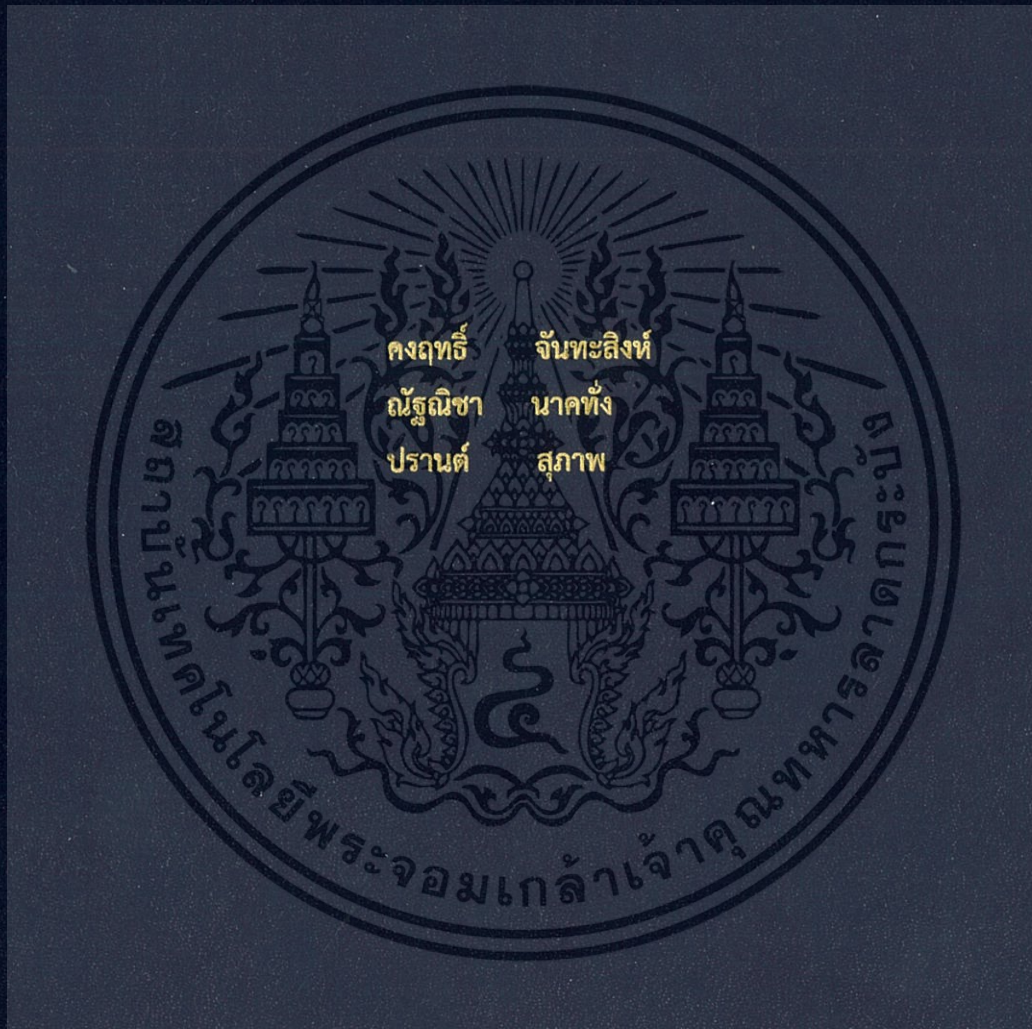


การผลิตและลักษณะของแผ่นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส  
MANUFACTURING AND CHARACTERISTICS OF CARBOXYMETHYL  
CELLULOSE FILM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

การผลิตและลักษณะของแผ่นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส  
MANUFACTURING AND CHARACTERISTICS OF CARBOXYMETHYL  
CELLULOSE FILM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MANUFACTURING AND CHARACTERISTICS OF CARBOXYMETHYL  
CELLULOSE FILM



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตและลักษณะของแผ่นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

Manufacturing and Characteristics of Carboxymethyl Cellulose Film

ผู้จัดทำ

- |                  |            |              |          |
|------------------|------------|--------------|----------|
| 1. นายคงฤทธิ     | จันทะสิงห์ | รหัสนักศึกษา | 58010136 |
| 2. นางสาวณัฐนิชา | นาคหัง     | รหัสนักศึกษา | 58010379 |
| 3. นางสาวปรานต์  | สุภาพ      | รหัสนักศึกษา | 58010742 |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ การผลิตและลักษณะของแผ่นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส  
รายชื่อนักศึกษา นายคงฤทธิ จันทะสิงห์  
นางสาวณัฐนิชา นาคทั้ง  
นางสาวปรานต์ สุภาพ  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร  
ปีการศึกษา 2561

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหากระบวนการผลิตแผ่นชีวภาพจากสารคาร์บอกซิเมทิล-เซลลูโลสและศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเติมแต่งที่มีผลต่อคุณลักษณะของแผ่นที่ผลิตได้ ซึ่งแผ่นที่ได้มีความสามารถในการละลายน้ำ การขึ้นรูปแผ่นสามารถทำได้โดยการละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสและสารเติมแต่ง เเทลงในภาตแล้วทำให้แห้งด้วยเครื่อง Tray Dryer โดยมีสารเติมแต่ง คือ กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอล นำแผ่นมาทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติการละลายน้ำ ผลการทดลองเพิ่มกลีเซอรอลทำให้แผ่นที่ได้ มีความยืดตัวมากขึ้นและการเพิ่มพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำให้แผ่นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แผ่นที่ได้สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนโดยใช้เครื่องปิดผนึกถุงแบบมือกด เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ แต่อาจส่งผลให้บริเวณรอยปิดผนึกมีความแข็งแรงลดลง 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ในทางการค้ากับแผ่นวัสดุที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัมและเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม พบว่าวัสดุทางการค้ามีความแข็งแรงมากกว่า 63 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากกว่า 82 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Manufacturing and Characteristics of Carboxymethyl Cellulose Film
Student	Mr.Kongrit Chanthasingha Ms.Nutnicha Nakthang Ms.Pran Suparp
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Jedsada Chaishome
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2018

## ABSTRACT

This project aims to study the production of Carboxymethyl Cellulose film and the influence of additives which affect on the film characteristics and this film is able to dissolve in water. Forming film with dissolved the CMC and additives that are Glycerol and Polyethylene Glycol, poured into a tray then dried with Tray Dryer. These materials were examined their mechanical properties and water solubility. The results shown that added Glycerol, film will be more flexible and added Polyethylene Glycol, the film will be stronger. This film is able to seal and use as a packaging. Sealed strength decreases by 3%. The characteristics of the commercial plastic compared with the film (added 1 gram of Glycerol and 1 gram of Polyethylene Glycol) obtains 63% and 82% higher strength and elongation, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโถม ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ อีกทั้งฝึกให้นักศึกษาเรียนรู้กระบวนการคิดวิเคราะห์ กระบวนการทำงาน การแก้ไขปัญหา รวมไปถึงการปรับปรุงให้ดีขึ้น ความรู้และประสบการณ์ที่ได้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันต่อไป

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ จวบจนการนำไปประกอบสัมมาชีพต่อไป

ขอขอบคุณ คุณวรารักษ์ มาไพศาลทรัพย์, คุณอำนาจ คุณตะคุ, และ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัยรวมถึงข้อมูลเอกสารทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคุณศิริพร เต็งรัง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในด้านการปฏิบัติการวิจัยรวมถึงแนวทางการทดสอบคุณสมบัติชิ้นงานในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อน ๆ นักศึกษาตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือสนับสนุนเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความบกพร่องประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การบอกซิเมนต์เซลลูโลสหรือซีเอ็มซี	3
2.2 การทดสอบ	3
2.2.1 การละลายน้ำ	3
2.2.2 ความสามารถในการละลายของน้ำ	4
2.2.3 ความหนาแน่นโดยการแทนที่ในน้ำมัน	4
2.2.4 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	5
2.2.5 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)	5
2.3 สารเติมแต่งพลาสติก	6
2.3.1 กลีเซอรอล	6
2.3.2 พอลิเอทิลีนไกลคอล	6
2.4 ชนิดของพลาสติก	7
2.4.1 HDPE : High Density polyethylene	7
2.4.2 LDPE: Low Density polyethylene	7
2.4.3 LLDPE: Linear Low Density polyethylene	8
2.4.4 PP: Polypropylene	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	11
3.1 วัสดุอุปกรณ์	11
3.1.1 สารเคมี	11
3.1.2 อุปกรณ์	11
3.2 วิธีการทดลอง	11
3.2.1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม	11
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มหลังการขึ้นรูป	12
3.3.1 ความหนาของแผ่นฟิล์ม	12
3.3.2 การละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม	12
3.3.3 ความหนาแน่นโดยการแทนที่ในน้ำมัน	13
3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม	13
3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของการปิดผนึกแผ่นฟิล์ม	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	16
4.1 การทดสอบหาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม	16
4.1.1 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาความหนาของแผ่นฟิล์ม	16
4.1.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาการละลายน้ำ	17
4.1.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาความหนาแน่น	18
4.1.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยัง	19
4.1.5 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด	19
4.1.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	20
4.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเมื่อทำการผนึกด้วยความร้อน	21
4.2.1 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการ ผนึกด้วยความร้อน	21
4.2.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ แผ่นฟิล์มที่ผ่านการผนึกด้วยความร้อน	22
4.2.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ ผ่านการผนึกด้วยความร้อน	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	24
5.1 สรุปผลการทดลอง	24
5.2 ข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	16
4.2 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการพ่นด้วยความร้อนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส	3
2.2 การละลายน้ำของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย	4
2.3 เครื่อง Texture Analyzer	5
2.4 ถุง HDPE	7
2.5 ถุง LDPE	7
2.6 ถุง LLDPE	8
2.7 ถุง Polypropylene (PP)	8
3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	15
4.1 ค่าความหนาของ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	17
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	18
4.3 ค่าความหนาแน่นของ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	18
4.4 ค่ามอดูลัสของยังของ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	19
4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	20
4.6 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของ 8 treatment ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	21
4.7 ค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มฉีก ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	22
4.8 ค่าความความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มฉีก ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	22
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มฉีก ที่ค่าความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์	23

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีในด้านของน้ำหนักเบา แข็งแรง ทนทาน และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ส่งผลให้พลาสติกเป็นที่นิยมและมีปริมาณการใช้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งยังมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการผลิตสินค้าและบรรจุภัณฑ์ประเภทอาหารเครื่องดื่มที่เป็นพลาสติกในประเภทใช้แล้วทิ้ง เพื่ออำนวยความสะดวก และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน แม้พลาสติกจะมีคุณสมบัติที่ดีหลายด้าน แต่เมื่อไม่ได้ใช้งานหรือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ จะกลายเป็นขยะพลาสติก และสารประกอบในพลาสติกบางชนิดก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ อีกทั้งปริมาณการใช้พลาสติกที่มากขึ้น ทำให้เกิดของเสีย โดยเฉพาะพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี เป็นไฮโดรคอลลอยด์ หรือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ซีเอ็มซีเป็นของแข็งสีขาวละลายได้ในน้ำ ไม่ละลายในน้ำมัน เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการชกฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหาร และยา ซีเอ็มซียังมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยัดเกาะและเป็นสารคงสภาพ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมาศึกษาหากระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ และศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเติมแต่งในการผลิต นำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เป็นการลดปริมาณขยะจากพลาสติก และตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหากระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเติมแต่งต่อการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขต

1.3.1 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ใช้ทดสอบคือ Carmellose e466

1.3.2 ชนิดของสารเติมแต่งที่นำมาศึกษาคือ พอลิเอทิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล

1.3.3 คุณสมบัติที่ต้องการศึกษา คือ ความหนา, การละลายน้ำ, ความหนาแน่น และค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม

1.3.4 ค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม ประกอบด้วย ค่ามอดูลัสของยัง ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซ็นต์การยืดตัว

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลและกลีเซอรอลที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

1.4.2 ทราบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ความหนา, การละลายน้ำ, ความหนาแน่น และค่าการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์ม



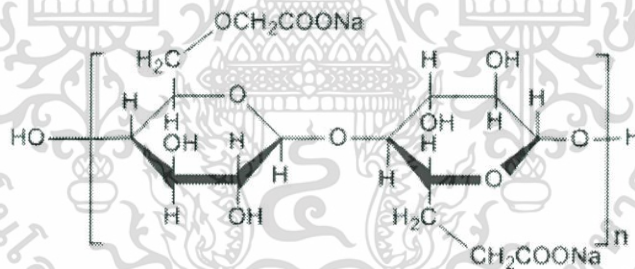
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (carboxymethyl cellulose, CMC) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั่นเอง ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้ เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ซีเอ็มซีถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย อาทิ อุตสาหกรรมการซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหารและยา เนื่องจากซีเอ็มซีมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตรายไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยัดเกาะและเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใส่ประโยชน์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมอาหาร จะใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในไอศกรีม ใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูลยาหรือเป็นสารก่อให้เกิดการเป็นเจลทางด้านเภสัชกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (K.K.Mali and Group, 2018)

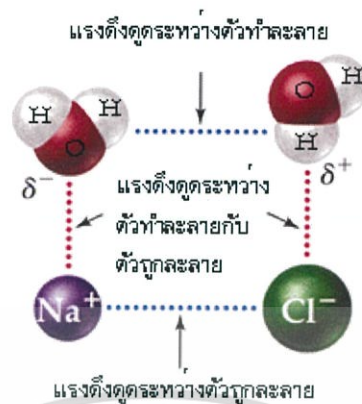
### 2.2 การทดสอบ

#### 2.2.1 การละลายน้ำ

การละลาย (Dissolve) คือ การที่สารชนิดหนึ่ง (ตัวถูกละลาย) แยกตัวออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และแทรกตัวในสารอีกชนิดหนึ่ง (ตัวทำละลาย) โดยสารที่มีปริมาณมากกว่าเป็นตัวทำละลาย (Solvent) สารที่มีปริมาณน้อยกว่าเป็น ตัวถูกละลาย (Solute) การละลายของของแข็งในของเหลวก็สามารถอธิบายโดยใช้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเช่นเดียวกัน ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารประกอบไอออนิก ซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่างไอออนสูงมาก ก็จะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วแรงได้ดีกว่าตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยกว่า เพราะฉะนั้น สารประกอบไอออนิกจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วแรงมากๆ เช่น เกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(โซเดียมคลอไรด์ : NaCl) ละลายได้ดีในน้ำ มากกว่าในตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon compounds)



รูปที่ 2.2 การละลายน้ำของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย

### 2.2.2 ความสามารถในการละลายของน้ำ

น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก น้ำสามารถละลายสารเกือบทุกชนิดได้ จึงไม่น่าแปลกใจว่าน้ำทะเล หรือของเหลวอื่น ๆ ในธรรมชาติแม้กระทั่งสิ่งมีชีวิตจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก คำว่าสารละลายจะประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนด้วยกัน คือ ตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งเป็นของเหลวและมีสัดส่วนในปริมาณมากกว่าองค์ประกอบอีกตัวหนึ่ง คือ ตัวถูกละลาย (solute) ซึ่งมักจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ในสารละลายใด ๆ ที่มีการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หมายถึง ตัวถูกละลายแพร่กระจายไปในตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง มีคุณสมบัติเดียวกันทุกส่วน ต่างจากของผสม (mixture) ซึ่งตัวทำละลายและตัวถูกละลาย จะไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน คุณสมบัติในแต่ละส่วนอาจไม่เหมือนกัน

### 2.2.3 ความหนาแน่นโดยการแทนที่ในน้ำมัน

มวลของวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัตถุนั้นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุการควบคุมคุณภาพด้วยความหนาแน่นการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ ซึ่งระบุได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อาจทำให้เกิดผลเสียต่อการดำเนินงานหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้ ซึ่งสามารถใช้การตรวจวัดความหนาแน่นของวัตถุดิบเพื่อยืนยันความบริสุทธิ์ของวัสดุได้ หากสารมีสิ่งอื่นที่ราคาถูกกว่าปลอมปนอยู่ ความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่วัดได้จะแตกต่างจากสารบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความหนาแน่นเพื่อรับรองความเป็นเนื้อเดียวกันได้ด้วย หากชิ้นส่วนที่ผลิตไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อาจมีผลกระทบต่อคุณลักษณะที่ระบุประสิทธิภาพหลักได้ อย่างเช่น ความแข็งแรงและความทนต่อการแตกหัก ตัวอย่างเช่น ฟองอากาศภายในสามารถทำให้ชิ้นส่วนบกพร่องได้ในที่สุด เมื่อมีการวางภายใต้แรงเค้น การสุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนเป็นวิธีการที่ง่ายและคุ้มค่าในการเฝ้าติดตามคุณภาพอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของวัสดุ หมายถึง สมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงเชิงกลที่มากระทบ ไม่ว่าจะแรงเชิงกลนั้นจะมีลักษณะใดก็ตาม โดยตัดแปลงจาก ASTM D882-88 ใช้ Texture Analyzer (TA XT2I, Stable Microsystem Co. Ltd. ประเทศอังกฤษ) ใช้หัววัด Tensilegrip A/TG โดยให้มีระยะห่างระหว่างหัวหนีบเท่ากับ 100 มม. และมีค่า cross-head ทำกับ 50 มม./นาที ตัดตัวอย่างฟิล์มจำนวน 5 ชิ้น ให้มีความกว้าง 5 มม. และความยาว 100 มม. นำไปเก็บในสภาวะที่กำหนด คือ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50-5% อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  °C เป็นเวลาอย่างน้อย 40 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ โดยทั่วไปแล้ว สมบัติเชิงกลมักพิจารณาถึงเทอมต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 เครื่อง Texture Analyzer

## 2.2.5 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

สมบัติการดึงมีประโยชน์สำหรับการออกแบบในพลาสติกวิศวกรรม ซึ่งความสามารถในการทนแรงดึงของพลาสติกนั้น เป็นคุณสมบัติเชิงกลที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกได้หลายประการ เช่น ความทนแรงดึง ร้อยละการยืด ค่ามอดูลัสของยัง เป็นต้น

### 2.2.5.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือ แรงต้านภายในเนื้อวัสดุต่อแรงภายนอกที่มากระทำกับวัสดุ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ตัดขวางของวัสดุที่รับแรงนั้น

### 2.2.5.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด คือ ผลที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับสิ่งรบกวน จะทำให้วัสดุยืดออกหรือหดเข้าตามแนวแรงที่กระทำ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ

### 2.2.5.3 ค่ามอดูลัสของยัง (Elastic Modulus)

ค่ามอดูลัสของยังเป็นอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุ ค่ามอดูลัสของยังบ่งบอกความแข็งแรง หรือความแข็งตึง (Stiffness) ของวัสดุซึ่งเป็นความสามารถ

ในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ขณะรับแรง แสดงด้วยสัญลักษณ์ E แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ

#### 2.2.5.4 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับแรงกระทำได้ สามารถบ่งชี้ได้ว่าวัสดุนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าวัสดุนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุน (Porosity) จะทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง

#### 2.2.5.5 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation)

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว คือ ปริมาณความยืดเป็นเปอร์เซ็นต์ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด บ่งบอกความเหนียวของชิ้นงานและความสามารถในการขึ้นรูป

## 2.3 สารเติมแต่งพลาสติก

### 2.3.1 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) สูตรทางเคมี  $C_3H_8O_3$  เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของโพลีไฮดริค แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง คุณสมบัติเฉพาะของกลีเซอรอล/กลีเซอริน มีสถานะปกติเป็นของเหลวข้นใส ไม่มีสี มีรสหวาน ความหนาแน่น 1.261 กรัม/ลบ.ซม. จุดหลอมเหลว 18 องศาเซลเซียส จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส กลีเซอรอล ที่เป็นสารจำพวก Hydroscopic มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นในบรรยากาศได้ดี จึงนิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม ความยืดหยุ่น และเป็นครีม เช่น อุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อให้มีความอ่อนตัว และยืดหยุ่นได้ดี ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับเป็นสารอิมัลชันในผลิตภัณฑ์ครีม และเป็นสารที่ทำหน้าที่รักษาความชุ่มชื้นทั้งในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ และแกผิว ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากสามารถละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในเบนซีน อีเทอร์ และน้ำมัน

### 2.3.2 พอลิเอทิลีนไกลคอล

Polyethylene Glycol (PEG) สูตรทางเคมี  $C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$  ไม่มีสี ไม่เหนียว มีรสหวาน มีความชอบน้ำสูง กินไม่ได้ PEG เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง ethylene oxide กับน้ำ เอทิลีนไกลคอลหรือ ethylene glycol oligomers เป็นสาร polyether PEG ใช้เป็นสารช่วยในผลิตภัณฑ์ยาหลายชนิด สามารถใช้เป็นของแข็งและสารหล่อเย็นในของเหลวไฮดรอลิก ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรินในอุตสาหกรรม การผลิตถุงพลาสติก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับพลาสติก ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องสำอาง โลชั่น ครีม สบู่เหลว น้ำยาล้างจาน เป็นต้น PEG มีหลายชนิดตามน้ำหนักโมเลกุล PEG200, PEG300, PEG400 และ PEG600 ถ้าน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะมีความใสมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ชนิดของพลาสติก

### 2.4.1 HDPE : High Density polyethylene

เนื้อถุงชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีขาวขุ่น แต่สามารถปรับเปลี่ยนสีตามความต้องการของลูกค้าได้โดยการผสมแม่สี ถุงชนิดนี้เราจะเรียกกันว่าถุงหิ้ว ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำไปบรรจุสินค้าอุปโภคบริโภค และสินค้าชนิดอื่นๆ อีกมากมาย เพราะถุงชนิดนี้จะมีความเหนียว ทนทานและรับน้ำหนักได้ดี ยืดหยุ่นได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีป้องกันการซึมผ่านของไขมัน/น้ำมันและก๊าซได้ดีกว่า LDPE เช่น ถุงหิ้วทั่วไป ลัง ถัง ตะกร้า เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ถุง HDPE

### 2.4.2 LDPE: Low Density polyethylene

เนื้อถุงพลาสติกผ่านลม จะมีความใสมากกว่าเนื้อถุงชนิด HDPE แต่จะใส่น้อยกว่าเนื้อถุงผ่านน้ำชนิด LLDPE ยืดหยุ่นได้ดี ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้มากกว่า ทนความร้อนได้สามารถใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนได้ (Heat Sealing) สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและการกัดกร่อนจากกรดบางประเภทได้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำไปผลิตเป็นฟิล์มหด ถุงน้ำแข็ง ถุงข้าวสารถุงเย็น (ใส่ของร้อนไม่ได้) ถุงซ้อปปัง ถุงชิป ฟิล์มยืด ฟิล์มหดรัด และฟิล์มคลุมดิน เป็นต้น ใช้ในด้านอื่นๆตามความต้องการของผู้บริโภค



รูปที่ 2.5 ถุง LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 LLDPE: Linear Low Density polyethylene

เนื้อถุงพลาสติกผ่านน้ำ จะมีความใสและเหนียวเป็นพิเศษ มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงฉีกขาดได้ดี โดยส่วนใหญ่แล้วจะนำไปใช้ในการบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักสูง คุณสมบัติเชิงกลดีกว่า LDPE เช่น ทนแรงฉีกขาด แรงทิ่มทะลุได้ดีกว่า ช่นกว่า LDPE สามารถใช้ที่อุณหภูมิต่ำได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร พลาสติกแช่แข็ง ถุงบรรจุภัณฑ์ผ้า ถุงขยะ พลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงสูง พลาสติกเกษตร ถุงอุตสาหกรรม พลาสติกยืด พลาสติกลามิเนต ถุงแช่แข็ง และถุงน้ำแข็ง เป็นต้น

รูปที่ 2.6 ถุง LLDPE

### 2.4.4 PP: Polypropylene

ถุงชนิดนี้เรามักจะรู้จักกันดี หรือที่เรียกว่าถุงร้อน จะมีลักษณะใสเหนียว ทนต่อความร้อนได้ดี สามารถใช้บรรจุของร้อนได้ถึงจุดน้ำเดือด กันไอน้ำซึมผ่านได้ดี แต่กันไขมันและก๊าซได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก เหนียวมากกว่าโพลีเอทิลีน ทนต่อแรงดึง แรงกระแทก ทนการขีดข่วนและความร้อนสูง ใช้ทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน พลาสติกห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มของบุหรี หลอดดูดพลาสติก หมวกกันน็อค ขวดพลาสติก ถังต้มน้ำ กะละมัง ชั้นต้มน้ำ ถังใส่น้ำอัดลม และชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ทำจากโพลีโพรไพลีน สามารถนำไปชุบโครเมียมได้ เป็นต้น ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการบรรจุอาหาร และใช้ในด้านอื่นๆตามความต้องการของผู้บริโภค



รูปที่ 2.7 ถุง Polypropylene (PP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริพร เต็งรัง และคณะ (2555) ศึกษาการเพิ่มมูลค่าให้เปลือกทุเรียนนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพและประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อกำจัดลิกนินออก นำผงเซลลูโลสไปสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่างได้เป็นผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยเติมสารเติมแต่ง คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับพบว่าสารละลายและชนิดวิธีมีความหนืดแตกต่างกันซึ่งคุณสมบัติของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดและฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด โดยฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงด้วยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูงมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน

กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ ศิริพร เต็งรัง (2556) การเพิ่มมูลค่าของแป้งพืชและประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารจากสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันเทศ ให้เป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยการล้างทำความสะอาดและลดขนาดมันสำปะหลังและมันเทศให้เป็นแผ่น นำไปบดเพื่อให้น้ำแป้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าแป้งที่ตกตะกอนจะเป็นสีขาว แล้วรินน้ำทิ้งเหลือแต่แป้งที่ตกตะกอน อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้สตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันเทศ จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบด นำสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันเทศมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเติมสารเติมแต่ง คือ ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลปริมาณ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มสตาร์ชมันเทศให้ค่าความต้านแรงดึงสูงกว่า แต่ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังให้ค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนสูงกว่า โดยฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายใน 8 วันโดยการฝังกลบในดิน จึงเลือกแผ่นฟิล์มสตาร์ชมันเทศผสม 30% ซอร์บิทอล นำมาผลิตเป็นซองบรรจุอาหารสำหรับอาหารแห้งได้

ยุทธนา นามวงษา และคณะ(2559) ศึกษาผลกระทบของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งบุก โดยเติมสารพลาสติกไซเซอร์ คือ ซูโครส ซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล รวมถึงใช้อุณหภูมิอบแห้งต่างกัน คือ 40, 50 และ 55 องศาเซลเซียส หลังอบแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ พบว่าความหนาและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ส่วนค่าการต้านทานแรงดึง การยืดตัวและการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าสูงเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wenting Lan, Li He and Yaowen Liu (2018) นำโซเดียมอัลจิเนต โคโคซาน กลีเซอรอล และคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส นำมาผสมแล้วเทลงถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทดลองแบบสุ่ม พบว่าอัตราส่วนโซเดียมอัลจิเนต คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และโคโคซาน ร้อยละ 1.5, 0.5 และ 1.5 ตามลำดับ ได้สมบัติของแผ่นฟิล์มมีความแข็งแรง อัตราการซึมผ่านไอน้ำสูง สามารถนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารด้านเชื้อแบคทีเรียได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

- 3.1.1.1 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส หรือ Carmellose E466 เกรดอาหาร ผลิตที่ประเทศจีน
- 3.1.1.2 กลีเซอรอล หรือ 1,2,3-Propanetriol เกรดอาหาร ผลิตที่ประเทศไทย
- 3.1.1.3 พอลิเอทิลีนไกลคอล หรือ PEG-400 เกรดอุตสาหกรรมและยา ผลิตที่ประเทศมาเลเซีย

##### 3.1.2 อุปกรณ์

- 3.1.2.1 ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.1.2.2 แท่งแก้วคนสาร
- 3.1.2.3 ถาดอะคริลิก
- 3.1.2.4 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
- 3.1.2.5 ไมโครมิเตอร์
- 3.1.2.6 ตู้อบแห้งระบบไฟฟ้า (บริษัทกล้วยน้ำไท เตอบแห้ง 12 ถาด)
- 3.1.2.7 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA XT2i, Stable Microsystem Co. Ltd. ประเทศอังกฤษ หัววัด Tensilegrip A/TG )
- 3.1.2.8 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (รุ่น OHAUS PA214)
- 3.1.2.9 โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.1.2.10 ซิลิกาเจล
- 3.1.2.11 พาราฟิล์ม
- 3.1.2.12 น้ำมันพืช

#### 3.2 วิธีการทดลอง

##### 3.2.1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

นำสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 3 กรัม มาเติมสารเติมแต่ง ในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม โดยมีสารเติมแต่งคือ กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ทั้งหมด 8 สูตร ดังนี้

- 3.2.1.1 ถูพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ในทางการค้า
- 3.2.1.2 แผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัม (0.5%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม (0.5%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

3.2.1.4 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัม (0.5%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 1.5 กรัม (0.75%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

3.2.1.5 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัม (0.5%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 2 กรัม (1%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

3.2.1.6 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 2 กรัม (1%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม (0.5%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

3.2.1.7 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 2 กรัม (1%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 1.5 กรัม (0.75%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

3.2.1.8 แผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 2 กรัม (1%ของปริมาตรน้ำกลั่น) และพอลิเอทิลีนไกลคอล 2 กรัม (1%ของปริมาตรน้ำกลั่น)

จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม บนภาชนะขนาด 30x20 เซนติเมตร อบอุ่นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที ลอกแผ่นฟิล์มออก ทำการทดสอบ 3 ชั้น

### 3.3 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มหลังการขึ้นรูป

#### 3.3.1 ความหนาของแผ่นฟิล์ม

หลังจากการขึ้นรูปจะนำแผ่นฟิล์มมาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยวัดทั้งหมด 3 จุด

#### 3.3.2 การละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50x50 มิลลิเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบอุ่นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลายแช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ในสมการที่ 1

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $W_0$  = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)

$W_1$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ความหนาแน่นโดยการแทนที่ในน้ำมัน

ทำการทดสอบโดยการตัดแผ่นฟิล์มเป็นชิ้น นำไป ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปหย่อนลงในน้ำมัน เพื่อหาปริมาตรของน้ำมันที่เปลี่ยนไป นำค่าไปคำนวณในสมการที่ 2

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น (kg /m<sup>3</sup> )

$M$  = มวลของสาร (kg )

$V$  = ปริมาตร (m<sup>3</sup>)

### 3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ASTM D882) สภาวะในการทดสอบคือ ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึง 450 มิลลิเมตรต่อนาที ความกว้างชิ้นทดสอบ 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปากจับ 100 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองรอบละ 5 ตัวอย่าง ทั้งหมด 3 ซ้ำ ทดสอบตัวอย่างโดยคำนวณหา ค่ามอดูลัสของยัง , ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

โดยค่าที่ได้จากเครื่อง Texture Analyzer ได้แก่ แรงที่กระทำต่อแผ่นฟิล์มขณะทดสอบในแต่ละช่วงเวลา (Force) และความยาวของแผ่นฟิล์มที่เปลี่ยนไปขณะทดสอบในแต่ละช่วงเวลา (Distance) นำค่าทั้งสองมาคำนวณหาความเค้น และความเครียด จากนั้นนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้น แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่ามอดูลัสของยัง, ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

3.3.4.1 ความเค้น (Stress) คือ แรงต้านภายในเนื้อวัสดุต่อแรงภายนอกที่มากระทำกับวัสดุ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ตัดขวางของวัสดุที่รับแรงนั้น ดังสมการที่ 3

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

เมื่อ  $\sigma$  = ความเค้น (Pa, 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>)

$F$  = แรงภายนอกที่มากระทำ (N)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (m<sup>2</sup>)

3.3.4.2 ความเครียด (Strain) คือ ผลที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับสิ่งรบกวน จะทำให้วัสดุยืดออกหรือหดเข้าตามแนวแรงที่กระทำ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ ดังสมการที่ 4

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

เมื่อ  $\epsilon$  = ความเครียดเชิงเส้น

$\Delta L$  = ความยาวที่เปลี่ยนไป ( $L-L_0$ )

$L_0$  = ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือความยาวพิกัดของวัสดุ

3.3.4.3 ค่ามอดูลัสของยัง (Elastic Modulus) เป็นอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุ ค่ามอดูลัสของยังบ่งบอก ความแข็งแกร่ง หรือความแข็งตึง (Stiffness) ของวัสดุซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ขณะรับแรง แทนด้วยสัญลักษณ์ E แสดงถึงความแข็งแกร่งของวัสดุ ดังสมการที่ 5

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

เมื่อ  $E$  = มอดูลัสของความยืดหยุ่น ( $N/m^2$ )

$\epsilon$  = ความเครียด

$\sigma$  = แรงเค้น เนื่องจากการดึงตัวอย่าง ( $N/m^2$ )

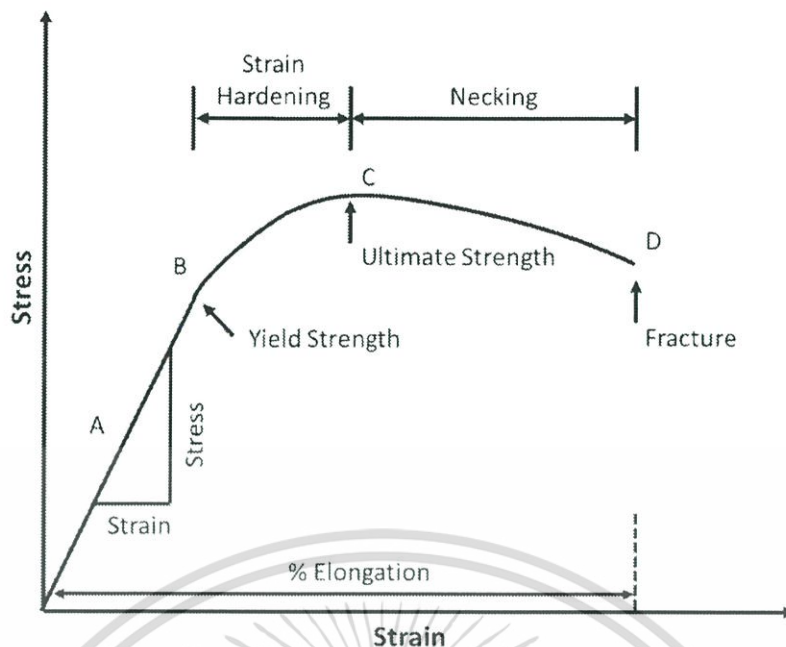
3.3.4.4 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) คือ จุดที่มีค่าสูงสุดในกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้น แสดงถึงค่าความแข็งแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับแรงกระทำได้ สามารถบ่งชี้ได้ว่าวัสดุนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าวัสดุนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุน (Porosity) จะทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง

3.3.4.5 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) คือ ปริมาณความยืดเป็นเปอร์เซ็นต์ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด บ่งบอกความเหนียวของชิ้นงานและความสามารถในการขึ้นรูป ดังสมการที่ 6

$$\%Elongation = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (6)$$

$\Delta L$  คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลง

$L_0$  คือ ความยาวเริ่มต้น



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

### 3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของการปิดผนึกแผ่นฟิล์ม

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer สภาวะในการทดสอบเหมือนข้อ 3.3.4 โดยนำแผ่นฟิล์มมาผนึกด้วยความร้อน 2 แบบ คือ ผนึก 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ทดสอบตัวอย่างโดยคำนวณหาค่า ค่ามอดูลัสของยัง, ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบหาคคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม

การทดลองการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทำการทดสอบหาคคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้จากการนำสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสทางการค้ามาเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล ด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน 8 สูตร แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาคสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

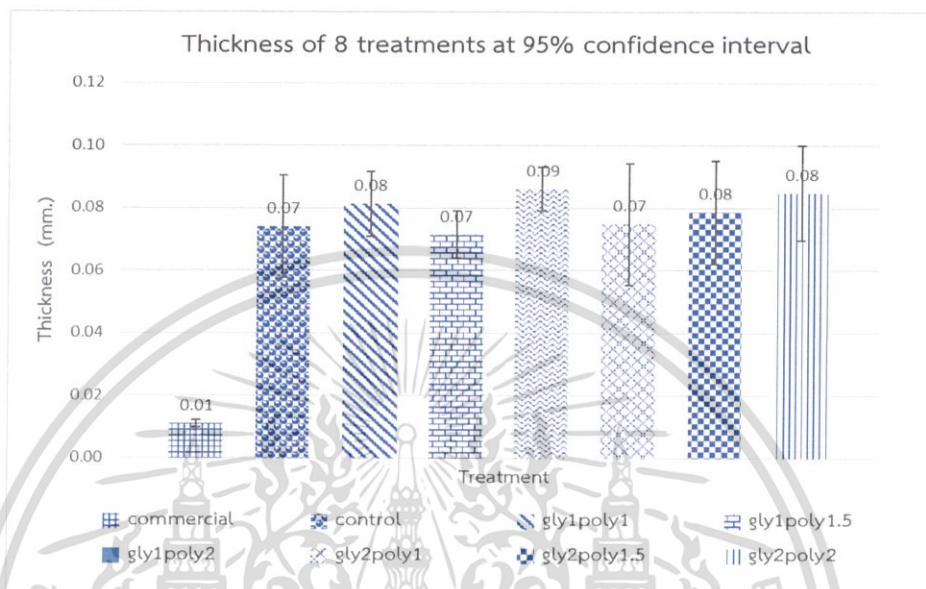
เงื่อนไข	ความหนา (mm.)	การละลายน้ำ (%)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจากการทดสอบ โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer		
				ค่ามอดูลัสของยัง (Pa)	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)
Commercial	0.01±0.001 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	184.20±70.78 <sup>ab</sup>	832.81±44.11 <sup>cd</sup>	25.88±2.04 <sup>f</sup>	56.85±14.11 <sup>d</sup>
Control	0.07±0.016 <sup>b</sup>	82.60±0.54 <sup>e</sup>	219.27±67.85 <sup>ab</sup>	1333.33±653.33 <sup>d</sup>	17.89±1.28 <sup>e</sup>	1.60±0.67 <sup>a</sup>
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	0.08±0.010 <sup>b</sup>	71.97±1.09 <sup>c</sup>	132.80±53.05 <sup>a</sup>	415.46±109.82 <sup>abc</sup>	9.63±1.39 <sup>bc</sup>	10.23±6.31 <sup>ab</sup>
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	0.07±0.008 <sup>b</sup>	71.51±0.92 <sup>cd</sup>	198.43±58.48 <sup>ab</sup>	533.76±75.62 <sup>abc</sup>	10.93±0.88 <sup>cd</sup>	5.99±3.74 <sup>a</sup>
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	0.09±0.007 <sup>b</sup>	70.81±0.63 <sup>bc</sup>	228.87±60.55 <sup>ab</sup>	695.28±116.05 <sup>bc</sup>	14.59±2.73 <sup>de</sup>	4.95±2.66 <sup>a</sup>
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	0.08±0.019 <sup>b</sup>	70.90±0.16 <sup>bcd</sup>	300.43±53.29 <sup>b</sup>	30.83±7.42 <sup>a</sup>	4.11±0.50 <sup>a</sup>	41.27±4.84 <sup>cd</sup>
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	0.08±0.016 <sup>b</sup>	70.65±0.67 <sup>bc</sup>	186.57±20.78 <sup>ab</sup>	118.06±51.54 <sup>ab</sup>	5.30±1.39 <sup>a</sup>	25.89±5.96 <sup>bc</sup>
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	0.09±0.015 <sup>b</sup>	69.80±0.23 <sup>b</sup>	150.00±50.37 <sup>a</sup>	190.26±50.20 <sup>ab</sup>	6.01±1.65 <sup>ab</sup>	14.28±6.85 <sup>ab</sup>

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาคความหนาของแผ่นฟิล์ม

เมื่อทำการวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม โดยในแต่ละแผ่นทำการวัด 3 จุด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่าแผ่นพลาสติกทางการค้ามีความหนาเฉลี่ย 0.01±0.001 มิลลิเมตร ซึ่งมีความหนาน้อยที่สุด แผ่นพลาสติกชีวภาพที่ใส่สารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 3 กรัมและไม่ใส่สารเติมแต่งมีความหนาเฉลี่ย 0.07±0.016 มิลลิเมตร แผ่นฟิล์มชีวภาพที่ใส่สารเติมแต่งมีความหนาประมาณ 0.08 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมาก สามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าความหนาของถุงพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ในทางการค้ามีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

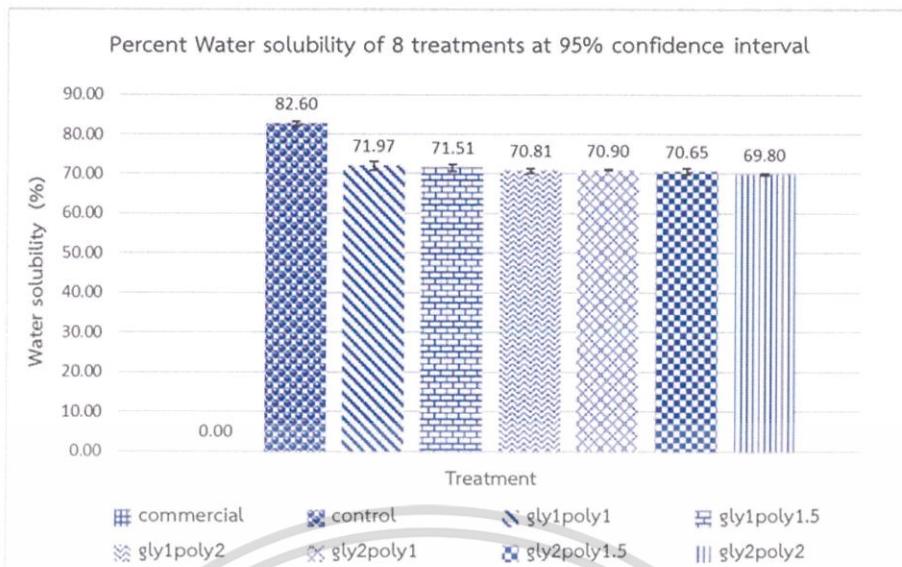
น้อยกว่าความหนาของแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งประมาณ 8 เท่า โดยความหนาของแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งแต่ละชนิดจะมีขนาดใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบหาคคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าความหนาของ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาคการละลายน้ำ

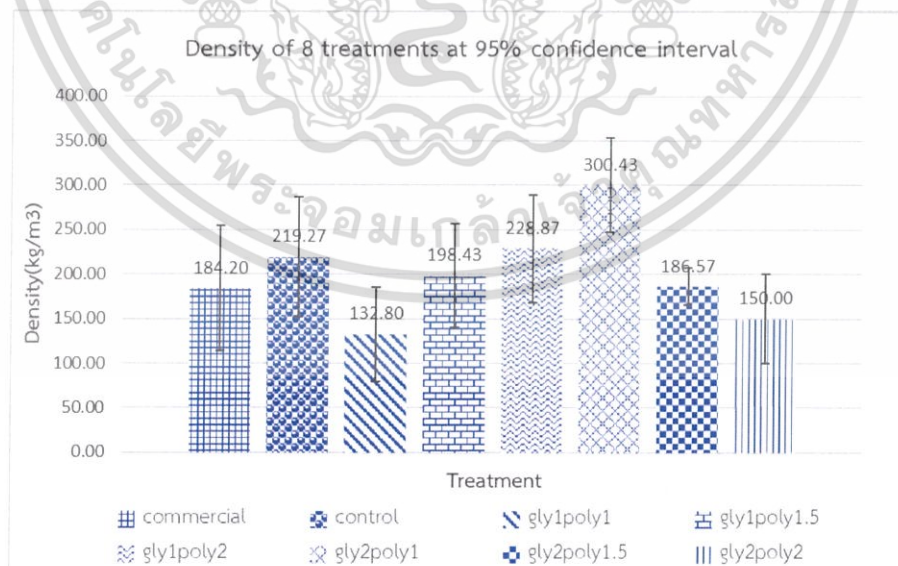
การทดสอบการละลายน้ำ ได้ทำการนำพลาสติกชีวภาพทางการค้าและแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเปรียบเทียบและหาแนวโน้มที่เกิดขึ้น พบว่าการละลายน้ำของถุงพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ในทางการค้าไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่แผ่นฟิล์มชีวภาพจากสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง (Control) มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากที่สุดถึง  $82.60 \pm 0.54$  เปอร์เซ็นต์ และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลีเซอรอล 2 กรัมและโพลิเอทิลีนไกลคอล 2 กรัม มีความสามารถในการละลายต่ำสุด คือ  $69.80 \pm 0.23$  เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบพบว่า เมื่อใส่สารเติมแต่งปริมาณมากขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ผลิตจากสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจะลดลง และจากการทดสอบหาคคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยน้ำมัน พบว่าแผ่นที่เติมสารเติมแต่งกลีเซอรอล 2 กรัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ  $300.43 \pm 53.29$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแผ่นที่เติมสารเติมแต่ง กลีเซอรอล 1 กรัม และพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ  $132.80 \pm 53.05$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีไม่ผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลดังภาพที่ 4.3

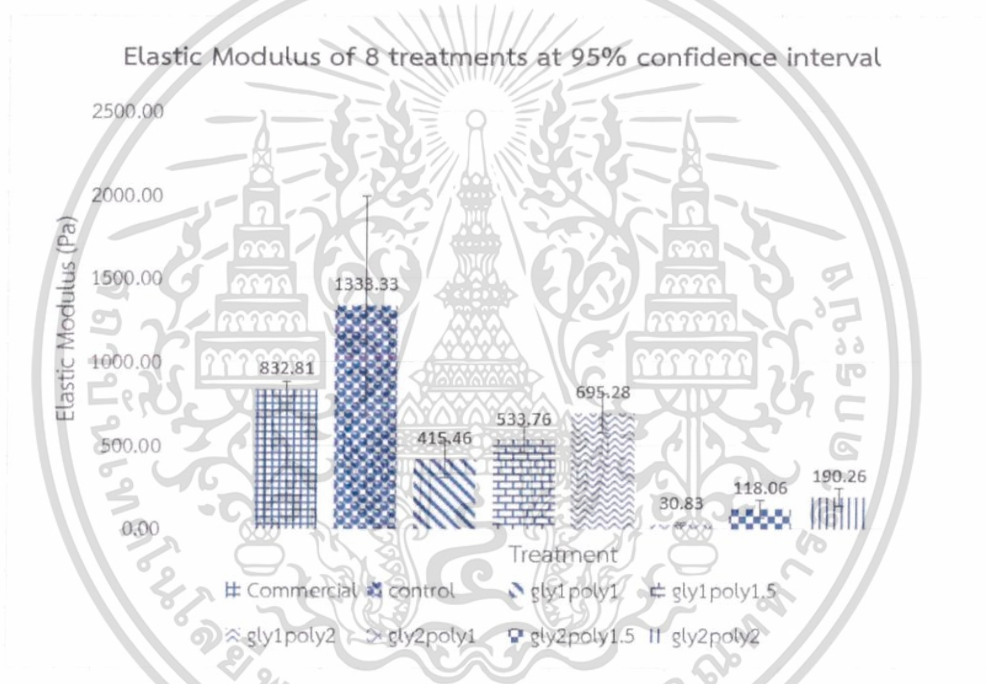


รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยัง

ในการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าค่ามอดูลัสของยังของพลาสติกชีวภาพทางการค้ามีค่า  $832.81 \pm 44.11$  ปาสคาล มีค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง (Control) ที่มีค่า  $1333.33 \pm 653.33$  ปาสคาล ซึ่งมีค่ามากที่สุด หมายความว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง (Control) มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่จากการทดลอง เมื่อเติมสารเติมแต่งค่ามอดูลัสของยังมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใส่สารเติมแต่ง 2 ชนิด การใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอลจะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่ามอดูลัสของยังลดลง ความแข็งแรงของแผ่นจึงลดลง แต่การใส่สารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่ามอดูลัสของยังมากขึ้น ความแข็งแรงของแผ่นจึงมากขึ้น และจากการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.4

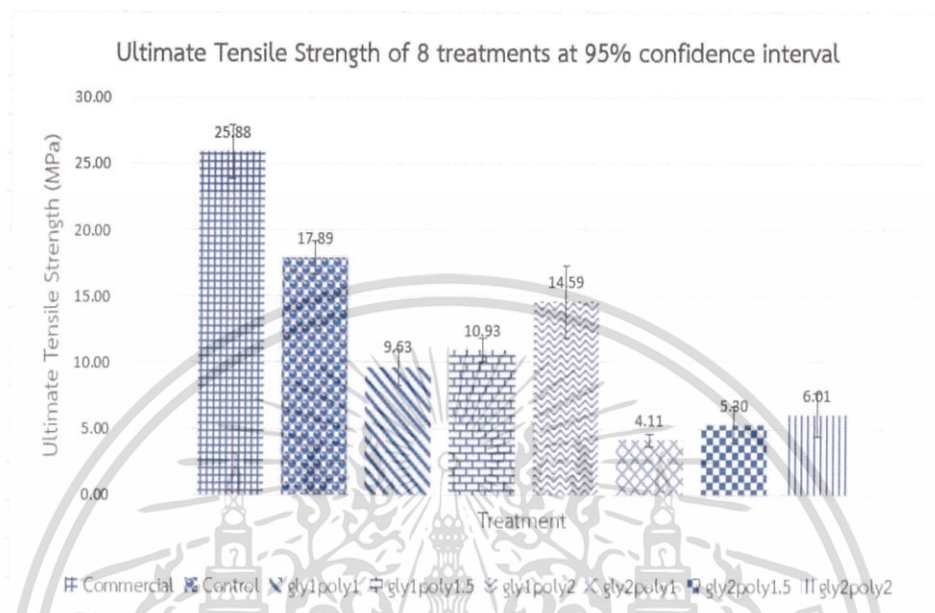


รูปที่ 4.4 ค่ามอดูลัสของยังของ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.5 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด พบว่า ถุงพลาสติกชนิดย่อยสลายได้มีค่ามากที่สุด คือ  $25.88 \pm 2.04$  เมกกะปาสคาล อันดับที่ 2 คือ แผ่นที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง  $17.89 \pm 1.28$  เมกกะปาสคาล เมื่อเปรียบเทียบแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอล 1 กรัม กับแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอล 2 กรัม พบว่ากลีเซอรอล 1 กรัม จะมีค่าของการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมากกว่าแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอล 2 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารเติมแต่ง กลีเซอรอลที่

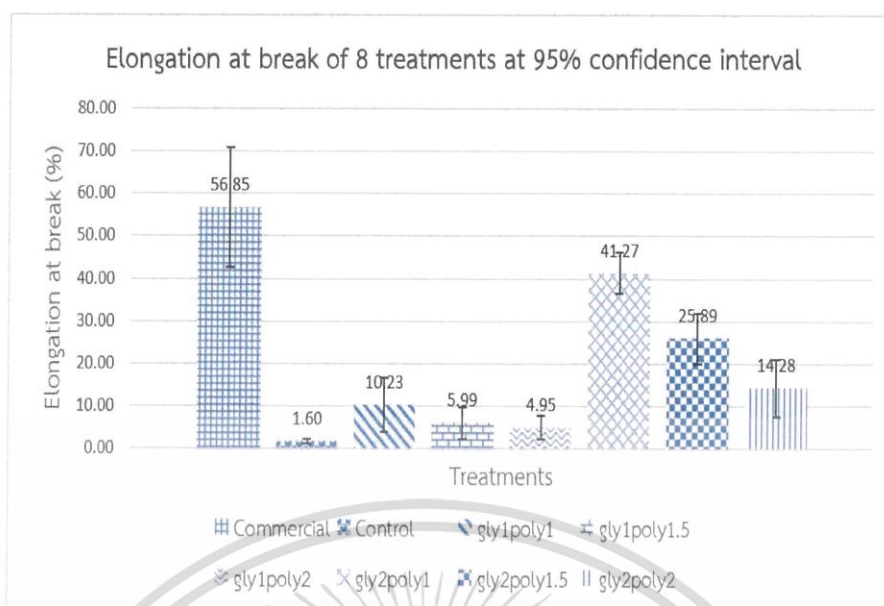
เท่ากันกับการเติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อเติมสารพอลิเอทิลีนไกลคอล จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มมากขึ้น และจากการทดสอบหาคณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปภาพที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยึดตัว เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าถุงพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางกาคามีค่ามากที่สุด คือ  $56.85 \pm 14.11$  เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มที่ใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอล 1 กรัม กับกลีเซอรอล 2 กรัม พบว่ากลีเซอรอล 2 กรัม จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากกว่าแผ่นที่ใส่สารเติมแต่งกลีเซอรอล 1 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมกลีเซอรอลที่เท่ากัน กับการเติมสารพอลิเอทิลีนไกลคอล ในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อเติมสารพอลิเอทิลีนไกลคอล จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวลดลง และจากการทดสอบหาคณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยการคำนวณทางสถิติพบว่า Treatment มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปภาพที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของ 8 treatment ที่ค่าความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์

#### 4.2 การทดสอบหาคคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเมื่อทำการฉีกด้วยความร้อน

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพและการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ทำการทดสอบหาคคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้จากการนำสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทางการค้ามาเติมสารเติมแต่ง คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม และ กลีเซอรอล 1 กรัม ที่ผ่านการฉีกด้วยความร้อน แสดงผลดังตารางที่ 4.2

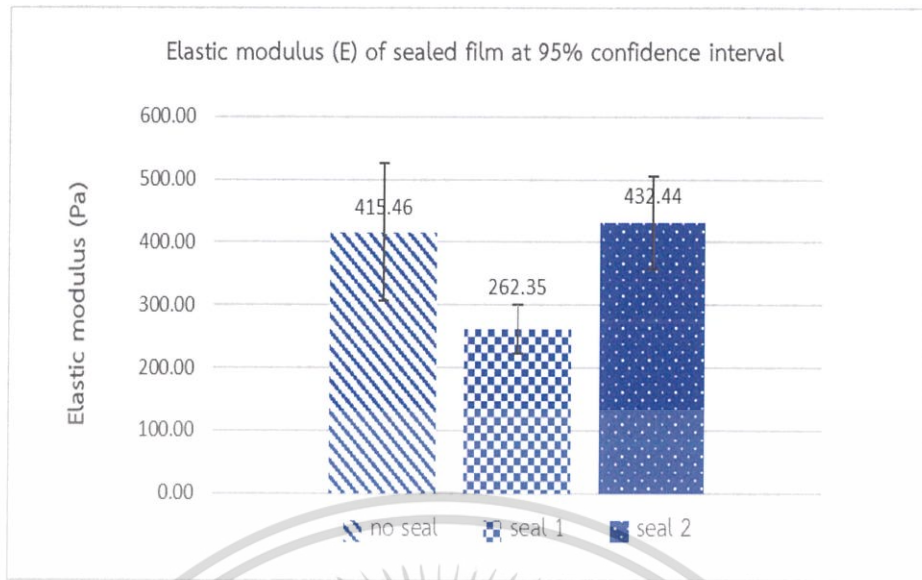
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาคคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการฉีกด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชนิดวัสดุ	การทดสอบสมบัติเชิงกล		
	Elastic modulus (Pa)	Ultimate tensile strength (MPa)	% elongation (%)
Control	415.46±109.82 <sup>a</sup>	9.63±1.39 <sup>a</sup>	10.23±6.32 <sup>a</sup>
seal 1	262.35±38.82 <sup>a</sup>	9.08±1.52 <sup>a</sup>	29.81±11.32 <sup>b</sup>
seal 2	432.44±73.93 <sup>a</sup>	9.33±1.24 <sup>a</sup>	14.13±1.40 <sup>ab</sup>

##### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการฉีกด้วยความร้อน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่ามอดูลัสของยังของแผ่นที่ฉีก 2 ครั้ง มีค่ามากที่สุด คือ 432.44±73.93 ปาสคาล และการฉีก 1 ครั้งมีค่าน้อยที่สุด คือ 262.35±38.82 ปาสคาล ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแผ่นที่ไม่ได้ทำการฉีกด้วยความร้อน แสดงผลดังรูปที่ 4.7

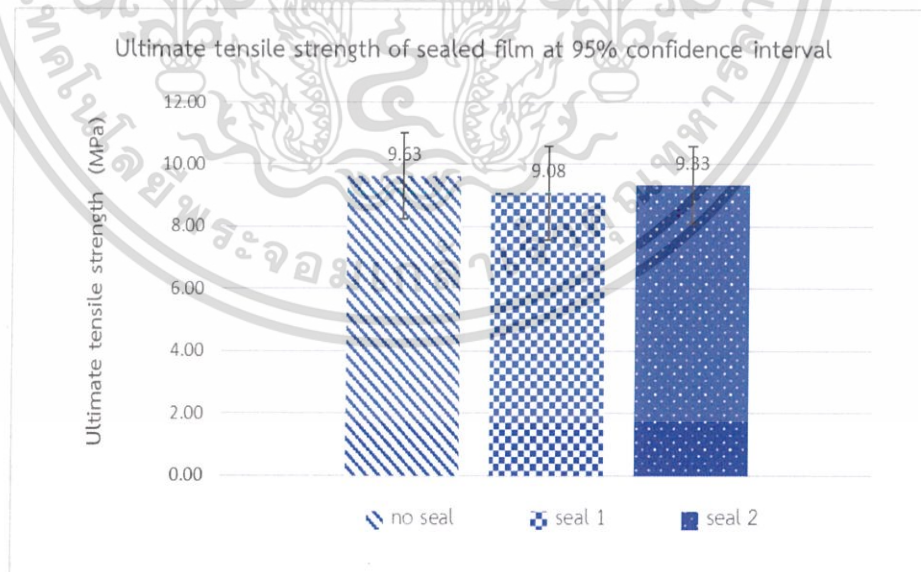
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มผนึก ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์ม ที่ผ่านการผนึกด้วยความร้อน

การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดพบว่าการผนึก 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นที่ไม่ได้ผนึก โดยค่าสูงสุด คือ แผ่นที่ไม่ผนึก มีค่าเท่ากับ  $9.63 \pm 1.39$  เมกกะปาสคาล ค่าที่ต่ำสุด คือแผ่นที่ผนึก 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับ  $9.08 \pm 1.52$  เมกกะปาสคาล แสดงผลดังรูปที่ 4.8

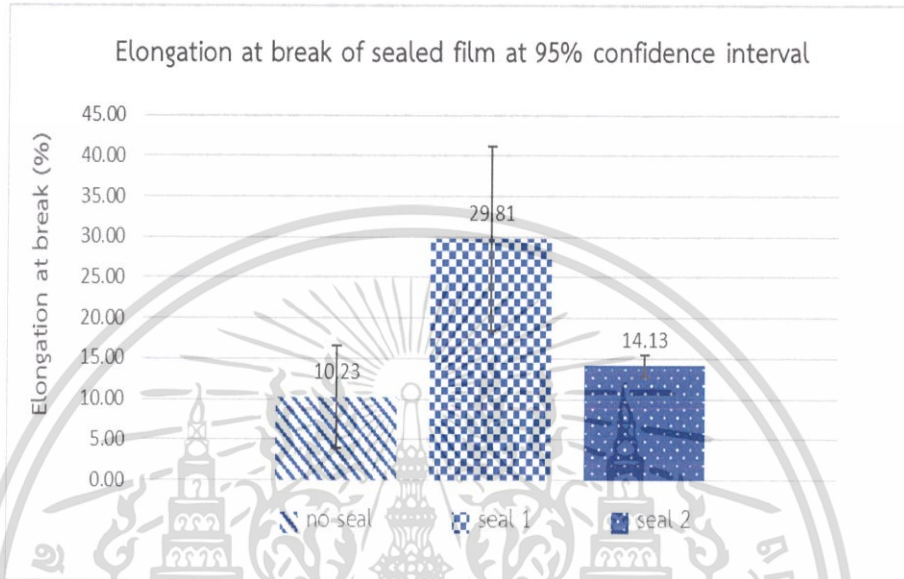


รูปที่ 4.8 ค่าความความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มผนึก ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการผนึกด้วยความร้อน

การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวพบว่าการผนึก 1 ครั้ง ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากที่สุด คือ  $29.81 \pm 11.32$  เปอร์เซ็นต์ การผนึก 2 ครั้งได้  $14.13 \pm 1.40$  เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำสุด คือ  $10.23 \pm 6.32$  เปอร์เซ็นต์ แสดงผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มผนึก ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 3 กรัมและสารเติมแต่ง ได้แก่ กลีเซอรอล และ พอลิเอทิลีนไกลคอล ละลายในน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยการทำให้แห้งด้วยเครื่อง Tray dryer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติการละลายน้ำ และความหนาแน่นของแผ่นฟิล์ม พบว่า การเพิ่มกลีเซอรอลทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความยืดตัวเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มพอลิเอทิลีนไกลคอลทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแผ่นที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง และเมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาปิดผนึกด้วยความร้อนโดยใช้เครื่องปิดผนึกถุงแบบมือกด สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ แต่อาจส่งผลให้บริเวณรอยปิดผนึกมีความแข็งแรงลดลง 3 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัม มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลในปริมาณที่มากขึ้น ขณะที่ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มที่เติม กลีเซอรอล 2 กรัม มีค่าความหนาแน่นน้อยลงเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลในปริมาณที่มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบถุงพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ในทางการค้ากับแผ่นวัสดุที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัมและเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม พบว่าวัสดุทางการค้ามีความแข็งแรงมากกว่า 63 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากกว่า 82 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ตัดสินใจเลือกแผ่นที่เติมกลีเซอรอล 1 กรัมและเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม ใช้ในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ มีความแข็งแรง  $9.63 \pm 1.39$  เมกะปาสคาล และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว  $10.23 \pm 6.32$  เปอร์เซ็นต์ โดยแผ่นนี้ใช้สารเติมแต่งในปริมาณน้อยที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมด ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำมากที่สุดที่  $71.97 \pm 1.09$  เปอร์เซ็นต์

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาการขึ้นรูปของแผ่นฟิล์มเพิ่มเติม โดยการทดลองใช้เครื่องทำแห้งชนิดอื่น หรือสร้างเครื่องขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนขึ้นรูป

5.2.2 ควรทำการศึกษาสารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซอร์ เช่น พาทาเลต ที่ทำให้เกิดการอ่อนตัวในพลาสติก, แอลจีเนต ที่ทำให้เกิดเจลเมื่ออยู่กับน้ำในปริมาณมาก, โลคัสปีนัม เป็นสารเพิ่มความคงตัว เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

5.2.3 ควรมีการทดลองขึ้นรูปแผ่นฟิล์มในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น เช่น บรรจุภัณฑ์ของแห้ง

## เอกสารอ้างอิง

- กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และศิริพร เต็งรัง. 2556. การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งของพืชที่มีศักยภาพ. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. 313-321.
- จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. 2557. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์. เอกสารประกอบการสอนวิชา Polymer Characteritron and Analysis. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 9-14.
- ณปภัช พิมพ์ดี. (2560). การละลาย. คลังความรู้ SciMath สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), แหล่งข้อมูล: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7178-solubility>. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2562.
- ปิยพร ร่มแสง, มัตติกา ไชยลังกา, รังสรรค์ กุนชนะ, วิชชากร กันทรัญญ์, อนุวัฒน์ โรจน์สินทรัพย์ และนพพล เล็กสวัสดิ์. 2555. CMC biopolymer. บทความ. สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุทธนา นามวงษา, ละมุล วิเศษ และณัฐพล ภูมิสะอาด. 2559. ผลของพลาสติกชีวเออร์และอนุภูมิภาคอบแห้งต่อสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งบุก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2: 34-37
- ศิริพร เต็งรัง, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร และ โกเมศ สัตยาวิรุ. 2555. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วยเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์. งานวิจัยเรื่องเต็ม 2555. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 350-356.
- ศิริพร เต็งรัง, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และวิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. 2555. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน. งานวิจัยเรื่องเต็ม 2555. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรมวิชาการเกษตร. 369-375.
- ศิริพร เต็งรัง, สุปรียา สุขเกษม, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และประยูร เอ็นมาก. 2556. วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. งานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลิตผลเกษตรกรมวิชาการเกษตร. 300-305.
- ASTM. 1989. Standard Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting (E882-88). Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- ASTM. 2004. Standard Test Methods for Sodium Carboxymethylcellulose (D 1439-03). In: Annual book of ASTM standards. Vol. 06.03. American Society of Testing and Materials. 9 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mali KK, Dhawale SC, Dias R, Dhane N and Ghorpade V. Citric Acid Crosslinked Carboxymethyl Cellulose-based Composite Hydrogel Films for Drug Delivery. Indian J Pharm Sci 2018;80(4): 657-667
- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L.J, Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachatanapun, P. 2011. Effect of Carboxymethyl Cellulose contraction on Physical properties of biodegradable cassava starchbased films. Chemistry Central Journal.5:6. 8 p.
- Wenting Lan, Li He, and Yaowen Liu. 2018. Preparation and Properties of Sodium Carboxymethyl Cellulose/Sodium Alginate/Chitosan Composite Film. Journal of Coatings Technology and Research. 8: 3-5.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

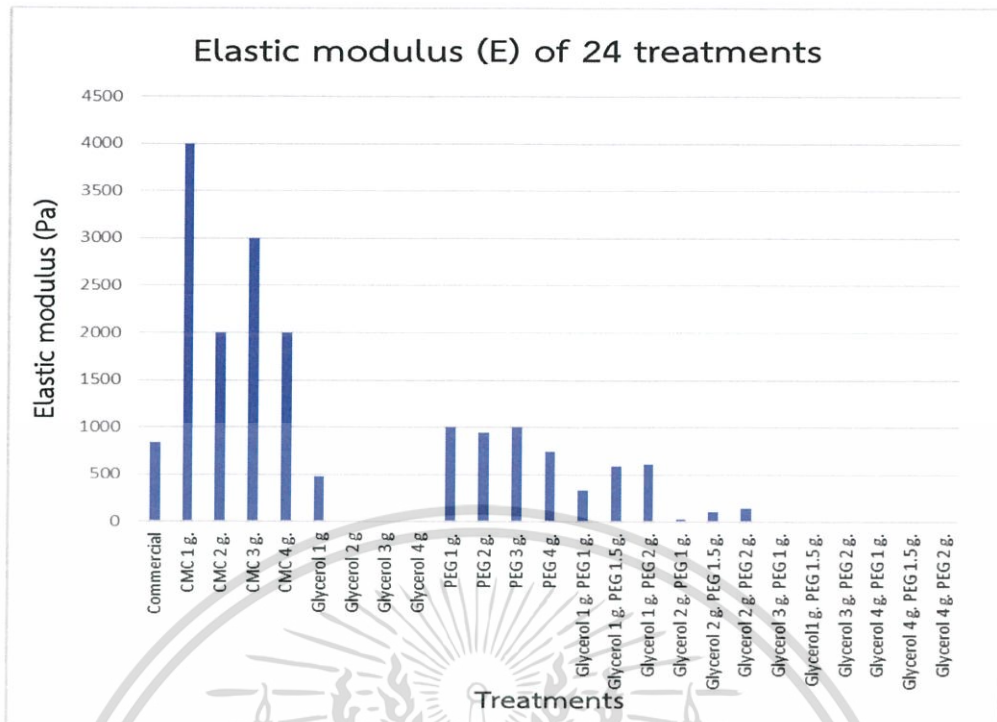
ภาคผนวก ก  
คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจากการทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer 24 สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

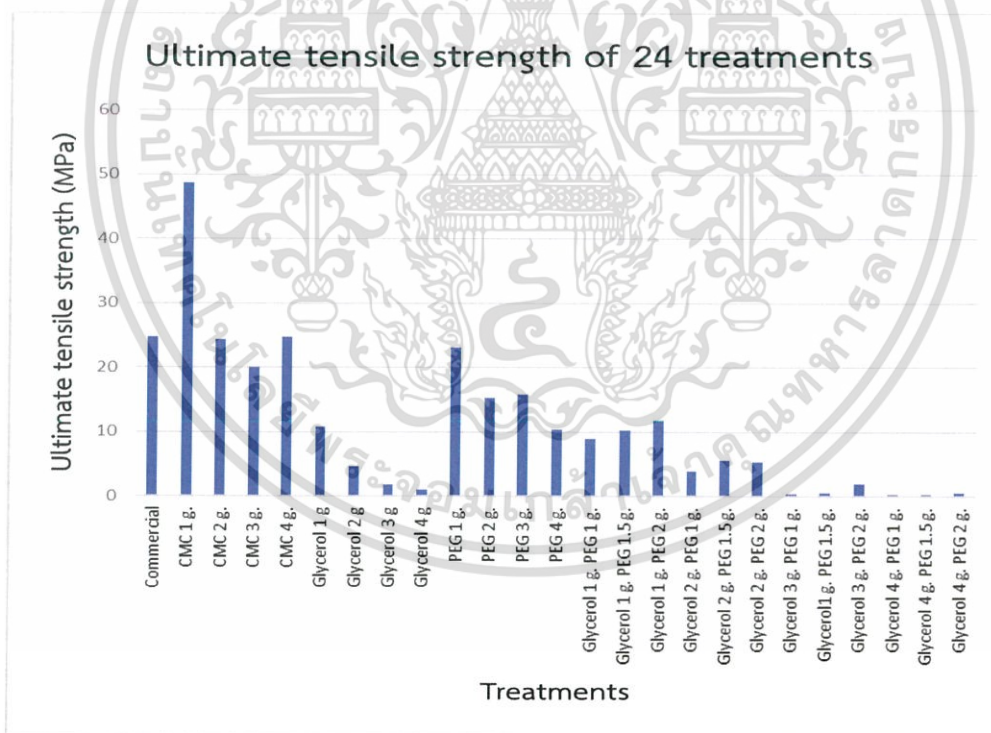
ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจากการทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer 24 สูตร

เงื่อนไข	ค่ามอดูลัสของยัง (Pa)	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)
Commercial	838.992	24.74595	18.428
CMC 1 g.	4000	48.78703	1.531
CMC 2 g.	2000	24.36947	1.988
CMC 3 g.	3000	20.01049	0.784
CMC 4 g.	2000	24.7963	1.236
Glycerol 1 g	476.185	10.77069	6.031
Glycerol 2 g	15.621	4.730973	49.722
Glycerol 3 g	1.8333	1.9057	28.919
Glycerol 4 g	1.3772	1.024306	67.914
PEG 1 g.	1000	23.19104	2.714
PEG 2 g.	948.462	15.2532	2.038
PEG 3 g.	1000	15.83911	2.004
PEG 4 g.	748.683	10.33826	1.506
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	335.044	8.949457	16.634
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	597.201	10.31506	2.27
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	609.255	11.81401	3.536
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	28.927	3.928513	46.185
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	112.599	5.658373	31.866
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	151.312	5.316847	15.273
Glycerol 3 g. PEG 1 g.	0.51825	0.399893	67.013
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	0.73433	0.579248	66.789
Glycerol 3 g. PEG 2 g.	1.7208	1.967678	67.906
Glycerol 4 g. PEG 1 g.	0.3728	0.29361	62.924
Glycerol 4 g. PEG 1.5 g.	0.45325	0.387489	67.76
Glycerol 4 g. PEG 2 g.	0.82446	0.631455	67.648

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

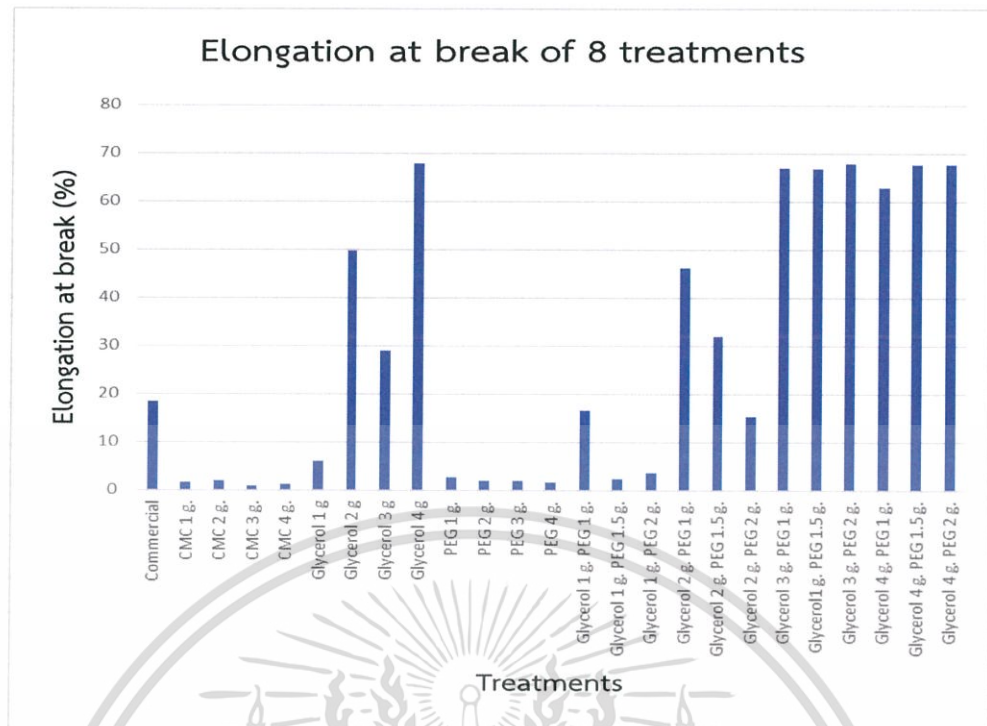


รูปที่ ก.1 ค่ามอดูลัสของยั้งของ 24 treatment



รูปที่ ก.2 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ 24 treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 เปรียบเทียบการยืดตัวของ 24 treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทดสอบหาความหนาของแผ่นฟิล์มที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ความหนา		จำนวนครั้ง			เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม	SD	standard error	95%
		1	2	3					
Commercial	ref 1	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001
	ref 2	0.01	0.01	0.01	0.01				
	ref 3	0.01	0.01	0.01	0.01				
Control	ref 1	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	0.012	0.007	0.016
	ref 2	0.09	0.07	0.06	0.07				
	ref 3	0.07	0.06	0.06	0.06				
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	ref 1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.009	0.005	0.010
	ref 2	0.10	0.09	0.08	0.09				
	ref 3	0.08	0.09	0.08	0.08				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.007	0.004	0.008
	ref 2	0.07	0.08	0.08	0.08				
	ref 3	0.06	0.06	0.07	0.06				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.006	0.004	0.007
	ref 2	0.08	0.10	0.08	0.09				
	ref 3	0.09	0.10	0.09	0.09				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.017	0.010	0.019
	ref 2	0.09	0.10	0.10	0.09				
	ref 3	0.07	0.07	0.08	0.07				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	0.07	0.07	0.06	0.06	0.08	0.015	0.008	0.016
	ref 2	0.10	0.09	0.10	0.09				
	ref 3	0.07	0.09	0.08	0.08				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.013	0.008	0.015
	ref 2	0.10	0.10	0.11	0.10				
	ref 3	0.09	0.08	0.09	0.08				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดสอบหาการละลายน้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

การละลายน้ำ		1	2	3	เฉลี่ย	เฉลี่ยรวม	SD	standard error	95%
Commercial	ref 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ref 2	0.00	0.00	0.00	0.00				
	ref 3	0.00	0.00	0.00	0.00				
Control	ref 1	82.48	82.66	82.05	82.40	82.60	0.48	0.28	0.54
	ref 2	84.35	82.11	80.27	82.25				
	ref 3	83.95	83.47	82.02	83.15				
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	ref 1	72.71	72.86	73.49	73.02	71.97	0.96	0.56	1.09
	ref 2	71.51	72.31	71.48	71.76				
	ref 3	71.08	70.90	71.39	71.12				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	72.26	73.36	71.74	72.45	71.51	0.82	0.47	0.92
	ref 2	71.12	70.49	71.71	71.11				
	ref 3	71.33	70.67	70.93	70.97				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	71.35	70.89	71.37	71.21	70.81	0.56	0.32	0.63
	ref 2	71.62	70.96	70.61	71.06				
	ref 3	70.80	69.26	70.47	70.18				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	71.41	71.02	70.57	71.00	70.90	0.14	0.08	0.16
	ref 2	71.52	70.96	70.42	70.97				
	ref 3	70.23	71.30	70.70	70.74				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	71.97	71.09	70.88	71.31	70.65	0.59	0.34	0.67
	ref 2	70.66	69.80	70.89	70.45				
	ref 3	70.81	69.66	70.08	70.18				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	70.45	69.99	69.44	69.96	69.80	0.20	0.12	0.23
	ref 2	70.66	70.01	68.95	69.87				
	ref 3	70.08	68.95	69.70	69.58				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดสอบหาความหนาแน่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ความหนาแน่น		มวล (kg)	ปริมาตร (ml)	ความหนาแน่น (kg/ml)	เฉลี่ยรวม	SD	standard error	95%
Commercial	ref 1	0.000256	0.000001	256.40	184.20	62.55	36.11	70.78
	ref 2	0.000147	0.000001	146.60				
	ref 3	0.00015	0.000001	149.60				
Control	ref 1	0.000289	0.000001	288.50	219.27	59.96	34.62	67.85
	ref 2	0.000184	0.000001	184.20				
	ref 3	0.000185	0.000001	185.10				
Glycerol 1 g. .PEG 1 g.	ref 1	0.000187	0.000001	186.90	132.80	46.88	27.07	53.05
	ref 2	0.000104	0.000001	104.20				
	ref 3	0.000107	0.000001	107.30				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	0.000245	0.000001	244.60	198.43	51.68	29.84	58.48
	ref 2	0.000143	0.000001	142.60				
	ref 3	0.000208	0.000001	208.10				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	0.000288	0.000001	288.40	228.87	53.50	30.89	60.55
	ref 2	0.000185	0.000001	184.80				
	ref 3	0.000213	0.000001	213.40				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	0.000274	0.000001	274.10	300.43	47.09	27.19	53.29
	ref 2	0.000272	0.000001	272.40				
	ref 3	0.000355	0.000001	354.80				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	0.000331	0.000002	165.40	186.57	18.37	10.60	20.78
	ref 2	0.000196	0.000001	196.00				
	ref 3	0.000198	0.000001	198.30				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	0.0002	0.000001	200.30	150.00	44.51	25.70	50.37
	ref 2	0.000134	0.000001	134.00				
	ref 3	0.000116	0.000001	115.70				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Young's Modulus	Pa	เฉลี่ย	SD	standard error	95%	
Commercial	ref 1	787.88	832.81	38.98	22.50	44.11
	ref 2	857.51				
	ref 3	853.05				
Control	ref 1	2000	1333.33	577.35	333.33	653.33
	ref 2	1000				
	ref 3	1000				
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	ref 1	335.04	415.46	97.05	56.03	109.82
	ref 2	523.25				
	ref 3	388.08				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	597.2	533.76	66.83	38.58	75.62
	ref 2	540.09				
	ref 3	464				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	609.25	695.28	102.56	59.21	116.05
	ref 2	667.82				
	ref 3	808.77				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	28.93	30.83	6.55	3.78	7.42
	ref 2	38.12				
	ref 3	25.43				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	112.6	118.06	45.54	26.29	51.54
	ref 2	75.5				
	ref 3	166.09				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	151.31	190.26	44.36	25.61	50.20
	ref 2	180.92				
	ref 3	238.55				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดสอบหาความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มที่ระดับความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์

UTS		MPa	เฉลี่ย	SD	standard error	95%
Commercial	ref 1	24.2	25.88	1.80	1.04	2.04
	ref 2	27.78				
	ref 3	25.67				
Control	ref 1	17.62	17.89	1.13	0.65	1.28
	ref 2	16.92				
	ref 3	19.13				
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	ref 1	8.95	9.63	1.23	0.71	1.39
	ref 2	11.05				
	ref 3	8.9				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	10.31	10.93	0.78	0.45	0.88
	ref 2	11.8				
	ref 3	10.68				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	11.81	14.59	2.41	1.39	2.73
	ref 2	15.79				
	ref 3	16.16				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	3.93	4.11	0.44	0.25	0.50
	ref 2	4.61				
	ref 3	3.79				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	5.66	5.30	1.23	0.71	1.39
	ref 2	3.93				
	ref 3	6.31				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	5.32	6.01	1.46	0.84	1.65
	ref 2	5.02				
	ref 3	7.68				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

% elongation		%	เฉลี่ย	SD	standard error	95%
Commercial	ref 1	66.31	56.85	12.47	7.20	14.11
	ref 2	61.52				
	ref 3	42.72				
Control	ref 1	0.94	1.60	0.59	0.34	0.67
	ref 2	2.06				
	ref 3	1.81				
Glycerol 1 g. PEG 1 g.	ref 1	16.63	10.23	5.58	3.22	6.31
	ref 2	7.65				
	ref 3	6.41				
Glycerol 1 g. PEG 1.5 g.	ref 1	2.27	5.99	3.30	1.91	3.74
	ref 2	8.58				
	ref 3	7.12				
Glycerol 1 g. PEG 2 g.	ref 1	3.54	4.95	2.35	1.36	2.66
	ref 2	7.66				
	ref 3	3.64				
Glycerol 2 g. PEG 1 g.	ref 1	46.18	41.27	4.28	2.47	4.84
	ref 2	38.32				
	ref 3	39.31				
Glycerol 2 g. PEG 1.5 g.	ref 1	31.87	25.89	5.27	3.04	5.96
	ref 2	23.85				
	ref 3	21.95				
Glycerol 2 g. PEG 2 g.	ref 1	15.27	14.28	6.05	3.49	6.85
	ref 2	7.80				
	ref 3	19.78				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Young's Modulus		Pa	เฉลี่ย	SD	standard error	95%
no seal	1	335.04	415.46	97.05	56.03	109.82
	2	523.25				
	3	388.08				
seal 1	1	225.35	262.35	34.31	19.81	38.82
	2	293.12				
	3	268.58				
seal 2	1	498.55	432.44	65.33	37.72	73.93
	2	367.91				
	3	430.86				

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดสอบหาความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

UTS		MPa	เฉลี่ย	SD	standard error	95%
no seal	1	8.94946	9.63	1.23	0.71	1.39
	2	11.0523				
	3	8.90075				
seal 1	1	10.3944	9.08	1.34	0.77	1.52
	2	9.14216				
	3	7.71425				
seal 2	1	10.5202	9.33	1.09	0.63	1.24
	2	8.36726				
	3	9.09859				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วย ความร้อนที่ระดับความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์

% elongation		%	เฉลี่ย	SD	standard error	95%
no seal	1	16.634	10.23	5.58	3.22	6.32
	2	7.646				
	3	6.409				
seal 1	1	41.149	29.81	10.00	5.77	11.32
	2	26.029				
	3	22.247				
seal 2	1	14.089	14.13	1.24	0.71	1.40
	2	12.919				
	3	15.393				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความหนา

ตารางที่ ค.1 แสดงผล Oneway ของการทดสอบความหนา

### ANOVA

thickness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.038	7	.005	43.832	.000
Within Groups	.008	64	.000		
Total	.046	71			

ตารางที่ ค.2 แสดงผล Post Hoc Tests ของการทดสอบความหนา

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: thickness

	(I) treatment	(J) treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-.062444	.005227	.000	-.07882	-.04607
		3	-.070222	.005227	.000	-.08660	-.05385
		4	-.060444	.005227	.000	-.07682	-.04407
		5	-.074889	.005227	.000	-.09127	-.05851
		6	-.063778	.005227	.000	-.08015	-.04740
		7	-.067556	.005227	.000	-.08393	-.05118
		8	-.073889	.005227	.000	-.09027	-.05751
			2	1	.062444	.005227	.000
3	-.007778			.005227	.811	-.02415	.00860
4	-.002000			.005227	1.000	-.01438	.01838
5	-.012444			.005227	.268	-.02882	.00393
6	-.001333			.005227	1.000	-.01771	.01504
7	-.005111			.005227	.976	-.02149	.01127
8	-.011444			.005227	.372	-.02782	.00493
	3			1	.070222	.005227	.000
		2	-.007778	.005227	.811	-.00860	.02415
		4	.009778	.005227	.575	-.00660	.02615
		5	-.004667	.005227	.986	-.02104	.01171
		6	.006444	.005227	.919	-.00993	.02282
		7	.002667	.005227	1.000	-.01371	.01904
		8	-.003667	.005227	.997	-.02004	.01271
			4	1	.060444	.005227	.000
2	-.002000			.005227	1.000	-.01838	.01438
3	-.009778			.005227	.575	-.02615	.00660
5	-.014444			.005227	.123	-.03082	.00193
6	-.003333			.005227	.998	-.01971	.01304
7	-.007111			.005227	.871	-.02349	.00927
8	-.013444			.005227	.185	-.02982	.00293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) treatment	(J) treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	.074889 <sup>*</sup>	.005227	.000	.05851	.09127
	2	.012444	.005227	.268	-.00393	.02882
	3	.004667	.005227	.986	-.01171	.02104
	4	.014444	.005227	.123	-.00193	.03082
	6	.011111	.005227	.410	-.00527	.02749
	7	.007333	.005227	.853	-.00904	.02371
	8	.001000	.005227	1.000	-.01538	.01738
	6	1	.063778 <sup>*</sup>	.005227	.000	.04740
2		.001333	.005227	1.000	-.01504	.01771
3		-.006444	.005227	.919	-.02282	.00993
4		.003333	.005227	.998	-.01304	.01971
5		-.011111	.005227	.410	-.02749	.00527
7		-.003778	.005227	.996	-.02015	.01260
8		-.010111	.005227	.533	-.02649	.00627
7		1	.067556 <sup>*</sup>	.005227	.000	.05118
	2	.005111	.005227	.976	-.01127	.02149
	3	-.002667	.005227	1.000	-.01904	.01371
	4	.007111	.005227	.871	-.00927	.02349
	5	-.007333	.005227	.853	-.02371	.00904
	6	.003778	.005227	.996	-.01260	.02015
	8	-.006333	.005227	.926	-.02271	.01004
	8	1	.073889 <sup>*</sup>	.005227	.000	.05751
2		.011444	.005227	.372	-.00493	.02782
3		.003667	.005227	.997	-.01271	.02004
4		.013444	.005227	.185	-.00293	.02982
5		-.001000	.005227	1.000	-.01738	.01538
6		.010111	.005227	.533	-.00627	.02649
7		-.006333	.005227	.926	-.01004	.02271

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.3 แสดงผล Homogeneous Subsets ของการทดสอบความหนา

**thickness**

treatment	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a</sup>					
1	9	.01100			
4	9		.07144		
2	9		.07344		
6	9		.07478		
7	9		.07856		
3	9		.08122		
8	9		.08489		
5	9		.08589		
Sig.		1.000	.123		

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การละลายน้ำ

ตารางที่ ค.4 แสดงผล Oneway ของการทดสอบการละลายน้ำ

## ANOVA

Solubility

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42588.020	7	6084.003	10437.641	.000
Within Groups	37.305	64	583		
Total	42625.325	71			

ตารางที่ ค.5 แสดงผล Post Hoc Tests ของการทดสอบการละลายน้ำ

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Solubility

(I) treatment	(J) treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD 1	2	-82.59700	.35990	.000	-83.7247	-81.4693
	3	-71.96832	.35990	.000	-73.0960	-70.8406
	4	-71.51249	.35990	.000	-72.6402	-70.3848
	5	-70.81453	.35990	.000	-71.9422	-69.6868
	6	-70.90228	.35990	.000	-72.0300	-69.7746
	7	-70.64992	.35990	.000	-71.7776	-69.5222
	8	-69.80354	.35990	.000	-70.9313	-68.6758
	2	1	82.59700	.35990	.000	81.4693
3		10.62868	.35990	.000	9.5010	11.7564
4		11.08451	.35990	.000	9.9568	12.2122
5		11.78247	.35990	.000	10.6548	12.9102
6		11.69472	.35990	.000	10.5670	12.8224
7		11.94708	.35990	.000	10.8194	13.0748
8		12.79346	.35990	.000	11.6657	13.9212
3		1	71.96832	.35990	.000	70.8406
	2	-10.62868	.35990	.000	-11.7564	-9.5010
	4	-4.45584	.35990	.908	-6.719	1.5836
	5	1.15379	.35990	.041	.0261	2.2815
	6	1.06605	.35990	.077	-.0617	2.1938
	7	1.31841	.35990	.011	.1907	2.4461
	8	2.16478	.35990	.000	1.0371	3.2925
	4	1	71.51249	.35990	.000	70.3848
2		-11.08451	.35990	.000	-12.2122	-9.9568
3		-4.45584	.35990	.908	-1.5836	.6719
5		.69795	.35990	.530	-.4298	1.8257
6		.61021	.35990	.690	-.5175	1.7379
7		.86257	.35990	.261	-.2651	1.9903
8		1.70894	.35990	.000	.5812	2.8367

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) treatment	(J) treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	70.81453*	.35990	.000	69.6868	71.9422
	2	-11.78247*	.35990	.000	-12.9102	-10.6548
	3	-1.15379*	.35990	.041	-2.2815	-.0261
	4	-.69795	.35990	.530	-1.8257	.4298
	6	-.08774	.35990	1.000	-1.2155	1.0400
	7	.16462	.35990	1.000	-.9631	1.2923
	8	1.01099	.35990	.111	-.1167	2.1387
	6	1	70.90228*	.35990	.000	69.7746
2		-11.69472*	.35990	.000	-12.8224	-10.5670
3		-1.06605	.35990	.077	-2.1938	.0617
4		-.61021	.35990	.690	-1.7379	.5175
5		.08774	.35990	1.000	-1.0400	1.2155
7		.25236	.35990	.997	-.8753	1.3801
8		1.09874	.35990	.061	-.0290	2.2264
7		1	70.64992*	.35990	.000	69.5222
	2	-11.94708*	.35990	.000	-13.0748	-10.8194
	3	-1.31841*	.35990	.011	-2.4461	-.1907
	4	-.86257	.35990	.261	-1.9903	.2651
	5	-.16462	.35990	1.000	-1.2923	.9631
	6	-.25236	.35990	.997	-1.3801	.8753
	8	.84637	.35990	.283	-.2813	1.9741
	8	1	69.80354*	.35990	.000	68.6758
2		-12.79346*	.35990	.000	-13.9212	-11.6657
3		-2.16478*	.35990	.000	-3.2925	-1.0371
4		-1.70894*	.35990	.000	-2.8367	-.5812
5		-1.01099	.35990	.111	-2.1387	.1167
6		-1.09874	.35990	.061	-2.2264	.0290
7		-.84637	.35990	.283	-1.9741	.2813

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.6 แสดงผล Homogeneous Subsets ของการทดสอบการละลายน้ำ

#### Solubility

treatment	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a</sup>						
1	9	.0000				
8	9		69.8035			
7	9		70.6499	70.6499		
5	9		70.8145	70.8145		
6	9		70.9023	70.9023	70.9023	
4	9			71.5125	71.5125	
3	9				71.9683	
2	9					82.5970
Sig.		1.000	.061	.261	.077	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความหนาแน่น

ตารางที่ ค.7 แสดงผล Oneway การทดสอบความหนาแน่น

### ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	56219.076	7	8031.297	3.249	.024
Within Groups	39548.853	16	2471.803		
Total	95767.930	23			

ตารางที่ ค.8 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบความหนาแน่น

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Density

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-35.06667	40.59395	.985	-175.6090	105.4757
		3	51.40000	40.59395	.899	-89.1424	191.9424
		4	-14.23333	40.59395	1.000	-154.7757	126.3090
		5	-44.66667	40.59395	.948	-185.2090	95.8757
		6	-116.23333	40.59395	.146	-256.7757	24.3090
		7	-2.36667	40.59395	1.000	-142.9090	138.1757
		8	34.20000	40.59395	.987	-106.3424	174.7424
		1	35.06667	40.59395	.985	-105.4757	175.6090
3	86.46667	40.59395	.438	-54.0757	227.0090		
4	20.83333	40.59395	.999	-119.7090	161.3757		
5	-9.60000	40.59395	1.000	-150.1424	130.9424		
6	-81.16667	40.59395	.511	-221.7090	59.3757		
7	32.70000	40.59395	.990	-107.8424	173.2424		
8	69.26667	40.59395	.684	-71.2757	209.8090		
3	1	2	-51.40000	40.59395	.899	-191.9424	89.1424
		4	-86.46667	40.59395	.438	-227.0090	54.0757
		5	-65.63333	40.59395	.735	-206.1757	74.9090
		6	-96.06667	40.59395	.319	-236.6090	44.4757
		7	-167.63333	40.59395	.014	-308.1757	-27.0910
		8	-53.76667	40.59395	.877	-194.3090	86.7757
		8	-17.20000	40.59395	1.000	-157.7424	123.3424
4	1	2	14.23333	40.59395	1.000	-126.3090	154.7757
		3	-20.83333	40.59395	.999	-161.3757	119.7090
		4	65.63333	40.59395	.735	-74.9090	206.1757
		5	-30.43333	40.59395	.994	-170.9757	110.1090
		6	-102.00000	40.59395	.257	-242.5424	38.5424
		7	11.86667	40.59395	1.000	-128.6757	152.4090
		8	48.43333	40.59395	.923	-92.1090	188.9757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	44.66667	40.59395	.948	-95.8757	185.2090
	2	9.60000	40.59395	1.000	-130.9424	150.1424
	3	96.06667	40.59395	.319	-44.4757	236.6090
	4	30.43333	40.59395	.994	-110.1090	170.9757
	6	-71.56667	40.59395	.651	-212.1090	68.9757
	7	42.30000	40.59395	.960	-98.2424	182.8424
	8	78.86667	40.59395	.544	-61.6757	219.4090
	6	1	116.23333	40.59395	.146	-24.3090
2		81.16667	40.59395	.511	-59.3757	221.7090
3		167.63333*	40.59395	.014	27.0910	308.1757
4		102.00000	40.59395	.257	-38.5424	242.5424
5		71.56667	40.59395	.651	-68.9757	212.1090
7		113.86667	40.59395	.161	-26.6757	254.4090
8		150.43333*	40.59395	.032	9.8910	290.9757
7		1	2.36667	40.59395	1.000	-138.1757
	2	-32.70000	40.59395	.990	-173.2424	107.8424
	3	53.76667	40.59395	.877	-86.7757	194.3090
	4	-11.86667	40.59395	1.000	-152.4090	128.6757
	5	-42.30000	40.59395	.960	-182.8424	98.2424
	6	-113.86667	40.59395	.161	-254.4090	26.6757
	8	36.56667	40.59395	.982	-103.9757	177.1090
	8	1	-34.20000	40.59395	.987	-174.7424
2		-69.26667	40.59395	.684	-209.8090	71.2757
3		17.20000	40.59395	1.000	-123.3424	157.7424
4		-48.43333	40.59395	.923	-188.9757	92.1090
5		-78.86667	40.59395	.544	-219.4090	61.6757
6		-150.43333	40.59395	.032	-290.9757	-9.8910
7		-36.56667	40.59395	.982	-177.1090	103.9757

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.9 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบความหนาแน่น

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>			
3	3	132.8000	
8	3	150.0000	
1	3	184.2000	184.2000
7	3	186.5667	186.5667
4	3	198.4333	198.4333
2	3	219.2667	219.2667
5	3	228.8667	228.8667
6	3		300.4333
Sig.		.319	.146

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค่ามอดูลัสของยัง

ตารางที่ ค.10 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยัง

### ANOVA

Elasticmodulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3932292.591	7	561756.084	12.369	.000
Within Groups	726677.419	16	45417.339		
Total	4658970.010	23			

ตารางที่ ค.11 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยัง

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Elasticmodulus

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-500.52000	174.00640	.143	-1102.9564	101.9164
		3	417.35667	174.00640	.305	-185.0797	1019.7930
		4	299.05000	174.00640	.677	-303.3864	901.4864
		5	-137.53333	174.00640	.991	-464.9030	739.9697
		6	801.98667	174.00640	.005	199.5503	1404.4230
		7	714.75000	174.00640	.015	112.3136	1317.1864
		8	642.55333	174.00640	.032	40.1170	1244.9897
		2	1	500.52000	174.00640	.143	-101.9164
	3	917.87667	174.00640	.002	315.4403	1520.3130	
	4	799.57000	174.00640	.006	197.1336	1402.0064	
	5	638.05333	174.00640	.034	35.6170	1240.4897	
	6	1302.50667	174.00640	.000	700.0703	1904.9430	
	7	1215.27000	174.00640	.000	612.8336	1817.7064	
	8	1143.07333	174.00640	.000	540.6370	1745.5097	
	3	1	-417.35667	174.00640	.305	-1019.7930	185.0797
		2	-917.87667	174.00640	.002	-1520.3130	-315.4403
		4	-118.30667	174.00640	.996	-720.7430	484.1297
		5	-279.82333	174.00640	.740	-882.2597	322.6130
		6	384.63000	174.00640	.395	-217.8064	987.0664
		7	297.39333	174.00640	.682	-305.0430	899.8297
		8	225.19667	174.00640	.888	-377.2397	827.6330
		1	417.35667	174.00640	.305	-1019.7930	185.0797
	4	1	-299.05000	174.00640	.677	-901.4864	303.3864
		2	-799.57000	174.00640	.006	-1402.0064	-197.1336
		3	118.30667	174.00640	.996	-484.1297	720.7430
		5	-161.51667	174.00640	.978	-763.9530	440.9197
		6	502.93667	174.00640	.140	-99.4997	1105.3730
		7	415.70000	174.00640	.309	-186.7364	1018.1364
		8	343.50333	174.00640	.526	-258.9330	945.9397
		1	299.05000	174.00640	.677	-901.4864	303.3864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	2	-638.05333	174.00640	.034	-1240.4897	-35.6170
	3	279.82333	174.00640	.740	-322.6130	882.2597
	4	161.51667	174.00640	.978	-440.9197	763.9530
	6	664.45333*	174.00640	.025	62.0170	1266.8897
	7	577.21667	174.00640	.065	-25.2197	1179.6530
	8	505.02000	174.00640	.137	-97.4164	1107.4564
6	1	-801.98667*	174.00640	.005	-1404.4230	-199.5503
	2	-1302.50667*	174.00640	.000	-1904.9430	-700.0703
	3	-384.63000	174.00640	.395	-987.0664	217.8064
	4	-502.93667	174.00640	.140	-1105.3730	99.4997
	5	-664.45333*	174.00640	.025	-1266.8897	-62.0170
	7	-87.23667	174.00640	.999	-689.6730	515.1997
7	8	-159.43333	174.00640	.980	-761.8697	443.0030
	1	-714.75000*	174.00640	.015	-1317.1864	-112.3136
	2	-1215.27000*	174.00640	.000	-1817.7064	-612.8336
	3	-297.39333	174.00640	.682	-899.8297	305.0430
	4	-415.70000	174.00640	.309	-1018.1364	186.7364
	5	-577.21667	174.00640	.065	-1179.6530	25.2197
8	6	87.23667	174.00640	.999	-515.1997	689.6730
	7	-72.19667	174.00640	1.000	-674.6330	530.2397
	1	-642.55333*	174.00640	.032	-1244.9897	-40.1170
	2	-1143.07333*	174.00640	.000	-1745.5097	-540.6370
	3	-225.19667	174.00640	.888	-827.6330	377.2397
	4	-343.50333	174.00640	.526	-945.9397	258.9330
	5	-505.02000	174.00640	.137	-1107.4564	97.4164
	6	159.43333	174.00640	.980	-443.0030	761.8697
	7	72.19667	174.00640	1.000	-530.2397	674.6330

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.12 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยัง

#### Elasticmodulus

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a</sup>					
6	3	30.8267			
7	3	118.0633	118.0633		
8	3	190.2600	190.2600		
3	3	415.4567	415.4567	415.4567	
4	3	533.7633	533.7633	533.7633	
5	3		695.2800	695.2800	
1	3			832.8133	832.8133
2	3				1333.3333
Sig.		.140	.065	.305	.143

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### ANOVA

Elasticmodulas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	52660.693	2	26330.347	5.314	.047
Within Groups	29727.480	6	4954.580		
Total	82388.173	8			

ตารางที่ ค.14 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Elasticmodulas

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	153.10667	57.47220	.083	-23.2338	329.4471
		3	-16.98333	57.47220	.953	-193.3238	159.3571
	2	1	-153.10667	57.47220	.083	-329.4471	23.2338
		3	-170.09000	57.47220	.057	-346.4305	6.2505
	3	1	16.98333	57.47220	.953	-159.3571	193.3238
		2	170.09000	57.47220	.057	-6.2505	346.4305

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.15 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### Elasticmodulas

	Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD <sup>a</sup>	2	3	262.3500
	1	3	415.4567
	3	3	432.4400
	Sig.		.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความต้านทานแรงดึงสูงสุด

ตารางที่ ค.16 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

### ANOVA

UTS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1150.781	7	164.397	80.852	.000
Within Groups	32.533	16	2.033		
Total	1183.314	23			

ตารางที่ ค.17 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: UTS

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	7.99333*	1.16428	.000	3.9624	12.0242
		3	16.25000*	1.16428	.000	12.2191	20.2809
		4	14.95333*	1.16428	.000	10.9224	18.9842
		5	11.29667*	1.16428	.000	7.2658	15.3276
		6	21.77333*	1.16428	.000	17.7424	25.8042
		7	20.68333*	1.16428	.000	16.5524	24.6142
		8	19.87667*	1.16428	.000	15.8458	23.9076
			2	1	-7.99333*	1.16428	.000
3	8.25667*			1.16428	.000	4.2258	12.2876
4	6.96000*			1.16428	.000	2.9291	10.9909
5	3.30333			1.16428	.153	-.7276	7.3342
6	13.78000*			1.16428	.000	9.7491	17.8109
7	12.59000*			1.16428	.000	8.5591	16.6209
8	11.88333*			1.16428	.000	7.8524	15.9142
	3			1	-16.25000*	1.16428	.000
		2	-8.25667*	1.16428	.000	-12.2876	-4.2258
		4	-1.29667	1.16428	.944	-5.3276	2.7342
		5	-4.95333*	1.16428	.011	-8.9842	-.9224
		6	5.52333*	1.16428	.004	1.4924	9.5542
		7	4.33333*	1.16428	.031	.3024	8.3642
		8	3.62667	1.16428	.094	-.4042	7.6576
			4	1	-14.95333*	1.16428	.000
2	-6.96000*			1.16428	.000	-10.9909	-2.9291
3	1.29667			1.16428	.944	-2.7342	5.3276
5	-3.65667*			1.16428	.090	-7.6876	.3742
6	6.82000*			1.16428	.001	2.7891	10.8509
7	5.63000*			1.16428	.004	1.5991	9.6609
8	4.92333*			1.16428	.011	.8924	8.9542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	-11.29667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-15.3276	-7.2658
	2	-3.30333	1.16428	.153	-7.3342	.7276
	3	4.95333 <sup>*</sup>	1.16428	.011	.9224	8.9842
	4	3.65667	1.16428	.090	-.3742	7.6876
	6	10.47667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	6.4458	14.5076
	7	9.28667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	5.2558	13.3176
	8	8.58000 <sup>*</sup>	1.16428	.000	4.5491	12.6109
	6	1	-21.77333 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-25.8042
2		-13.78000 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-17.8109	-9.7491
3		-5.52333 <sup>*</sup>	1.16428	.004	-9.5542	-1.4924
4		-6.82000 <sup>*</sup>	1.16428	.001	-10.8509	-2.7891
5		-10.47667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-14.5076	-6.4458
7		-1.19000	1.16428	.964	-5.2209	2.8409
8		-1.89667	1.16428	.728	-5.9276	2.1342
7		1	-20.58333 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-24.6142
	2	-12.59000 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-16.6209	-8.5591
	3	-4.33333 <sup>*</sup>	1.16428	.031	-8.3642	-.3024
	4	-5.63000 <sup>*</sup>	1.16428	.004	-9.6609	-1.5991
	5	-9.28667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-13.3176	-5.2558
	6	-1.19000	1.16428	.964	-2.8409	5.2209
	8	-.70667	1.16428	.998	-4.7376	3.3242
	8	1	-19.87667 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-23.9076
2		-11.88333 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-15.9142	-7.8524
3		-3.62667	1.16428	.094	-7.6576	.4042
4		-4.92333 <sup>*</sup>	1.16428	.011	-8.9542	-.8924
5		-8.58000 <sup>*</sup>	1.16428	.000	-12.6109	-4.5491
6		-1.89667	1.16428	.728	-2.1342	5.9276
7		-.70667	1.16428	.998	-3.3242	4.7376

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.18 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

UTS

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
Tukey HSD <sup>a</sup>	6	4.1100					
	7	5.3000					
	8	6.0067	6.0067				
	3		9.6333	9.6333			
	4			10.9300	10.9300		
	5				14.5867	14.5867	
	2					17.8900	
	1						25.8833
Sig.		.728	.094	.944	.090	.153	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มที่ผ่าน การปิดผนึกด้วยความร้อน

#### ANOVA

UTS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.457	2	.228	.152	.862
Within Groups	9.012	6	1.502		
Total	9.468	8			

ตารางที่ ค.20 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์ม ที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: UTS

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	.55057	1.00064	.850	-2.5197	3.6208
		3	-.30549	1.00064	.950	-2.7648	3.3757
	2	1	-.55057	1.00064	.850	-3.6208	2.5197
		3	-.24508	1.00064	.968	-3.3153	2.8252
	3	1	-.30549	1.00064	.950	-3.3757	2.7648
		2	.24508	1.00064	.968	-2.8252	3.3153

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.21 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ แผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

#### UTS

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Tukey HSD <sup>a</sup>		
2	3	9.0836
3	3	9.3287
1	3	9.6342
Sig.		.850

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ตารางที่ ค.22 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

## ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8203.019	7	1171.860	32.777	.000
Within Groups	572.047	16	35.753		
Total	8775.066	23			

ตารางที่ ค.23 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Elongation

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	55.24667*	4.88214	.000	38.3440	72.1494
		3	46.62000*	4.88214	.000	29.7173	63.5227
		4	50.86000*	4.88214	.000	33.9573	67.7627
		5	51.90333*	4.88214	.000	35.0006	68.8060
		6	15.58000	4.88214	.082	-1.3227	32.4827
		7	30.96000*	4.88214	.000	14.0573	47.8627
		8	42.56667*	4.88214	.000	25.6640	59.4694
		2	1	-55.24667*	4.88214	.000	-72.1494
	3	-8.62667	4.88214	.648	-25.5294	8.2760	
	4	-4.38667	4.88214	.982	-21.2894	12.5160	
	5	-3.34333	4.88214	.996	-20.2460	13.5594	
	6	-39.66667*	4.88214	.000	-56.5694	-22.7640	
	7	-24.28667*	4.88214	.003	-41.1894	-7.3840	
	8	-12.68000	4.88214	.226	-29.5827	4.2227	
	3	1	-46.62000*	4.88214	.000	-63.5227	-29.7173
		2	8.62667	4.88214	.648	-8.2760	25.5294
		4	4.24000	4.88214	.985	-12.6627	21.1427
		5	5.28333	4.88214	.952	-11.6194	22.1860
		6	-31.04000*	4.88214	.000	-47.9427	-14.1373
		7	-15.66000	4.88214	.080	-32.5627	1.2427
		8	-4.05333	4.88214	.988	-20.9560	12.8494
	4	1	-50.86000*	4.88214	.000	-67.7627	-33.9573
		2	4.38667	4.88214	.982	-12.5160	21.2894
		3	-4.24000	4.88214	.985	-21.1427	12.6627
		5	1.04333	4.88214	1.000	-15.8594	17.9460
		6	-35.28000*	4.88214	.000	-52.1827	-18.3773
		7	-19.90000*	4.88214	.015	-36.8027	-2.9973
		8	-8.29333	4.88214	.688	-25.1960	8.6094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	-51.90333*	4.88214	.000	-68.8060	-35.0006
	2	3.34333	4.88214	.996	-13.5594	20.2460
	3	-5.28333	4.88214	.952	-22.1860	11.6194
	4	-1.04333	4.88214	1.000	-17.9460	15.8594
	6	-36.32333*	4.88214	.000	-53.2260	-19.4206
	7	-20.94333*	4.88214	.010	-37.8460	-4.0406
	8	-9.33667	4.88214	.562	-26.2394	7.5660
6	1	-15.58000	4.88214	.082	-32.4827	1.3227
	2	39.66667*	4.88214	.000	22.7640	56.5694
	3	31.04000*	4.88214	.000	14.1373	47.9427
	4	35.28000*	4.88214	.000	18.3773	52.1827
	5	36.32333*	4.88214	.000	19.4206	53.2260
	7	15.38000	4.88214	.089	-1.5227	32.2827
	8	26.98667*	4.88214	.001	10.0840	43.8894
7	1	-30.96000*	4.88214	.000	-47.8627	-14.0573
	2	24.28667*	4.88214	.003	7.3840	41.1894
	3	15.66000	4.88214	.080	-1.2427	32.5627
	4	19.90000*	4.88214	.015	2.9973	36.8027
	5	20.94333*	4.88214	.010	4.0406	37.8460
	6	-15.38000	4.88214	.089	-32.2827	1.5227
	8	11.60667	4.88214	.314	-5.2960	28.5094
8	1	-42.56667*	4.88214	.000	-59.4694	-25.6640
	2	12.68000	4.88214	.226	-4.2227	29.5827
	3	4.05333	4.88214	.988	-12.8494	20.9560
	4	8.29333	4.88214	.688	-8.6094	25.1960
	5	9.33667	4.88214	.562	-7.5660	26.2394
	6	-26.98667*	4.88214	.001	-43.8894	-10.0840
	7	-11.60667	4.88214	.314	-28.5094	5.2960

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.24 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว

#### Elongation

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	
Tukey HSD <sup>a</sup>	2	3	1.6033			
	5	3	4.9467			
	4	3	5.9900			
	3	3	10.2300	10.2300		
	8	3	14.2833	14.2833		
	7	3		25.8900	25.8900	
	6	3			41.2700	41.2700
	1	3				56.8500
Sig.			.226	.080	.089	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.25 แสดงผล Oneway การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	644.261	2	322.130	7.282	.025
Within Groups	265.419	6	44.237		
Total	909.680	8			

ตารางที่ ค.26 แสดงผล Post Hoc Tests การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Elongation

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-19.57867	5.43057	.026	-36.2411	-2.9162
		3	-3.90400	5.43057	.762	-20.5665	12.7585
	2	1	19.57867	5.43057	.026	2.9162	36.2411
		3	15.67467	5.43057	.063	-.9878	32.3371
	3	1	3.90400	5.43057	.762	-12.7585	20.5665
		2	-15.67467	5.43057	.063	-32.3371	.9878

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.27 แสดงผล Homogeneous Subsets การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปิดผนึกด้วยความร้อน

### Elongation

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	1	3	10.2297
	3	3	14.1337
	2	3	29.8083
Sig.			.762
			.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ตัวอย่างการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยการผนึกด้วยความร้อน (ไม่ใส่ส่วนผสมอาหาร)



รูปที่ ง.2 ตัวอย่างการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยการผนึกด้วยความร้อน (ใส่ส่วนผสมอาหาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้