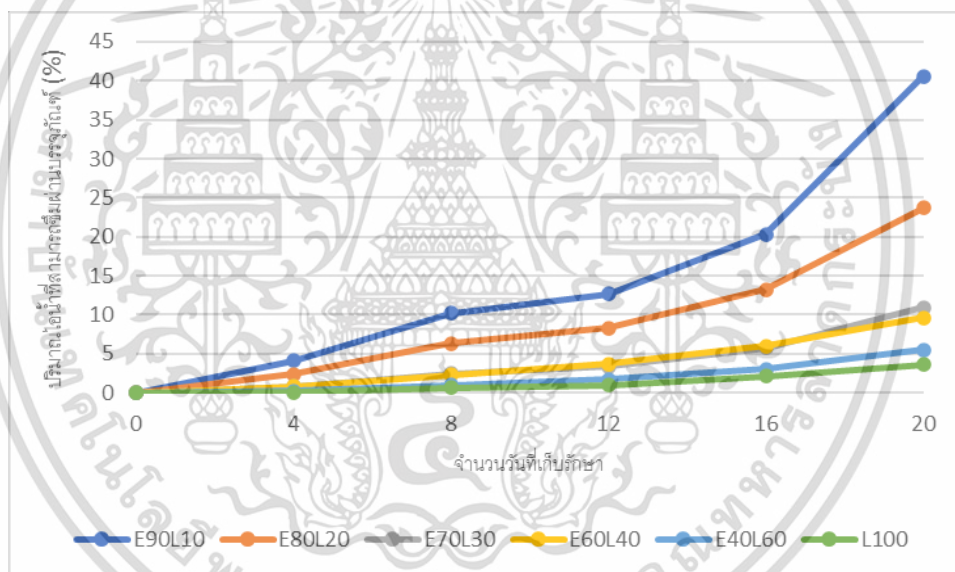
สูตร	ถุงที่	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
E70L30	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดเล็กในปริมาณน้อย มีผิวเหี่ยว ไม่พบรา เกิดขึ้นหลังการเก็บรักษา 20 วัน			
E60L40	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดใหญ่ขึ้นในปริมาณมากขึ้น มีผิวเหี่ยว พบราบ้างเล็กน้อยหลังการเก็บรักษา 20 วัน			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไข ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ถุงที่	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
E40L60	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดใหญ่ในปริมาณมากอย่างเห็นได้ชัด มี ผิวเหี่ยว พบราจำนวนมากเกิดขึ้นหลังการเก็บรักษา 20 วัน			
L100	1		
	2		
หมายเหตุ : พบหยดน้ำขนาดใหญ่ในปริมาณมากที่สุด มีผิวเหี่ยว พบ ราจำนวนมากเกิดขึ้นหลังการเก็บรักษา 20 วัน			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการเก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ได้ทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในบรรจุภัณฑ์ทุกๆ 4 วัน จนครบ 20 วัน น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของบรรจุภัณฑ์จะแสดงถึงการหายใจของมะเขือเทศ ซึ่งได้ออกน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำหนักของมะเขือเทศลดลงไป โดยที่จะมีไอน้ำส่วนหนึ่งซึมผ่านออกนอกบรรจุภัณฑ์ได้ จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่สามารถซึมผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์และจำนวนวันในการเก็บรักษา โดยเมื่อจำนวนวันที่เก็บรักษามากขึ้นจะมีปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านออกไปมากขึ้น โดยกราฟจะแสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมสูตร E90L10 มีปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านได้มากที่สุด และ สูตร L100 มีปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านได้น้อยที่สุด โดยสูตร E90L10 มีการซึมผ่านไอน้ำที่ดีเนื่องจาก พอลิเมอร์ผสมมีปริมาณของ EVA มากจึงมีความเป็นอสัณฐานและมีขี้ผึ้งมาก พอลิเมอร์มีความชอบน้ำ โดยค่าปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจะสอดคล้องกับค่า WVTR ของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ในการทดสอบนี้ไม่มีการนำฟิล์มพอลิเมอร์สูตร E100 มาทดสอบใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากฟิล์มพอลิเมอร์มีความเหนียวติดมาก คลื่นออกจากกันได้ยาก จึงไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้

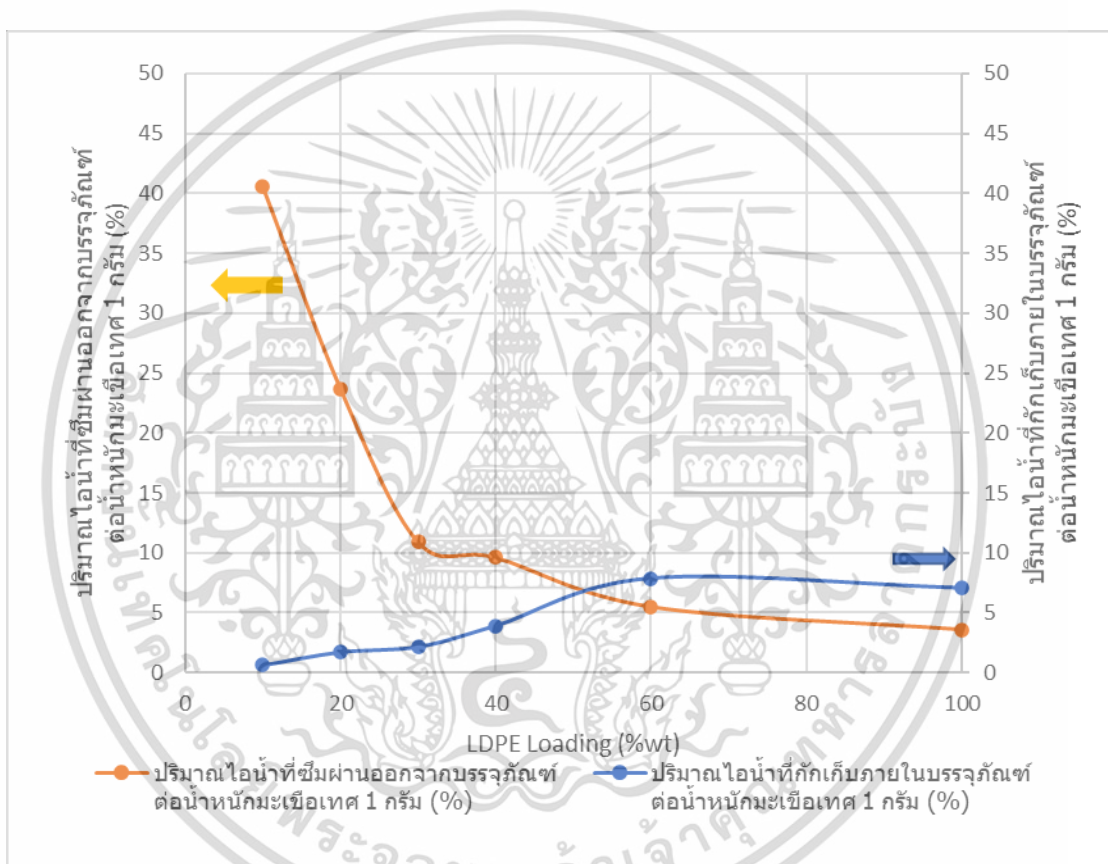


รูปที่ 4.6 ปริมาณไอน้ำที่สามารถซึมผ่านออกมาจากบรรจุภัณฑ์ในระยะเวลา 20 วัน

ผลจากการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ในวันที่ 20 นำมาหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ และปริมาณไอน้ำกักเก็บภายในบรรจุภัณฑ์ต่อน้ำหนักมะเขือเทศ 1 กรัม โดยแสดงดังรูปที่ 4.7 จากการทดสอบการใช้ฟิล์มพอลิเมอร์เป็นบรรจุภัณฑ์มะเขือเทศ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม E90L10 เป็นสูตรที่มี EVA ที่มากที่สุด มีปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ออกมาได้มากที่สุด มีไอน้ำที่ควบแน่นและค้างอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์น้อย แต่ฟิล์มพอลิเมอร์ E90L10 และ E80L20 ไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากยังมีลักษณะที่เหนียวติดอยู่มาก จึงพิจารณาสูตร E70L30, E60L40 และ E40L60 ที่มีความเหนียวติดน้อยลง พบว่าปริมาณไอน้ำที่แพร่ออกจากบรรจุภัณฑ์ในสูตรของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E70L30 และ E60L40 มีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าสูตร E40L60 แต่ที่สูตร E60L40 พบราเล็กน้อยหลังจัดเก็บ 20 วัน ในขณะที่สูตร E70L30 ไม่พบราเกิดขึ้น แม้ว่า E70L30 มี WVTR สูงกว่า E60L40 แต่มีความคงรูปน้อยกว่า ส่วน E40L60 มีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำที่น้อยไป มีน้ำสะสมในบรรจุภัณฑ์มาก ดังนั้นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตร E60L40 จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ เนื่องจาก มีปริมาณของ LDPE ที่มากพอที่จะทำให้ฟิล์มมีความคงรูปและทำให้ฟิล์มมีราคาที่ถูกลง แต่ยังมีการซึมผ่านไอน้ำที่ดีจึงเหมาะสำหรับการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุผลิตภัณฑ์

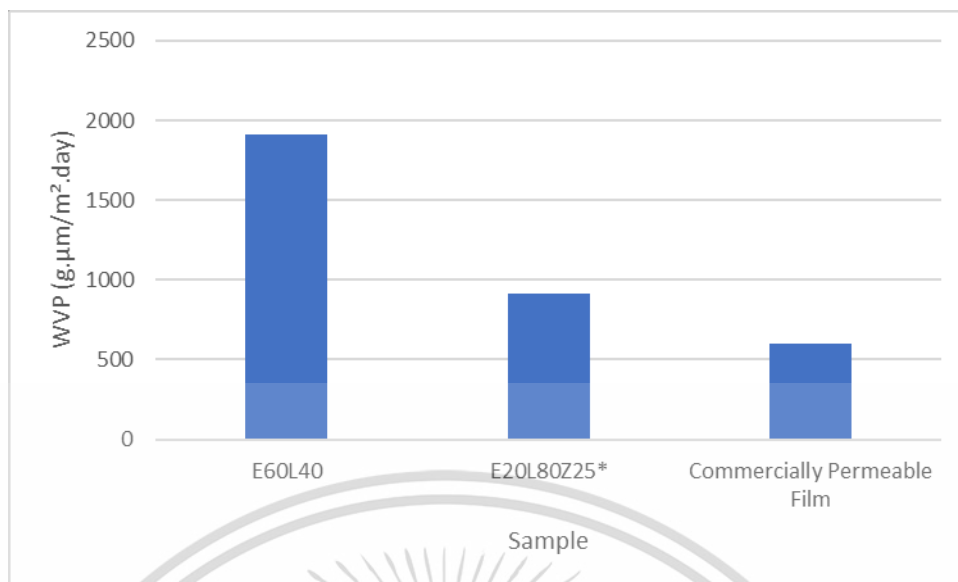


รูปที่ 4.7 ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ และปริมาณไอน้ำกักเก็บภายในบรรจุภัณฑ์ เทียบกับปริมาณไอน้ำรวมที่มะเขือเทศหายใจต่อน้ำหนัก 1 กรัม เมื่อมี LDPE ต่างกัน

#### 4.7 การเปรียบเทียบฟิล์มที่พัฒนาขึ้นกับฟิล์มในงานวิจัยก่อนหน้า

เมื่อนำค่าความสามารถการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ E60L40 มาเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ E20L80Z25 [3] ของงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วและฟิล์ม Commercailly Permeable Film [29] พบว่าค่า WVP ของ E60L40 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำที่มากกว่า E20L80Z25

และมากกว่า Commercailly Permeable Film ดังรูปที่ 4.8  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม E60L40 เทียบกับฟิล์มชนิดต่างๆ ในงานวิจัยที่ผ่านมา

หมายเหตุ : ฟิล์มมีความหนาที่ไม่เท่ากัน จึงนำเสนอเป็นค่า WVP (ค่า  $WVP = WVTR \times \text{Thickness}$ )

\*E20L80Z25 [3] คือฟิล์ม EVA/LDPE (เกรด PE1220G1) อัตราส่วน 20/80 (โดยน้ำหนัก) และซีโอโลต์เอ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีสำหรับผักและผลไม้ โดยมีการใช้ เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate, EVA) กับ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนว่ามีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำและสมบัติการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิเมอร์ โดยที่ EVA มีลักษณะเป็นอสัณฐานและมีความมีขั้วที่สูง ทำให้ไอน้ำสามารถที่จะแพร่ผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ได้ และ LDPE จะเข้ามาช่วยทำให้ ฟิล์มพอลิเมอร์สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และมีความคงรูปได้ดี เนื่องจาก LDPE เป็นโครงสร้างที่มีสายโซ่ที่เป็นระเบียบ จากการทดสอบ สามารถสรุปผลได้ว่า

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของ EVA/LDPE ในฟิล์มพอลิเมอร์โดยน้ำหนัก ดังนี้ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 และ 0/100 ที่ขึ้นรูปด้วยการใช้การอัดรีดแบบเป่าขึ้นรูป จากการทดสอบพบว่าค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) ของฟิล์มพอลิเมอร์มีค่าลดลง เมื่อมีปริมาณของ EVA ลดลง (LDPE เพิ่มขึ้น) เนื่องจากการลดลงของ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว สอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม LDPE มากขึ้นทำให้ฟิล์มมีมุมสัมผัสที่ลดลง เนื่องจากน้ำมีความมีขั้วแต่ LDPE เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ทำให้ลดความสามารถในการเปียกผิว และพบว่าความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์มีค่าต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ LDPE (EVA ลดลง) เป็นการลดความมีขั้วและความเป็นอสัณฐาน

จากการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE เมื่อทำการเพิ่ม LDPE เข้าไปทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มและ ค่า Young's Modulus ของฟิล์ม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก LDPE มีโครงสร้างที่เรียงกันเป็นระเบียบและมีความเป็นผลึกมากกว่า EVA จึงทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของ LDPE ที่เพิ่มขึ้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เพิ่มความคงรูปให้ฟิล์มพอลิเมอร์ และลดความเหนียวติดบนฟิล์มพอลิเมอร์ที่เกิดจาก EVA ทำให้ค่าการดึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มมีแนวโน้มที่ลดลง

จากการทดสอบการใช้ฟิล์มพอลิเมอร์เป็นบรรจุภัณฑ์มะเขือเทศ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม EVA/LDPE ที่มีปริมาณ EVA มากที่สุด (E90L10) มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำออกจากบรรจุภัณฑ์ได้มากที่สุด เนื่องจาก EVA มีความเป็น อสัณฐานและมีความมีขั้วทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์มีความชอบน้ำมาก จึงเหนี่ยวนำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านฟิล์มพอลิเมอร์ได้มากที่สุด ในขณะที่เดียวกันฟิล์มพอลิเมอร์สูตร E90L10 มีปริมาณไอน้ำที่กักเก็บอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุด แต่ตามลักษณะของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ที่มี EVA ในปริมาณที่มากได้แก่ สูตร E90L10 และ E80L20 มีความเหนียวติดและไม่สะดวกในการใช้งาน แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้คำนึงถึงการใช้งานได้จริง พอลิเมอร์จะต้องมีค่า WVTR สูง มีความแข็งแรงดี ใช้งานง่าย และมีราคาที่ไม่สูง พอลิเมอร์สูตร E60L40 จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากที่สุด และเมื่อนำค่าความสามารถการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของพอลิเมอร์ E60L40 มาเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ E20L80Z25 ของงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วและพอลิเมอร์ Commercailly Permeable Film พบว่าค่า WVP ของ E60L40 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำที่มากกว่าทั้ง E20L80Z25 และ Commercailly Permeable Film

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาอัตราส่วน EVA:LDPE ในช่วง 60:40 ไปถึง 40:60 เพื่อหาความสมดุลระหว่างความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำกับราคาต้นทุนวัตถุดิบ
2. ทดสอบการเก็บบรรจุภัณฑ์โดยมีการใช้ผักหรือผลไม้ที่หลากหลายเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าการหายใจของผักหรือผลไม้แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ปรียา ชมเขียวชาญ. 2545. การเน่าเสียของผักและผลไม้.  
[Online]. Available : <http://www.nectec.or.th>.
2. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. 2558. นวัตกรรมการยืดอายุผักและผลไม้.  
[Online]. Available : <http://www.mtec.or.th>.
3. นันทวรรณ ม่วงมี. 2554. “การปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LDPE ด้วย EVA และซีโอไลต์เอ.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. ณัฐนิชา วรศิลป์ และปารตี สุกสว่าง. 2564. “การปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวน์ลอะซิเตด เพื่อการขึ้นรูปที่ดีขึ้นพร้อมด้วยการซึมผ่านไอน้ำที่ดี.” โครงการงานพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. จริ่งแท้ ศิริพานิช และธีรนต์ ร่มโพธิ์ภักดี. 2549. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. นครปฐม : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
6. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว.  
[Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>.
7. E.B. Pantastico. 1975. Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. West CT : The AVI Publishing Company.
8. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. Climatic fruit/ผลไม้ที่บ่มให้สุกได้.  
[Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>
9. นิยม แสนมะโน. 2556. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (Post Harvest Technology). บริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด.
10. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. Non-Climatic fruit.  
[Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>.
11. สุมาลี ต้นศิริยากุล. 2536. บทบาทของเอทิลีนต่อผลผลิตพืชสวน (Role of ethylene in Horticultural Products). : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
12. สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าและอบรมแห่งชาติ.  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. รุ่งนภา วิสิษฐอุตรการ. 2540. เอกสารประกอบการสอนการประเมินอายุการเก็บรักษาของอาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร.
14. R.L. Shewfelt and B. Brunkner 2000. "Editors Fruit and Vegetable Quality." USA : Champman&Hall.
15. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. Water vapor transmission rate / อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.  
[Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>.
16. งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซกับการบรรจุอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
17. จินตนา ลีกิจวัฒน์. 2540. การศึกษาวิธีการหาปริมาณไวนิลอะซิเตตในเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์. กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1, กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
18. Curbell Plastic. 2022. EVA Properties.  
[Online]. Available : <http://www.curbellplastics.com>.
19. Bristish Plastics Federation. 2022. Etylene Vinyl Acetate EVA.  
[Online]. Available : <http://www.bpf.co.uk>.
20. Wikipedia. 2015. Etylene-vinyl acetate.  
[Online]. Available : <http://en.m.wikipedia.org>.
21. วลัยพร मुखสุวรรณ. 2551. พลาสติกในชีวิตประจำวัน : ตอนที่ 4 พอลิเอทิลีน. หน่วยข้อเสนอเทคโนโลยีอันตรายและความปลอดภัย ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย
22. ฟิสิกส์ราชมงคล. 2564. พลาสติกชนิด HDPE.  
[Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com>.
23. บริษัท บลิสแพ็ค จำกัด. 2563. คุณสมบัติของพลาสติก LDPE.  
[Online]. Available : <http://www.blisscoverbag.com>.
24. ปฐมพงศ์ เพ็ญไชยา. 2546. "ผลของสภาพบรรยากาศควบคุมอุณหภูมิ และบรรจุภัณฑ์ ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของโหระพา." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
25. นภาวิณี วินิจฉัย. 2544. "ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้สดและค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มพอลิเมอร์." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยของคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. M.Faker, M.K. Razavi Aghjeh, M.Ghaffari and S.A. Seyyedi. 2008. "Rheology, morphology and mechanical properties of polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer (PE/EVA) blends." *European Polymer Journal* 44 : 1834-1842.
27. N.T.H. Pham. 2021. "Characterization of Low-Density Polyethylene and LDPE-Based/Ethylene-Vinyl Acetate with Medium Content of Vinyl Acetate." *Polymer* 13(14) : 2352.
28. S. Marais, E. Bureau, F. Gouanve, E. Ben Salem, Y. Hirata, A. Andrio, C. Cabot, and H. Atmani. 2004. "Transport of water and gases through EVA/PVC Blend Film-Permeation and DSC Investigation." *Journal of Polymer Testing*. 23 : 475-486.
29. ณัฐริกา ใจสมบุญ. 2556. "การปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม LLDPE ด้วย EVA และ ซีโอไลต์เอ." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

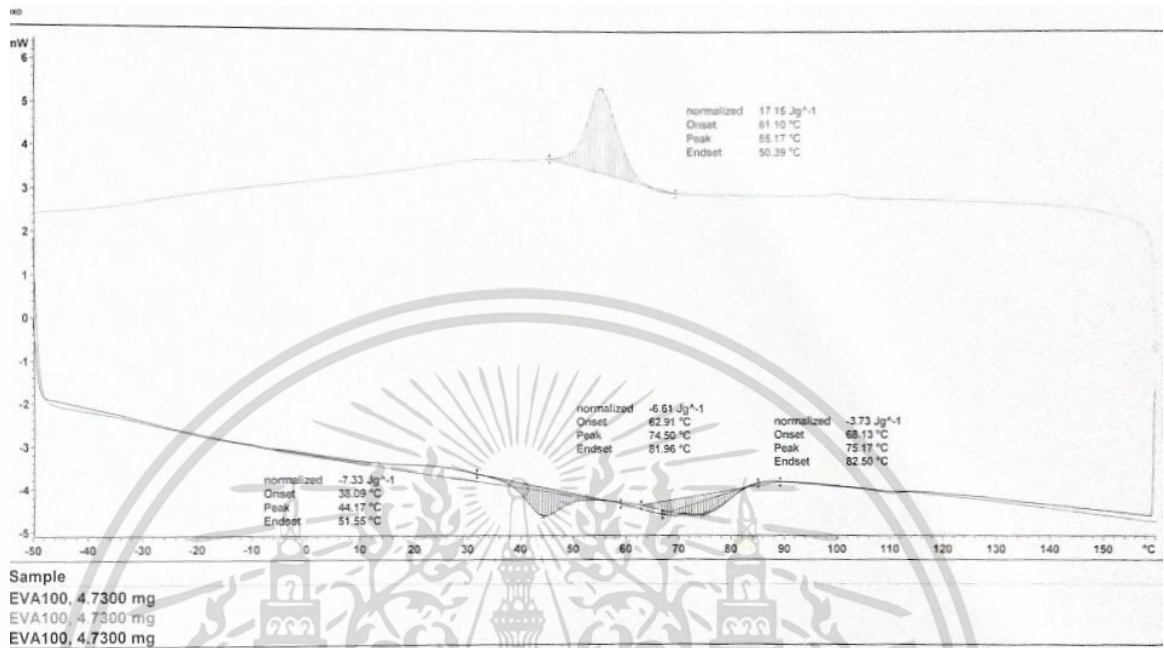
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



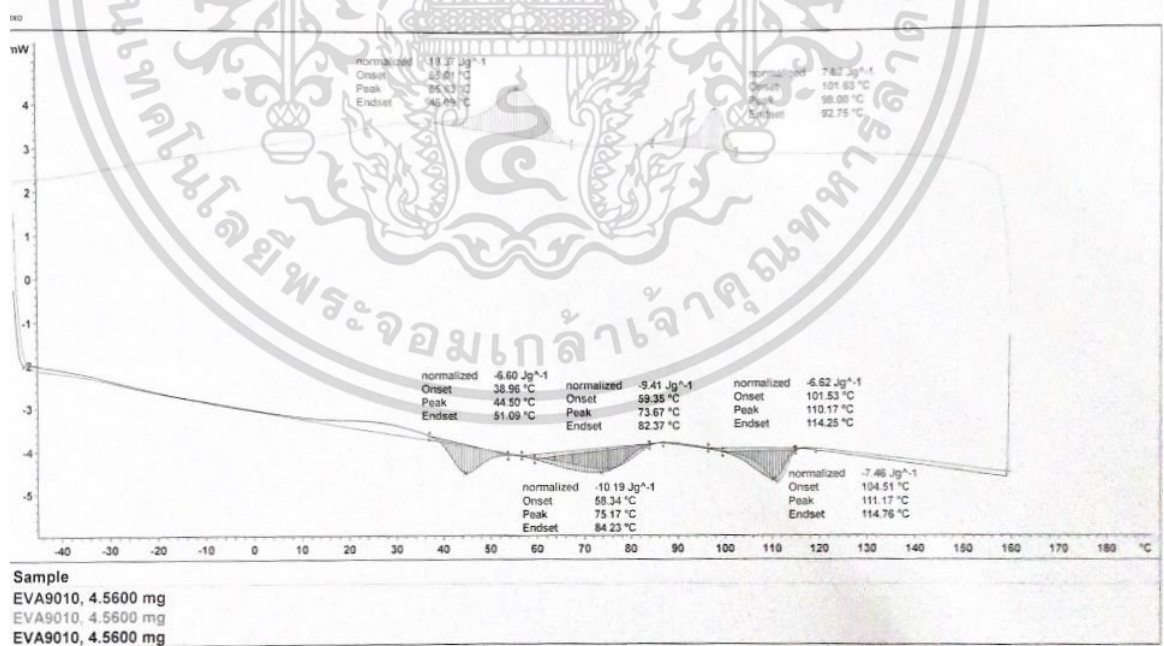
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter

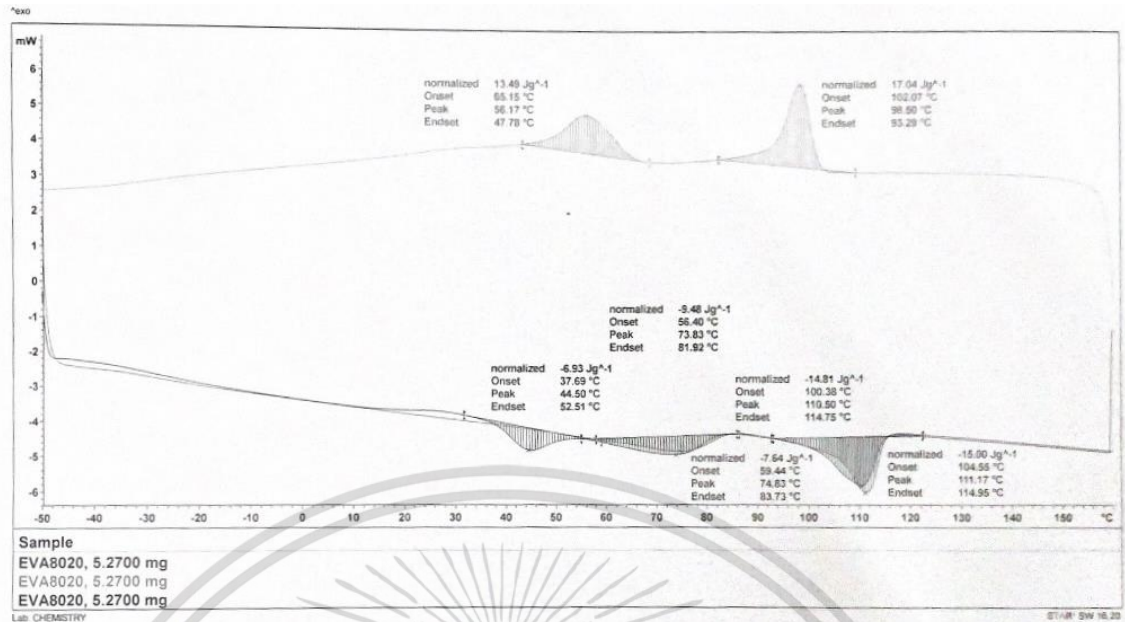


รูปที่ ก-1 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E100

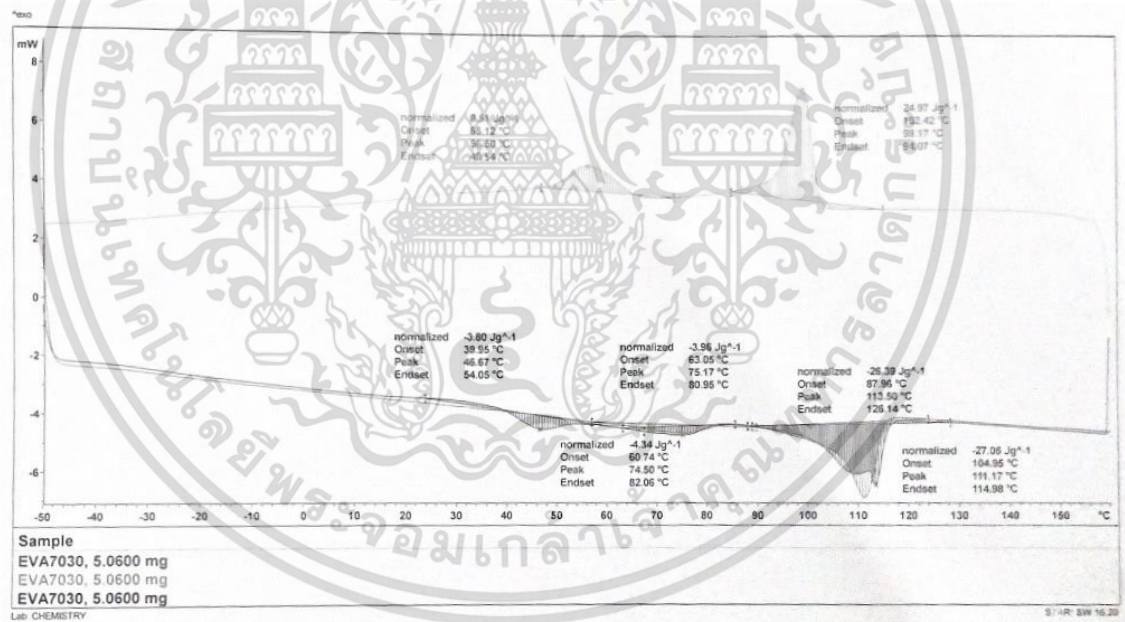


รูปที่ ก-2 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E90L10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

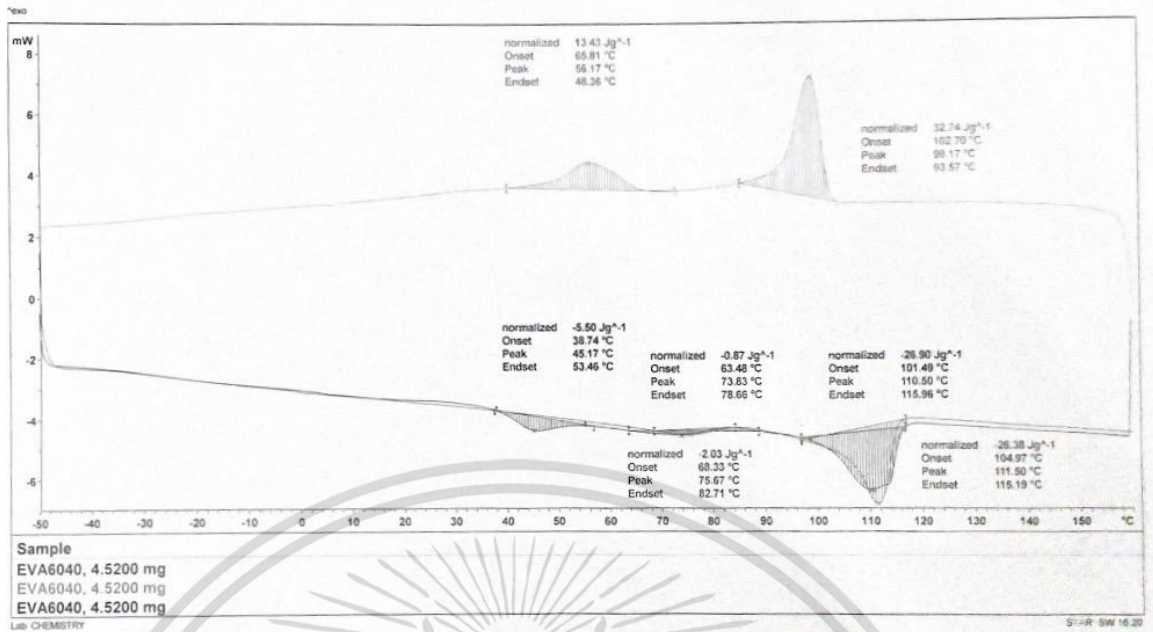


รูปที่ ก-3 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E80L20

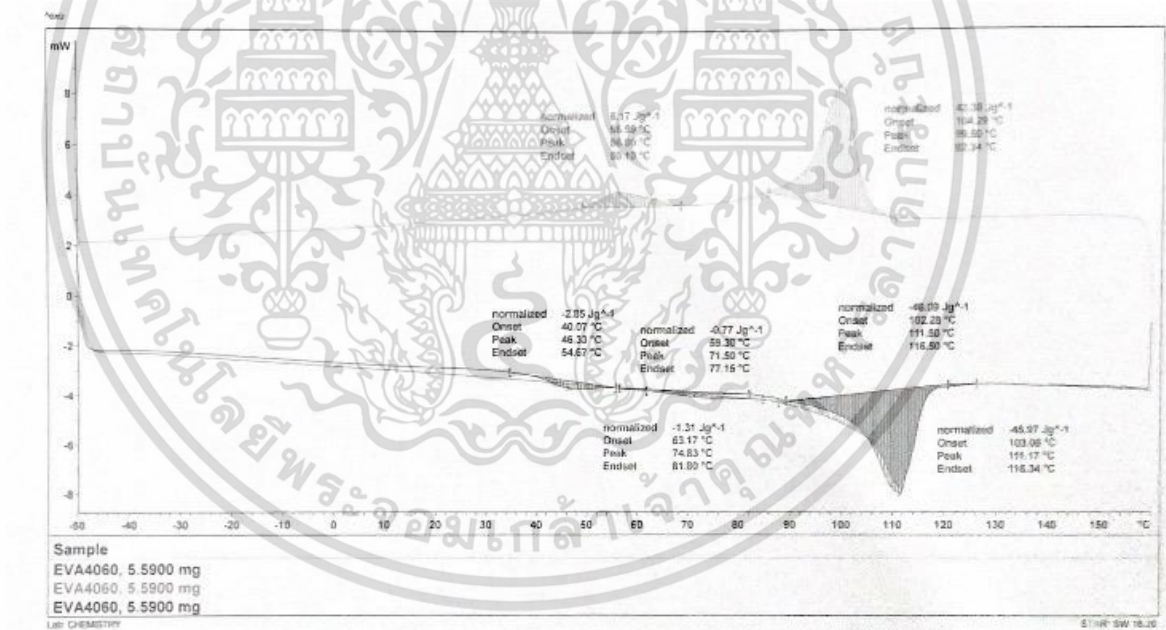


รูปที่ ก-4 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E70L30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

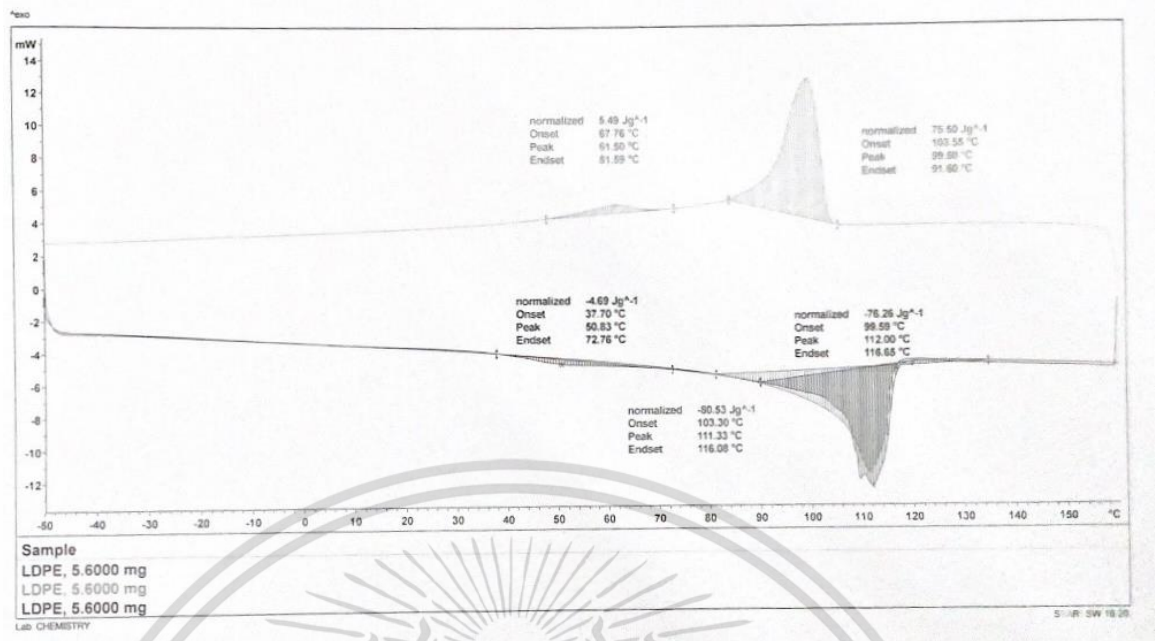


รูปที่ ก-5 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E60L40



รูปที่ ก-6 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม E40L60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 ผลการทดสอบทางความร้อนจาก DSC ของฟิล์ม L100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

ตารางที่ ข-1 การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มตัวอย่าง

สูตร	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		อัตราการซึมผ่านไอน้ำเฉลี่ย (g/m <sup>2</sup> .day)
	ความหนา (μm)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/m <sup>2</sup> .day)	ความหนา (μm)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/m <sup>2</sup> .day)	
E100	50	212.0	51	212.0	212.0
E90L10	50	144.0	50	174.0	159.0
E80L20	54	94.8	53	76.9	85.9
E70L30	50	68.4	51	59.6	64.0
E60L40	51	41.4	50	35.0	38.2
E40L60	50	19.1	52	19.3	19.2
L100	55	4.6	54	4.6	4.6

ตารางที่ ข-2 การซึมผ่านไอน้ำของงานวิจัยที่ผ่านมา

สูตร	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		อัตราการซึมผ่านไอน้ำเฉลี่ย (g/m <sup>2</sup> .day)
	ความหนา (μm)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/m <sup>2</sup> .day)	ความหนา (μm)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/m <sup>2</sup> .day)	
E20L80Z25[3]	33	27.7	33	28.0	27.8
Commercailly Permeable Film	30	20.0	30	20.0	20.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การทดสอบสมบัติแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์

ตารางที่ ค-1 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E100

E100	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	51	10.5	436	18.3
2	51	10.5	441	17.0
3	50	10.0	427	20.3
4	50	9.4	447	15.3
5	51	10.3	450	17.7

ตารางที่ ค-2 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E90L10

E90L10	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	51	10.1	350	19.6
2	51	9.8	353	16.9
3	50	10.5	385	17.1
4	50	12.2	389	21.4
5	51	11.2	391	20.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E80L20

E80L20	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	54	12.2	315	29.3
2	53	12.3	325	25.7
3	53	12.6	329	25.5
4	53	11.8	341	29.3
5	54	13.1	340	29.1

ตารางที่ ค-4 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E70L30

E70L30	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	50	13.5	290	41.1
2	51	13.7	293	41.1
3	50	13.8	254	39.4
4	50	14.0	298	41.7
5	51	13.1	285	44.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E60L40

E60L40	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	50	16.1	229	48.5
2	51	14.6	258	46.2
3	50	14.6	259	45.1
4	51	13.8	235	44.1
5	51	14.0	241	43.3

ตารางที่ ค-6 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม E40L60

E40L60	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	52	16.1	218	64.4
2	50	16.5	232	58.6
3	52	16.5	221	68.4
4	52	16.4	206	66.2
5	50	16.0	217	56.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 การทดสอบแรงดึงของฟิล์ม L100

L100	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	Tensile Strength at Break (MPa)	Elongation at break (%)	Young' Modulus (MPa)
1	54	18.8	157	110.1
2	54	19.7	152	109.4
3	55	21.5	174	106.1
4	55	19.9	185	106.5
5	55	18.5	170	102.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### การทดสอบเก็บรักษามะเขือเทศ

**ตารางที่ ง-1** ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ E90L10

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	39.77	1.37	41.14	38.08	1.37	39.48
2	40.57	1.73	42.30	38.95	1.73	40.70

**ตารางที่ ง-2** ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ E80L20

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	40.75	1.44	42.19	39.71	1.44	41.21
2	39.83	1.54	41.37	38.82	1.54	40.44

**ตารางที่ ง-3** ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ E70L30

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	36.98	1.21	38.19	36.50	1.21	37.80
2	36.26	1.23	37.49	35.78	1.23	37.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ E60L40

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	37.65	1.36	39.01	37.09	1.36	38.63
2	36.07	1.5	37.57	35.74	1.5	37.35

ตารางที่ ง-5 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ E40L60

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	37.13	1.43	38.56	36.63	1.43	38.37
2	36.75	1.47	38.22	36.45	1.47	38.09

ตารางที่ ง-6 ผลการทดสอบการเก็บรักษามะเขือเทศในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ L100

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนเก็บรักษา (g)			น้ำหนักหลังเก็บรักษา 20 วัน (g)		
	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม	น้ำหนัก มะเขือเทศ	น้ำหนักถุง	น้ำหนักรวม
1	41.21	1.39	42.60	40.68	1.39	42.44
2	38.97	1.68	40.65	38.64	1.68	40.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

### คุณลักษณะของฟิล์มพลาสติกตาม มอก.1135-2536

#### ตารางที่ จ-1 คุณลักษณะของฟิล์มพลาสติก มอก.1135-2536

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		PVC	PE
1	ความแข็งแรงดึง (MPa) ไม่น้อยกว่า		
	ในแนวนานเครื่องจักร (MD)	4.0	3.3
	ในแนวขวางเครื่องจักร (TD)	2.2	2.5
2	ความยืดเมื่อขาด (%) ไม่น้อยกว่า		
	ในแนวนานเครื่องจักร (MD)	60	90
	ในแนวขวางเครื่องจักร (TD)	120	190
3	ความต้านแรงฉีกขาด (mN) ไม่น้อยกว่า		
	ในแนวนานเครื่องจักร (MD)	800	200
	ในแนวขวางเครื่องจักร (TD)	900	150
4	ความใส (%) ไม่น้อยกว่า	91	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 21 มิถุนายน 2566

ข้าพเจ้า นางสาวเพ็ญกลดา ทองชูศักดิ์ รหัสประจำตัว 62050317

นางสาวอพรรรษา น้อยใจดี รหัสประจำตัว 62050355

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การปรับปรุงฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เพื่อสมบัติการขึ้นรูปที่ดีขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมาก

ชื่อภาษาอังกฤษ MODIFICATION OF ETHYLENE VINYL ACETATE COPOLYMER FILM FOR BETTER PROCESSABILITY WITH HIGH WATER VAPOR PERMEABILITY PROPERTIES

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวิสุทธิ 3.70 %

ลงชื่อ.....เพ็ญกลดา ทองชูศักดิ์..... ลงชื่อ.....อพรรรษา น้อยใจดี.....

(เพ็ญกลดา ทองชูศักดิ์)

(อพรรรษา น้อยใจดี)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. สุภรัตน์ รักชลธิ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....สุภรัตน์..... ลงชื่อ.....ศวัน..... ลงชื่อ.....ชลลดา.....

(ผศ.ดร. สุภรัตน์ รักชลธิ)

(ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย)

(ผศ.ดร. ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ  
ไม่ว่าอาจารย์ที่ปรึกษาอีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเอกสารที่ปรึกษาหรือเจ้าของเอกสาร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม