

อิทธิพลของสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก

Influence of crosslinkers on the properties of film

from mucilage gel of *Ocimum americanum*



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

อิทธิพลของสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก

**Influence of crosslinkers on the properties of film
from mucilage gel of *Ocimum americanum***



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556

KMITL-2013-SC-M-014-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Influence of crosslinkers on the properties of film
from mucilage gel of *Ocimum americanum***



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-SC-M-014-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มจากวุ้นแมงลัก
Influence of crosslinkers on the properties of film from
mucilage gel of *Ocimum americanum*

นักศึกษา

นางสาวนฤนาท เทศศรีเมือง

รหัสประจำตัว

54651108

ปริญญา





วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย	
รศ.ดร.จุฑารัตน์	ปรัชญาวรรการ	
ดร.ปรารธนา	คิ้วสุวรรณ	
รศ.ดร.มาลินี	ชัยศุกกิจสินธ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลา 13.30 - 16.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษณี ฐานะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 17 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่มีผลต่อแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก
นักศึกษา	นางสาวนฤนาท เทศศรีเมือง
รหัสประจำตัว	54651108
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2556
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักโดยใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยง 4 ชนิด ได้แก่ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA), Boric acid (BA), Sodium tripolyphosphate/Sodium trimetaphosphate (STMP/STPP) และ Citric acid (CA) ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการแปรปริมาณอัตราส่วนระหว่างสารเมือกแมงลักและสารก่อพันธะเชื่อมโยง ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำที่แผ่นฟิล์มสามารถดูดซับได้ในน้ำกลั่น ปริมาณน้ำสมดุลของแผ่นฟิล์ม สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม และวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ผลจากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR, TGA และ XRD พบว่าเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงบนสารเมือกจากแมงลัก ผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้โดยใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) โดยมี Ammonium persulphate (APS) เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุด แผ่นฟิล์มขึ้นรูปได้และมีความยืดหยุ่นที่ดี และเมื่อมีปริมาณของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) มากขึ้น ปริมาณน้ำที่แผ่นฟิล์มสามารถดูดซับน้ำได้มีค่าน้อยลง ผลการทดสอบของสมบัติเชิงกล พบว่าค่าของความแข็งแรงดึง ในสารก่อพันธะเชื่อมโยงทั้ง 4 ชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ค่า เเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ในสูตรที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) ให้ค่าสูงที่สุด ส่งผลให้แผ่นฟิล์มยืดหยุ่นกว่า ฟิล์มที่ใช้ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงคงรูปร่างได้ดีเมื่อแช่น้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสารก่อพันธะเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ

Thesis Title	Influence of crosslinkers on the properties of film from mucilage gel of <i>Ocimum Americanum</i>
Student	Naruenart Thessrimuang
Student ID	54651108
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

The research focus on preparation of films from mucilage gel of *Ocimum americanum*. The films were prepared by using N,N'-methylenebisacrylamide (MBA), Boric acid (BA), Sodium tripolyphosphate/ Sodium trimetaphosphate (STMP/STPP) and Citric acid (CA) as cross-linking agents. Ammonium persulfate (APS) was used as an initiator for MBA crosslinker. Investigation and comparison of various ratios of mucilage gel of *Ocimum americanum* and cross-linking agent on the properties of films such as physical characteristic, water content (WC) in distilled water, the equilibrium water content (EWC), mechanical properties and crystal structure (XRD) were studied.

The analytical data from FTIR, TGA and XRD found that the cross-linking occurred on mucilage gel. The experimental results showed that N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) showed the most suitable crosslinker. MBA crosslinked film exhibits good uniformity and good flexibility properties. The water content of the films was decreased with increased MBA. The tensile strength for 4 types of cross-linking agents quite similar but the %elongation at break of MBA-crosslinked film showed the highest value corresponding to high flexibility. MBA-crosslinked film showed good dimensional stability after immersion in water when compared with the other crosslinking agents.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย และ ดร. ประรณดา คีวสุวรรณ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกให้การดำเนินงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือที่ยังมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นฤนาท เทศศรีเมือง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พลาสติกเพื่อการเกษตร.....	4
2.1.1 นิยามและความหมาย.....	4
2.1.2 การใช้งานพลาสติกทางการเกษตร.....	4
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้.....	10
2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติกย่อยสลายได้.....	10
2.2.2 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้.....	11
2.2.3 ผลกระทบด้านบวกต่อสภาวะแวดล้อม.....	13
2.2.4 ผลกระทบด้านลบต่อสภาวะแวดล้อม.....	16
2.3 แมงลัก.....	18
2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	19
2.3.2 ประโยชน์ของแมงลัก.....	20
2.3.2.1 ด้านคุณค่าทางอาหาร แมงลักประกอบด้วย.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.3.2.2	ด้านสมุนไพรร.....	20
2.3.2.3	ด้านเภสัชวิทยาและทางการแพทย์.....	20
2.3.3	สารเมือก.....	20
2.4	สารก่ออนุมูลอิสระ.....	23
2.4.1	แอมโมเนียม เปอร์ซัลเฟต.....	23
2.4.1.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	23
2.4.1.2	ความเสถียรภาพ.....	23
2.4.1.3	ความเป็นพิษ.....	23
2.5	สารก่อพิษระเหย.....	24
2.5.1	เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์.....	24
2.5.1.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	24
2.5.1.2	ความเสถียรภาพ.....	24
2.5.1.3	ความเป็นพิษ.....	24
2.5.2	กรดบอริก.....	25
2.5.2.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	25
2.5.2.2	ความเป็นพิษ.....	25
2.5.3	โซเดียมไตร โพลีฟอสเฟต.....	26
2.5.3.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	26
2.5.3.2	ประโยชน์ในการใช้งานด้านอื่นๆ.....	26
2.5.3.3	ความเป็นพิษ.....	26
2.5.4	โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต.....	27
2.5.4.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	27
2.5.4.2	ประโยชน์ในการใช้งานด้านอื่นๆ.....	27
2.5.4.3	ความเป็นพิษ.....	27
2.5.5	กรดซีตริก.....	28
2.5.5.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	28
2.5.5.2	ประโยชน์ในการใช้งานด้านอื่นๆ.....	28
2.5.5.3	ความเป็นพิษ.....	28

สารบัญ (ต่อ)

2.6	พลาสติกไซเซออร์.....	29
2.6.1	พลาสติกไซเซชันและพลาสติกไซเซออร์.....	29
2.6.2	ทฤษฎีการทำงานของพลาสติกไซเซออร์.....	31
2.6.3	สมบัติที่ต้องการของพลาสติกไซเซออร์.....	32
2.6.4	ความสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์.....	32
2.6.5	ผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติอื่นๆของพอลิเมอร์.....	33
2.7	การดูดซับ.....	36
2.7.1	กระบวนการดูดซับ.....	36
2.7.2	ลักษณะการดูดซับ.....	37
2.7.3	กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล.....	38
2.7.4	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	39
2.8	การวิเคราะห์สมบัติทางอุณหภูมิจของพอลิเมอร์.....	40
2.9	การวิเคราะห์ตรวจสอบหุ้ผึ้งกัชัน.....	41
2.10	กระบวนการหล่อขึ้นรูป.....	42
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
บทที่ 3	การวิจัยและการดำเนินงาน.....	50
3.1	วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.3	ขั้นตอนการทดลอง.....	52
3.3.1	การเตรียมสารเมือกแมงลัก.....	52
3.3.2	ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก โดยใช้สารก่อกั้นระเชื่อม โยงต่างๆ 4 ชนิด.....	53
3.3.3	ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก การทดลองนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน.....	54
3.4	การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม.....	56
3.4.1	การตรวจสอบหาหุ้ผึ้งกัชัน.....	56
3.4.2	การตรวจสอบสมบัติเชิงกล.....	56

สารบัญ (ต่อ)

3.4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ.....	57
3.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	58
3.4.5 โครงสร้างของผลึก [X-ray diffractometer (XRD)].....	58
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	59
4 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม.....	59
4.1 ศึกษาผลของปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA)	
ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 1-4.....	61
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ.....	61
4.1.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	62
4.1.3 การทดสอบหาความหนาแน่น.....	65
4.1.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA).....	65
4.1.5 สมบัติการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำที่สมดุล.....	68
4.1.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น.....	68
4.1.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์ม จากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	70
4.1.6 สมบัติเชิงกล.....	71
4.1.6.1 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength).....	71
4.2 ศึกษาผลของปริมาณ Boric acid (BA)	
ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 5-8.....	73
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ.....	73
4.2.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	74
4.2.3 การทดสอบหาความหนาแน่น.....	76
4.2.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA).....	76
4.2.5 สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล.....	79
4.2.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น.....	79

สารบัญ (ต่อ)

4.2.5.2	สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์ม จากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	81
4.2.6	สมบัติเชิงกล.....	82
4.2.6.1	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength).....	82
4.3	ศึกษาผลของปริมาณ Sodium tripolyphosphate/ Sodiumtrimetaphosphate (STMP/STPP) ที่มีต่อสมบัติของ แผ่นฟิล์ม สูตร 9-12.....	84
4.3.1	ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ.....	84
4.3.2	การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	85
4.3.3	การทดสอบหาความหนาแน่น.....	87
4.3.4	การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA).....	88
4.3.5	สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล.....	90
4.3.5.1	สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น.....	90
4.3.5.2	สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจาก สารเมือกแมงลักในน้ำกลั่น เป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	92
4.3.6	สมบัติเชิงกล.....	93
4.3.6.1	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength).....	93
4.4	ศึกษาผลของปริมาณ Citric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 13-16.....	95
4.4.1	ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ.....	95
4.4.2	การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน.....	96
4.4.3	การทดสอบหาความหนาแน่น.....	98
4.4.4	การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA).....	99
4.4.5	สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล.....	101

สารบัญ (ต่อ)

4.4.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น.....	101
4.4.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์ม จากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง.....	103
4.4.6 สมบัติเชิงกล.....	104
4.4.6.1 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength).....	104
4.5 เปรียบเทียบผลของสารก่อพันธะเชื่อม โยงชนิดต่างๆ.....	106
4.5.1 เปรียบเทียบผลของความหนาแน่นของสารก่อพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด....	106
4.5.2 เปรียบเทียบผลของการดูดซับน้ำที่สมดุลของฟิล์ม ที่ได้สารก่อพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	107
4.5.3 เปรียบเทียบผลของเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์ม ที่ได้สารก่อพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	108
4.6 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการคลวมดิน.....	110
4.7 โครงสร้างของผลึก [X-ray diffractometer (XRD)].....	115
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	118
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	120
เอกสารอ้างอิง.....	121
ภาคผนวก.....	125
ภาคผนวก ก.....	125
ภาคผนวก ข.....	129
ภาคผนวก ค.....	136
ภาคผนวก ง.....	146

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงพลาสติกคลุมดิน.....	5
ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆในการคลุมดิน.....	6
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลของแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้ในการคลุมดิน.....	7
ตารางที่ 2.4 แสดงพลังงานที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกชนิดสังเคราะห์.....	15
ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกชนิดย่อยสลายได้.....	16
ตารางที่ 2.6 ชนิดของโลหะในตัวเร่งที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้.....	18
ตารางที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกแมงลัก.....	21
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี การปรับเปลี่ยนปริมาณของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA).....	54
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้การเตรียมฟิล์มสารเมือกแมงลักที่มี การปรับเปลี่ยนปริมาณของ Boric acid.....	54
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี การปรับเปลี่ยนปริมาณของ Sodium tripolyphosphate/ Sodium trimetaphosphate (STPP/STMP).....	55
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ Boric acid.....	55
ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนของสารที่ใช้ผสมในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม.....	59
ตารางที่ 4.2 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 1-4.....	61
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 1-4.....	67
ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนผสมของฟิล์ม สูตร 1-4.....	71
ตารางที่ 4.5 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 5-8.....	73
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 5-8.....	78
ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 5-8.....	82
ตารางที่ 4.8 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 9-12.....	84
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 9-12.....	89
ตารางที่ 4.10 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 9-12.....	93
ตารางที่ 4.11 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 13-16.....	95
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 13-16.....	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.13 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 13-16.....	104
ตารางที่ 4.14 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่มี MBA เป็นสารก่อกัมมันต์เชื่อม โยง.....	111
ตารางที่ 4.15 แสดงค่า % Amorphous และ % Crystallinity.....	117
ตารางที่ ก-1 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม.....	127
ตารางที่ ก-2 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สมดุลเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม.....	128
ตารางที่ ข-1 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด.....	130
ตารางที่ ข-1 (ต่อ) ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด.....	131
ตารางที่ ง-1 แสดงค่าความแข็งแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก.....	147



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงต้นแมงลัก.....	18
รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Glucuronic acid.....	22
รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Galacturonic acid.....	22
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Polygalacturonic acid.....	22
รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างของ Ammonium persulphate.....	23
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA).....	24
รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้าง Boric acid.....	25
รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของ Sodium tripolyphosphate.....	26
รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของ Sodium trimetaphosphate.....	27
รูปที่ 2.10 แสดง โครงสร้างของ กรดซึตรีค.....	28
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ PVC ทั้งในกรณีที่ใช้และ ไม่ใช้พลาสติกไซเซอร์.....	31
รูปที่ 2.12 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด.....	35
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด.....	35
รูปที่ 2.14 การทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน.....	35
รูปที่ 2.15 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA.....	41
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมสารเมือกจากแมงลัก.....	52
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่ผสมสารก่อกันระเหยง่าย.....	53
รูปที่ 3.3 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	56
รูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกจากแมงลัก.....	62
รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA).....	63
รูปที่ 4.3 แสดง IR spectra ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี การเชื่อม โยงด้วย N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA).....	64
รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของฟิล์มแมงลักเชื่อม โยงด้วยสารก่อกันระเหยง่าย MBA.....	65
รูปที่ 4.5 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) เป็นสารก่อกันระเหยง่าย.....	66
รูปที่ 4.6 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) เป็นสารก่อกันระเหยง่าย.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.7 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	68
รูปที่ 4.8 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อม โยง ระหว่าง MBA + แมงลัก.....	69
รูปที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	70
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด.....	71
รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งแรงดึง.....	72
รูปที่ 4.12 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Boric acid.....	74
รูปที่ 4.13 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกแมงลักที่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Boric acid.....	75
รูปที่ 4.14 ความหนาแน่นของฟิล์มแมงลักเชื่อม โยงด้วยสารก่อพันธะเชื่อม โยง Boric acid.....	76
รูปที่ 4.15 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี Boric acid เป็นสารก่อพันธะเชื่อม โยง.....	77
รูปที่ 4.16 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี Boric acid เป็นสารก่อพันธะเชื่อม โยง.....	77
รูปที่ 4.17 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี ปริมาณ Boric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	79
รูปที่ 4.18 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อม โยงระหว่าง Boric acid กับแมงลัก.....	80
รูปที่ 4.19 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่มีปริมาณ Boric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	81
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด.....	82
รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงดึง.....	83
รูปที่ 4.22 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Sodium trimetaphosphate (STMP).....	85
รูปที่ 4.23 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Sodium tripolyphosphate (STPP).....	85
รูปที่ 4.24 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกแมงลัก ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ STMP/STPP.....	86

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.25 ความหนาแน่นของฟิล์มเมงลักเชื่อมโยงด้วย สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP.....	87
รูปที่ 4.26 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลัก ที่มี STMP/STPP เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง.....	88
รูปที่ 4.27 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลัก ที่มี STMP/STPP เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง.....	88
รูปที่ 4.28 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักที่มี ปริมาณ STMP/STPP 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	90
รูปที่ 4.29 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยง ระหว่าง STMP/STPP กับเมงลัก.....	91
รูปที่ 4.30 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักที่มี ปริมาณ STMP/STPP 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	92
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด.....	93
รูปที่ 4.32 ค่าความแข็งแรงดึง.....	94
รูปที่ 4.33 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Citric acid.....	96
รูปที่ 4.34 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกเมงลักที่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Citric acid.....	97
รูปที่ 4.35 ความหนาแน่นของฟิล์มเมงลักเชื่อม โยงด้วยสารก่อพันธะเชื่อมโยง Citric acid.....	98
รูปที่ 4.36 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักที่มี Citric acid เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง.....	99
รูปที่ 4.37 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลัก ที่มี Citric acid เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง.....	99
รูปที่ 4.38 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักที่มี ปริมาณ Citric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	101
รูปที่ 4.39 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยง ระหว่าง Citric acid กับเมงลัก.....	102
รูปที่ 4.40 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลัก ที่มีปริมาณ Citric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol.....	103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด.....	104
รูปที่ 4.42 ค่าความแข็งแรงดึง.....	105
รูปที่ 4.43 ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มแมงลักเชื่อม โยงด้วยสารก่อกัมพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	106
รูปที่ 4.44 การดูดซับน้ำที่สมดุลของฟิล์มที่ได้สารก่อกัมพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	107
รูปที่ 4.45 ค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มแมงลักที่ได้สารก่อกัมพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	108
รูปที่ 4.46 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มแมงลัก ที่ได้สารก่อกัมพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด.....	109
รูปที่ 4.47 รูปแสดงการบวมตัวของฟิล์มที่เชื่อม โยงด้วยสารเชื่อม โยงด้วย MBA, BA, STMP/STPP และ CA.....	110
รูปที่ 4.48 ฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก.....	114
รูปที่ 4.49 ฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก + MBA 3 mol.....	115
รูปที่ 4.50 ฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก + Boric acid 3 mol.....	116
รูปที่ 4.51 ฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก + STMP/STPP 3 mol.....	117
รูปที่ 4.52 ฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก + Citric acid 3 mol.....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติก (Plastics) เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยธาตุต่างๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้ อาจมีธาตุอื่นๆ อีกด้วย เช่น ไนโตรเจน ฟลูออรีน คลอรีน และกำมะถัน เป็นต้น และประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากปัจจุบันพลาสติกก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปฝังดินจะย่อยสลายยาก และใช้เวลานานทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ หรือถ้า นำไปเผาทำลายจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และมลสารที่ปนเปื้อนในอากาศนี้อาจเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย พลาสติกที่สังเคราะห์จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานนับร้อยปี และไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพราะพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ และพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวน้อย ส่งผลทำให้เอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ซึมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ ไปสัมผัสกับผิวของพลาสติกน้อยลง ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้จึงก่อให้เกิดมลพิษทางขยะขึ้น ในปัจจุบันหลายประเทศจึงมีการผลักดันให้มีวิธีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้มีคุณภาพดีขึ้นและลดต้นทุนการผลิต โดยมุ่งเน้นไปที่การนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) และการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อลดมลพิษทางขยะ

การนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปในบางโอกาสสามารถทำได้โดยการใช้วิธีประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและสภาพแวดล้อมด้านต่างๆ เช่น แหล่งวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกหรือผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีในการเพาะปลูก และการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เป็นต้น หากมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้แทน และมีการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น คอมโพสท์ที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ร่วมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน ลดเนื้อที่การใช้งานของบ่อฝังกลบขยะ และการใช้พลังงานในการสังเคราะห์ และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพน้อยกว่า

การผลิตพลาสติกทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมงลักเป็นพืชสมุนไพรที่ปลูกในประเทศไทยได้ เม็ดแมงลักประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรตหลายชนิดซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ และสารประกอบ อื่นๆ เช่น Camphene, Mucilage, Myrcene oil, D-Glucose เป็นต้น ส่วนของเม็ดมีสมบัติไฮโดรเจลคือบวมน้ำได้ดี แมงลักเป็นพอลิแซคคาไรด์ เช่นเดียวกับแป้ง เมื่อถูกน้ำสามารถพองตัวในน้ำได้ 50 เท่า จัดเป็นวัสดุซัพพอร์ตตามธรรมชาติ มีการนำมาใช้งานด้านอื่นน้อย ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิด ที่จะนำเมือกแมงลักมาทำเป็นฟิล์มคลุมดิน เนื่องจากการใช้ฟิล์มคลุมดินจะป้องกันไม่ให้วัชพืชได้ผ่านฟิล์มเจริญเติบโต รักษา ระดับความชื้นในดิน และช่วยให้ต้นอ่อนเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเวลาผ่านไปฟิล์มจากเมือกแมงลักนั้น จะเกิดการย่อยสลายไปเป็นปุ๋ย แต่การใช้ประโยชน์ของเมือกแมงลักที่ผลิตเป็นฟิล์มคลุมดินมีข้อจำกัด เนื่องจากฟิล์มพลาสติกที่ได้จะมีความกรอบและแข็งเมื่อถูกทำให้แห้ง และมีสมบัติทางเชิงกลไม่ดีจึงต้องมีการผสม กับพลาสติกไซเซอร่า เช่น กลีเซอรอลเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่น ปัญหาของสารเมือกแมงลักคือเมือพองตัวเต็มที่แล้วจะเสีรูปร่าง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก เพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาชนิดของสารก่อเชื่อม โยง ได้แก่ เอ็น, เอ็น-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ (MBA), กรดซิตริก (Citric acid), โซเดียมไทรเมทาฟอสเฟต, โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟต (STMP/STPP) และกรดบอริก (Boric acid) การขึ้นรูปขึ้นงานใช้ เทคนิคการหล่อฟิล์มด้วยแม่แบบ (casting)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มคลุมดินจากสารเมือกแมงลัก โดยปรับปรุงด้วยชนิดของสารก่อพันธะเชื่อม โยง ได้แก่ MBA, BA, STMP/STPP และ CA
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ การดูดน้ำ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. เตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก
2. ตัวแปรที่ศึกษาสำหรับการเตรียมแผ่นฟิล์ม คือ ชนิดและปริมาณสารก่อพันธะเชื่อม โยง และตัวริเริ่มปฏิกิริยา
3. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางกายภาพ ชนิดและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่เตรียมจากสารก่อพันธะเชื่อม โยงต่างชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดของสารก่อกวนระเชื่อมโยงที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มสารเมือกแมงลัก
2. ทราบถึงสมบัติของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่เตรียมได้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน
3. เพื่อเพิ่มทางเลือกและมูลค่าให้กับวัสดุทางการเกษตร รวมทั้งเป็นการนำสารเมือกแมงลัก ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากในประเทศ มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า
4. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่นต่อไป
5. ได้พัฒนาศักยภาพของนักวิจัยให้เกิดทักษะในการวิจัยที่ดีมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกเพื่อการเกษตร [1]

2.1.1 นิยามและความหมาย

พลาสติกเพื่อการเกษตร หรือ Plasticsulture มาจากการรวมคำว่า Plastic กับ Agriculture เข้าไว้ด้วยกัน หมายถึง การใช้พลาสติกในงานทางด้านเกษตรกรรม เช่น พลาสติกคลุมดินรอบโคน (plastic film mulch) พลาสติกคลุมแปลงปลูก (Row cover หรือ Low tunnel และ High tunnel) โรงเรือนเพาะปลูกคลุมด้วยพลาสติก (Greenhouse) พลาสติกห่อม้วนหญ้าแห้ง (Hay bale wrap) รวมทั้งถาดถูหรือกระถางที่ใช้ในการปลูกและย้ายต้นกล้า เป็นต้น ซึ่งการใช้พลาสติกเพื่อการเกษตรดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น ผัก ผลไม้ รวมทั้งดอกไม้ และไม้ประดับนั้นกำลังได้รับความสนใจอย่างยิ่งในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา เพราะพลาสติกเพื่อการเกษตรช่วยลดปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของอากาศ ทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และลมตามธรรมชาติ ซึ่งบางครั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่รุนแรงดังกล่าวสามารถทำให้พืชที่ปลูกไว้ตาย เสียหาย หรือผลผลิตน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

2.1.2 การใช้งานพลาสติกทางการเกษตร

การใช้งานพลาสติกชนิดต่างๆในทางการเกษตรมีมากมาย ได้แก่

1. พลาสติกคลุมดิน (Mulching)

เกษตรกรใช้เทคนิคของการคลุมดิน เพื่อประหยัดน้ำและทำให้ผลผลิตออกก่อนฤดู ได้ผลผลิตสูงขึ้น ตลอดจนทำให้ผลผลิตที่ได้มีผิวสวยขึ้น การคลุมดินมีประโยชน์ต่อดินและสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมถึงการควบคุมความชื้น รักษาโครงสร้างของดินใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้มากขึ้น ปกป้องพืชที่ปลูกและตัดปัญหาการกำจัดวัชพืชถ้าใช้พลาสติกทึบแสง

การคลุมดินสมัยก่อนใช้ฟางข้าว ปัจจุบันถูกทดแทนโดยพลาสติก วิธีคลุมดินมี 2 วิธี คือ คลุมทั้งหมดและคลุมบางส่วนซึ่งแต่ละวิธีดังกล่าวมีความแตกต่างกันอยู่ในตัวเอง

การติดตั้งแผ่นพลาสติกมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ใช้อาจจะปูโดยการกลบทับด้านข้างและหัวท้ายด้วยดิน การเกษตรกรรมอื่นๆสามารถดำเนินการไปพร้อมๆกับการปูแผ่นพลาสติก ดินจะได้รับการไถพรวนใส่ปุ๋ยและปลูกไปพร้อมกันเลยทีเดียว ดังนั้นผลกระทบที่

เครื่องจักรจะทำให้ดินชั้นตื้นแน่นลง การใช้พลาสติกทุกชนิดในการคลุมดิน จะเพิ่มเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในงานค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของดินในเวลากลางวัน นอกจากพลาสติกสีขาวและสีเงินซึ่งจะสะท้อนแสง พลาสติกสีดำ จะป้องกันการงอกของวัชพืชได้ดีที่สุด ภายในโรงเรือนพลาสติกคลุมดินสีขาวถูกใช้ในการสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มปริมาณแสงให้กับพืช

ตารางที่ 2.1 แสดงพลาสติกคลุมดิน [1]

ชนิดของแผ่นฟิล์มพลาสติก	วัตถุประสงค์หลัก
โปร่งใส	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิในดินในช่วงกลางวัน - เร่งการเจริญเติบโต - จัดเก็บน้ำ
สีดำ	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันวัชพืช - เพิ่มผลผลิต - จัดเก็บน้ำ
ทึบแสงและกักความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> - กักความร้อนในช่วงกลางคืน - ป้องกันวัชพืช - จัดเก็บน้ำ
2 สี ดำ-ขาว	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันวัชพืช - เพิ่มผลผลิต - สะท้อนแสง - จัดเก็บน้ำ
เสื่อมสลายได้	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิของดิน - ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆในการคลุมดิน [2]

โปร่งใส	สีดำ	สีเทา/สีเขียวอ่อน/สีน้ำตาล	สีดำขาว
ฟิล์มคลุมชนิดบาง เช่น แดง , ฟ้า	พืชอายุ 1-3 ปี	พืชตามฤดูกาล อายุ 1-2 ปี	พืชคลุม พืชยืนต้น
ดินที่ไม่มีวัชพืช	ดินที่มีวัชพืช	ดินที่มีวัชพืชบ้าง	ดินที่มีวัชพืช
ในเขตที่มีอากาศหนาวที่มีโอกาสเกิดน้ำค้างแข็ง	ในเขตร้อนที่ปราศจากน้ำค้างแข็ง	ในเขตร้อนหรือหนาวที่ปราศจากน้ำค้างแข็ง	ในเขตร้อนที่ปราศจากน้ำค้างแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปลูกในฤดูร้อน
เพื่อเร่งให้ผลผลิตสุกเร็วมากกว่าการเพิ่มผลผลิต	เพิ่มผลผลิตมากกว่าการเร่งให้ผลผลิตสุกตัวเร็ว	เพิ่มผลผลิตและเร่งการให้ผลผลิตสุกเร็ว	เมื่อต้องการให้แสงสว่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลของแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้ในการคลุมดิน [2]

ชนิด	โปร่งใส	สีดำ	สีเทา	สีเขียว/สีน้ำตาล	สีดำและสีขาว
เปอร์เซ็นต์ของแสงที่ผ่าน	80%	-	35%	65%	-
การเจริญเติบโตของวัชพืช	สูง	-	น้อย	น้อยกว่าชนิดใส	-
การดูดซับความร้อน	ต่ำ	สูง	ปกติ	ต่ำ	ปกติ
อายุการใช้งาน	สั้น	นาน	ปกติ	สั้นกว่าแต่ดีกว่าชนิดใส	ค่อนข้างนาน
การป้องกันอากาศเย็น	ดี	ปกติ	ปานกลาง	ปกติ	น้อย
ปริมาณผลผลิต	น้อยกว่าชนิดดำ	สูง	ดีกว่าชนิดดำ	เหมือนชนิดใส	สูงกว่าชนิดดำ
ผลสุกและเก็บเกี่ยวได้ก่อน	สูง	ปานกลาง	ปกติ	สูง	สูง

การพัฒนาพลาสติก ขึ้นอยู่กับสมบัติของพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีนสีฟ้าสามารถให้ทั้งความร้อน และควบคุมวัชพืชได้ ด้วยความหนาเพียง 50 ไมครอน แผ่นฟิล์มจึงไม่ทำให้ผลผลิตเสียหาย

การคลุมดินมีประโยชน์อย่างยิ่ง ในเขตแห้งแล้ง ซึ่งช่วยให้การทำเกษตรยั่งยืน การคลุมดินไม่ได้จำกัดเฉพาะพืชที่ปลูกใหม่เท่านั้น ในพืชยืนต้นก็สามารถใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกัน

2. พลาสติกคลุม โดยตรง (Direct covers)

พลาสติกที่ใช้คลุม โดยตรงจะใช้คลุมดินหลังจากหยอดเมล็ดหรือปลูกแล้ว พลาสติกนี้จะถูกพองไว้โดยต้นพืชและจะยกสูงขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืช การใช้พลาสติกคลุม โดยตรงซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพลาสติกคลุมโปง (Thermic blankets) สร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีขนาดใหญ่ขึ้นและแก่ก่อนกำหนดประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ และสามารถลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช การใช้พลาสติกคลุมโปง

เป็นเทคนิคการจัดการ ป้องกันและบังคับพืชที่ง่ายและต้นทุนต่ำ เหมาะที่จะนำไปใช้กับ พืชสวน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้หลายชนิด ไม่ว่าจะปลูกในที่โล่งหรือภายในโรงเรือนและไม่ว่าจะคลุมโดยใช้เครื่องจักรหรือแรงคน

3. อุโมงค์หลังคาต่ำ (Low tunnels)

การใช้พลาสติกสร้างอุโมงค์หลังคาต่ำและใช้คลุมดินเพื่อการปลูกพืช เป็นเทคนิคที่รู้จักกันทั่วไป เนื่องจากราคาถูกและใช้ง่าย ความยืดหยุ่นของแผ่นพลาสติกเป็นสิ่งที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ ในการสร้างโรงเรือนรูปโค้งครึ่งวงกลมแบบง่ายๆ แต่สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี อุโมงค์หลังคาต่ำ ส่วนใหญ่มักใช้เพื่อช่วยในการผลิตพืช เพื่อต้องการให้สุกแก่เร็วขึ้น นอกจากนี้สามารถช่วยป้องกันความหนาว ลม หิมะ และสิ่งที่มาทำลายพืช ช่วยให้การใช้ปุ๋ยและน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่าลงทุนในการติดตั้งพลาสติกคลุมลงบน โครงสร้างของอุโมงค์ขึ้นกับชนิดเครื่องจักรกลที่ใช้และรูปแบบของอุโมงค์ อุโมงค์หลังคาต่ำสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบตามตัวแปรต่างๆ และระบบการให้น้ำ (ระบบหยด หรือให้น้ำแบบปล่อยท่วมบนผิวดิน)

4. โรงเรือนพลาสติก (Greenhouses)

การพัฒนาทางเทคโนโลยีพลาสติก ได้นำไปสู่การใช้งานใหม่ๆ ในอุตสาหกรรมเรือนเพาะชำ โรงเรือนแบบอุโมงค์จัดว่าเป็นต้นแบบเริ่มต้นที่นำไปสู่การพัฒนาโรงเรือนพลาสติกที่ทันสมัย โครงสร้างที่มีลักษณะ โค้งสามารถสร้างขึ้นมาได้จากพลาสติก ด้วยการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มและพลาสติกกึ่งคงรูป รูปแบบโรงเรือนพลาสติกถูกกำหนดโดยสภาพภูมิอากาศที่พืชต้องการในเขตอบอุ่น สภาพเศรษฐกิจและความต้องการทางการเกษตรที่เหมาะสม ต่อการผลิตไม้ดอก ไม้ผลและผัก ปัจจุบันนี้การออกแบบโรงเรือนพลาสติกได้ก้าวหน้าไปมาก และการประมาณค่าใช้จ่ายไม่เพียงแต่คิดราคาต่อตารางเมตรเท่านั้น แต่รวมไปถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน การใช้ประโยชน์จากดิน โปรแกรมการปลูกพืชหลายๆชนิด และวัสดุที่ใช้คลุม โรงเรือน

5. การใช้พลาสติกในฟาร์ม (Farming applications)

พลาสติกถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เช่น นำไปมุงหลังคา ทำรั้วสำหรับเลี้ยงโค กระบือ และใช้ในการเก็บหญ้าอาหารสัตว์ การใช้งานเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้แผ่นฟิล์มชนิดทึบแสงและกันน้ำ (ก๊าซและของเหลวผ่านได้เล็กน้อย) ที่มีราคาถูก เทคนิคในการนำพลาสติกไปใช้งานในฟาร์ม ส่วนใหญ่ได้มาจากการพัฒนาคุณภาพและคุณลักษณะเฉพาะของพลาสติกเหล่านี้

6. การให้น้ำหรือระบบชลประทาน (Farming applications)

ในปัจจุบันนี้การพัฒนาระบบชลประทานจะไม่สามารถทำได้เลย ถ้าไม่ได้นำเอาวัสดุที่ทำจากพลาสติกมาใช้งานอย่างกว้างขวาง การนำพลาสติกมาใช้งาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในวงการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตรอย่างมาก โดยเฉพาะในการชลประทาน วัสดุที่ทำจากพลาสติกถูกนำมาใช้กันแพร่หลายในการขนส่งน้ำไปให้ต้นพืชผ่านท่อประธาน ท่อแขนง และท่อน้ำหยด 1 ใน 3 ของพลาสติกเพื่อการเกษตร ใช้อยู่ในระบบชลประทาน เป็นการยากที่จะประมาณพื้นที่ที่ใช้ระบบชลประทานน้ำน้อยทั้งหมดที่ใช้อยู่ทั่วโลกได้ แต่ไม่มีพืชสวนสมัยใหม่ชนิดใดเลยที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ระบบให้น้ำแบบนี้ได้ ไม่ว่าจะสตอเบอรี่ มะเขือเทศ เมล่อน ถั่วฝักยาว ตลอดไปถึงมะกอก แม้กระทั่งการให้น้ำในโรงเรือน

7. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นที่รู้จักกันว่า เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการผลิตพืชสวน ซึ่งพัฒนาขึ้นมาเพื่อปลูกพืชผักต่างๆ ให้กับทหารที่ไปสู้รบในสมรภูมิที่ไม่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกพืช ให้สามารถผลิตผักเพื่อเป็นอาหารได้ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการผลิตพืชได้ดี แต่ต้องการความรู้และทักษะในการจัดการที่เหมาะสม

8. พลาสติกคาดแหล่งน้ำ (Waterproof sheeting)

พลาสติกช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจากระบบการกักเก็บ การลำเลียงและการจัดสรรน้ำ ช่วยให้การจัดการแหล่งน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในศตวรรษนี้การขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ของโลกเป็นข้อจำกัดหลัก ในการปรับปรุงสภาพความเป็นอยู่ของประชากร การขาดแคลนน้ำเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน ขณะเดียวกันฤดูกาลที่มีความต้องการสูงสุด มักจะตรงกับช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำมีน้อยที่สุด ซึ่งเป็นเหตุให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ลดลง ดังนั้นการสร้างอ่างเก็บน้ำช่วยลดปัญหาเหล่านี้ลงได้ เกษตรกรแต่ละรายมักจะไม่มีความสามารถทางเศรษฐกิจที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และคลองส่งน้ำคาดด้วยคอนกรีตของตนเองได้ ดังนั้นการใช้แผ่นพลาสติกคาดแหล่งน้ำซึ่งมีราคาถูกกว่าจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหา

9. ตาข่ายและตะแกรงลดพลังงาน (Nets and energy screens)

ลมเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการทำเกษตร การใช้ตาข่ายพลาสติกเป็นแนวกันลม ทำให้สามารถลดความหนาวของกำแพงลงได้ จึงเหลือพื้นที่เพาะปลูกกว้างมากขึ้น แนวกันลมที่ใช้ตาข่ายพลาสติกกำลังเข้ามาแทนที่การปลูกต้นไม้เป็นแนวกันลม เพราะต้นไม้ที่ใช้เป็นแนวกันลมนั้น นอกจากจะแย่งน้ำและอาหารของพืชที่ปลูกแล้ว ยังเป็นแหล่งอาศัยของศัตรูพืชได้อีกด้วย การสร้างแนวกันลมจะมีผลต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น เช่น ต่ออุณหภูมิ ความชื้นของดิน การคายน้ำของพืชจนไปถึงเรื่องการกระจายของฝนอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของตาข่ายพลาสติก แบ่งออกเป็น

- ตาข่ายพลาสติกพรางแสง (Shading nets)
- ตาข่ายช่วงพุงลำต้น และหลักพลาสติก (Trellising nets and stakes)
- ตาข่ายพลาสติกกันรากพืช (Anti-root nets)
- ตาข่ายพลาสติกลดความร้อน (Energy screens)
- ตาข่ายพลาสติกชนิดอื่นๆ (Other nets)

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ [1]

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติกย่อยสลายได้

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์และนักเคมีอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วโลกให้ความสนใจในพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยเฉพาะพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable sources) ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ภายหลังจากการใช้งาน ทั้งนี้พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้น จะมีสมบัติในการใช้งานได้เทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบทั่วไป (Commodify plastics) และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่

พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastics) คือพลาสติกที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะที่กำหนด เป็นผลให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดค่าได้โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ พลาสติกย่อยสลายได้ได้รับการยอมรับในปลายปี ค.ศ. 1960 ด้วยแนวคิดที่จะเป็นการแก้ปัญหาขยะพลาสติก การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ จึงเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง ประมาณ 15% ของขยะในอเมริกาเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมางานวิจัยด้านนี้มีเพิ่มมากขึ้น โดยในระยะแรกงานวิจัยมุ่งเน้นการใช้งานทางการแพทย์ เช่น การสังเคราะห์ไหมละลายและการเกษตร เช่น แผ่นฟิล์มคลุมหน้าดิน หรือถุงสำหรับเพาะชำกล้วยไม้

American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้ความหมายพลาสติกย่อยสลายได้ว่าเป็นพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เนื่องจากมีการสูญเสียสมบัติ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradable plastics)
2. พลาสติกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidatively degradable plastics)
3. พลาสติกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastics)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเขางานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

สำหรับพลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพมีความหมายหรือคำจำกัดความตามมาตรฐาน DIN 103.2 ระบุว่า การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของวัสดุพลาสติก (Biodegradation of a plastic material) คือ กระบวนการที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ วัสดุพลาสติกจะได้อธิบายว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ถ้าสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ โดยที่สภาพแวดล้อมและอัตราการย่อยสลายจะถูกกำหนด ในการทดสอบตามมาตรฐานซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้เอนไซม์ การใช้จุลินทรีย์ การคอมโพสท์ (Composting)

ตัวอย่างพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดที่มี แป้งเป็นส่วนประกอบพื้นฐาน (Biodegradable starch-based polymers) พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพประเภทพอลิเอสเทอร์ (Biodegradable polyester) เช่น PHA – polyhydroxyalkanoate, PHB – polyhydroxybutyrate, PHH – polyhydroxyhexanoate, PHV - polyhydroxyvalerate, PLA - polylactic acid และ PCL - polycaprolactone นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์ย่อยสลายได้อื่นๆ เช่น พลาสติกย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradable plastics) พอลิเมอร์ที่มีการเติมสารเติมแต่งที่มีสมบัติควบคุมการย่อยสลาย (Controlled degradation additive masterbatches) เพื่อให้พอลิเมอร์มีขนาดโมเลกุลเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป

2.2.2 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกล เป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing additive) แสงและความร้อน จะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ $RO\cdot$ และ $OH\cdot$ ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน ทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดรอกไซด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เอง ในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (alkaline metal) เบส (base) และกรด (acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วย จากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass)

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสถานะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสถานะแวดล้อม เช่น กรด ค่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสง จากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์ โดยจุลินทรีย์ ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้ต้องเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสถานะแวดล้อม และคำว่าพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสถานะแวดล้อม (Environmental Friendly Plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green Plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสถานะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

2.2.3 ผลกระทบด้านบวกต่อสถานะแวดล้อม [1]

การประเมินผลกระทบด้านบวกต่อสถานะแวดล้อมของการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้งานทดแทนพลาสติกทั่วไปในบางโอกาส สามารถทำได้โดยการใช้วิธีประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เพื่อประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและสภาพแวดล้อมด้านต่างๆ

เช่น แหล่งวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกหรือผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ หรือเป็นผลิตภัณฑ์เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีโตรเคมี ปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีในการเพาะปลูกและการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เป็นต้น หากมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้งาน และมีการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. คอมโพสิตที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพร่วมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ ความชื้น และสารอาหารให้แก่ดิน พร้อมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและลดการเกิดโรคในพืช การหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุ ในขณะที่การใช้พลาสติกมักต้องกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผา

2. ลดเนื้อที่การใช้งานของบ่อฝังกลบขยะ โดยการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและถุงที่ย่อยสลายได้ ทำให้เพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ในบ่อ ฝังกลบ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตแก๊สมีเทน สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ในกรณีที่บ่อฝังกลบได้ถูกออกแบบมาให้ผลิตและใช้ประโยชน์จากแก๊สมีเทนได้ใช้ฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัสดุคลุม

3. หน้าบ่อฝังกลบแทนดินในแต่ละวันเป็นการเพิ่มเนื้อที่ให้บ่อฝังกลบ เนื่องจากการปิดหน้าบ่อฝังกลบด้วยดินทุกวันจะใช้น้ำที่รวม 25% ของเนื้อที่ในบ่อฝังกลบ

4. การใช้พลังงานในการสังเคราะห์ และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพน้อยกว่าการผลิตพลาสติกทั่วไป ดังแสดงในตาราง 2.4 โดยเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิต HDPE และ LDPE โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิต PHA ใกล้เคียงกับที่ใช้ในการผลิต PE หากการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้โดยใช้สารอาหารน้ำตาลในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้ง กากน้ำตาล ตะกอนจากบ่อน้ำทิ้ง จะทำให้การใช้พลังงานลดลง

ตารางที่ 2.4 แสดงพลังงานที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกชนิดสังเคราะห์ [3]

ชนิดพลาสติก	พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ (MJ/Kg)
LDPE	81
PHA – fermentation process	81
HDPE	80
PCL	77
PVOH	58
PLA	57
TPS + 60% PCL	52
TPL + 52.5% PCL	48
TPS	25
TPS + 15% PVOH	25

การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก เป็นผลกระทบต่องังแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่จากการศึกษาโดยวิธีประเมินวัฏจักร ตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงการกำจัดภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน พบว่าพลาสติกย่อยสลายได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีที่เป็นพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของพลาสติกจะถูกใช้ไปในการเติบโตของพืชที่จะปลูกขึ้นมาใหม่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรคาร์บอน ทำให้เกิดความสมดุลของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ [4]

ชนิดพลาสติก	ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก *10 (Kg CO ₂ eq./Kg)
PCL	53
LDPE	50
HDPE	49
PVOH	42
TPS + 60% PCL	36
TPL + 52.5% PCL	33
TPS + 15% PVOH	17
Mater Bi TM film grade	12
Thermoplastic starch	11
Mater Bi TM foam grade	9
PLA	N/A
PLA-ferment	N/A

2.2.4 ผลกระทบด้านลบต่อสถานะแวดล้อม [1]

1. ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำจากการเพิ่มของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biological oxygen demand, BOD) และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (chemical oxygen demand, COD) อันเนื่องมาจากการมีปริมาณสารอินทรีย์ หรือสารอาหารในแหล่งน้ำในปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการใช้ออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นด้วย ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ทางน้ำ

2. เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ในสถานะแวดล้อม เช่น การย่อยสลายของพลาสติกในสถานะการฝังกลบหรือการคอมโพสท์ อาจทำให้สารเติมแต่งต่างๆ รวมถึง สี พลาสติกไซเซออร์ ตัวเร่งที่ตกค้าง รั่วไหล และปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำใต้ดินและบนดิน ซึ่งสารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

3. เกิดมลภาวะจากขยะ อันเนื่องมาจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ถูกทิ้งหรือตกลงในสิ่งแวดล้อมที่มีสถานะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ถูกลมพัด และติดค้างอยู่บนกิ่งไม้

ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่มากพอ ก็จะไม่สามารถย่อยสลายได้ดี นอกจากนี้การใช้พลาสติกย่อยสลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ อาจทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่าจะสามารถกำจัดได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้มีการใช้งานเพิ่มขึ้น และพลาสติกย่อยสลายได้บางชนิดอาจใช้เวลานานหลายปีในการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่กลืนกินพลาสติกเข้าไป เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในกระเพาะของสัตว์

4. ความเป็นพิษของคอมโพสิตที่ได้จากการหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากการมีสารตกค้าง หรือใช้สารเติมแต่งที่มีความเป็นพิษ และส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ไส้เดือน ดังนั้นจึงต้องศึกษาความเป็นพิษ (toxicity) ของคอมโพสิตด้วย ส่วนที่เกิดจากการหักเป็นชิ้นเล็กๆ เกิดการสะสมอยู่ในดินที่ใช้ทางการเกษตร ในปริมาณเล็กน้อย จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศได้ดี จึงนิยมใช้ในสวนดอกไม้ ไร่ ร่องุ่น และใส่ในกระถางเพื่อทำหน้าที่ปรับสมบัติของดิน แต่อย่างไรก็ตามอาจเกิดการสะสมของเศษพลาสติกในดินมากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและปริมาณผลิตผลที่เพาะปลูกได้

5. เกิดสารประกอบที่ไม่ย่อยสลาย เช่น สารประกอบประเภท aromatic จากการย่อยสลายของพลาสติกบางชนิด เช่น AACs โดยส่วนที่เป็นวงแหวน aromatic ในพอลิเมอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น กรดเทรฟทาติก (terephthalic acid (TPA) ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่นัก

6. การตกค้างของสารเติมแต่งที่เติมลงในพลาสติกย่อยสลายได้ เพื่อปรับสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป เมื่อพลาสติกเกิดการย่อยสลาย สารเติมแต่งเหล่านี้อาจปนเปื้อนอยู่ในสถานะแวลลุ่มได้ เช่น สารช่วยในการผสมพลาสติกต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น methylene diisocyanate (MDI) สารพลาสติกไซเซอร์ที่มักเติมในพลาสติก เพื่อความยืดหยุ่น glycerol, sorbital, propylene glycol, ethylene glycol, polyethylene glycol, triethyl citrate และ triacetate สารตัวเติมที่มักเติมลงในพลาสติกเพื่อทำให้ราคาถูกลง

ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ จึงมักเกิดการสะสมในดินและสภาพแวลลุ่ม อย่างไรก็ตาม สารตัวเติมมักค่อนข้างเสถียร จึงมักไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษ เช่น CaCO_3 , TiO_2 , SiO_2 และ talc เป็นต้น ตัวเร่งที่ใช้ในการสังเคราะห์พลาสติกย่อยสลายได้มักเป็นสารประกอบของโลหะ ซึ่งในการผลิตโดยทั่วไปมักมีคะตะลิสต์เหลือค้างอยู่ในเนื้อพลาสติกเสมอ หากเป็นพลาสติกทั่วไปที่ไม่ย่อยสลาย คะตะลิสต์จะติดค้างอยู่ในเนื้อพลาสติก แต่ในกรณีของพลาสติกย่อยสลายได้ เมื่อเกิดการย่อยสลาย จะมีการปลดปล่อยคะตะลิสต์ที่เหลืออยู่ออกมาสู่สภาพแวลลุ่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ชนิดของโลหะในตัวเร่งที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ [16]

ชนิดโลหะในตัวเร่ง	ชนิดของพลาสติก
Tin	PVA, PCL
Antimony	Modified PET
Cobalt	Modified PET
Chromium	PE blends
Cobalt Manganese	Prodegradant polyethylene
Titanium	Copolyesters

2.3 แมงลัก [5]

- ชื่อสมุนไพร : แมงลัก
 ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ocimum canum Sims.*
 ชื่อพ้อง : *O. americanum Linn.*
 ชื่ออังกฤษ : Hoary Basil, Hairy Basil
 ชื่อวงศ์ : LABIATAE
 ชื่อท้องถิ่น : มังลัก (ภาคกลาง), ก่อมก้อขาว (ภาคเหนือ)



รูปที่ 2.1 แสดงต้นแมงลัก [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [5]

แมงลักเป็นพืชล้มลุกอยู่ในสกุลเดียวกับกะเพราและ โหระพา คือ Ocimum วงศ์ LABIATAE จึงมีลักษณะหลายประการคล้ายคลึงกัน เช่น ลำต้นมีรูป(หน้าตัด)สี่เหลี่ยม ใบมีขนอ่อนปกคลุม คล้ายกะเพราแต่แมงลักมีใบและลำต้นกิ่งก้านเป็นสีเขียวเพียงสีเขียวเท่านั้น ไม่มีสีม่วงเหมือนกะเพราหรือ โหระพา แมงลักมีน้ำมันหอมระเหยอยู่มากเช่นเดียวกับกะเพราและ โหระพาแต่มีกลิ่นเฉพาะตัว มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปเอเชีย เช่น อินเดียและประเทศใกล้เคียง ดอก ออกเป็นช่อชั้นรูปฉัตรคล้ายกะเพราแต่กลีบดอกสีขาว แต่ละชั้นมี 2 ช่อย่อย ช่อย่อยละ 3 ดอก เมล็ดสีดำขนาดเมล็ดงา เปลือกหรือเยื่อหุ้ม (Husk) เมล็ดมีเยื่อพวก Polyuronide เป็นใยอาหารหรือไฟเบอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ถึง 50 เท่าของน้ำหนักตัวเอง เมื่อแช่น้ำจะพองออกมีลักษณะเป็นเมือกใสขาว เรียกว่า Mucilage หุ้มเมล็ด และส่วนนี้เองนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และโภชนาการอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

ในทางโภชนาการ [6] สามารถจำแนกชนิดของเส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์อย่างง่าย ๆ ตามลักษณะของการละลายน้ำได้ 2 ชนิด คือ ไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ (Soluble fiber) เมื่อไฟเบอร์นี้ละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นเจลซึ่งเกาะติดกับ โมเลกุลของไขมันจากอาหารที่รับประทานเข้าไปได้อย่างดี ทำให้ป้องกันการดูดซึมไขมันเข้าสู่กระแสเลือด และไฟเบอร์ชนิดนี้ก็จะนำพาสารอาหารที่ติดอยู่ขับออกไปทางอุจจาระ จึงช่วยลดระดับไขมันและน้ำตาลในคนไข้ที่มีปัญหาได้ดี และทำให้น้ำหนักค่อยๆ ลดลงอย่างปลอดภัย และไฟเบอร์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) ไฟเบอร์ชนิดนี้จะมีการทำงานคล้ายๆ ฟองน้ำ (sponge) โดยจะทำการดูดน้ำไว้กับตัวเองทำให้พองตัว ถ้าหากรับประทานไฟเบอร์ชนิดนี้เข้าไปก็จะทำให้รับประทานอาหารได้น้อยลง เพราะรู้สึกอิ่ม แน่นท้อง นอกจากนี้ก็จะส่งผลให้ปริมาณขับถ่ายมากขึ้น เร่งให้อุจจาระเคลื่อนที่ผ่านไป ถ้าใส่ใหญ่ได้เร็วขึ้น จึงป้องกันปัญหาการดูดซึมสารอาหารเข้าร่างกาย และทำให้ลดและป้องกันภาวะท้องผูก

สารเคมีที่สำคัญในแมงลัก [7]

เมล็ดแมงลักประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรตหลายชนิดซึ่งเป็น โมเลกุลใหญ่ และสารประกอบอื่นๆ เช่น Camphene, mucilage, myrcene oil, D-Glucose เป็นต้น เปลือกผลแมงลักมีสารเมือก (mucilage) ซึ่งพองตัวในน้ำได้ ใบมีน้ำมันหอมระเหย ประเภทการบูร, เบอร์นีอัล, ซีนิออล และ ยูจีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประโยชน์ของแมงลัก [7]

2.3.2.1 ด้านคุณค่าทางอาหาร แมงลักประกอบด้วย

- ธาตุเหล็ก ช่วยในการสร้างเม็ดโลหิตแดง ป้องกันโรคโลหิตจาง ช่วยให้ร่างกายไม่เหนื่อยง่าย
- เบต้าแคโรทีนสูง เมื่อร่างกายได้รับเบต้าแคโรทีนจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอช่วยบำรุงสุขภาพตาและผิวหนังคนที่ขาดวิตามินเอมากๆเป็นระยะเวลานานอาจทำให้ตาบอด
- แคลเซียม ช่วยการสร้างกระดูกและฟัน ช่วยในการแข็งตัวของเลือด
- เส้นใยอาหาร หรือ ไฟเบอร์จากเมล็ดแมงลัก ใช้ลดน้ำหนัก แก้ปัญหาไขมันในเลือดสูง หรือน้ำตาลในเลือดสูง และใช้ป้องกันและรักษาปัญหาท้องผูก ซึ่งมักมีการผสมไฟเบอร์ทั้งสองแบบในสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ แต่ส่วนใหญ่ที่มีขายตามท้องตลาดก็มักจะประกอบด้วย ไฟเบอร์ชนิดละลายน้ำได้ประมาณ 70-80% เพื่อป้องกันการดูดซึมไขมันและน้ำตาลเข้ากระแสเลือด ป้องกันโรคเบาหวาน โรคหัวใจขาดเลือด และไฟเบอร์ชนิดไม่ละลายน้ำประมาณ 20-30% เพื่อช่วยทำให้อิ่มเร็วขึ้นและเร่งการขับถ่าย ไม่ให้ท้องผูก เพื่อแก้ปัญหาสารตกค้างในลำไส้ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง และแก้ไขปัญหาริดสีดวงทวาร ในคนที่ขับถ่ายได้ลำบาก

2.3.2.2 ด้านสมุนไพร

เนื่องจากใบของแมงลัก มีน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีคุณสมบัติทางยาอยู่มากกว่าส่วนอื่นๆ จึงนิยมนำใบแมงลักมาใช้เป็นสมุนไพร ดังปรากฏในตำราสมุนไพรไทยฉบับต่างๆ เช่น

- ใบแมงลัก รสร้อนอ่อนๆ แก้ลม วิงเวียน ขับลมในลำไส้ แก้ธาตุพิการ แก้ท้องขึ้นท้องเฟ้อ ช่วยย่อยอาหารแก่ชางค์ในเด็ก
- เมล็ดแมงลัก ใช้น้ำให้พอง กินเป็นยาระบายอ่อนๆ แก้บิด
- แมงลักทั้งต้น แก้ไอและโรคทางเดินอาหาร

2.3.2.3 ด้านเภสัชวิทยาและทางการแพทย์ [8]

- ฤทธิ์เป็นยาระบายการศึกษาในสัตว์ทดลอง เมื่อป้อนเมล็ดแมงลัก ขนาด 37.5 มก./กก. ละลายน้ำให้พองตัว ให้หนูขาวและหนูถีบจักร จะมีผลทำให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหวเทียบเท่ากับการให้หนูกินยาถ่าย Metamucil ขนาด 300 มก./กก.

- การทดลองทางคลินิก มีการทดลองใช้เมล็ดแมงลัก โดยใช้ปริมาณ 2 ช้อนชา ผสมน้ำ 240 มล. หรือประมาณ 1 แก้ว ให้ผลเป็นยาระบายในคนปกติเช่นเดียวกับ Psyllium 2 ช้อนชา โดยมีผลที่น่าสนใจคือ เพิ่มจำนวนครั้งในการถ่าย เพิ่มปริมาณอุจจาระ ทำให้อุจจาระอ่อนตัวกว่าปกติ จากการศึกษาจะพบว่าเมล็ดแมงลักสามารถใช้เป็นยาระบายได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน งานวิจัยจากอินเดีย ปี พ.ศ.2551 รายงานการพบสารโพลีฟีนอลหลายชนิดใน ใบแมงลัก สารดังกล่าวคือกรด โรสมารินิก กรดลิโทสเปอมีก กรควานิลิก กรดคูมาริก กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก กรดซีริงจิก กรดกาเฟอิก กรดเฟอรูลิก กรดซินนามิก กรดไฮดรอกซีฟีนิลแกล็กติก และ กรดซินนิก สารสกัดใบแมงลักแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในหลอดทดลองได้เป็นอย่างดี

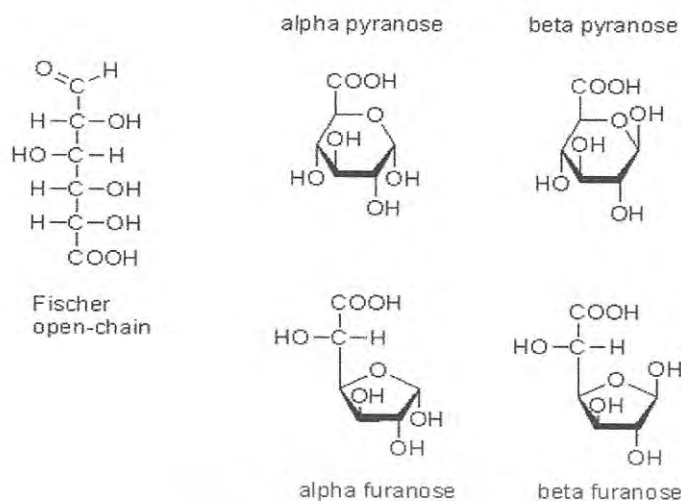
2.3.3 สารเมือก (Mucilage) [9]

สารเมือก (Mucilage) มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นพอลิยูโรไนด์ (Polyuronide) พบในธรรมชาติในรูปของเกลือ อาจจะเป็นเกลือของแคลเซียม โปแตสเซียมหรือแมกนีเซียมซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล และ Uronic acid เชื่อมต่อกันด้วย Glycoside linkage และเป็นลักษณะ ไซ้กิ่ง ส่วนน้ำตาลอาจเป็นเพนโตสหรือเฮกโซส อาจมีทั้งเฮกโซสและเพนโตสอยู่ด้วยกัน Uronic acid ที่พบบ่อยมากคือ Glucuronic acid และ Galacturonic acid และมีองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกแมงลักดังตารางที่ 2.7

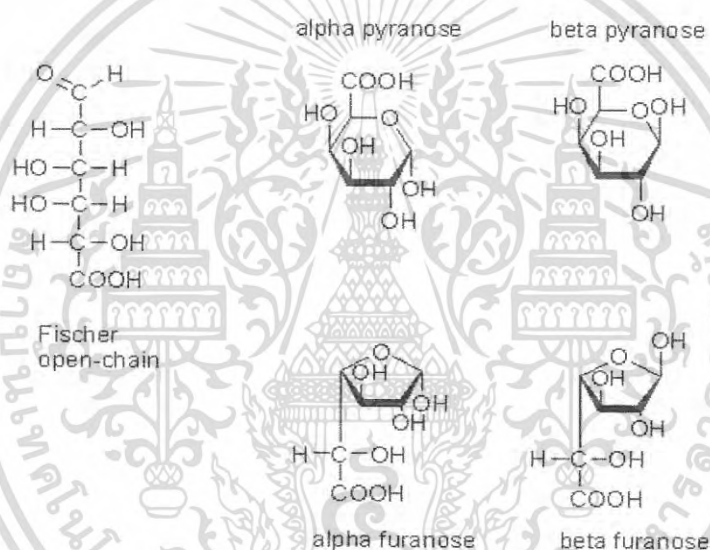
ตารางที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกแมงลัก [9]

Chemical composition	Content (%wet basis)
Moisture	10.48
Protein	0.81
Fat	1.73
Ash	4.43
Crude fiber	17.35
Carbohydrate	65.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

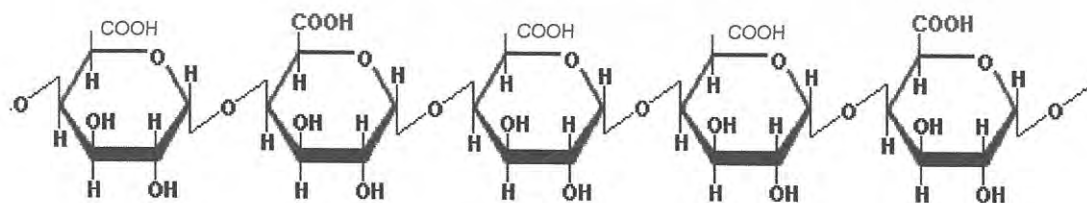


รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Glucuronic acid [9]



รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Galacturonic acid [9]

โมเลกุลวงปิดเหล่านี้จะมาก่อเกิดพันธะเชื่อมต่อกันเป็นพอลิเมอร์ เช่น



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างทางเคมีของ Polygalacturonic acid [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารก่ออนุมูลอิสระ

2.4.1 แอมโมเนียม เปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulphate) [10]

ชื่อเคมีทั่วไป : Ammonium persulphate

ชื่อพ้อง : Ammonium peroxidesulphate , Peroxidisulphuric acid diammonium salt

สูตรโมเลกุล : $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

สูตรโครงสร้าง :



รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างของ Ammonium persulphate [10]

2.4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ : ไม่มีสีเป็นผลึกสีขาว

กลิ่น : ไม่มีกลิ่น

น้ำหนักโมเลกุล : 228.19 g/mol

จุดหลอมเหลว : 120°C (สลายตัว)

ความถ่วงจำเพาะ : 1.98 g/cm³

ค่า pH : 3.2 ที่ 20°C

ความสามารถในการละลายน้ำ : 582 g/l (20°C)

อุณหภูมิสลายตัว : >120 °C

2.4.1.2 ความเสถียรภาพ (Stability)

มีความเสถียรอาจจะเกิดการลุกไหม้กับวัสดุที่ติดไฟได้ ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเบส วัสดุติดไฟ H₂O₂ สารประกอบซิลเวอร์ ซิงค์ และอาจจะสลายตัวได้ถ้าอยู่ในน้ำหรือในอากาศที่ชื้น

2.4.1.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายหากทำการกลืนกิน เป็นอันตรายอย่างมากกับผนังเยื่อ อาจเป็นสาเหตุของโรคผิวหนังอักเสบ ตาอักเสบหรือระคายเคืองทางเดินหายใจ และอาจทำให้เกิดโรคมุมิแพ้ได้เนื่องจากการสูดดมหรือสัมผัสผิวหนัง

2.5 สารก่อกัมมันตภาพรังสีเชื่อมโยง

2.5.1 เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N,N'-Methylenebisacrylamide) [11]

ชื่อเคมี IUPAC:	N-[(Prop-2-enoylamino) methyl]prop-2-enamide
ชื่อเคมีทั่วไป:	N,N'-Methylenebisacrylamide
ชื่อพ้อง:	Bis-acrylamide; N,N-Methylene-bis-acrylamide; N,N'-Methylenebis(2-propenamido); MBA; NAPP
สูตรโมเลกุล:	$C_7H_{10}N_2O_2$
สูตรโครงสร้าง:	



รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) [11]

2.5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ:	ผลึกสีขาว
น้ำหนักโมเลกุล:	154.17 g/mol
จุดหลอมเหลว:	185 °C
ความหนาแน่น:	1.235 g/cm ³
ความสามารถในการละลายน้ำ:	0.01-0.1 g/100 ml (18 °C)

2.5.1.2 ความเสถียรภาพ (Stability)

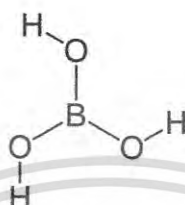
มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติ เมื่อสลายตัวเกิดก๊าซอันตรายคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ในระหว่างพอลิเมอไรซ์ไม่เกิดสารที่เป็นอันตราย ไม่ทำปฏิกิริยากันกับเบสแก่ กรดแก่ และ oxidizing agent

2.5.1.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายถ้ากลืนกินเข้าไป

2.5.2 กรดบอริก (Boric acid) [12]

ชื่อเคมีทั่วไป :	Boric acid
ชื่อพ้อง :	Orthoboric acid, Boracic acid, Sassolite, Optibor and Borofax
สูตรโมเลกุล :	H_3BO_3
สูตรโครงสร้าง :	



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้าง Boric acid [12]

2.5.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ :	เป็นผลึกสีขาว
กลิ่น :	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล :	61.83 g/mol
จุดหลอมเหลว :	170.9°C
ความถ่วงจำเพาะ :	1.435 g/cm ³
ค่า pH :	9.24
ความสามารถในการละลายน้ำ :	5.7 g/100 mL (25 °C)

2.5.2.2 ความเป็นพิษ (Toxicology)

ถ้าสัมผัสกรดบอริกมากเกินไปทำให้เกิดอาการพิษเฉียบพลัน อาการที่เกิดขึ้น ได้แก่ อาเจียน และท้องเสีย เป็นเมือกและเลือด ผิวหนังสีแดง ตามด้วยการลอกเป็นแผ่น ผิวหนังเป็นตุ่มพอง และมีการตายของหนังกำพร้า อาการง่วงซึม กล้ามเนื้อ ไขว่หน้า และปลายแขนขามีอาการบิดเกร็ง ตามด้วย การชัก มีไข้สูง ตัวเหลือง ปัสสาวะขัด มีการทำลายของไต ตัวเขียวจากการที่เลือดขาดออกซิเจน ความดันโลหิตลดลง สัมพูบหมดสติ และตายในที่สุด อาการเรื้อรัง ได้แก่ เบื่ออาหาร น้ำหนักลด อาเจียน ผม่วง ชัก และโลหิตจาง

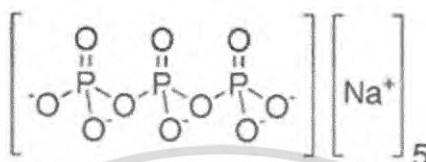
2.5.3 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) [13]

ชื่อเคมีทั่วไป : Sodium tripolyphosphate

ชื่อพ้อง : Sodium tripolyphosphate, polygon, Pentasodium triphosphate , STPP

สูตรโมเลกุล : $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$

สูตรโครงสร้าง :



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของ Sodium tripolyphosphate [13]

2.5.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ :	ผงสีขาว
กลิ่น :	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล :	367.864 g/mol
จุดหลอมเหลว :	622°C
ความถ่วงจำเพาะ :	2.52 g/cm ³
ความสามารถในการละลายน้ำ :	14.5 g/100 mL (25 °C)

2.5.3.2 ประโยชน์ในการใช้งานด้านอื่นๆ (Usabilities)

ลดความกระด้างของน้ำ ช่วยให้ซักล้างมีประสิทธิภาพเป็นสารบัพเฟอร์จับคราบสกปรก และกันไม่ให้สิ่งสกปรกย้อนกลับมาติดผิวอีก เหมาะสำหรับงาน ทำความสะอาด Textile industries, Metal cleaning.

2.5.3.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายถ้าสัมผัสมากเกินไปหรือกลืนกินเข้าไป

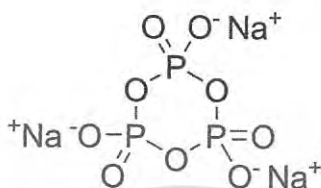
2.5.4 โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต (Sodium trimetaphosphate) [14]

ชื่อเคมีทั่วไป : Sodium trimetaphosphate

ชื่อพ้อง : Sodium trimetaphosphate, STMP

สูตร โมเลกุล : $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$

สูตร โครงสร้าง :



รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของ Sodium trimetaphosphate [14]

2.5.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ :	ผงสีขาว
กลิ่น :	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล :	305.885 g/mol
จุดหลอมเหลว :	53 °C
ความถ่วงจำเพาะ :	2.49 g/cm ³
ความสามารถในการละลายน้ำ :	22 g/100 mL (25 °C)

2.5.4.2 ประโยชน์ในการใช้งานด้านอื่นๆ (Usabilities)

จัดเป็นสารในกลุ่มคอนเดนส์ฟอสเฟต (Condensed phosphate) ซึ่งมีการตัดเรียงตัวเป็นวงแหวนมีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว สามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำแล้วค่าพีเอช ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อนำมาใช้กับแป้งทำให้สมบัติของแป้งที่ได้มีความแข็งแรง ทนกรด ทนความร้อน

2.5.4.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายถ้าสัมผัสมากเกินไปหรือกลืนกินเข้าไป

2.6 พลาสติคไซเซออร์ (Plasticizers) [16,17]

พอลิเมอร์บางชนิดมีสมบัติแข็ง เปราะ ไม่อืดตัวและแตกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำจึงทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานบางอย่างจนกว่าจะมีการทำให้พอลิเมอร์นั้นมีความอ่อนตัวเสียก่อน กระบวนการเพิ่มความอ่อนตัวให้กับพอลิเมอร์นี้เรียกว่า พลาสติคไซเซชัน (Plasticization) และสารเติมแต่งที่เข้าไปเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวให้กับพอลิเมอร์นี้เรียกว่าพลาสติคไซเซออร์ (Plasticizer) ซึ่งพลาสติคไซเซออร์จะเพิ่มความอ่อนตัว ความสามารถในการหักงอได้ (Flexibility) และความสามารถในการยืดออก (Extensibility or stretchability) ของพอลิเมอร์โดยการทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง นอกจากนี้พลาสติคไซเซออร์ ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) และลดความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ทำให้กระบวนการขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

2.6.1 พลาสติคไซเซชันและพลาสติคไซเซออร์ (Plasticization and Plasticizer)

พลาสติคไซเซชัน หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติคไซเซออร์ โดยพลาสติคไซเซออร์ จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเป็นผลให้ พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น ซึ่งกระบวนการผสมพลาสติคไซเซออร์เข้าไปในพอลิเมอร์ โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างพลาสติคไซเซออร์และพอลิเมอร์เรียกว่า พลาสติคไซเซชันภายนอก (External plasticization) และเรียกพลาสติคไซเซออร์ที่ผสมลงไปว่า พลาสติคไซเซออร์ภายนอก (External plasticizer) ซึ่งพลาสติคไซเซออร์ชนิดนี้จะช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยอำนาจการทำละลาย สำหรับสารที่นำมาใช้เป็นพลาสติคไซเซออร์ภายนอกมีหลายประเภท แต่ส่วนใหญ่คือสารประเภทเอสเทอร์โดยชนิดที่มีการผลิตมากที่สุดคือ พทาเลตเอสเทอร์ (Phthalate ester) และสารที่นำมาใช้มากที่สุดคือ ได-2-เอทิลเฮกซิลพทาเลต (di-2-ethylhexyl phthalate , DEHP) หรือมักเรียกกันว่า ไดออกทิลพทาเลต (Diethyl phthalate , DOP)

ข้อดีของพลาสติคไซเซชันภายนอก คือ สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวน้อยหรือมากตามความต้องการในการใช้งาน โดยการปรับชนิดและปริมาณของพลาสติคไซเซออร์ที่ใส่ลงไป อย่างไรก็ตาม พลาสติคไซเซชันภายนอกมีจุดอ่อนคือพลาสติคไซเซออร์ที่ใช้อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้

โดยทั่วไปแล้ว พลาสติกไซเซออร์ภายนอกเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง มีความดันไอต่ำ ระเหยยาก ละลายได้ในพอลิเมอร์ และมีอุณหภูมิ Tg ประมาณหรือใกล้เคียง -50°C ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ พลาสติกไซเซออร์แท้จริงหรือพลาสติกไซเซออร์ปฐมภูมิ (True plasticizer or primary plasticizer) และพลาสติกไซเซออร์เสริมหรือพลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) โดยพลาสติกไซเซออร์ที่แท้จริงสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้ ในขณะที่พลาสติกไซเซออร์เสริมมีความสามารถในการเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้จำกัด จึงไม่สามารถใช้ได้ตามคำพ้องต้องใจควบคู่กับพลาสติกไซเซออร์แท้จริง อีกอย่างยังลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้นอีกด้วย

พลาสติกไซเซออร์ภายนอกใช้ได้กับพอลิเมอร์หลายชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ อะคริลิกพอลิเมอร์ อนุพันธ์เซลลูโลส ยาง ฯลฯ โดยพอลิเมอร์ที่ใช้พลาสติกไซเซออร์มากที่สุด 80 – 90 % คือ พอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งสามารถนำพอลิเมอร์ชนิดนี้ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย

1. พลาสติกไซเซออร์ปริมาณเล็กน้อย ทำให้เกิดที่ว่างและปริมาตรอิสระ (Free volume) ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้และเกิดการจัดตัวเป็นระเบียบได้ดีขึ้น ปริมาณผลึกจึงเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้ เช่น การเติมพลาสติกไซเซออร์เพิ่มเข้าไปปริมาณสูงจะขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ลดลงและเกิดกระบวนการพลาสติกไซเซชันขึ้น

2. โมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่เกาะติดอยู่กับเนื้อพอลิเมอร์ขัดขวาง การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์เกิด Steric hindrance

3. ในกรณีที่พลาสติกไซเซออร์มีสภาพมีขั้ว (Polarity) สูง จะทำให้โมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์ติดแน่นกับ โมเลกุลของพอลิเมอร์ และอาจทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่าง โซ่โมเลกุลด้วย ส่งผลให้สายโซ่เกิดการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

2.6.2 ทฤษฎีการทำงานของพลาสติกไซเซออร์ (Theories of Plasticizer Action)

มีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกันที่อธิบายกลไกการทำงานของพลาสติกไซเซออร์ภายนอกดังนี้

- Lubricity Theory

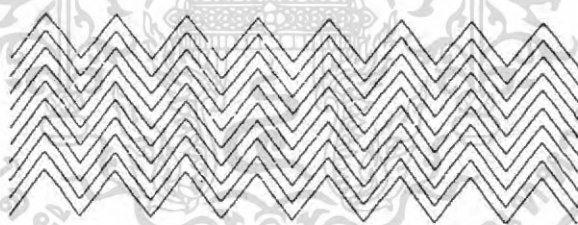
ทฤษฎีนี้อธิบายการทำงานของพลาสติกไซเซออร์ว่าทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่น (lubricants) โดยไปลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ผ่าน ไปมาซึ่งกันและกันได้

- Gel Theory

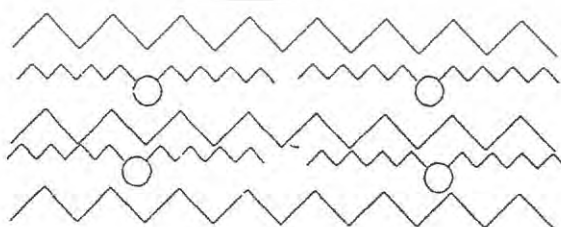
ทฤษฎีนี้อธิบายไว้ว่า พลาสติกไซเซออร์จะทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยการแยกส่วนที่มีขั้วของพลาสติกไซเซออร์ทำให้อยู่ห่างกัน ดังนั้น พลาสติกไซเซออร์จะต้องประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้ว โดยพลาสติกไซเซออร์ส่วนที่มีขั้วจะเข้ายึดกับไดโพลหรือบริเวณที่มีขั้วของพอลิเมอร์ ในขณะที่พลาสติกไซเซออร์ส่วนที่ไม่มีขั้วจะกำบัง (shield) บริเวณไดโพลของพอลิเมอร์ออกจากกัน

- Free volume Theory

ทฤษฎีนี้อธิบายไว้ว่า พลาสติกไซเซออร์จะเพิ่มที่ว่างหรือปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น



Unplasticized (rigid) PVC structure [16]



PVC structure in the presence of plasticizer [16]

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ PVC ทั้งในกรณีที่ไม่ใส่และใส่พลาสติกไซเซออร์ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 สมบัติที่ต้องการของพลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer Requirements)

พลาสติกไซเซออร์ภายนอกที่ดีควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

- 1.สามารถเข้ากันได้ดี (Compatibility) กับพอลิเมอร์
- 2.มีประสิทธิภาพ (Efficiency)
- 3.มีความคงตัวสูง (Permanence) อยู่กับพอลิเมอร์ได้นาน
- 4.เสถียร ไม่ติดไฟ ไม่มีกลิ่น และไม่มีพิษ

2.6.4 ความสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ (Compatibility)

สมบัติที่จำเป็นที่สุดของพลาสติกไซเซออร์ภายนอกในการนำมาใช้งาน คือ จะต้องรวมตัวเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ กล่าวคือ ระหว่างการขึ้นรูป พลาสติกไซเซออร์จะต้องผสมกับพอลิเมอร์ได้อย่างสม่ำเสมอ เกิดเป็นสารผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อลดอุณหภูมิลงมา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะต้องยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในการที่พลาสติกไซเซออร์จะรวมตัวกับพอลิเมอร์ได้นั้น พลาสติกไซเซออร์จะต้องมีสภาพมีขั้วหรือพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter, δ) ใกล้เคียงกันกับของพอลิเมอร์ (ค่าต่างกันไม่ควรเกิน $2 \text{ MPa}^{1/2}$ (SI unit) หรือ $1 (\text{cal/cm}^3)^{1/2}$)

$$(\delta/\text{MPa}^{1/2} = 2.0455 \times \delta/(\text{cal/cm}^3)^{1/2} \text{ หรือ } \delta/(\text{cal/cm}^3)^{1/2} = 0.48888 \times \delta/\text{MPa}^{1/2})$$

โดยปกติ พารามิเตอร์การละลายหาได้จากการทำให้สารเป็นไอ ตามสมการของ Hildebrand ดังนี้

$$\delta = (\Delta E/V)^{1/2}$$

โดย δ = พลังงานการกลายเป็นไอของของเหลว (Energy of vaporization of liquid)
มีหน่วยเป็นแคลอรี

V = ปริมาตร โมลาร์ของของเหลว (Molar volume of liquid) มีหน่วยเป็น ซม.³

ในกรณีของของเหลวหรือตัวทำละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ การละลายได้ง่าย แต่สำหรับพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นของเหลวที่มีความดันไอต่ำ และพอลิเมอร์ซึ่งไม่กลายเป็นไอ ทำให้หาค่าโดยตรงได้ยากหรือหาไม่ได้ จึงไม่สามารถนำสมการของ Hildebrand มาคำนวณหาพารามิเตอร์การละลายได้อย่างไรก็ตาม อาจคำนวณหาพารามิเตอร์การละลายของพลาสติกไซเซออร์หรือพอลิเมอร์ได้จากวิธีการของสมอลต์ (Small's method)

ตามสมการ

$$\delta = D \sum G/M$$

โดย D = ความหนาแน่น

G = Molar attraction constant ของหมู่ต่างๆ ใน โมเลกุลซึ่งรวบรวมโดย Small

M = น้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์หรือหน่วยซ้ำ

ในทางปฏิบัติอาจหาพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์ได้โดยการนำพอลิเมอร์ไปทดสอบละลายในตัวทำละลายหลายๆชนิดที่ทราบค่าพารามิเตอร์การละลายแล้ว และตัดสินใจว่าพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายเมื่อใดสารละลายที่ใส ณ อุณหภูมิห้อง โดยวิธีการนี้ ทำให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์ได้เป็นช่วงๆ

2.6.5 ผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติอื่นๆของพอลิเมอร์ [16]

การใช้พลาสติกไซเซออร์นอกจากจะทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนสมบัติจากแข็งเปราะเป็นอ่อนตัวแล้ว (มอดูลัสและอุณหภูมิ T_g ลดลง) ยังมีผลต่อสมบัติอื่นๆของพอลิเมอร์ ดังนี้

2.6.5.1 สมบัติเชิงกล

1. ความทนแรงดึง (Tensile strength) ลดลง และแปรผันตามชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น
2. ความแข็งที่ผิว (Hardness) ลดลง และแปรผันตามชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น
3. ความสามารถในการยืดออก (Extensibility) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) เพิ่มขึ้น และแปรผันตามปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น
4. ความอ่อนตัวไม่เปราะหรือความสามารถในการหักงอได้ ณ อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) เพิ่มขึ้น โดยสมบัติดังกล่าวสามารถวัดได้จากอุณหภูมิที่เรียกว่า "brittle temperature" หรือ "brittleness temperature" หรือ "flex temperature" หรือ "cold flex temperature" หรือ "cold fracture temperature" ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ชิ้นงานทดสอบสามารถรับแรงกระแทกที่กำหนดได้โดยไม่เกิดการแตกหัก

การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical tests) [18]

นักเคมีนิยมศึกษาลักษณะกายภาพของวัสดุต่าง ๆ โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับ โครงสร้างของ โมเลกุล (Molecular feature) เช่น การจัดเรียงอนุภาคใน โมเลกุล รูปร่างของ โมเลกุล และพลังงาน พันธะ เป็นต้น ในขณะที่วิศวกรหรือผู้ที่นำวัสดุ นั้น ไปใช้งานจะมุ่งความสนใจไปที่ลักษณะสมบัติ ของวัสดุ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ถึงแม้ว่าในระยะหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษา สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์ในชั้นสูงแล้วก็ตาม โดยทั่วไปพบว่าไม่สามารถทำนาย สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของพอลิเมอร์ โดยอาศัยความรู้จาก โครงสร้างพื้นฐานทาง เคมีได้อย่างแม่นยำ เช่น ความแข็งแรง (Strength) ที่แท้จริงของพอลิเมอร์อาจมีค่าเพียง 0.1-0.01 เท่า ของค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ความรู้พื้นฐานจากความแข็งแรงของพันธะ และแรงระหว่าง โมเลกุล เพราะฉะนั้นในปัจจุบัน การทดสอบสมบัติเชิงกล จึงเป็นวิธีที่ดีที่จะศึกษาถึงสมบัติและ ความเป็นไปได้ในการนำเอาพอลิเมอร์ไปใช้งาน

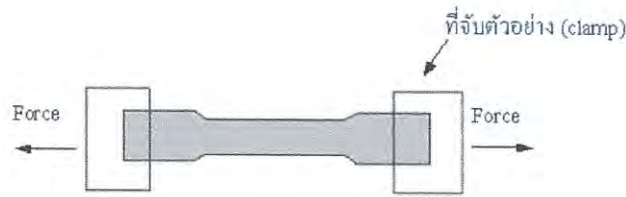
ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืด ออกของตัวอย่างเมื่อ ได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยทอม 2 ทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress : σ) และความเครียด (strain : ϵ) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่างต่อหนึ่ง หน่วยพื้นที่หน้าตัดความเครียด (ϵ) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อ ได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\text{มอดูลัส} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

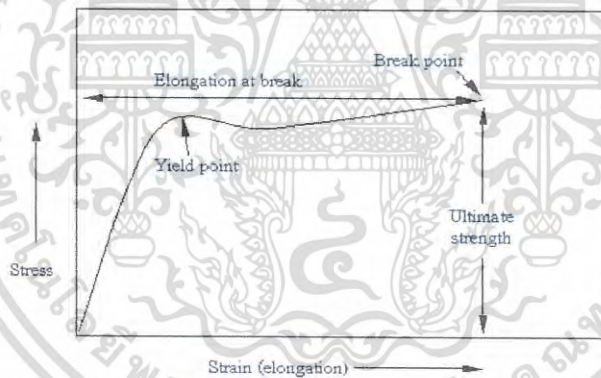
เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็ว ที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่าง จึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่างหรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออก โดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นาน ก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์มักใช้ ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงไว้ข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

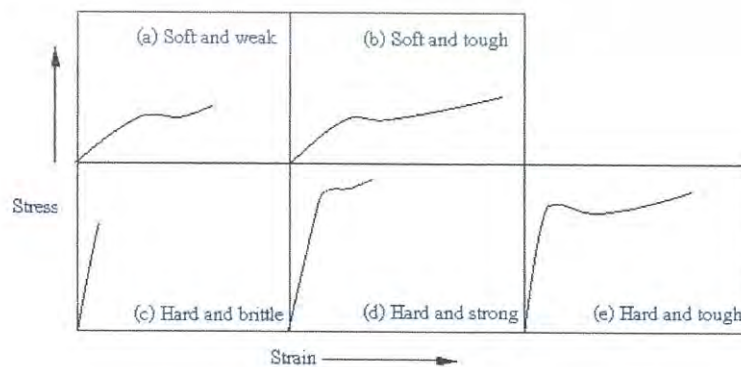


รูปที่ 2.12 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และความเครียด [18]

ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพลอตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (Elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.13 นอกจากนี้ความเค้นและความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์อีก เช่น Modulus หรือ Stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด (หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟ) และ Toughness ซึ่งแสดงความต้านทานต่อการขาด และรูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่มีสมบัติต่างกัน



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น – ความเครียด [18]



รูปที่ 2.14 การทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การดูดซับ (Adsorption) [19-21]

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับ โมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับจะเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) และ ไคลโตซาน กระบวนการนี้ใช้กำจัดโลหะหนักได้จนถึงระดับที่ยอมรับได้

2.7.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Absorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมทำให้สามารถแยก โมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นเมื่อดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว สามารถนำมาไล่เอา โมเลกุลที่ถูกดูดซับ ไข่ออกโดยการเปลี่ยนแปลงสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับสารกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น ลิกนิน บี โอดี ซี โอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพดีและระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อย

2.7.2 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)
2. การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงวันเดอร์วาล์ว (Van Der Waal's force) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของแรง 2 ชนิด คือแรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับ โมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นของ โมเลกุลจะติดอยู่บนชั้น โมเลกุลก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของการดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีนั้น จะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับกลายเป็นสารเคมีประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้มีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (irreversible) แต่การดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (reversible) เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์และแอคติเวตเต็ดซีลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามข้อเสีย คือจับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.7.3 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

1) กลไกการดูดซับ (Adsorption mechanism)

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2. การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งในโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

3. ปฏิกริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายติดที่พื้นผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นแรงต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง

2) อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecular transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลายมี 3 ขั้นตอน คือ

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ

2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับ

มายังสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.7.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area)

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

2. ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Adsorbate characteristics)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3. อัตราเร็วของการปั่นกวน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์มและการแพร่เข้าสู่โพรงซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการปั่นกวนของระบบ ถ้าน้ำการปั่นกวนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการปั่นกวนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4. เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุดในที่นี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำไปใช้จริง

5. ค่าพีเอช (pH)

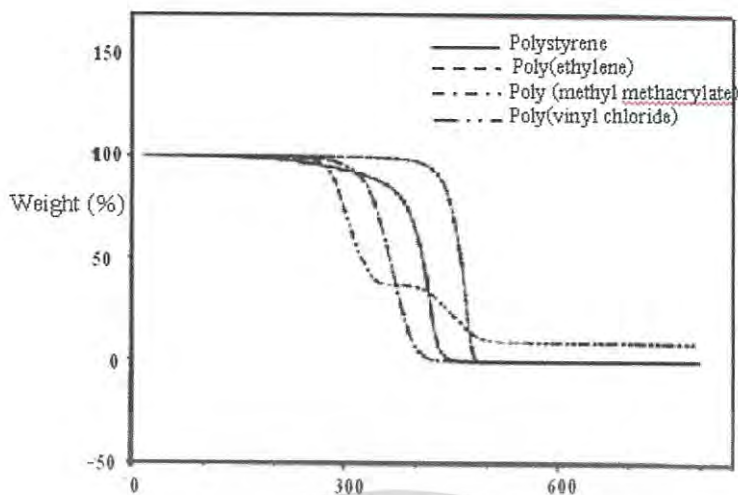
ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออน สามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.8 การวิเคราะห์สมบัติทางอุณหภูมิจากพอลิเมอร์ (Thermal Analysis) [22]

สมบัติทางอุณหภูมิจากพอลิเมอร์ เช่น อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และอุณหภูมิการสลายตัวสามารถศึกษาโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

Thermogravimetric Analysis (TGA)

TGA เป็นวิธีเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความเสถียรของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยใช้พื้นฐานการวัดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (Thermobalance) ในระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติ หรือก๊าซเฉื่อยจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.15 การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์หรือที่อุณหภูมิต่ำ อาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลาย แต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ ข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์ เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหย หรือสารเติมแต่งที่ไต่ลงไปในพอลิเมอร์อีกด้วย



รูปที่ 2.15 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA [22]

2.9 การวิเคราะห์ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน [23]

เทคนิคทางด้าน Infrared (IR) Spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบเกี่ยวกับ โมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการสั่น (Vibration) ของโมเลกุล แสงอินฟราเรดช่วงกลาง (2.5-25 μm) มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะ โคเวเลนต์ในโมเลกุลของสาร เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นของโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ Wave number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่า IR Spectrum ซึ่งลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะ โมเลกุลของสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่มีความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของ Functional groups ในโมเลกุลนั้น ๆ การนำแสงซินโครตรอน ย่านพลังงานอินฟราเรดมาใช้กับเทคนิค IR Spectroscopy ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ หรือที่เรียกว่า Synchrotron Radiation-based IR Spectromicroscopy เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิค IR Spectroscopy ให้มีความสามารถนำไปใช้ตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก หรือสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำมาก ๆ . เนื่องมาจากคุณสมบัติของแสงซินโครตรอนที่ให้ความเข้มและความสว่างจ้าของแสงสูงกว่าแหล่งกำเนิดแสงทั่วไปมาก นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีอัตราส่วนระหว่างสัญญาณและสัญญาณรบกวน (Signal/Noise ratio) ที่ดีขึ้นโดยไม่สูญเสียรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial

resolution) และยังช่วยลดระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์เมื่อเทียบกับการใช้ Conventional IR Source

ข้อดี-ข้อจำกัด

FTIR ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง (โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 1-5 นาที) โดยมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal Noise; S/N) ต่ำ อัตรา S/N จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม S/N ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของแสง มีการใช้ Circular optical aperture แทนที่ Entrance slit ทำให้ลำรังสีมีขนาดมากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75-100 เท่า มีกำลังแสงสูงขึ้น เหมาะสำหรับตัวอย่างหรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลังแสง นอกจากนี้ FTIR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.01 cm^{-1} มีกลไกการทำงานที่ง่าย แต่ FTIR มีข้อจำกัดในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่านและตัวอย่างจะต้อง active ในช่วงอินฟราเรด นอกจากนี้ เครื่องมือที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

2.10 กระบวนการหล่อขึ้นรูป (Casting) [17]

การหล่อ (Casting) จัดเป็นกระบวนการขึ้นรูปชนิดหนึ่ง โดยการนำของไหลหรือสารละลายที่เป็นมอนอเมอร์เหลวในแม่พิมพ์เปิด (Open mold) ซึ่งเป็นที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันหรือการบ่ม (Curing) การหล่ออาจทำให้อยู่ในรูปของแผ่นฟิล์ม หรือแผ่นชีตก็ได้โดยการเทซินที่เป็นของเหลวให้ไหลผ่านสายพานหรือทำให้เกิดการตกตะกอนในภาชนะที่มีสารเคมีอยู่ (Chemical bath) เป็นต้น

การหล่อแตกต่างจากเทคนิคอื่นๆ ดังนี้คือ

1. โดยทั่วไปไม่ต้องอาศัยความดัน แต่ถ้าขึ้นงานซับซ้อนและมีเป็นจำนวนมากก็จำเป็นต้องอาศัยความดันและเรียกวิธีการนั้นว่า การหล่อแบบใช้ความดัน (pressure casting)
2. วัสดุตั้งต้นจะใช้เป็นของเหลวมากกว่าจะใช้เป็นเม็ดหรือผงเหมือนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในการอัดแบบขึ้นรูปอื่นๆ
3. โดยทั่วไปนิยมใช้มอนอเมอร์มากกว่าพอลิเมอร์

มีการหล่อหลายแบบที่ไม่จำกัดอยู่ตามข้อจำกัดข้างต้น แต่มีชื่อเรียกเป็นการหล่อเหมือนกัน เช่น การหล่อแบบชนิดอัดขึ้นรูป (Extrusion casting) วิธีการนี้เป็นการอัดรีดเรซินไปบนผิวของลูกกลิ้งขัดมันที่มีน้ำหล่อเย็นเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal casting)

นิยมใช้กับพลาสติกเสริมแรง (Reinforced plastics) วิธีนี้ทำได้โดยนำเรซินและเส้นใยไฟเบอร์กลาสชนิดตัด (Chopped fibrous glass) มาวางลงในแผ่นเหล็กหมุนกลวง (Hollow mandrel) ซึ่งวางอยู่ตรงกลางเพื่อยึดตัวงาน แผ่นเหล็กหมุนนี้จะหมุนเข้าไปในเตาอบ ทำให้เรซินกระจายอย่างสม่ำเสมอเข้าไปยังพื้นผิวด้านในของส่วนที่กลวง โดยอาศัยแรงที่เกิดขึ้นเกิดการบ่มตัวได้ผลิตภัณฑ์กลวงสำเร็จเป็นชิ้นงานต่อไป

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐชวิตา รัชมีพงศ์ [24] ปรับปรุงสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นไฮโดรเจลด้วยวิธีการทำแห้งแบบเย็น การปรับปรุงใช้มอนอเมอร์ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เป็นสารต่อกึ่งและเอ็น.เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (BIS) เป็นสารเชื่อมโยง โดยมีแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ศึกษาผลของปริมาณมอนอเมอร์ 2-HEMA ปริมาณสารเชื่อมโยง BIS ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณน้ำกลั่นที่มีต่อการขึ้นรูปและสมบัติของแผ่นไฮโดรเจลจากสารเมือกของเม็ดแมงลัก

ผลจากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR, TGA และ SEM พบว่าเกิดปฏิกิริยาต่อกึ่งและเชื่อมโยงบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในน้ำกลั่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอนอเมอร์ 2-HEMA เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในน้ำกลั่นมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารเชื่อมโยง BIS เพิ่มขึ้น เมื่อไฮโดรเจลมีทั้งมอนอเมอร์ 2-HEMA และสารเชื่อมโยง BIS พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลมีค่าน้อยกว่าแผ่นไฮโดรเจลที่มีเพียง 2-HEMA อย่างเดียวแต่ไฮโดรเจลแบบนี้คงรูปได้เมื่อบวมน้ำ การเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณน้ำกลั่นพบว่าการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในน้ำกลั่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำกลั่นมีค่าเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในสารละลายเกลือ NaCl, CaCl₂ และ AlCl₃ ที่มีประจุบวกต่างกันและสารละลายเกลือประจุบวกหนึ่ง LiCl, NaCl, KCl มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เรียงลำดับได้ดังนี้ $Na^+ > Ca^{2+} > Al^{3+}$ และ $LiCl > NaCl > KCl$ สำหรับความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 3, 7, 10 และ 14 พบว่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับโครงสร้างที่ดัดแปรของไฮโดรเจล

กฤษิตา แซ่ฮ่วย [25] ศึกษาการเตรียมผงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลักและเตรียมไฮโดรเจลจาก Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ผสมกับสารเมือกจากเม็ดแมงลักเนื่องจากสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาและเตรียมเป็นไฮโดรเจลโดยศึกษาปริมาณของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ปริมาณสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ผลของอุณหภูมิในขณะที่ทำการผสมที่มีต่อพฤติกรรมการพองตัวและสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล

ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยงในสารเมือกจากเม็ดแมงลัก แต่มีผลกระทบต่อการศึกษา Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) โดยที่อุณหภูมิสูงเกิดพอลิเมอร์ได้มากเมื่อสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยามีน้อย ผลจากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR, TGA, SEM พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซับน้ำได้ โดยใช้สารเชื่อมโยง N,N-Methylenebisacrylamide แต่สมบัติเชิงกลไม่ดี การใช้ 2-hydroxyethyl methacrylate จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลให้มีความทนต่อแรงดึงและยึดได้ แต่ทำให้สมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลักลดลง ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3% สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-hydroxyethyl methacrylate ที่ลดสารเชื่อมโยงลง ให้สมบัติคล้ายยาง คือออกแรงดึงน้อยยึดได้มาก ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3% สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-hydroxyethyl methacrylate ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ลง ให้สมบัติแข็งแต่ยังยึดได้ดี นอกจากนี้ฟิล์มไฮโดรเจล 3% สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับสารเชื่อมโยงให้สมบัติแข็งเปราะ

พดาร์ตัน นิลเจียรนัย และคณะ [26] ศึกษาการออกแบบและการเตรียมไฮโดรเจลสังเคราะห์สำหรับประยุกต์ใช้งานทางชีวการแพทย์เพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล ซึ่งทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid (AMPS) และเกลือโซเดียม (AMPS- Na^+) โดยขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุกรมอิสระในตัวกลางที่เป็นน้ำ ใช้ 4,4'-Azobis(4-cyanopentanoic acid) และ N,N'-methylenebisacrylamide (BIS) เป็นตัวริเริ่มและตัวเชื่อมต่อสายโซ่ตามลำดับ ในการทดลองได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายมอนอเมอร์ AMPS- Na^+ 30-50%w/v และปริมาณของ BIS ในช่วง 0.1-2.5% mole จากผลศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้น 40% และ 50%w/v AMPS- Na^+ ให้แผ่นไฮโดรเจลที่มีความคงรูป ในขณะที่ 30%w/v AMPS- Na^+ จะได้แผ่นไฮโดรเจลที่มีความเหนียวและไม่คงรูป จากนั้นทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความเข้มข้นของ BIS มีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นไฮโดรเจลคือเมื่อ

เพิ่มปริมาณ BIS จะทำให้แผ่นไฮโดรเจลที่ได้มีขนาดง่ายขึ้นและมีความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้พบว่าอัตราการผ่านออกของไอน้ำจากแผ่นไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่ามีความสามารถในการยอมให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้ในอัตราที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 83-121 g/hr.m² ช่วยลดการสูญเสียน้ำและรักษาความชุ่มชื้นบริเวณรอบบาดแผลเพื่อช่วยในกระบวนการหายของแผล ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาไฮโดรเจลเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ในได้จริงในทางการแพทย์ต่อไป

พรวิ สุมิตร [27] ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้จากโคโคซานกับแป้งคัดแปรเอสเทอร์ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน 50:50 (w/w) มีค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสสูงสุด ฟิล์มที่เตรียมจากแป้งคัดแปรที่มีองค์การแทนที่ 0.02 มีสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนที่ดีกว่าแป้งคัดแปรที่มีองค์การแทนที่ 0.06 ส่วนผสมของปริมาณกลีเซอรอล พบว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลประมาณ 5% ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลทำให้มี (T_g) ลดลง

G.S. Mugonza และคณะ [28] ศึกษาสมบัติเชิงกลที่ลดลงและต้นทุนวิทยาของฟิล์มย่อยสลายได้ของฟิล์มทางการเกษตร โดยงานวิจัยใช้ฟิล์มคลุมดินที่ทำมาจาก Mater-Bi[®] ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกผสมกับแป้งและใช้ต้นสตรอเบอรี่ทดสอบ หาสมบัติเชิงกล วิเคราะห์ SEM , IR , Tensile และ ATR พบว่า ฟิล์มคลุมดินเกิดการย่อยสลายในส่วนที่เป็นแป้งก่อน รวมทั้งค่าเปอร์เซ็นต์การยึดฉีก จุดขาดก็ลดลงมากกว่าด้วย และเมื่อทำการทดลองไปประมาณ 10 วัน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดฉีก จุดขาด มีค่าลดลงประมาณ 300 เปอร์เซ็นต์

H. Dave , P.V.C. Roa และ J. D Desai [29] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแป้งที่ผสมด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และทำการเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์ม เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพฟิล์มที่มีปริมาณแป้ง 30% โดยน้ำหนัก จะมีการย่อยสลายทางชีวภาพสูงสุด โดยจะสูญเสียน้ำหนักของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 6.3% และแป้ง 84.5 % เมื่อนำไปทำการฝังกลบในดินที่ผสมกับปุ๋ยเป็นเวลา 48 สัปดาห์ การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มนี้ อาจถูกเร่งปฏิบัติการย่อยสลายจากการบ่มเชื้อในอาหารเพาะเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมในสภาวะเขย่า พบว่าจะสูญเสียน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับแป้ง เท่ากับ 11.2% และ 68.9% ตามลำดับ ภายใน 6 สัปดาห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยเทคนิค FTIR และ 13C NMR ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักของแป้งที่สูญเสียจากการย่อยสลายทางชีวภาพนั้นประสบความสำเร็จ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเอทิลีน ทำให้พื้นที่ฟังก์ชันของโซ่หลักและโซ่กิ่งลดลง

Y. J Kim , Y.M Lee และ Park [30] งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ โดยแป้งจะต้องทำการตัดแปลงก่อนที่จะผสมด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพราะแป้งมีคุณสมบัติในการจับตัวกับน้ำได้ดี วิธีการตัดแปลงมี 3 วิธีที่จะนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับแป้งผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ วิธีแรกปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ของหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งกับอะซิติกไฮดรอกไซด์ (Acrylonitrile) และสไตรีนบนแป้ง วิธีสุดท้ายปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งกับไอโอเมอร์ 3 ชนิด โดยพิจารณาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าความยาว ณ จุดขาด (% Elongation at break) ค่ามอดูลัสยัง (Young' s modulus) และค่าความหนืดเฉือน (Shear viscosity) ของแป้งผสมตัดแปลง พบว่าการกำจัดมอนอเมอร์ในแป้ง จะแสดงถึงการเข้ากันได้ของแป้งผสมตัดแปลงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีประสิทธิภาพมากที่สุด

G. H. Yew และคณะ [31] ได้ศึกษาการดูดซับน้ำ และการย่อยสลายของวัสดุประกอบพอลิแลคติกแอซิดและแป้งข้าวเจ้า พบว่า เมื่อเติมแป้งข้าวเจ้าลงไปประมาณ 20% จะทำให้ได้สมบัติทางด้านความแข็งแรงและความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่จะทำให้ความแข็งแรงดึง และการยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง คาดการณ์ว่าสาเหตุเกิดจากการรวมตัวจับเป็นกลุ่มก้อนของแป้งข้าวเจ้า และเมื่อเติมยางธรรมชาติชนิดอีพอกไซค์ (ENR50) จะทำให้ได้ความแข็งแรงดึง และการดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น สำหรับการดูดซับน้ำจะใช้กฎของฟิค ซึ่งค่า M_{∞} และ D จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแป้งข้าวเจ้า และยางธรรมชาติ สมบัติการดึงจะต่ำลงภายหลังดูดซับน้ำ เมื่อใช้เอนไซม์ในการย่อยสลาย จะทำให้สมบัติการดึงลดลงอย่างมาก โดยยืนยันจากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการเสียหายบนพื้นผิว

ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง และคณะ [32] การใช้มิวซีเลจแห้งจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกล้วยหอม การใช้มิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัวแทนกัวร์กัมในการผลิตไอศกรีมกล้วยหอม โดยแปรปริมาณของมิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 (w/w) พบว่า เมื่อปริมาณของมิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ไอศกรีมจะมีความหนืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีผลทำให้อัตราการขึ้นฟูและการละลายลดลง เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ไอศกรีมกล้วยหอมที่เติมมิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0.5 ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส การละลายในปากและความชอบโดยรวมสูงที่สุด และเมื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับไอศกรีมกล้วยหอมสูตรมาตรฐานที่ใช้กัวร์กัมเป็นสารให้ความคงตัว พบว่า สูตรที่ใช้มิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักมีเนื้อสัมผัส การละลายในปาก

และความชอบ โดยรวมสูงกว่า และองค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมกล้วยหอมที่เติม มิวซีเล จากเมล็ดแมงลัก ร้อยละ 0.5 พบว่า มีความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย ร้อย ละ 73.83, 16.07, 4.90, 4.20, 1.00 และ 7.30 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมกล้วยหอมสูตร มาตรฐาน พบว่า มีปริมาณเส้นใยสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

พิมภรณ์ สมกิตติธรรม และคณะ [33] ศึกษาการเตรียมผงสำเร็จรูปพร้อมขงคัมจากวุ้น ของเมล็ดแมงลัก จากการวิจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการพองตัวของวุ้นแมงลัก โดยนำเมล็ด แมงลักแห้งมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า วุ้นแมงลักสามารถพองตัวได้เต็มที่ในน้ำร้อนที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที โดยมีความสามารถในการพองตัวเท่ากับ 88.6 มล./กรัม ในการนำวุ้นแมงลักที่พองตัวเต็มที่แล้วมาทำให้แห้งพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การอบแห้งที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากการทดสอบคุณภาพมาตรฐานเปรียบเทียบกับ Psyllium seed ตามที่ระบุใน USP XXXI ในหัวข้อ Psyllium Hemicellulose พบว่า ผงวุ้นแมงลักแห้ง ที่ได้มีค่าความสามารถในการพองตัว เท่ากับ 200 มล./กรัม, ค่า Loss on drying เท่ากับ 7.23%, ค่า Total ash เท่ากับ 4.16% และค่า Acid insoluble ash เท่ากับ 0.3% โดยน้ำหนัก

นิวัฒน์ บุญอยู่รัง และคณะ [34] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล (Hydrogel) จาก สารเมือก (Mucilage) ที่ได้จากการพองตัวของเมล็ดแมงลัก (*Ocimum canum Sims.*) กับพลาสติกไซ เซอร์ (Plasticizer) 2 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล (Glycerol) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) โดยผสมแมงลักกับพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนัก ทำการ เปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) ร้อยละน้ำหนักของแข็งที่เหลือ (%Solid content) สมบัติเชิงกลของฟิล์มแมงลัก และฟิล์มแมงลักผสมพลาสติกไซเซอร์ที่ไม่แช่และแช่ในสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม แมงลัก โดยใช้เทคนิค TGA และ DSC ศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มแมงลัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ โพลารไรซ์ (Optical polarized microscope) และตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่อง FT-IR จากการ ทดลองพบว่า สมบัติต่างๆของฟิล์มแมงลักแปรผันตามชนิด อัตราส่วนและระยะเวลาในการ แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีกว่าพอลิเอทิลีนไกล คอล โดยเฉพาะอัตราส่วนแมงลักต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 2:1 ฟิล์มไฮโดรเจลที่อัตราส่วนนี้ แช่ใน สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 3 นาที ให้สมบัติที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาลัด แสงเพ็ชร และคณะ [35] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไฮโดรเจลจากสารเมือกแมงลักผสมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) โดยทำการศึกษาปริมาณมอนอเมอร์ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ปริมาณสารเชื่อมโยง เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (BIS) ปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยา แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS)

ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจลจากสารเมือกแมงลักที่ใส่มอนอเมอร์ (2-HEMA) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร สารเชื่อมโยง (BIS) ปริมาณ 0.2 กรัม และตัวเริ่มปฏิกิริยา (APS) ปริมาณ 0.2 กรัม ได้ชิ้นงานที่ดีและมีสมบัติที่ดี ดูดซึมน้ำและการเก็บน้ำได้สูง และหลังจากการแช่น้ำไฮโดรเจลยังคงรูปเป็นแผ่นได้ดีที่สุด ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า ช่วงเลขคลื่น $3400 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ พิศมีความกว้าง ให้นำ้ว่ามีหมู่ฟังก์ชัน O-H ของ (2-HEMA) เลขคลื่นที่ 1723 cm^{-1} มีหมู่ฟังก์ชัน C=O ของ (2-HEMA) นอกจากนี้ยังพบเลขคลื่น 1652 cm^{-1} คือหมู่ฟังก์ชัน $-\text{HN}-\text{C}=\text{O}$ ของ amide ใน BIS ที่เป็นสารเชื่อมโยง ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่า ไฮโดรเจลในสูตรที่ 3 มีการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกอุณหภูมิประมาณ 324°C เป็นการสลายตัวของสารเมือกแมงลักที่เกิดการตอ่กึ่งกับ BIS ชั้นที่สองอุณหภูมิประมาณ 398°C เป็นการสลายตัวไฮโมพอลิเมอร์ของ 2-HEMA ที่เกิดพันธะเชื่อมโยงกับ BIS ดังนั้น โครงสร้างที่ปลายด้านหนึ่งของ BIS ตอ่กึ่งกับสารเมือกแมงลักและปลายอีกด้านหนึ่งของ BIS ตอ่กึ่งกับ 2-HEMA

Rui Shi, และคณะ[36] จากงานวิจัยที่การกล่าวถึงซีรี่ส์ (Series) ของแป้งข้าวโพด (Corn starch) ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) ที่ขึ้นรูปเป็นฟิล์มแสดงสัญลักษณ์ด้วย SP มีที่ความเข้มข้นของซิตริกแอซิด (Citric acid; CA) ตั้งแต่ 5-30% ของน้ำหนักของแป้งข้าวโพด โดยของ ซิตริกแอซิด ทำหน้าที่เป็นสารละลาย (Solvent) ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting process) ที่อุณหภูมิ 140°C (องศาเซลเซียส) เพื่อศึกษาโครงสร้างของฟิล์ม สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy; IR) จากเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโคปีพบว่า ระหว่างซิตริกแอซิด และ แป้งข้าวโพด หรือ (พอลิไวนิลแอลกอฮอล์) มีปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) เกิดขึ้นภายในแม่พิมพ์ (Mold) ที่อุณหภูมิ 140°C ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดขึ้นแสดงผลการเชื่อมโยง (Cross-linking) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) ของซิตริกแอซิด กับ แป้งข้าวโพดซึ่งสามารถเกิดง่าย แต่จะไม่เกิดขึ้นระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับ ซิตริกแอซิด นอกจากนี้หมู่คาร์บอกซิลที่เหลือของซิตริกแอซิดจะทำปฏิกิริยากับ กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ผลการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ของกลีเซอรอล กับ หมู่

คาร์บอกซิลของซิติริกแอซิด ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ที่แข็งแรง และส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ที่เพิ่มสูงขึ้น การดูดน้ำ (Water absorbance) ลดลง จาก 33% เป็น 20% เมื่อทำการเพิ่มปริมาณซิติริกแอซิด 5% ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เพิ่มขึ้นจาก 39 เมกะปาสคาล (MPa) เป็น 48 เมกะปาสคาล และเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 30% ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงจาก 48 เป็น 42 เมกะปาสคาล แต่เปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด (%Elongation at break) เพิ่มขึ้นจาก 102% เป็น 208%

Lee W. [37] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติกายภาพของแผ่นฟิล์มซึ่งทำการสังเคราะห์โดยใช้แป้งข้าวโพด (Corn starch) ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) แทนด้วยสัญลักษณ์ (NS/PVA) และแป้งข้าวโพดที่ใส่สารเชื่อมโยงผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แทนด้วยสัญลักษณ์ (RS4/PVA) ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยกระบวนการหล่อขึ้นรูป (Casting method) ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง (Additives) ได้แก่ กลีเซอรอล (Glycerol) ซอร์บิทอล (Sorbital) และกรดซิติริก (Citric acid) สารเชื่อมโยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ โซเดียม ไตรเมทาฟอสเฟต (STMP) ผสมโซเดียม ไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) ทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด (% Elongation at break) พฤติกรรมการบวมตัว (Swelling behavior) และความสามารถในการละลาย (Solubility) ของแผ่นฟิล์มผลการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มสูตร (RS4/PVA) ที่ใส่สารเติมแต่งเป็นกรด ซิติริกให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีที่สุด

Wattanachant S. [38] จากงานวิจัยทำการดัดแปร โครงสร้างทางเคมีของแป้งสาธุ (Sago starch) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของแป้งสาธุในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปโดยศึกษาสารเชื่อมโยง 3 ชนิด ได้แก่ 1. ส่วนผสมระหว่าง โซเดียม ไตรเมทาฟอสเฟต และ โซเดียม ไตรพอลิฟอสเฟต (STMP/STPP) 2. ฟอสฟอรัสไดออกไซด์ (Phosphorus dioxide) และ 3. อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) จากการศึกษาชนิดของสารเชื่อมโยงพบว่าส่วนผสมระหว่าง โซเดียม ไตรเมทาฟอสเฟต และ โซเดียม ไตรพอลิฟอสเฟต เป็นสารเชื่อมโยงส่งผลให้แป้งสาธุมีความหนืดลดลง ความสามารถในการละลายลดลง และความสามารถในการทนกรดที่มีความเข้มข้นสูง ได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสไดออกไซด์และอีพิคลอโรไฮดริน

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดแมงลักยี่ห้อไร้ทิพย์ ขนาดบรรจุ 100 กรัม
2. N,N'-Methylenebisacrylamide ($C_7H_{10}N_2O_2$, MW = 154.17 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma-Aldrich Chemie
3. Ammonium persulfate ($(NH_4)_2S_2O_8$, MW = 228.19 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Univar
4. Sodium tripolyphosphate ($Na_3P_3O_{10}$, MW = 367.864 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Univar
5. Sodium trimetaphosphate ($Na_3P_3O_9$, MW = 305.89 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma-Aldrich
6. Boric acid (H_3BO_3 , MW = 1.435 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma Aldrich Chemie
7. Citric acid ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$, MW = 210.14 g/mol) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Fisher scientific
8. Glycerol ($C_3H_8O_3$, MW = 92.09 g/mol) ของบริษัท Univar

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทสโกปี (Fourier Transfrom Infrared Spectrometer, FTIR) บริษัท Bruker
2. เทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal gravimetric analysis, TGA) รุ่น TAC7/DX บริษัท Perin Elmer
3. มอเตอร์พร้อมใบพัดกวน
4. Hot plate บริษัท Daihan labtech รุ่น Lab Tech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

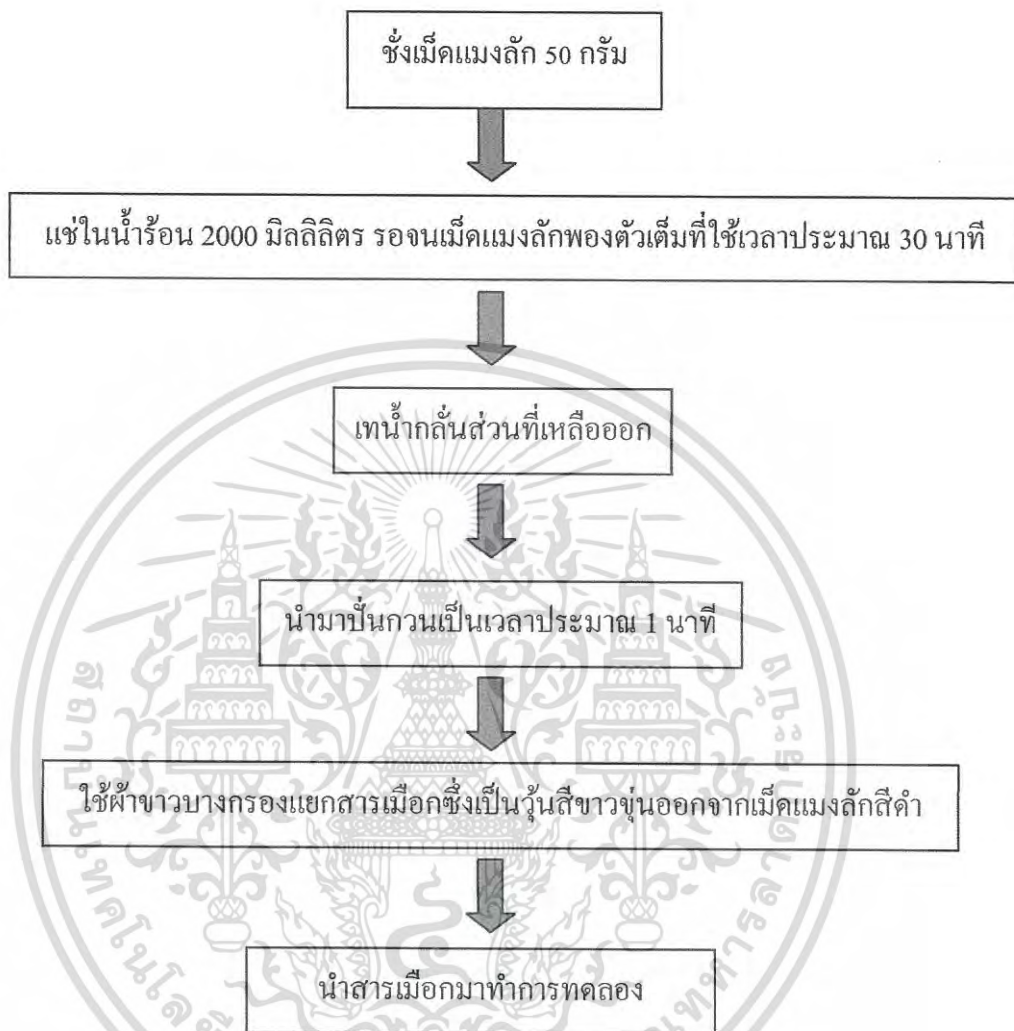
5. เครื่องชั่งแบบดิจิทัล บริษัท Denver Instrument รุ่น HR-200
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. เครื่องปั่นรุ่น Super Blender บริษัท National
8. ตู้อบ
9. ผ้าขาวบาง
10. ตะแกรงลวด 200 mesh
11. เขยือกพลาสติก
12. แผ่นใส
13. แม่พิมพ์อลูมิเนียมฟอยด์ ขนาด 10x10 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

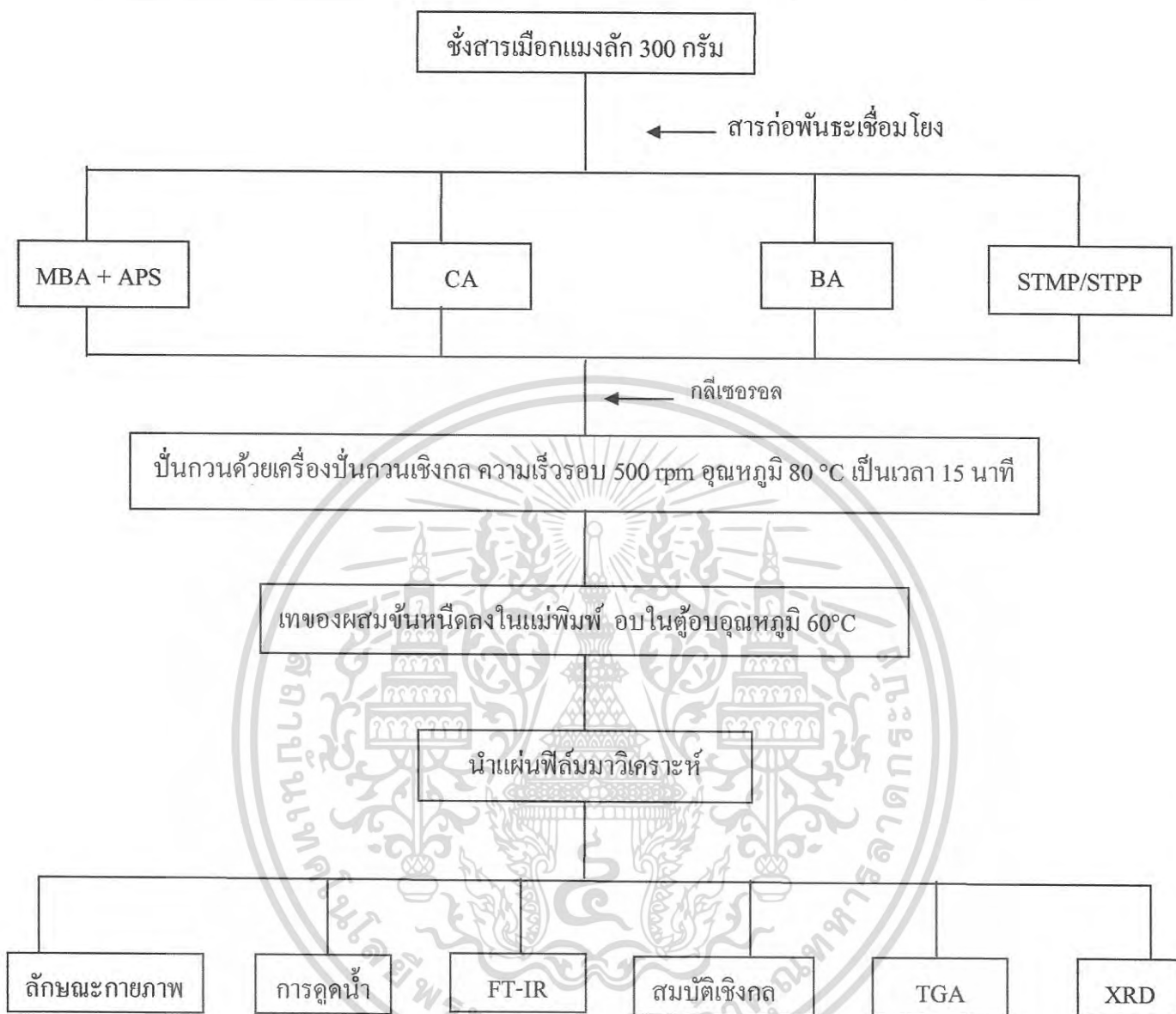
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารเมือกแมงลัก



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

3.3.2 ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก โดยใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างๆ 4 ชนิด



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่ผสมสารก่อพันธะเชื่อมโยง

หมายเหตุ MBA = N,N'-Methylenebisacrylamide, CA = Citric acid, BA = Boric acid,

STPP = Sodium tripolyphosphate, STMP = Sodium trimetaphosphate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก การทดลองนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ตามชนิดของสารก่อก้อนระเชื่อมโยงที่ใช้ ซึ่งได้แก่ MBA, BA, STMP/STPP และ CA

ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA)

สูตร	ปริมาณ			
	สารเมือกแมงลัก (กรัม)	MBA (โมล)	APS (โมล)	Glycerol (กรัม)
1	300	1	1	1
2	300	2	1	1
3	300	3	1	1
4	300	4	1	1

หมายเหตุ : MBA = N,N'-Methylenebisacrylamide, APS = Ammonium persulphate

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณของ Boric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้การเตรียมฟิล์มสารเมือกแมงลักที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ Boric acid

สูตร	ปริมาณ		
	สารเมือกแมงลัก (กรัม)	Boric acid (โมล)	Glycerol (กรัม)
5	300	1	1
6	300	2	1
7	300	3	1
8	300	4	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณของ Sodium tripolyphosphate/Sodium trimetaphosphate (STPP/STMP) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ Sodium tripolyphosphate/Sodium trimetaphosphate (STPP/STMP)

สูตร	ปริมาณ		
	สารเมือกแมงลัก (กรัม)	STPP/STMP (โมล)	Glycerol (กรัม)
9	300	1	1
10	300	2	1
11	300	3	1
12	300	4	1

ตอนที่ 4 ศึกษาปริมาณของ Boric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ Boric acid

สูตร	ปริมาณ		
	สารเมือกแมงลัก (กรัม)	Boric acid (โมล)	Glycerol (กรัม)
13	300	1	1
14	300	2	1
15	300	3	1
16	300	4	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

3.4.1 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชัน

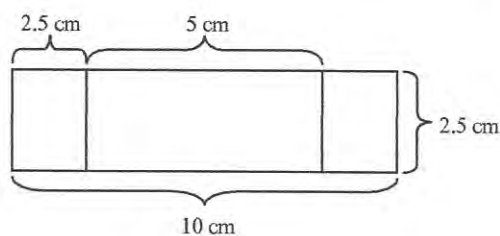
นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทำการตรวจวิเคราะห์โดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ในช่วงความยาวคลื่น $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยบดผสมระหว่างแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ประมาณ 0.01 มิลลิกรัมกับ โพแทสเซียม โบรไมด์ (KBr) ประมาณ 1 มิลลิกรัม
2. นำแผ่นฟิล์มกับ โพแทสเซียม โบรไมด์ที่บดได้มาทำให้เป็นแผ่นบาง โดยใช้เครื่องอัดแผ่น ที่ความดัน 10 บาร์ เป็นเวลา 2 นาที
3. นำแผ่นตัวอย่างที่ได้มาวางลงบนแผ่นแม่เหล็กและประกบด้วยแผ่นแม่เหล็กอีกแผ่นเพื่อยึดแผ่นตัวอย่างไว้
4. จากนั้นนำมาใส่ในเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) โดยทำการสแกนเครื่องด้วยฟิล์มพอลิสไตรีน (Polystyrene) สแกนเป็นจำนวน 6 ครั้ง เพื่อตรวจว่าเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) สามารถตรวจวัดได้ตามมาตรฐานหรือไม่จากนั้นจึงทำการวัดตัวอย่าง ซึ่งทำการวัดในช่วง $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$
5. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

3.4.2 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติทางด้านการดึง (Tensile properties) ได้แก่ การทนแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด โดยทำการตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $2.5 \times 10\text{ cm}$ ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 8 ชิ้น (ASTM D882) สภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

Load cell 100 N Test speed 7.5 mm/min Gauge length 25 mm



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

ทดสอบการดูดซึมน้ำ (%Water uptake) การดูดซึมน้ำที่สมดุล (%Equilibrium swelling) และ

1. ตัดตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมได้ ให้มีขนาด 1 x 1 นิ้ว
2. ชั่งน้ำหนักของตะแกรงลวดเปล่าขนาด 200 mesh (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกผล
3. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นฟิล์ม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกผล
4. นำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง จดน้ำหนักที่เพิ่มทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง

จากนั้นแช่น้ำต่อจนครบ 72 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานสามารถดูดน้ำได้จนถึงค่าที่อิ่มตัวสูงสุด แล้วนำชิ้นงานขึ้นมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณการดูดน้ำ

5. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่สมดุล

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำที่สมดุล} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำที่สมดุล} - \text{น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (3.2)$$

6. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร แต่ละสูตรทำ 3 ซ้ำ

วัดความหนาแน่นของแผ่นฟิล์ม (Density)

วัดความหนาแน่นของแผ่นฟิล์ม คำนวณจาก มวล/ปริมาตร ปริมาตรชิ้นงานถูกกำหนดให้มีขนาด 1 x 1 x ความหนา เซนติเมตร และมาคำนวณในสมการ

$$D = m/V$$

โดย D = ความหนาแน่น, m = มวล, V = ปริมาตร

3.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน [Thermal gravimetric analyzer (TGA)]

ใช้ TGA วิเคราะห์ความสามารถทนความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักและวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสาร ข้อมูลที่ได้บอกองค์ประกอบที่มีในตัวอย่าง และใช้ตรวจสอบการเกิดพันธะเชื่อม โยงได้ โดยนำชิ้นงานมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ สภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

Heating rate $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ช่วงอุณหภูมิ $50-700^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยให้น้ำหนักของตัวอย่างไม่เกิน 20 มิลลิกรัม
2. ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องเทอร์มัลกราวิเมทรี (TGA) โดยใช้ถ้วยเปล่า
3. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงในถ้วย
4. ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่อุณหภูมิ 50°C จนถึงอุณหภูมิ 700°C โดยทำการ Hold ไว้ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15

นาที ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10°C ต่อนาที และให้อัตราการเย็นตัวเป็น 20°C ต่อนาที

5. เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะได้กราฟการสลายตัวออกมาและทำกราฟอนุพันธ์
6. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

3.4.5 วิเคราะห์โครงสร้างผลึก [X-ray diffractometer (XRD)]

วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์ม โดยการใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของแผ่นฟิล์ม ที่มีมุมต่างๆเพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบ นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ (2θ) ในช่วง $3-60^{\circ}$ ด้วยอัตราเร็ว

$1^{\circ}/\text{นาที}$ เครื่องยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Discover ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และใช้ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA), Boric acid (BA), Sodium trimetaphosphate/Sodium tripolyphosphate (STMP/STPP) และ Citric acid (CA) เป็นสารก่อก้อนเชื่อมโยง เพื่อใช้ประโยชน์เป็นวัสดุคลุมดิน และได้ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ได้แต่ละสูตร โดยการนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติการบวมน้ำ (% Swelling) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D-1822-L ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์ม ด้วยเครื่อง XRD ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณ MBA ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 1-4

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณ Boric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 5-8

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของปริมาณ Citric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 9-12

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของปริมาณ STMP/STPP ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 13-16

โดยส่วนประกอบของแต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนของสารที่ใช้ผสมในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

สูตร	ปริมาณ						
	สารเมือกแมงลัก (กรัม)	MBA (โมล)	BA (โมล)	CA (โมล)	STMP/STPP (โมล)	APS (โมล)	Glycerol (กรัม)
1	300	1	-	-	-	1	1
2	300	2	-	-	-	1	1
3	300	3	-	-	-	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ปริมาณ						
	สารเมือก แมงลัก (กรัม)	MBA (โมล)	BA (โมล)	CA (โมล)	STMP/STPP (โมล)	APS (โมล)	Glycerol (กรัม)
4	300	4	-	-	-	1	1
5	300	-	1	-	-	-	1
6	300	-	2	-	-	-	1
7	300	-	3	-	-	-	1
8	300	-	4	-	-	-	1
9	300	-	-	1	-	-	1
10	300	-	-	2	-	-	1
11	300	-	-	3	-	-	1
12	300	-	-	4	-	-	1
13	300	-	-	-	1	-	1
14	300	-	-	-	2	-	1
15	300	-	-	-	3	-	1
16	300	-	-	-	4	-	1

หมายเหตุ : MBA = N,N'-Methylenebisacrylamide

APS = Ammonium persulphate

CA = Citric acid

BA = Boric acid

STMP/STPP = Sodiumtripolyphosphate/Sodiumtrimetaphosphate

นำส่วนผสมต่างๆ ตามระบุไว้ในแต่ละสูตรมาผสมกัน และทำการปั่นจนเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นขึ้นรูปโดยการเทหล่อเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ศึกษาผลของปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 1-4

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ

การใช้ปริมาณของ MBA ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานที่ปรากฏ โดยทำให้ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงานต่างกัน ดังตารางที่ 4.2

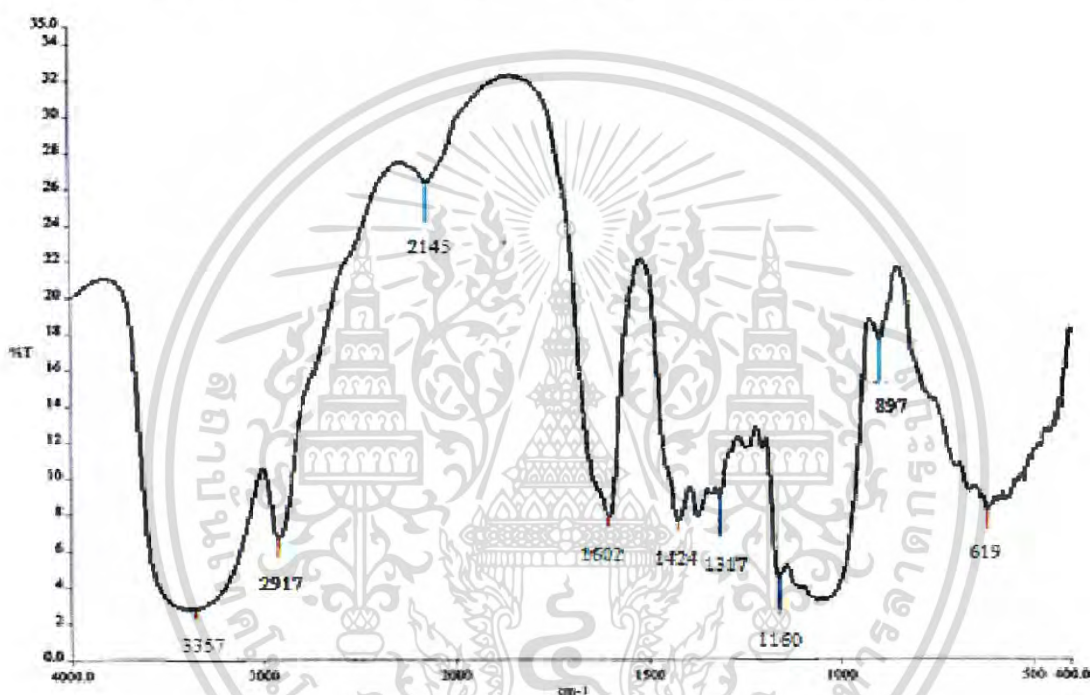
ตารางที่ 4.2 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 1-4

สูตร	รูปก่อนแช่น้ำ	รูปหลังแช่น้ำ	ลักษณะชิ้นงานหลังแช่น้ำ
1			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
2			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
3			ชิ้นงานบวมตัวเล็กน้อย และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
4			ชิ้นงานบวมตัวเล็กน้อย และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ

จากตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังแช่น้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่เตรียมได้ สูตร 1-4 พบว่า เมื่อนำมาแช่ในน้ำกลั่น ภายใต้สภาวะทดลองอุณหภูมิห้อง แผ่นฟิล์มผสมสามารถดูดน้ำได้แต่ไม่ละลายน้ำและมีรูปร่างคล้ายก่อนการแช่น้ำ แสดงว่าสารก่อก้อนเชื่อมโยง MBA ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้ และช่วยให้แผ่นฟิล์มไม่ละลายน้ำ

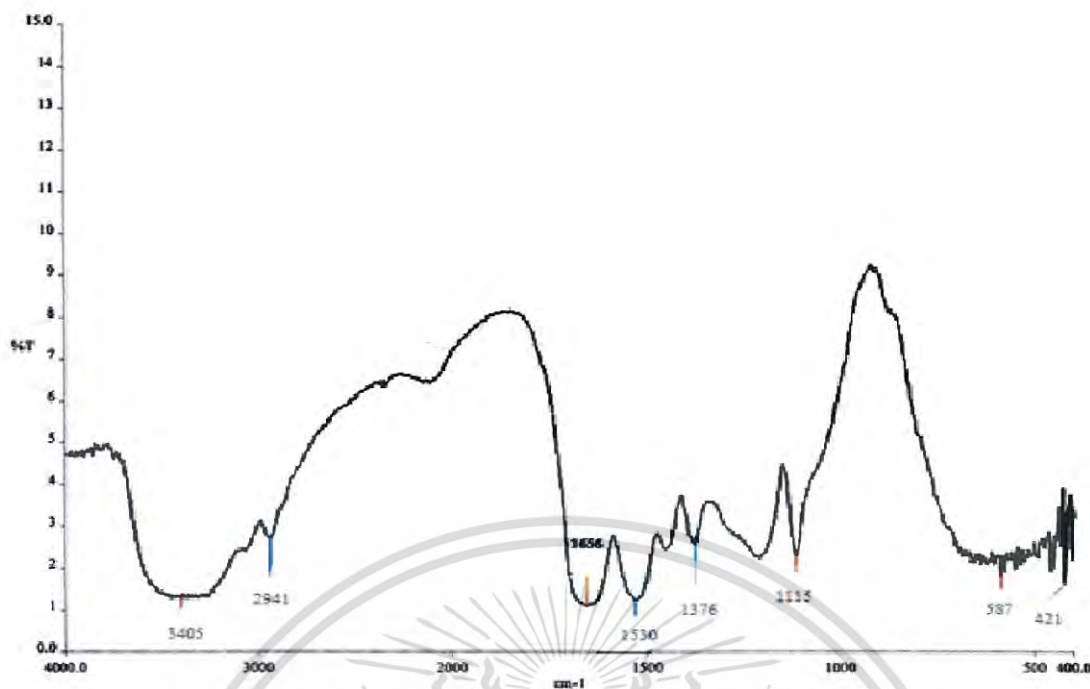
4.1.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันหลักของสารเมือกจากแมงลัก และเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ MBA ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร โดยจะทำการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเมือกจากแมงลัก เพื่อให้ได้อินฟราเรดสเปกตรัมมาใช้ในการเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกจากแมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ MBA อินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกจากแมงลักและ MBA แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกจากแมงลัก

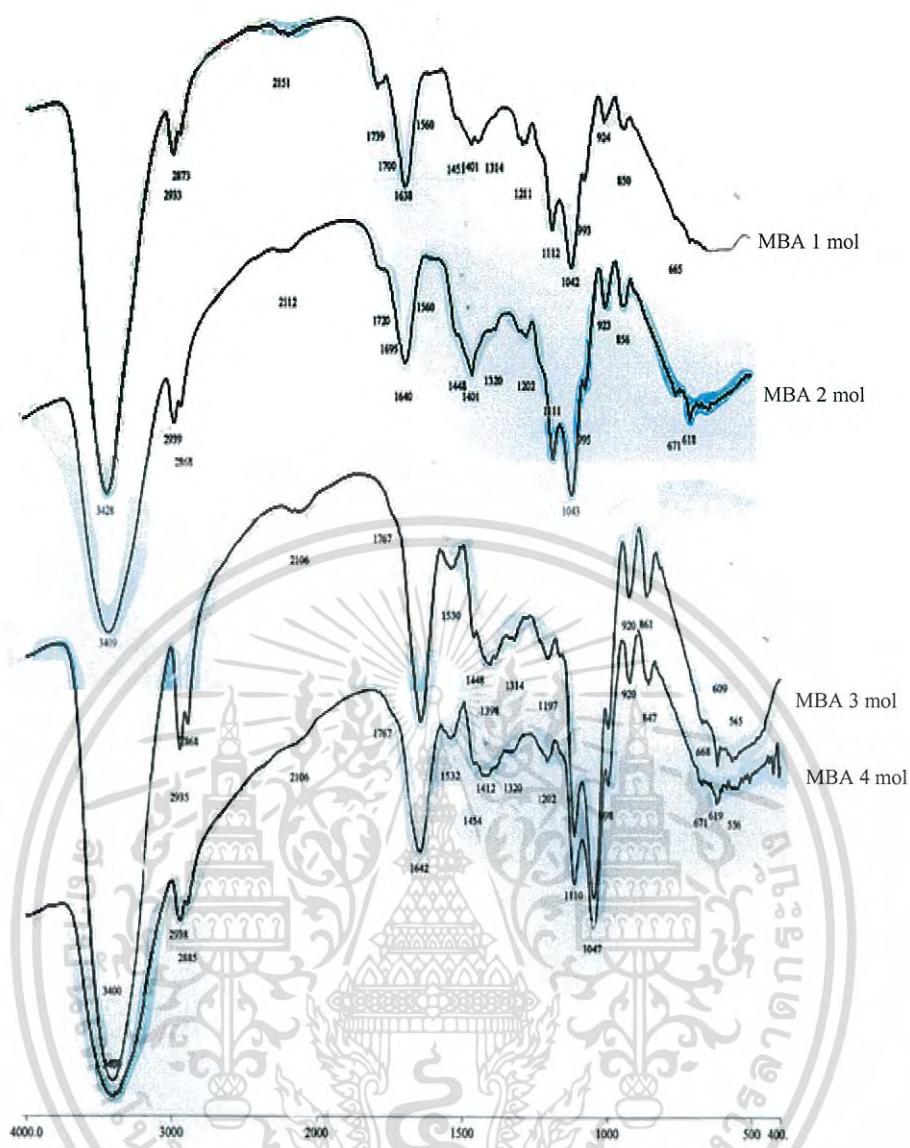
จากรูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกจากแมงลักโดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3357 และ 2917 cm^{-1} คือ -OH stretching ของคาร์บอกซิลิก (Carboxylic) และ -CH stretching ตามลำดับ ที่เลขคลื่นประมาณ 1602 cm^{-1} คือ C=O ของคาร์บอกซิลิก และที่เลขคลื่นประมาณ 1180 cm^{-1} คือ C-O stretching ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ในโครงสร้างของพวก Uronic acid [24]



รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA)

จากรูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ MBA โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง 400-4000 cm^{-1} พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3405 cm^{-1} คือ N-H stretching ของเอไมด์ (Amide) ที่เลขคลื่นประมาณ 1656 cm^{-1} คือ C=O ของเอไมด์และ C=C และที่เลขคลื่นประมาณ 1530 cm^{-1} คือ N-H bending ของเอไมด์ ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ในโครงสร้างของ MBA [24]

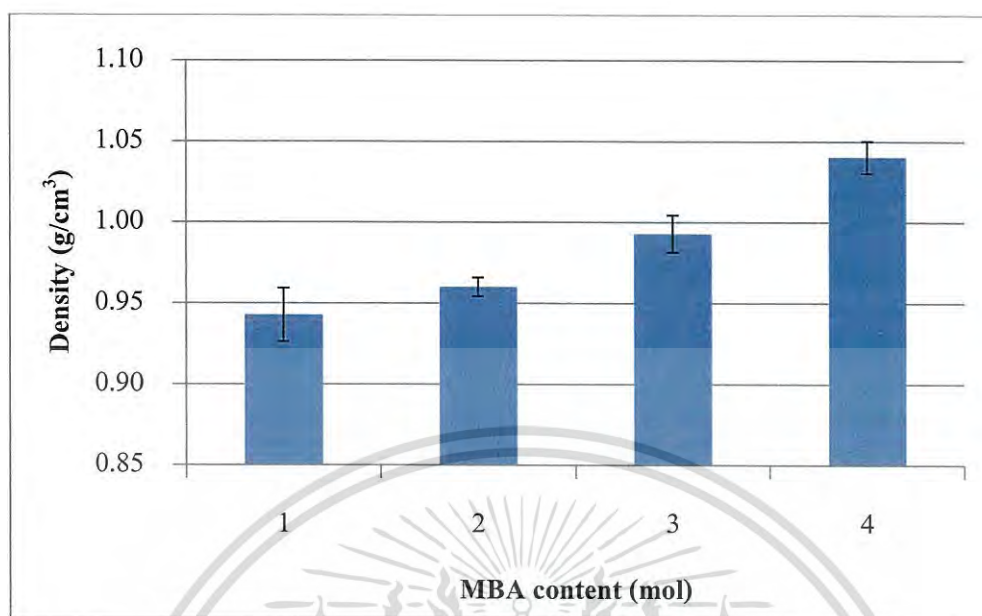
จากรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมสูตร 1-4 คือฟิล์มจากสารเมือกของแมงลักที่เปลี่ยนแปลงปริมาณ MBA 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณ MBA เพิ่มขึ้น พีค O-H stretching ของแมงลักเคลื่อนไปยังเลขคลื่นต่ำลง แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น เลขคลื่น 1739-1767 cm^{-1} เป็นหมู่ C=O และเลขคลื่น 1530-1560 cm^{-1} เป็นหมู่ NH bonding ของสารเชื่อมโยง MBA ที่เชื่อมโยง เลขคลื่น 1451-1448 cm^{-1} เป็นหมู่ C-O stretching เลขคลื่นที่ 1100 cm^{-1} เป็น C-OH ของแอลกอฮอล์ทุติยภูมิในวงน้ำตาล เลขคลื่น 1640 cm^{-1} เป็นหมู่ C=O ของแมงลัก และ N-H bending ของสารเชื่อมโยง MBA ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ 1530-1560 cm^{-1} และจะมีการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ MBA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ MBA ทำให้มีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงในสารเมือกจากแมงลักได้เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดง IR spectra ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดสอบหาความหนาแน่น

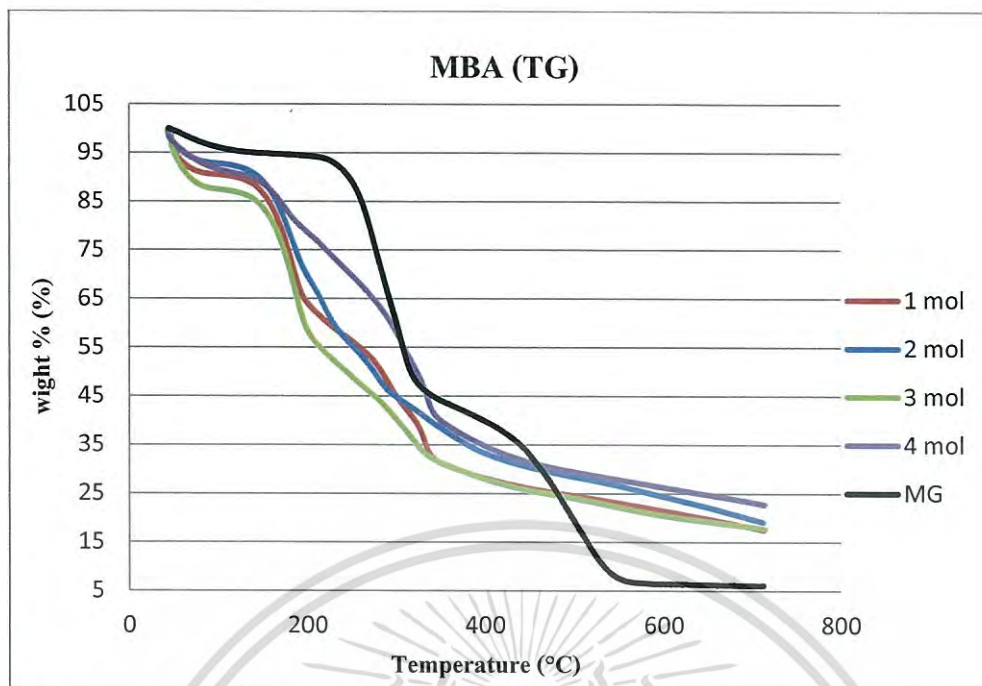


รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของฟิล์มเมงลักเชื่อม โยงด้วยสารก่อพันธะเชื่อม โยง MBA

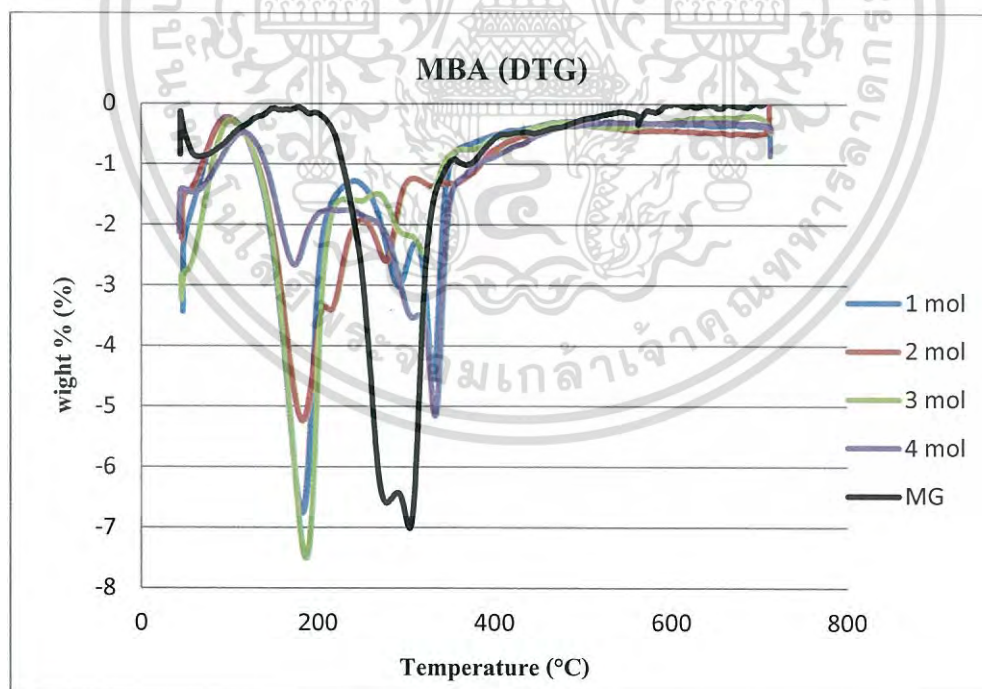
จากรูปที่ 4.1 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มเมงลัก เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเชื่อม โยง แสดงว่าพันธะเชื่อม โยง MBA ช่วยให้โมเลกุลของเมงลักอยู่ใกล้กัน ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์ม โดยทำให้ฟิล์มดูดน้ำได้น้อยลง (หัวข้อ 4.1.5.1 รูปที่ 4.7) ปริมาณสารเชื่อม โยงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฟิล์มสูงขึ้นด้วย

4.1.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักโดยใช้ MBA เป็นสารก่อพันธะเชื่อม โยง ใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis , TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน อุณหภูมิ 50-700 °C ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักสูตรต่างๆ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.5 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง



รูปที่ 4.6 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง

หมายเหตุ : MG = Mucilage gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 1-4

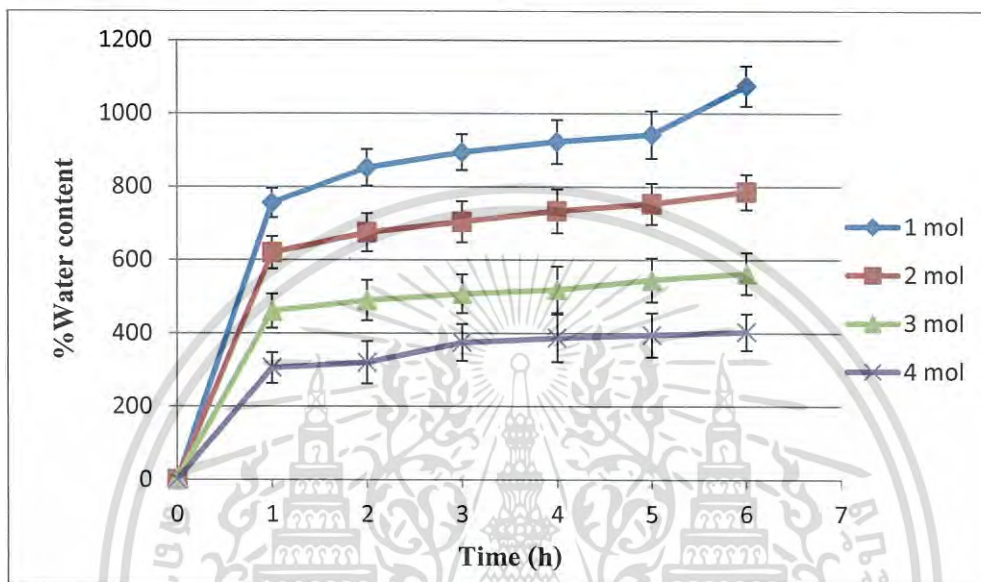
สูตร	อัตราส่วน และ ส่วนผสม ของแต่ละสูตร	อุณหภูมิการสลายตัว Td (°C)
0	สารเมือกจากแมงลัก	304, 310
1	สารเมือกจากแมงลัก + MBA 1 mol + Glycerol	182, 290, 331
2	สารเมือกจากแมงลัก + MBA 2 mol + Glycerol	183, 277, 331
3	สารเมือกจากแมงลัก + MBA 3 mol + Glycerol	186, 290, 319
4	สารเมือกจากแมงลัก + MBA 4 mol + Glycerol	174, 310, 333

จากตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักมี 2 อุณหภูมิ คือ 304 และ 310 °C เนื่องจากแมงลักเป็นโคพอลิเมอร์ของ Polygalacturonic acid และ Polyglucuronic acid [24] แต่ฟิล์มแมงลักที่เชื่อมโยงด้วย MBA ในปริมาณต่างๆ พบว่าอุณหภูมิการสลายตัว 3 อุณหภูมิ โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 304 °C อยู่สองอุณหภูมิ คือประมาณ 174-182 °C และ 277-290 °C ซึ่งน่าจะเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักบางส่วน แต่ก็มีอุณหภูมิประมาณ 319-333 °C ซึ่งคาดว่าเป็นอุณหภูมิการเชื่อมโยงแมงลักด้วย MBA นอกจากนี้ในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ามีกากของแข็งที่เหลือเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ MBA มากขึ้น แสดงว่าสารเชื่อมโยง MBA เกิดการเชื่อมโยงกับแมงลักได้มากขึ้น

4.1.5 สมบัติการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำที่สมดุล

4.1.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น

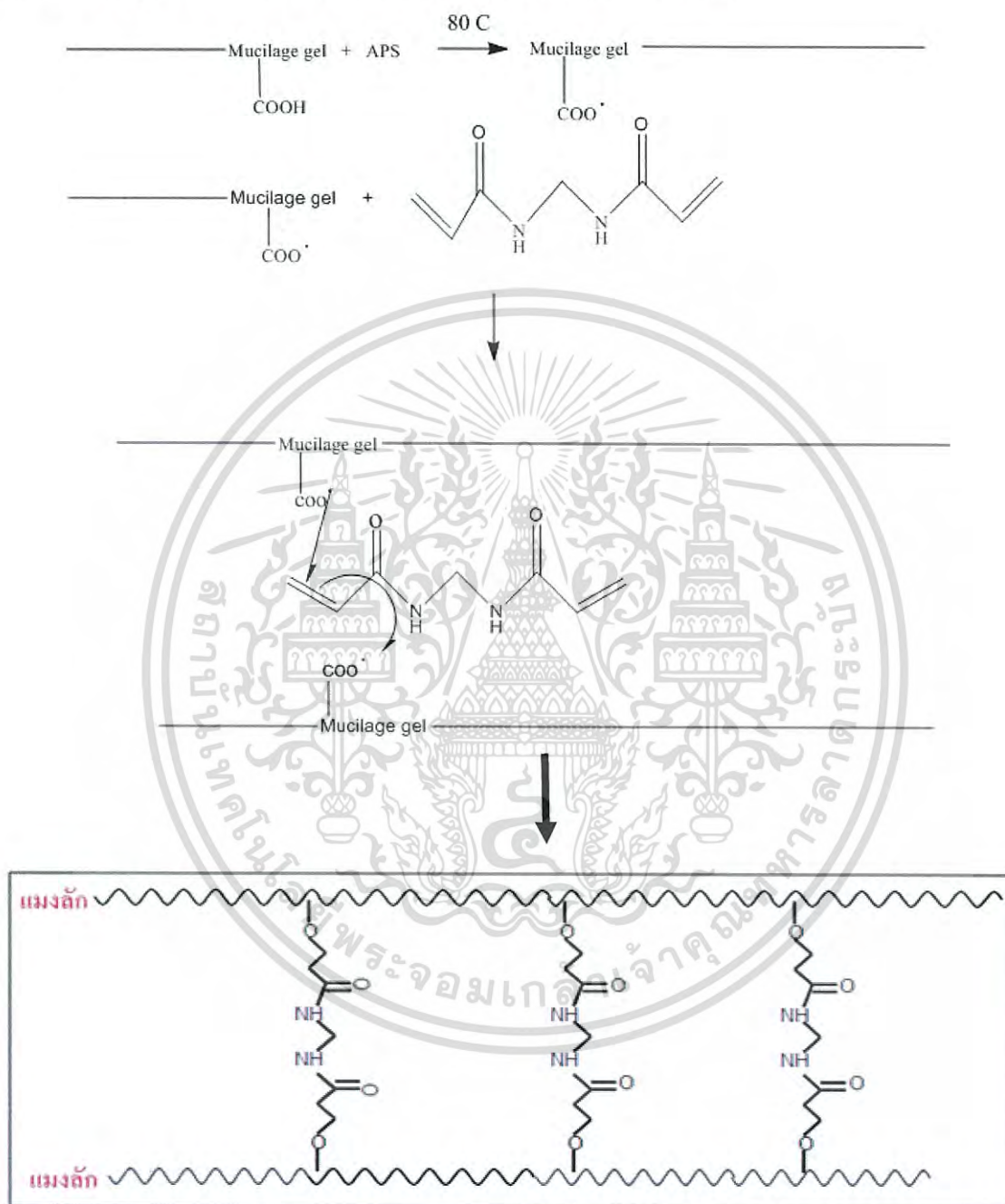
ตัดชิ้นงานตัวอย่างขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นงานไปชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นมาชั่งทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ (%water uptake) ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

แมงลักที่ไม่ผสมสารเชื่อมโยง สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้โดยผสมกับกลีเซอรอล แต่เมื่อแช่น้ำจะละลายก่อนถึง 6 ชั่วโมง จากรูปที่ 4.7 ฟิล์มสารเมือกของแมงลักเมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA พบว่า 1 ชั่วโมงแรกแผ่นฟิล์ม มีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล หลังจากเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ซึ่งใน 1 ชั่วโมงแรก ปริมาณ MBA 1 mol ดูดน้ำได้ดีที่สุด โดยดูดน้ำได้ 755% และปริมาณ MBA 4 mol ดูดน้ำได้น้อยที่สุด โดยดูดน้ำได้ 305% แสดงว่า การดูดน้ำมีค่าลดลง เมื่อมีปริมาณ MBA เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจาก MBA จะเกิดพันธะกับ $-O^-$ ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของแมงลักดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการลดหมู่ชอบน้ำ $-OH$ ลง ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับของ ณัฐวิศา รัศมิพงศ์ [24] และคล้ายกับการใช้ MBA เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงในโซเดียมอัลจินต และ CMC ตามผลการทดลองของ Pourjavadi A. [36] นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงทำให้แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมได้สามารถคงรูปได้ดีขึ้น แต่ทำให้ความยืดหยุ่นและพื้นที่ว่างภายในโครงสร้างลดลง จึงทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปในฟิล์มได้น้อยลงด้วย และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง การดูดน้ำของแผ่นฟิล์มทุกอย่างจะค่อยๆเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยมีการดูดน้ำ ณ เวลา 6 ชั่วโมง เรียงลำดับดังนี้ MBA 1 mol ดูดน้ำได้ 1075% MBA 2 mol ดูดน้ำได้ 785% MBA 3 mol ดูดน้ำได้ 563% และ MBA 4 mol ดูดน้ำได้ 403% ตามลำดับ

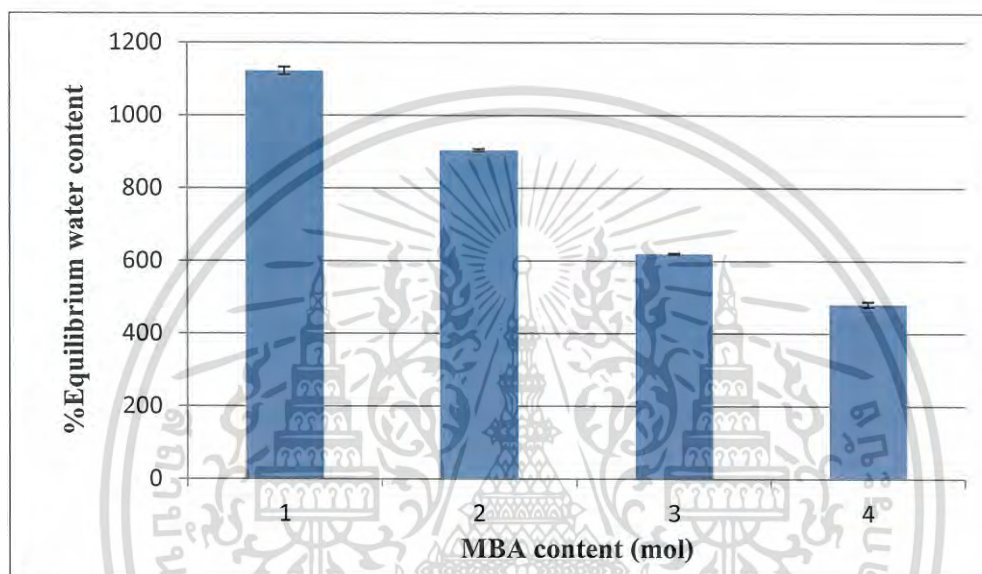


รูปที่ 4.8 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยง ระหว่าง MBA + แมงลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

จุดสมดุลเป็นจุดที่แสดงความสามารถสูงสุดในการดูดซึมน้ำของแผ่นฟิล์ม ในการหาจุดสมดุลดังกล่าวทำได้โดยแช่ชิ้นงานขนาด 1x1 นิ้ว ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานสามารถดูดซับน้ำได้จนถึงค่าที่อิ่มตัวสูงสุด แล้วนำชิ้นงานขึ้นมาชั่งน้ำหนัก กำหนดหาปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุล (% Equilibrium swelling) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA) 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

จากรูปที่ 4.9 เมื่อนำแผ่นฟิล์มสารเมือกของแมงลักซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ MBA มาทดสอบปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มี MBA 1 mol สามารถดูดซับน้ำได้สูงที่สุดเนื่องจากสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีหมู่ $-COOH$ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ดึงดูดน้ำได้ดี แต่เมื่อปริมาณ MBA เพิ่มขึ้นเป็น 4 mol จะเกิดจุดเชื่อมโยงในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มมากขึ้น ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงมาก การดูดน้ำจึงน้อยลง แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ MBA 1 mol ดูดน้ำได้ 1122% ปริมาณ MBA 2 mol ดูดน้ำได้ 903% ปริมาณ MBA 3 mol ดูดน้ำได้ 618% และปริมาณ MBA 4 mol ดูดน้ำได้ 480% นั่นคือการเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยง MBA ทำให้โครงสร้างของแมงลักยึดโยงกันมากขึ้น หมู่ $-OH$ ซึ่งเป็นหมู่ชอบน้ำลดลง นอกจากนี้การเกิดจุดเชื่อมโยงมาทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยระหว่างจุดเชื่อมโยงน้อยลง ลดปริมาตรอิสระ

(free volume) ของโมเลกุลเมกซ์ล็กง โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก คล้ายกับผลของ A.K.Bajpai et al. [37] พิล์มที่มี MBA มากไม่ยืดหยุ่นเหมือนฟิล์มที่มี MBA น้อย

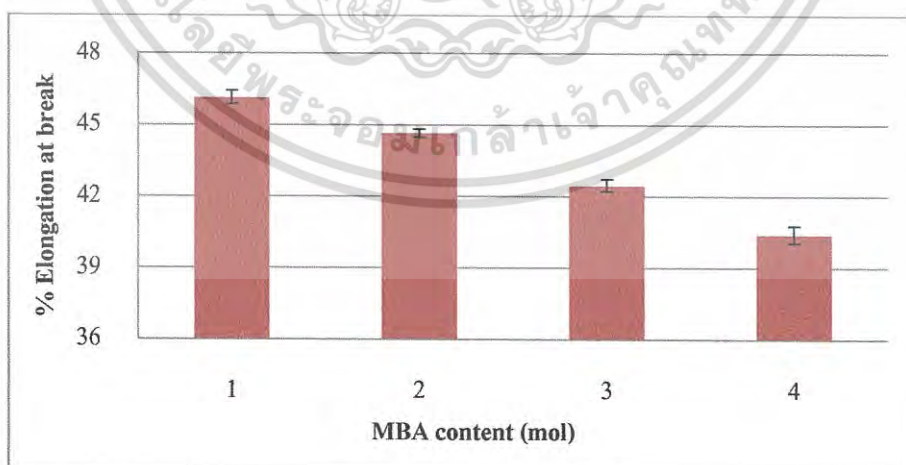
4.1.6 สมบัติเชิงกล

4.1.6.1 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และความแข็งแรงดึง

(Tensile strength)

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนผสมของฟิล์ม สูตร 1-4

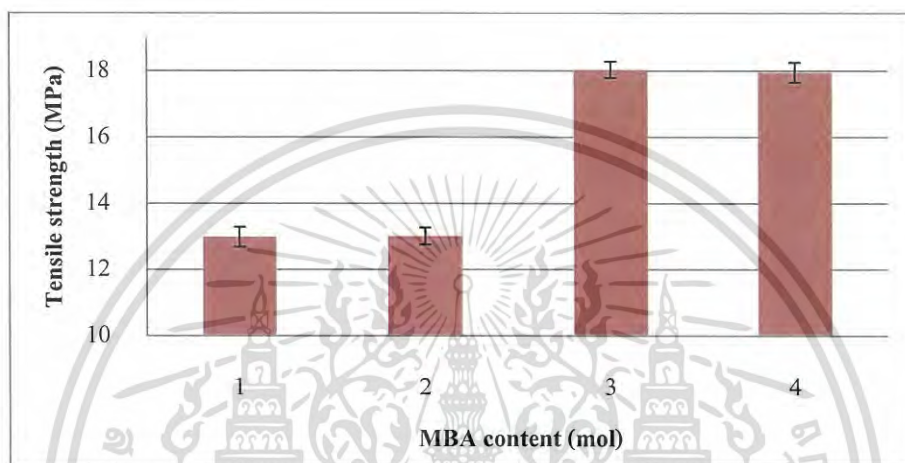
สูตร	อัตราส่วนผสม	% Elongation at break	Tensile strength (MPa)
1	สารเมือกแมกซ์ล็ก + MBA 1 mol + APS + Glycerol	46.14 ± 0.28	12.98 ± 0.30
2	สารเมือกแมกซ์ล็ก + MBA 2 mol + APS + Glycerol	44.64 ± 0.16	13.01 ± 0.26
3	สารเมือกแมกซ์ล็ก + MBA 3 mol + APS + Glycerol	42.44 ± 0.26	18.03 ± 0.25
4	สารเมือกแมกซ์ล็ก + MBA 4 mol + APS + Glycerol	40.39 ± 0.37	17.95 ± 0.30



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่า %Elongation at break 46%, 44%, 42%, และ 40% ตามลำดับ ปริมาณสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า %Elongation at break ลดลง จากผลการทดลองทราบว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิแซคคาไรด์ของแมงลัก พันธะเชื่อมโยงทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่ซับซ้อน สายโซ่ขยับเขยื้อนยาก พันธะเชื่อมโยงที่มากเกินไปจะทำให้ขัดขวางการเคลื่อนตัวของโซ่แมงลักและฟิล์มแข็งกรอบ ค่า % Elongation at break จึงลดลง



รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งแรงดึง

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงดึงขึ้นกับการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่โมเลกุลของแมงลัก เพราะพันธะเชื่อมโยงทำให้โครงสร้างแมงลักอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น ผลการทดลองคล้ายกับของ Yue Li, Charles et al. [38] ที่เชื่อมโยงเข้ากับ CMC เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA 1 mol, 2 mol และ 3 mol ตามลำดับ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงมากขึ้น ตามปริมาณสารก่อพันธะเชื่อมโยง ฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA มีลักษณะยืดหยุ่นได้ดี แต่เมื่อ MBA เพิ่มขึ้นเป็น 4 mol ความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับการใส่ MBA 3 mol นั่นคือ MBA 4 mol เป็นปริมาณมากเกินไป

4.2 ศึกษาผลของปริมาณ Boric acid (BA) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 5-8

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ

การใช้ปริมาณของ Boric acid ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานที่ปรากฏ โดยทำให้ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงานต่างกัน ดังตารางที่ 4.5

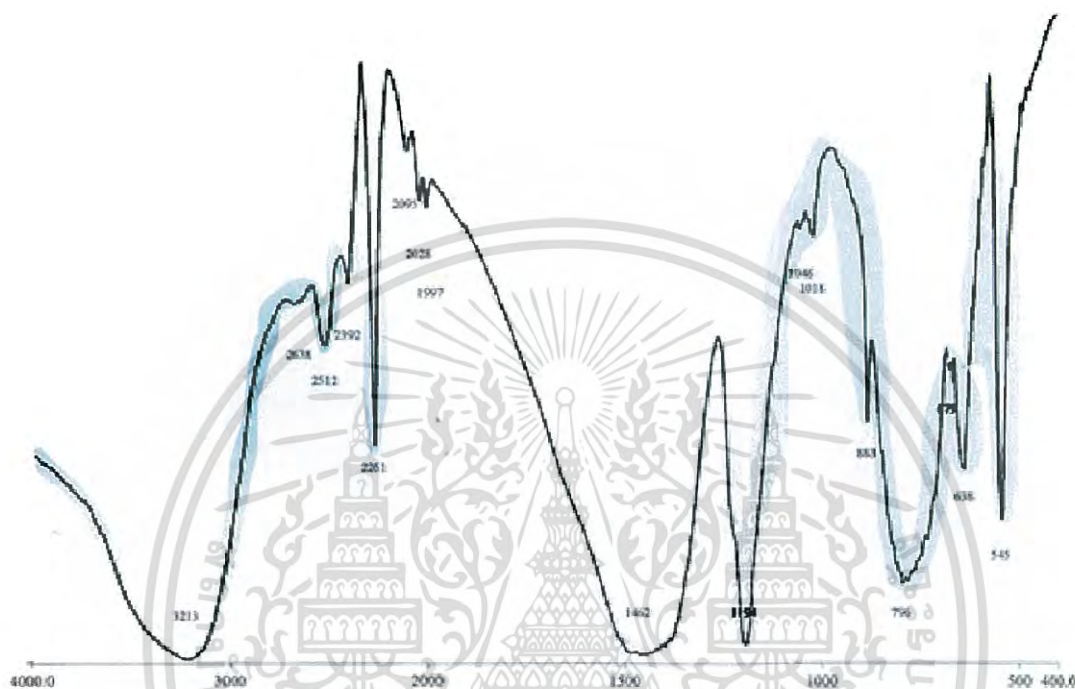
ตารางที่ 4.5 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 5-8

สูตร	รูปก่อนแช่น้ำ	รูปหลังแช่น้ำ	ลักษณะชิ้นงานหลังแช่น้ำ
5			ชิ้นงานบวมตัวอย่างมาก และไม่ สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
6			ชิ้นงานบวมตัวอย่างมาก และไม่ สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
7			ชิ้นงานบวมตัวอย่างมาก และไม่ สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
8			ชิ้นงานบวมตัวอย่างมาก และไม่ สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ

จากตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังแช่น้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่เตรียมได้ สูตร 5-8 พบว่า เมื่อนำมาแช่ในน้ำกลั่น ภายใต้สภาวะทดลอง แผ่นฟิล์มค่อนข้างละลายน้ำได้ และไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ แสดงว่า พันธะเชื่อมโยงระหว่างแมงลักกับ Boric acid เป็นพันธะผันกลับได้ ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ เมื่อโมเลกุลของน้ำแทรกซึมเข้าไปในแผ่นฟิล์มมาก ฟิล์มจะเกิดการบวม โมเลกุลของน้ำที่มากเกินไปจะทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ -OH ของแมงลักกับ Boric acid

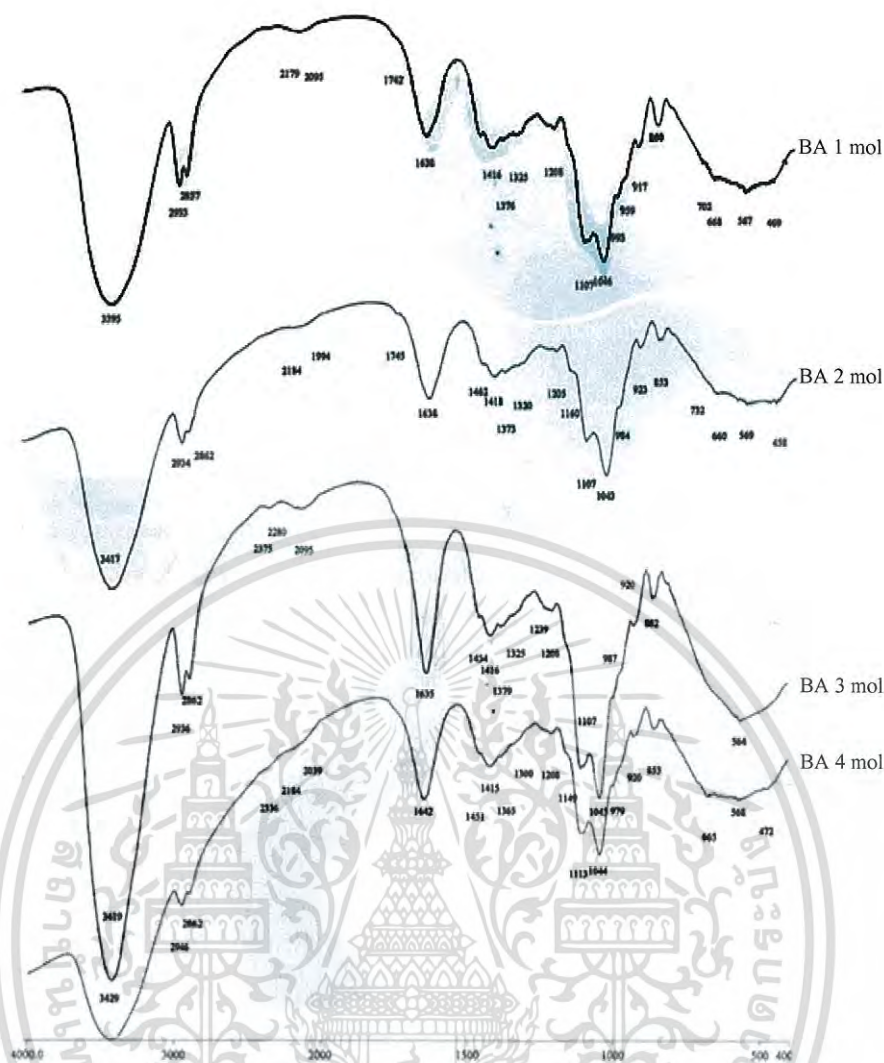
4.2.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ Boric acid รูปที่ 4.12 และ สารเมื่อจากเม็ดเมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Boric acid ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Boric acid

จากรูปที่ 4.12 เลขคลื่นที่ประมาณ 3213 cm^{-1} เป็นของหมู่ O-H stretching เลขคลื่นที่ 1462 cm^{-1} เป็นของ -OH in plane bending. [45]

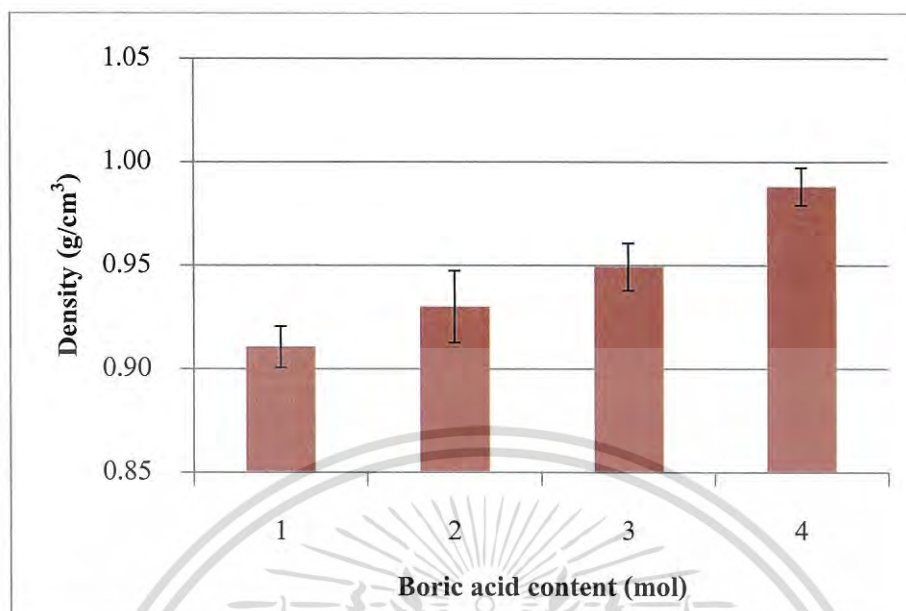


รูปที่ 4.13 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกแมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Boric acid

จากรูปที่ 4.13 IR spectrum จะคล้ายกันในทุกสูตร แต่พบว่าเมื่อมีปริมาณ BA เพิ่มขึ้น เลขคลื่นที่แสดงหมู่ OH stretching เคลื่อนไปยังเลขคลื่นสูงขึ้น คือจาก 3395 cm^{-1} ใน BA 3 mol เป็น 3429 cm^{-1} ใน BA 4 mol แสดงว่าพันธะไฮโดรเจนระหว่างแมงลักลดลง ใช้พลังงานในการสั่นลดลง พบพีคเลขคลื่นประมาณ $1638 - 1642\text{ cm}^{-1}$ ของหมู่ C=O ในแมงลักซึ่งก่อนเชื่อมโยงปรากฏที่เลขคลื่น 1602 cm^{-1} แสดงว่าหมู่ C=O เป็นอิสระมากขึ้น เลขคลื่น $1450 - 1460\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง C-O stretching vibration ของแมงลัก และเลขคลื่นที่ประมาณ 1100 cm^{-1} แสดงถึง -C-O-C- ของแมงลัก ผลของ FTIR แสดงว่า BA แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโครงสร้างโซ่แมงลัก เนื่องจากบอโรนในรูป $\text{B}(\text{OH})_4$ ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแมงลัก เกิดพันธะไฮออนิก จึงทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างแมงลักลดลง เลขคลื่นที่แสดงหมู่ OH stretching จึงเคลื่อนไปยังเลขคลื่นสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบหาความหนาแน่น

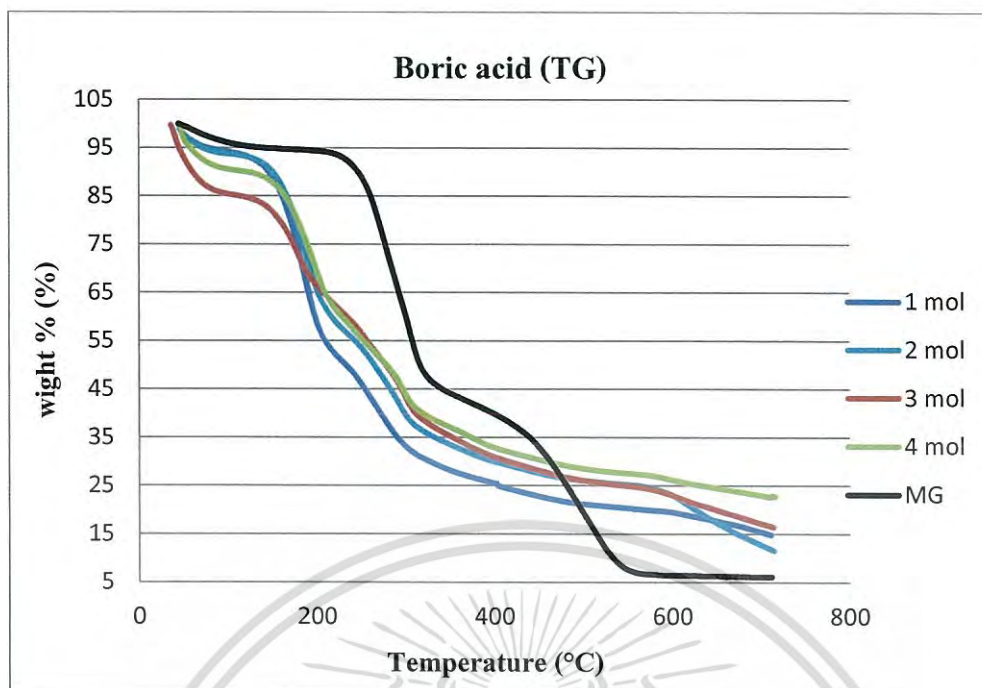


รูปที่ 4.14 ความหนาแน่นของฟิล์มเมงลักเชื่อมโยงด้วยสารก่อกันระเชื่อมโยง Boric acid

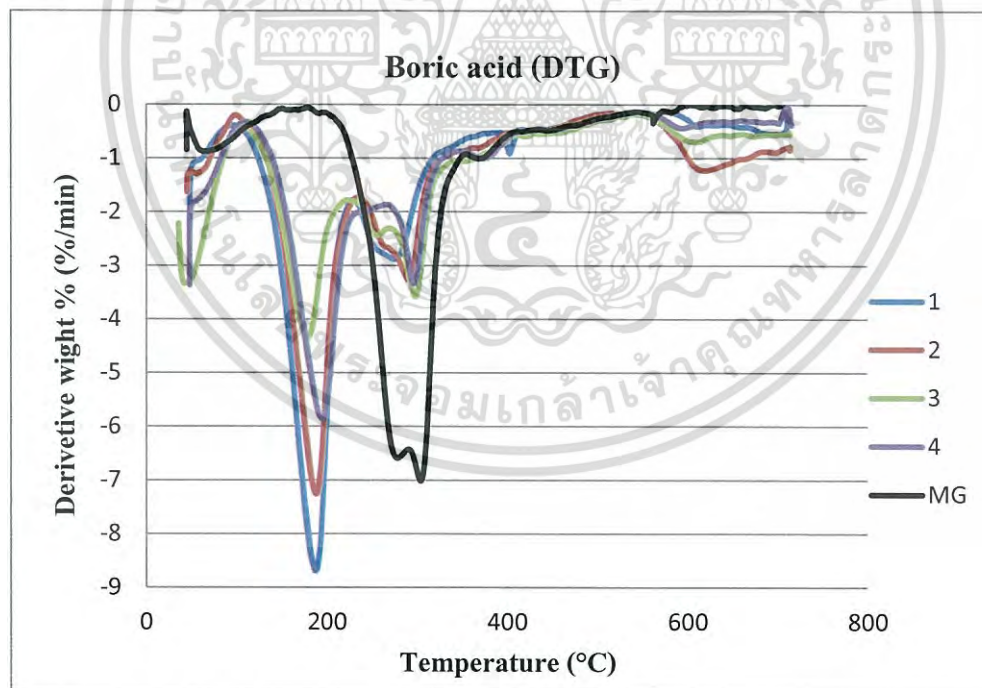
จากรูปที่ 4.14 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มเมงลัก เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเชื่อมโยงดังนี้ BA 4 mol > 3 mol > 2 mol > 1 mol ตามลำดับ ปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฟิล์มสูงขึ้นด้วย

4.2.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

การวิเคราะห์ทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักโดยใช้ Boric acid เป็นสารก่อกันระเชื่อมโยง โดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis , TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ภายใต้สถานะไนโตรเจน อุณหภูมิ 50-700 °C ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกเมงลักสูตรต่างๆ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.15 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี Boric acid เป็นสารก่อกันระเหยเชื่อมโยง



รูปที่ 4.16 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี

Boric acid เป็นสารก่อกันระเหยเชื่อมโยง

หมายเหตุ : MG = Mucilage gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

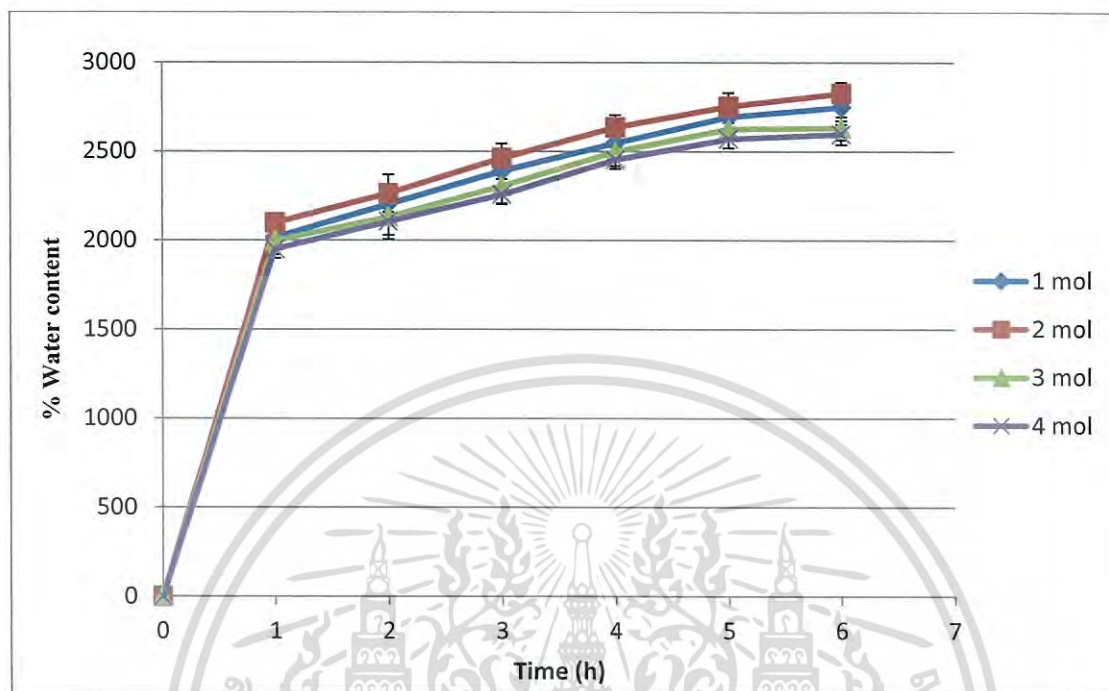
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 5-8

สูตร	อัตราส่วน และ ส่วนผสมของแต่ละสูตร	อุณหภูมิการสลายตัว Td (°C)
5	สารเมือกจากแมงลัก + Boric acid 1 mol + Glycerol	186, 275
6	สารเมือกจากแมงลัก + Boric acid 2 mol + Glycerol	187, 291
7	สารเมือกจากแมงลัก + Boric acid 3 mol + Glycerol	177, 297
8	สารเมือกจากแมงลัก + Boric acid 4 mol + Glycerol	193, 296

จากตารางที่ 4.6 รูป 4.15 และรูป 4.16 พบอุณหภูมิการสลายตัว 2 อุณหภูมิ ช่วงแรก ประมาณ 177-193 °C และช่วงที่สองประมาณ 275-296 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลัก ผลของ TGA แสดงว่า BA อาจเกิดพันธะกับหมู่ -OH ของแมงลัก และเนื่องจาก BA มีความเป็นกรดอ่อน อาจทำให้เกิดไฮโดรไลซิสพันธะ β -glycosidic linkage ในสายโซ่แมงลักเมื่อได้รับความร้อน ทำให้พบพีคการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าพีคการสลายตัวของแมงลัก (ภาคผนวก ค. รูป ค-17)

4.2.5 สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล

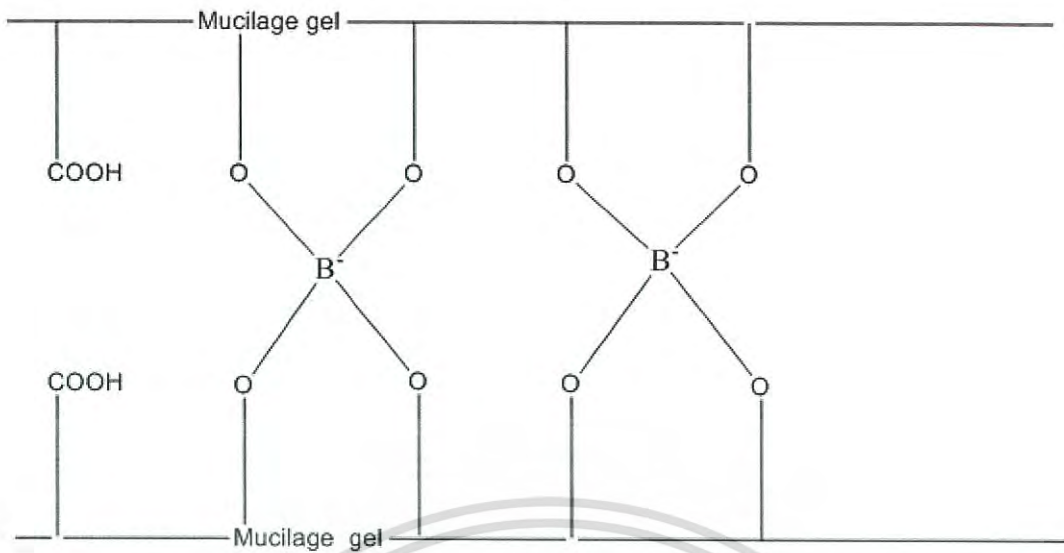
4.2.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น



รูปที่ 4.17 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ Boric acid

1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

จากรูปที่ 4.17 ฟิล์มสารเมือกของแมงลักเมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง Boric acid พบว่า 1 ชั่วโมงแรกแผ่นฟิล์มที่มี Boric acid 1 mol ดูดน้ำได้ 2015% แผ่นฟิล์มที่มี Boric acid 2 mol ดูดน้ำได้ 2098% แผ่นฟิล์มที่มี Boric acid 3 mol ดูดน้ำได้ 1997% และแผ่นฟิล์มที่มี Boric acid 4 mol ดูดน้ำได้ 2596% นั่นคือการดูดน้ำของฟิล์มเรียงลำดับดังนี้ ฟิล์มที่มี Boric acid 2 mol > 1 mol > 3 mol > 4 mol เนื่องจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง Boric acid กับแมงลักซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากนั้น จะเกิดที่หมู่ไฮดรอกซิล เกิดโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.18 บอโรนในรูป $B(OH)_4$ ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแมงลักเชื่อมพอลิเมอร์ 2 สายด้วยสารประกอบเชิงซ้อน bis-diol complex การใส่ Boric acid 2 mol ทำให้การดูดน้ำของฟิล์มแมงลักมากกว่าการใส่ Boric acid 1 mol เนื่องจากการเพิ่มหมู่มีขั้ว ทำให้น้ำซึมเข้าไปได้มาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Boric acid จำนวนพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นมาก เท่ากับเป็นการลดหมู่ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลง จึงทำให้การดูดซึมน้ำของฟิล์มลดลง ซึ่งผลการทดลองคล้ายกับ Yeping Yin et al [39]

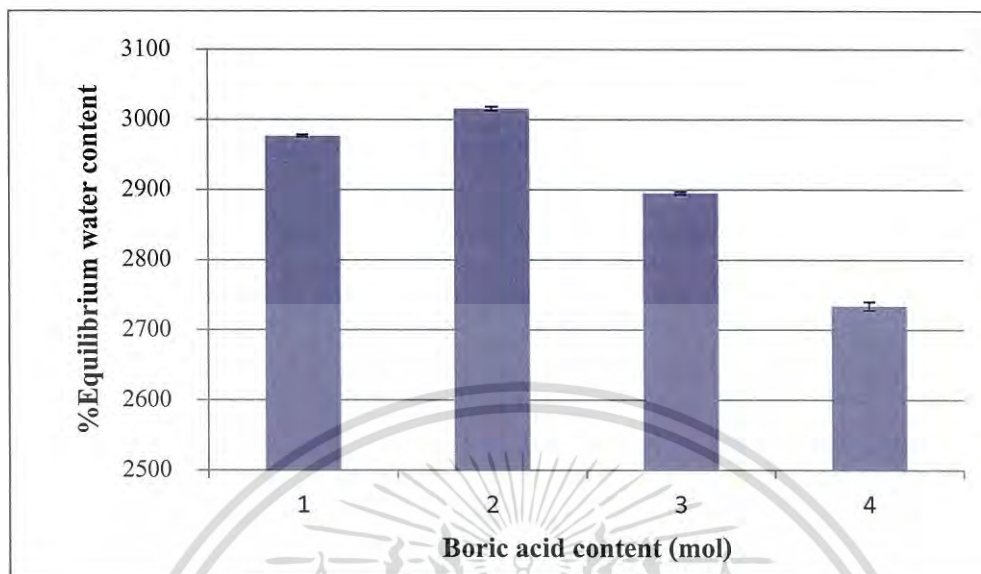


รูปที่ 4.18 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง Boric acid กับแมงลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ

Boric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

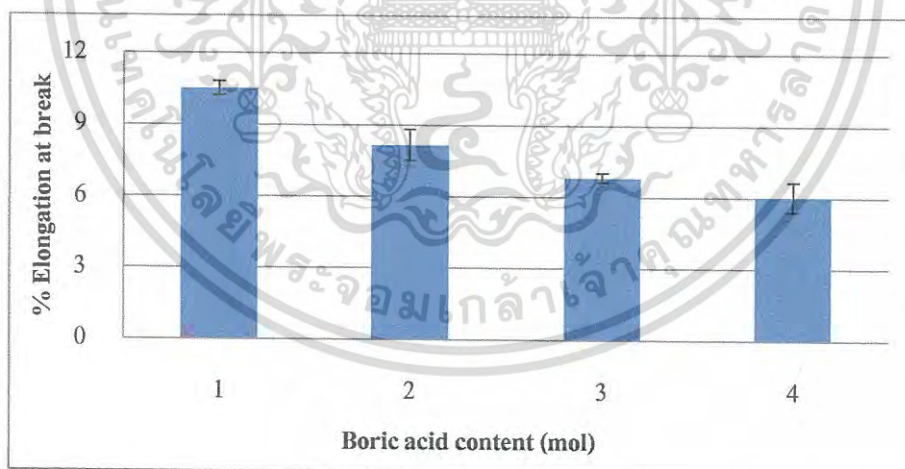
จากรูปที่ 4.19 เมื่อนำแผ่นฟิล์มสารเมือกของแมงลักซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Boric acid มาทดสอบปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มี Boric acid 2 mol สามารถดูดซับน้ำได้สูงที่สุด การใส่ Boric acid ลงในสารพอลิแซคคาไรด์เพื่อป้องกันการเกาะกลุ่ม (aggregation) อันเนื่องมาจากพอลิแซคคาไรด์เกิดพันธะไฮโดรเจนกันเอง (intermolecular bonding) โดยทำให้เกิดลักษณะ metal-hydroxyl complex พันธะที่เชื่อมโยงเกิดระหว่าง $B(OH)_4$ กับหมู่ $-OH$ ของแมงลัก เกิดพันธะ bis-diol complex ซึ่งอาจเป็น 1,2-diol complex หรือ 1,3 diol complex แต่ไม่ว่าเกิดแบบไหน อะตอมของ B จะถูกล้อมรอบด้วยประจุลบ ($-OH$) ที่สามารถเกิดพันธะไฮออนิกกับประจุบวกบนโครงสร้างของพอลิเมอร์ [40] พันธะที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ของแมงลัก ทำให้น้ำซึมเข้าไปได้มาก แต่เมื่อปริมาณ Boric acid เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลมีค่าลดลง เนื่องมาจากการลดหมู่ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลง จึงทำให้การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มลดลง แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ Boric acid 1 mol ดูดน้ำได้ 2976% ปริมาณ Boric acid 2 mol ดูดน้ำได้ 3015% ปริมาณ Boric acid 3 mol ดูดน้ำได้ 2895% และปริมาณ Boric acid 4 mol ดูดน้ำได้ 2734% ตามลำดับ

4.2.6 สมบัติเชิงกล

4.2.6.1 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

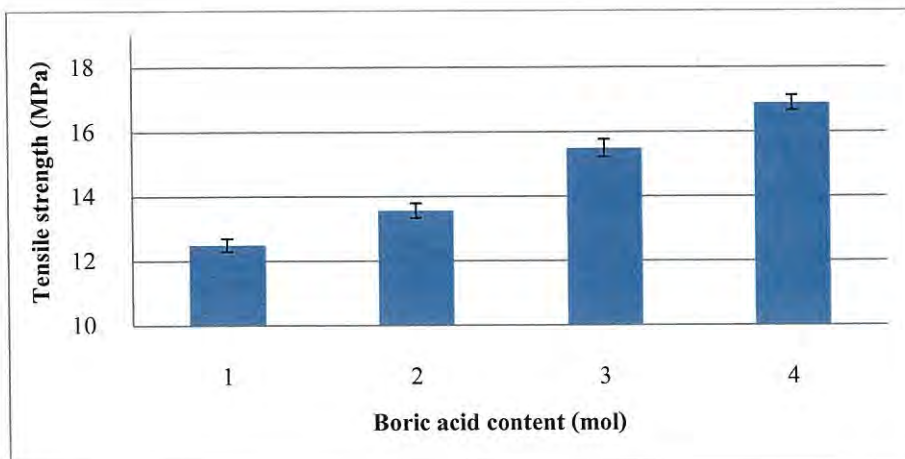
ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 5-8

สูตร	อัตราส่วนผสม	% Elongation at break	Tensile strength (MPa)
1	สารเมือกแมงลัก + Boric acid 1 mol + Glycerol	10.52 ± 0.20	12.49 ± 0.29
2	สารเมือกแมงลัก + Boric acid 2 mol + Glycerol	8.16 ± 0.23	13.56 ± 0.66
3	สารเมือกแมงลัก + Boric acid 3 mol + Glycerol	6.82 ± 0.27	15.49 ± 0.18
4	สารเมือกแมงลัก + Boric acid 4 mol + Glycerol	6.02 ± 0.23	16.89 ± 0.63



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงดึง



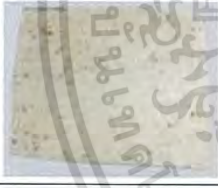


จากรูปที่ 4.20 พบว่า เมื่อใส่สารก่อก้อนระเชื่อมโยง Boric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่า % Elongation at break เท่ากับ 10.52% 8.16% 6.82% และ 6.02% ตามลำดับ ค่า % Elongation at break ลดลง เมื่อสารก่อก้อนระเชื่อมโยงมากขึ้น เพราะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิแซคคาไรด์ของแมงลัก พันธะเชื่อมโยงทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่ซับซ้อน และพันธะเชื่อมโยงที่มากไปก็อาจไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของโซ่แมงลัก จึงทำให้ค่า % Elongation at break ลดลง แต่ค่า Tensile strength สูงขึ้นตามลำดับ ดังนี้ แผ่นฟิล์มที่มีสารก่อก้อนระเชื่อมโยง Boric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 12.49% 13.56% 15.49% และ 16.89% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 เป็นเพราะสารก่อก้อนระเชื่อมโยงที่มากขึ้น ทำให้แรงยึดระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงมากขึ้น [39] ฟิล์มที่ใส่สารก่อก้อนระเชื่อมโยง Boric acid มีลักษณะค่อนข้างแข็งเปราะ ทึกขาดได้ง่าย เพราะอะตอม B ใน Boric acid เกิดพันธะเชื่อมโยงกับหมู่ -OH ของโมเลกุลแมงลักได้ 4 หมู่ โครงสร้างใหม่ที่เกิดขึ้นยึดโซ่โมเลกุลของแมงลักไว้ ยังมี Boric acid มาก ค่า Tensile strength ยิ่งสูง

4.3 ศึกษาผลของปริมาณ Sodium tripolyphosphate/Sodium trimetaphosphate (STMP/STPP) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 9-12

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ

การใช้ปริมาณของ STMP/STPP ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานที่ปรากฏ โดยทำให้ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงานต่างกัน ดังตารางที่ 4.8

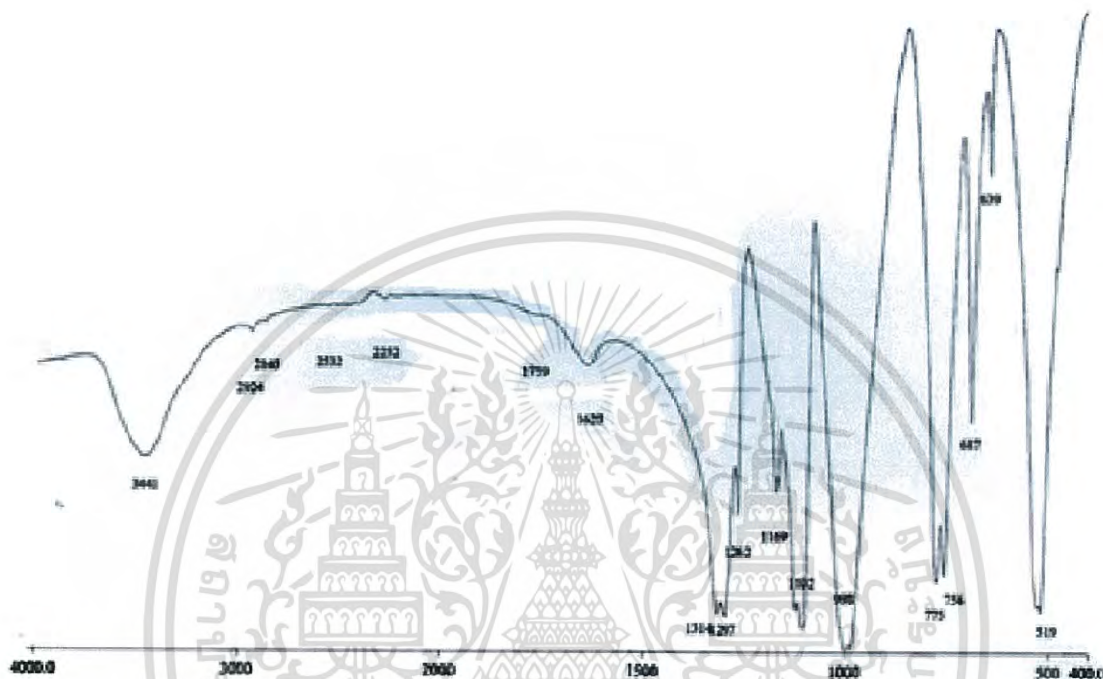
ตารางที่ 4.8 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 9-12

สูตร	รูปก่อนแช่น้ำ	รูปหลังแช่น้ำ	ลักษณะชิ้นงานหลังแช่น้ำ
9			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
10			ชิ้นงานบวมตัวค่อนข้างมาก และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
11			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
12			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ

จากตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังแช่น้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่เตรียมได้ สูตร 9-12 พบว่า เมื่อนำมาแช่ในน้ำกลั่น ภายใต้อุณหภูมิห้อง แผ่นฟิล์มค่อนข้างบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ

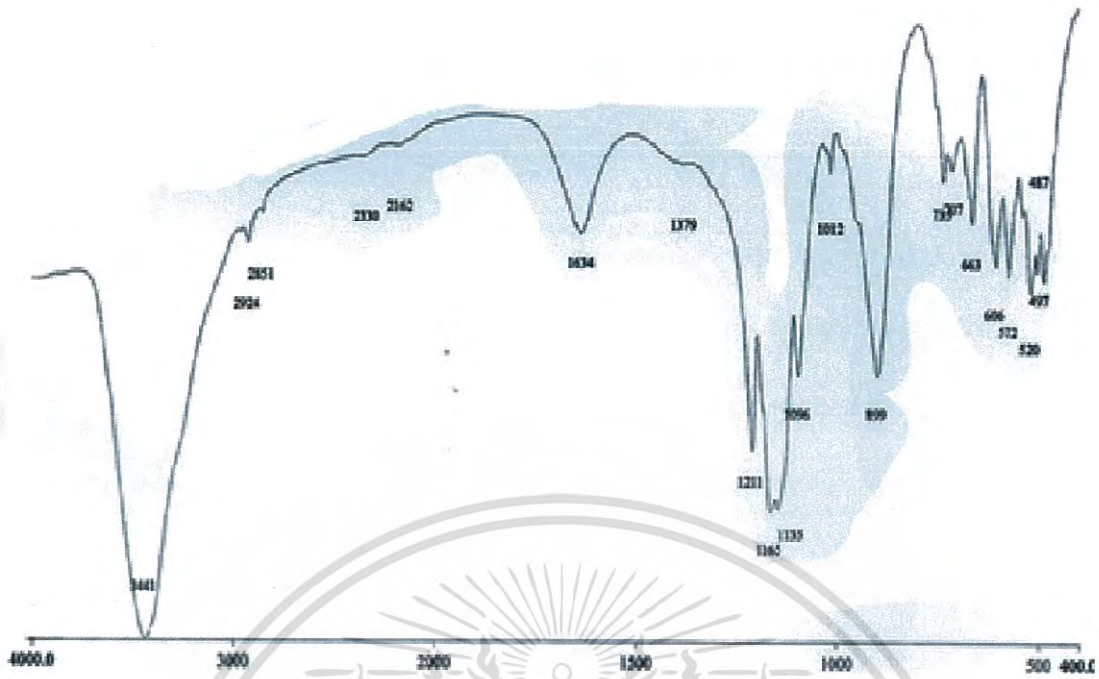
4.3.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ STMP รูปที่ 4.22, STPP รูปที่ 4.23 และ สารเมื่อจากเม็ดแมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ STMP/STPP รูปที่ 4.24 ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร



รูปที่ 4.22 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Sodium trimetaphosphate (STMP)

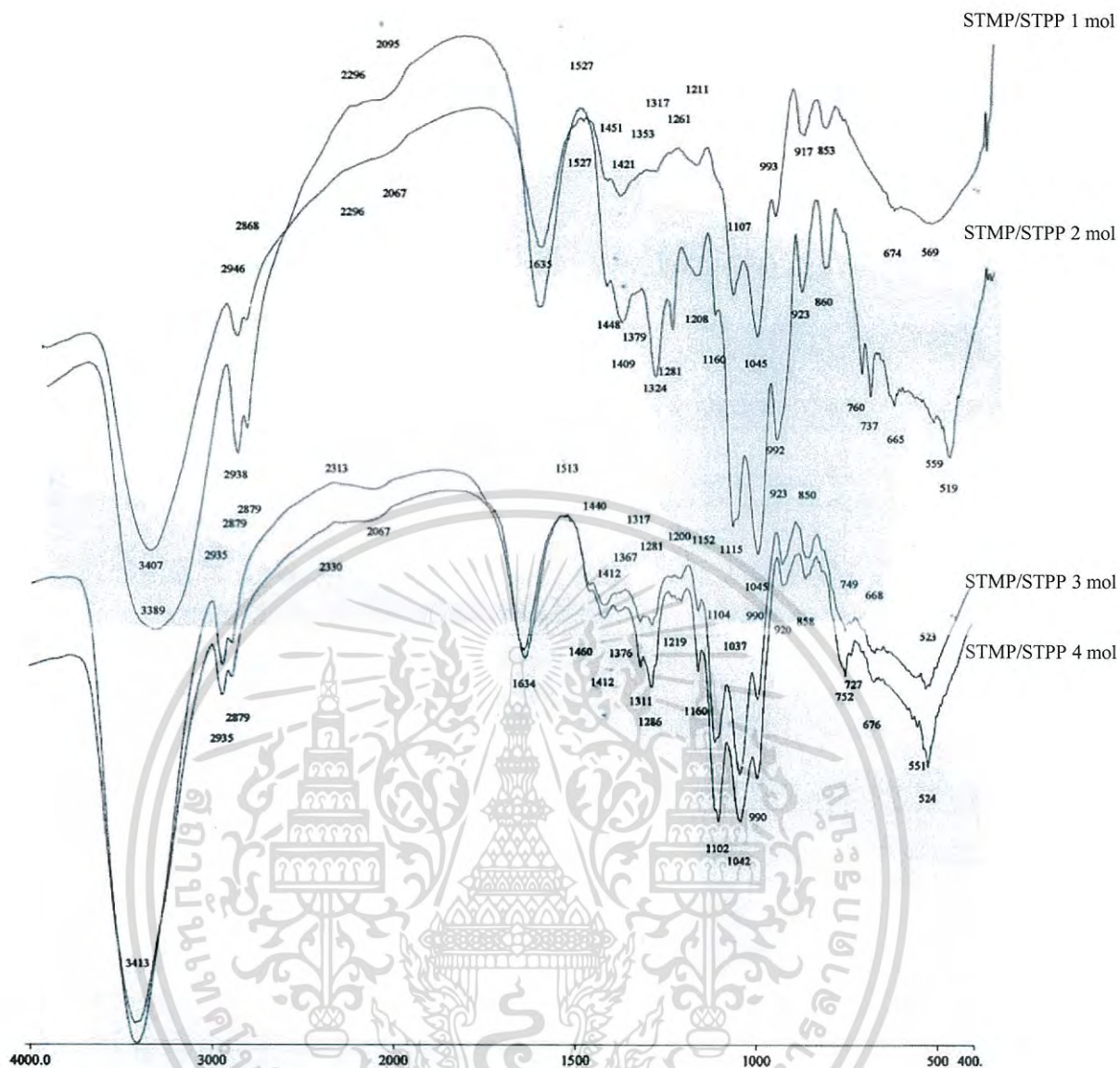
รูปที่ 4.22 พบเลขที่คลื่น 3441 แสดงถึง OH stretching ของ STMP เลขคลื่น 998 cm^{-1} แสดงถึง P-O-C



รูปที่ 4.23 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Sodium tripolyphosphate (STPP)

จากรูปที่ 4.23 พบเลขคลื่น 3441 cm^{-1} แสดงถึง OH stretching ของ STPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

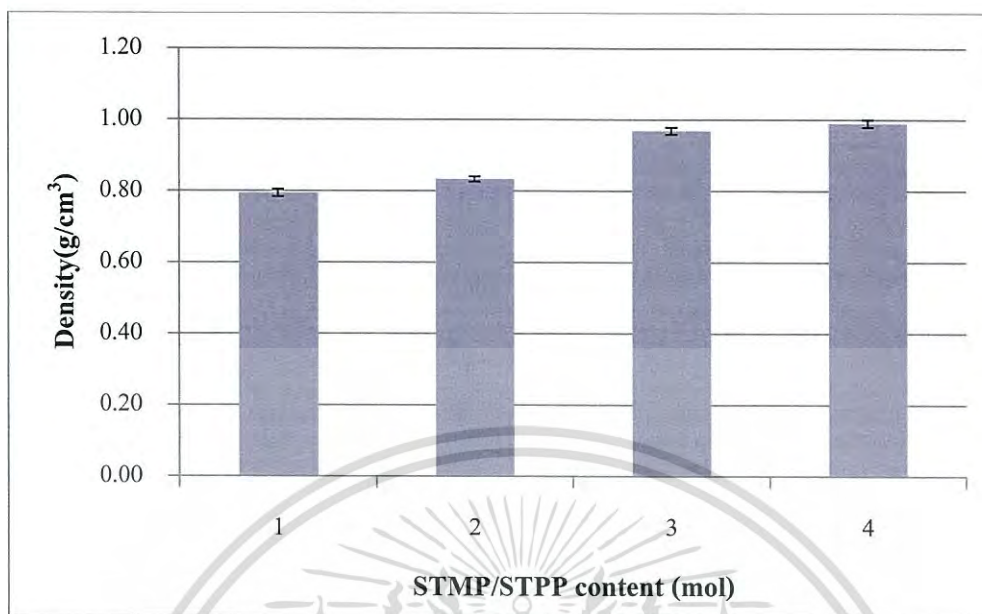


รูปที่ 4.24 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกแมงลัก
ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ STMP/STPP

จากรูปที่ 4.24 พบเลขคลื่นที่ประมาณ $3413-3407\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง O-H stretching ของแมงลัก และ STMP/STPP เลขคลื่นบริเวณ 2938 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching ของแมงลัก เลขคลื่นบริเวณ $1634-1642\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง C=O พบพีคบริเวณ $993-990\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ P-O-C ใน STMP และพีคที่คลื่น $1324-1280\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง P=O ใน STMP อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

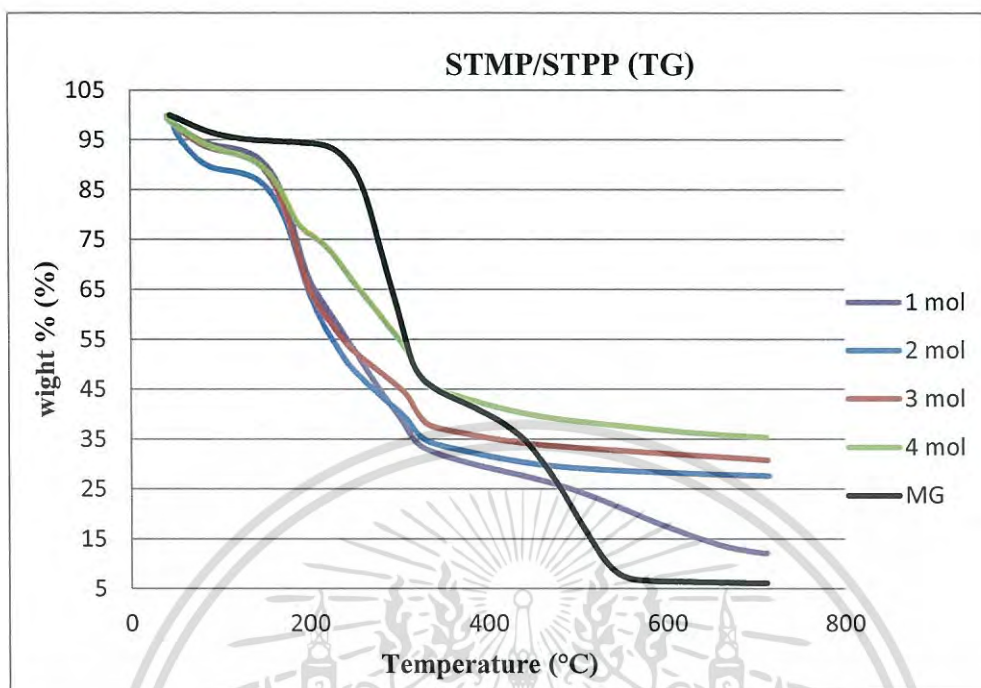
4.3.3 การทดสอบหาความหนาแน่น



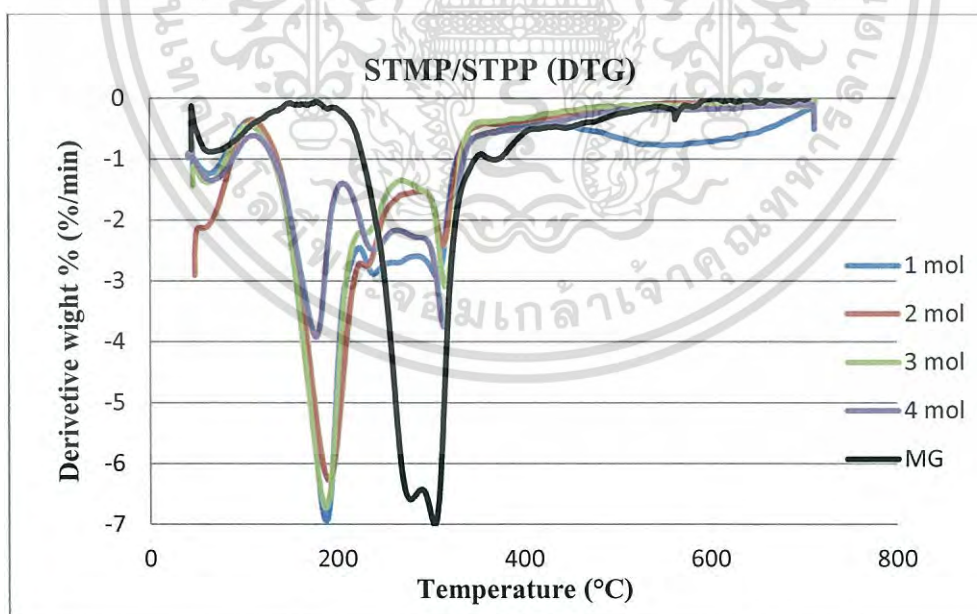
รูปที่ 4.25 ความหนาแน่นของฟิล์มเมงลักเชื่อมโยงด้วย
สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP

จากรูปที่ 4.25 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มเมงลัก เปลี่ยนแปลงตามชนิดและ
ปริมาณสารเชื่อมโยงปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฟิล์มสูงขึ้นด้วย

4.3.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)



รูปที่ 4.26 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่มี STMP/STPP เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง



รูปที่ 4.27 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก ที่มี STMP/STPP เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง

หมายเหตุ : MG = Mucilage gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 9-12

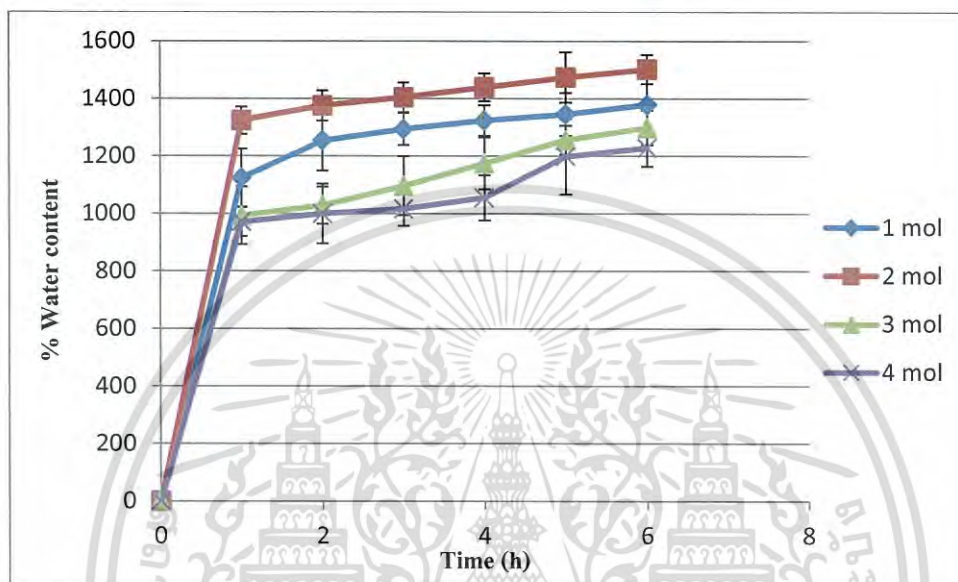
สูตร	อัตราส่วน และ ส่วนผสมของแต่ละสูตร	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
9	สารเมือกจากแมงลัก + STMP/STPP 1 mol + Glycerol	188, 238, 307
10	สารเมือกจากแมงลัก + STMP/STPP 2 mol + Glycerol	191, 238, 314
11	สารเมือกจากแมงลัก + STMP/STPP 3 mol + Glycerol	177, 238, 314
12	สารเมือกจากแมงลัก + STMP/STPP 4 mol + Glycerol	187, 238, 316,

จากตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.26 และ 4.27 พบอุณหภูมิการสลายตัว 3 อุณหภูมิ อุณหภูมิ 177 - 191 °C และอุณหภูมิ 238 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลัก และอุณหภูมิประมาณ 314 - 316 °C เป็นอุณหภูมิการเชื่อมโยงแมงลักด้วย STMP/STPP นอกจากนี้จากรูป 4.26 พบว่ามีกากของแข็งเหลือมากขึ้นเมื่อปริมาณ STMP/STPP มากขึ้น

4.3.5 สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล

4.3.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น

ตัดชิ้นงานตัวอย่างขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นงานไปชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นมาชั่งทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดน้ำ (%water uptake) ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.28

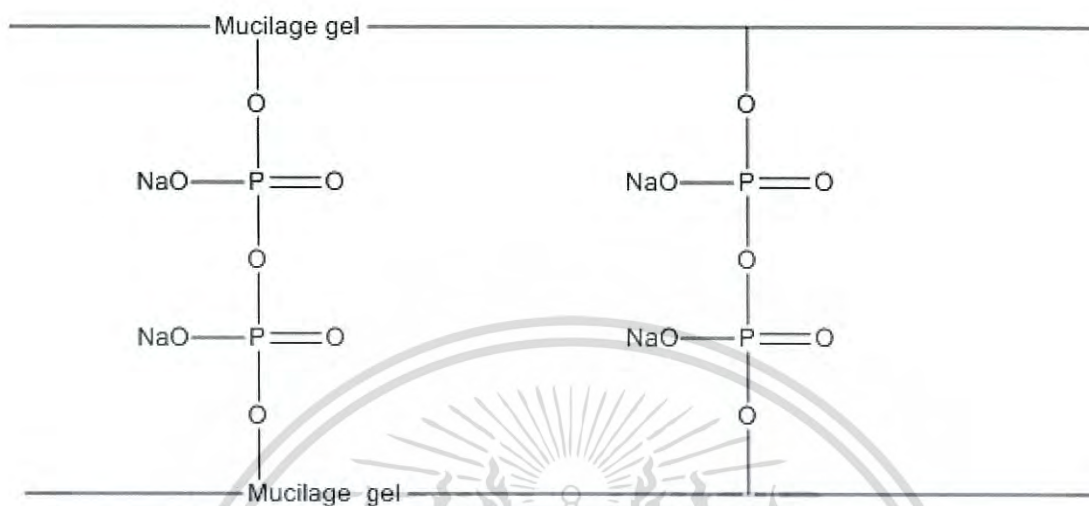


รูปที่ 4.28 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ STMP/STPP

1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

จากรูปที่ 4.28 ฟิล์มสารเมือกของแมงลักเมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP พบว่า 1 ชั่วโมงแรกแผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 1 mol ดูดน้ำ และ 2 mol ดูดน้ำมากขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่แผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 2 mol ดูดน้ำได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 1 mol โดยแผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 1 mol ดูดน้ำได้ 1123% แผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 2 mol ดูดน้ำได้ 1323% แผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 3 mol ดูดน้ำได้ 992% และแผ่นฟิล์มที่มี STMP/STPP 4 mol ดูดน้ำได้ 971% นั่นคือการดูดน้ำของฟิล์มเรียงลำดับดังนี้ ฟิล์มที่มี STMP/STPP 2 mol > 1 mol > 3 mol > 4 mol เนื่องจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง STMP/STPP กับแมงลักซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก นั้น จะเกิดที่หมู่ไฮดรอกซิล เกิดโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.29 การเพิ่มหมู่ฟอสเฟตเข้าไปในโครงสร้างแมงลัก เป็นการเพิ่มหมู่มีขั้ว [41] การใส่ STMP/STPP 2 mol ทำให้การดูดน้ำของฟิล์มแมงลักมากกว่าการใส่ STMP/STPP 1 mol แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ STMP/STPP เป็น 3 และ 4 mol

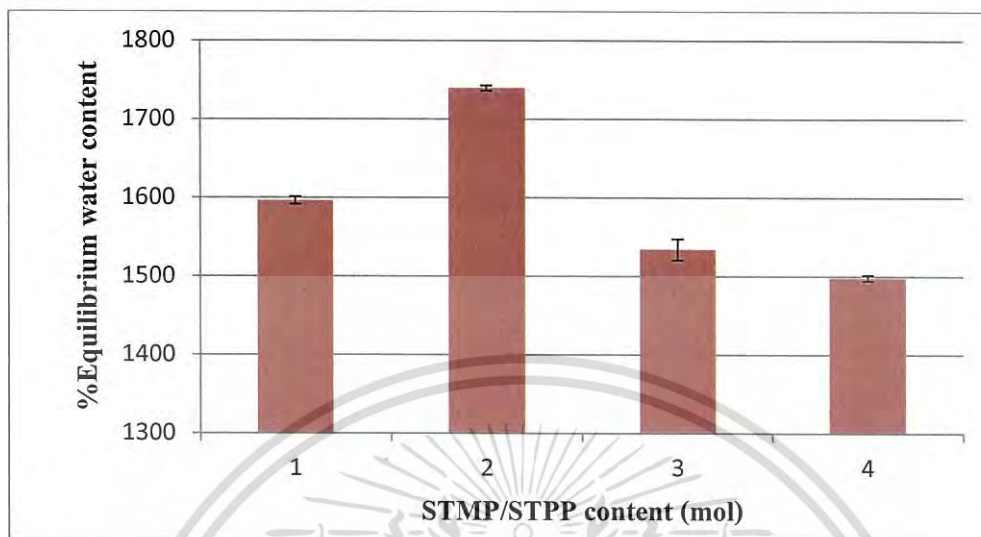
จำนวนพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นมาก เท่ากับเป็นการลดหมู่ ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลง ทำให้โซ่โมเลกุลแข็งทึบใกล้เคียงกัน จุดเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลมากขึ้นจึงทำให้การดูดซึมน้ำของฟิล์มลดลง



รูปที่ 4.29 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยง ระหว่าง STMP/STPP กับแมงลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ STMP/STPP 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

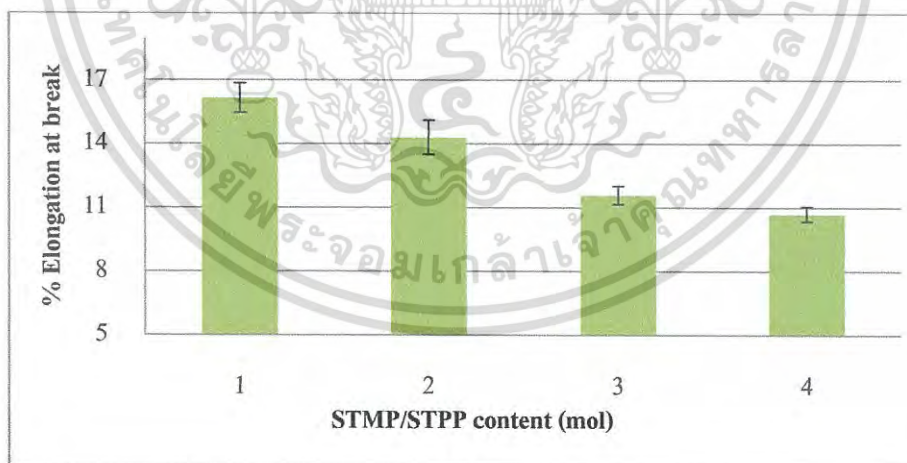
จากรูปที่ 4.30 เมื่อนำแผ่นฟิล์มสารเมือกของแมงลักซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ STMP/STPP มาทดสอบปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มี STMP/STPP 2 mol สามารถดูดซับน้ำได้สูงที่สุดเนื่องจากฟอสเฟตเป็นหมู่มีขั้ว แต่เมื่อปริมาณ STMP/STPP เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลมีค่าลดลง เนื่องมาจากการลดหมู่ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลง จึงทำให้การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มลดลง แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ STMP/STPP 1 mol ดูดน้ำได้ 1596% ปริมาณ STMP/STPP 2 mol ดูดน้ำได้ 1739% ปริมาณ STMP/STPP 3 mol ดูดน้ำได้ 1534% และปริมาณ STMP/STPP 4 mol ดูดน้ำได้ 1497%

4.3.6 สมบัติเชิงกล

4.3.6.1 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

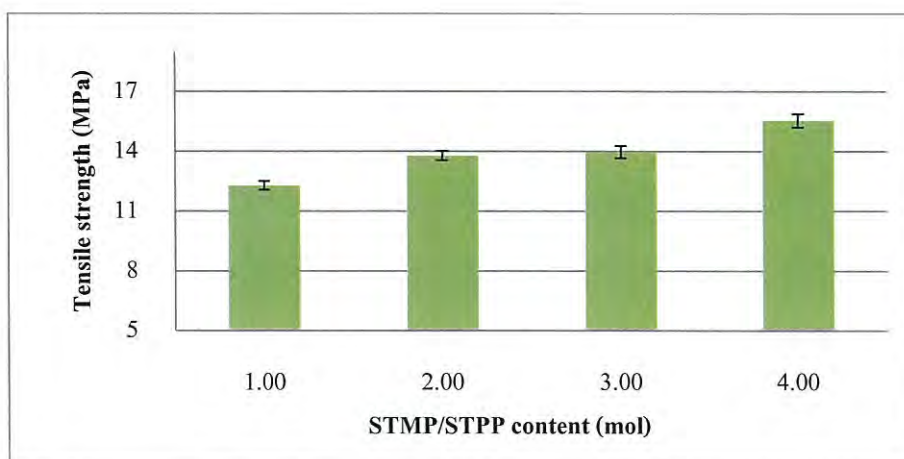
ตารางที่ 4.10 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 9-12

สูตร	อัตราส่วนผสม	% Elongation at break	Tensile strength (MPa)
1	สารเมือกแมงลัก + STMP/STPP 1 mol + Glycerol	16.17 ± 0.69	12.29 ± 0.21
2	สารเมือกแมงลัก + STMP/STPP 2 mol + Glycerol	14.32 ± 0.81	13.78 ± 0.23
3	สารเมือกแมงลัก + STMP/STPP 3 mol + Glycerol	11.59 ± 0.43	13.97 ± 0.30
4	สารเมือกแมงลัก + STMP/STPP 4 mol + Glycerol	10.69 ± 0.36	15.54 ± 0.34



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ค่าความแข็งแรงดึง


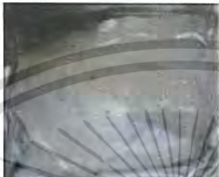
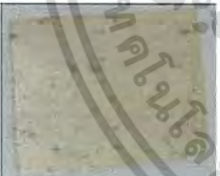
จากรูปที่ 4.31 พบว่า เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่า % Elongation at break เท่ากับ 16.17% 14.32% 11.59% และ 10.69% ตามลำดับ ค่า % Elongation at break ลดลง เมื่อสารก่อพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น เพราะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิแซคคาไรด์ของแมงลัก พันธะเชื่อมโยงทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่ซับซ้อน และพันธะเชื่อมโยงที่มากไปก็อาจไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของโซ่แมงลัก จึงทำให้ค่า % Elongation at break ลดลง แต่ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนี้ แผ่นฟิล์มที่มีสารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP 1 mol , 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 12.29% 13.78% 13.97% และ 15.54% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 เพราะสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่มากขึ้น ทำให้โมเลกุลระหว่างโซ่แมงลักยึดโยงกันมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงมากขึ้น ฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP มีลักษณะค่อนข้างยืดหยุ่นกว่าฟิล์มที่ใช้ BA เป็นสารเชื่อมโยง

4.4 ศึกษาผลของปริมาณ Citric acid ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม สูตร 13-16

4.4.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ปรากฏ

การใช้ปริมาณของ Citric acid ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานที่ปรากฏ โดยทำให้ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงานต่างกัน ดังตารางที่ 4.11

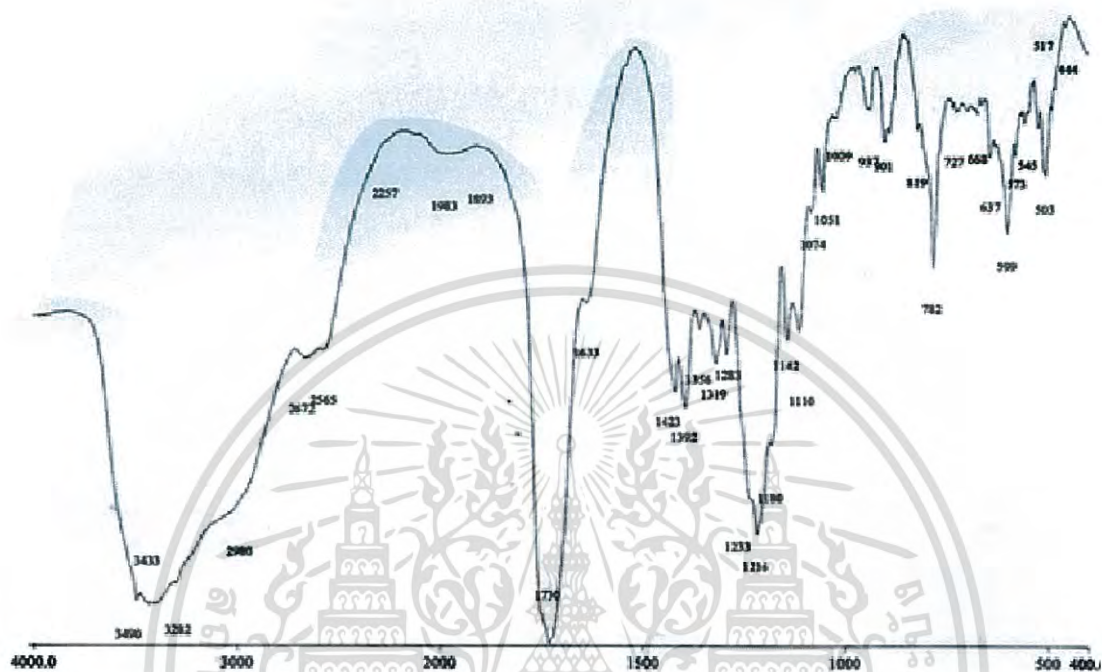
ตารางที่ 4.11 รูปชิ้นงานก่อนและหลังแช่น้ำกลั่น สูตร 13-16

สูตร	รูปก่อนแช่น้ำ	รูปหลังแช่น้ำ	ลักษณะชิ้นงานหลังแช่น้ำ
13			ชิ้นงานบวมตัวมาก และไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
14			ชิ้นงานบวมตัวมาก และไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
15			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ
16			ชิ้นงานบวมตัว และสามารถคงรูปเป็นแผ่นได้เมื่อดูดซับน้ำ

จากตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังแช่น้ำกลั่นของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่เตรียมได้ สูตร 13-16 พบว่า เมื่อนำมาแช่ในน้ำกลั่น ภายใต้สภาวะทดลอง แผ่นฟิล์มบวมตัวมาก และเมื่อปริมาณ Citric acid 1-2 mol ไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่น แต่เมื่อปริมาณ Citric acid เพิ่มขึ้น 3-4 mol หลังดูดซับน้ำแล้ว แผ่นฟิล์มยังคงรูปได้

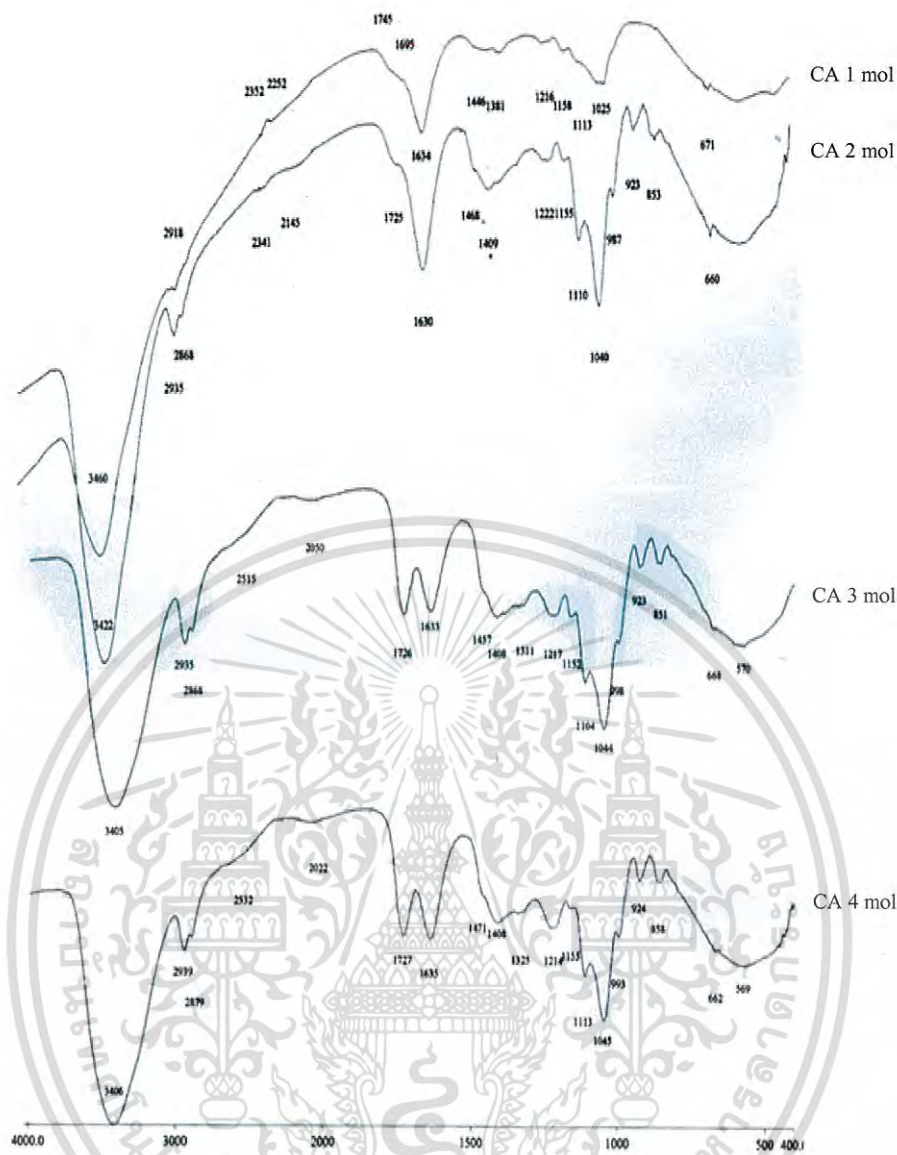
4.4.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ CA รูปที่ 4.33 และของสารเมื่อจากแมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ CA รูปที่ 4.34 ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร



รูปที่ 4.33 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Citric acid

FTIR ของ Citric acid แสดงดังรูป 4.33 พบเลขคลื่นที่ 3433 cm^{-1} แสดงถึง OH stretching เลขคลื่น $1730\text{-}1633\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ C=O stretching ของ ester bond และ carboxyl group ในโมเลกุลของ Citric acid เลขคลื่น 1423 cm^{-1} แสดงถึง OH in plane bending และเลขคลื่นช่วง $1233\text{-}1180\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีคของ C-O [46]

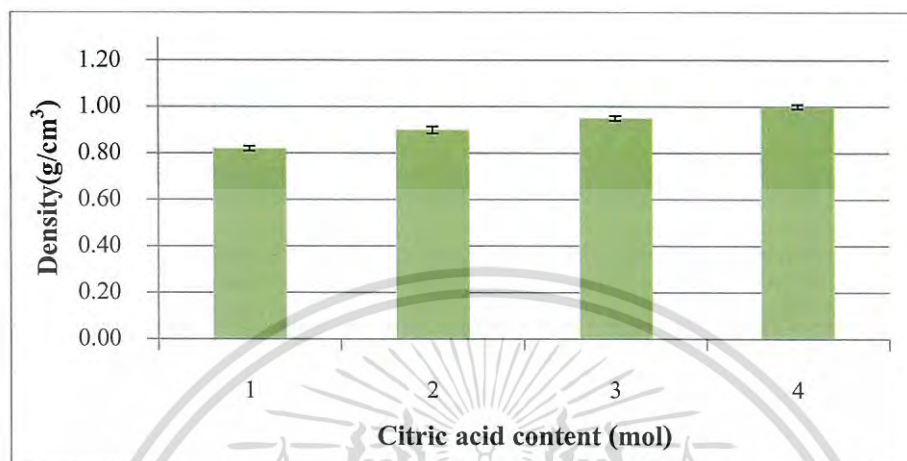


รูปที่ 4.34 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเมือกแมงลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Citric acid

จากรูป 4.34 พบเลขคลื่นที่ประมาณ 3400 cm^{-1} แสดงถึง O-H stretching ของแมงลักและ Citric acid เลขคลื่นเคลื่อนไปที่เลขคลื่นต่ำลงเมื่อปริมาณ Citric acid มากขึ้น แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Citric acid กับแมงลัก เลขคลื่นบริเวณ 2901 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching ของแมงลักและ Citric acid เลขคลื่นบริเวณ 1730 cm^{-1} แสดงถึง C=O ของ ester bond และ carbonyl group ใน Citric acid และจะมีการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ Citric acid ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ Citric acid ทำให้มีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยาเชื่อมโยเอสเทอร์ ในสารเมือกจากเม็ดแมงลักได้เพิ่มมาก เลขคลื่น $1635 - 1630\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง C=O ของแมงลัก เลขคลื่นบริเวณ

1200 cm^{-1} แสดงถึง C-O stretching และเลขคลื่น 1040 cm^{-1} แสดงถึง -C-O-C- ในโมเลกุลของแมงลักและ Citric acid

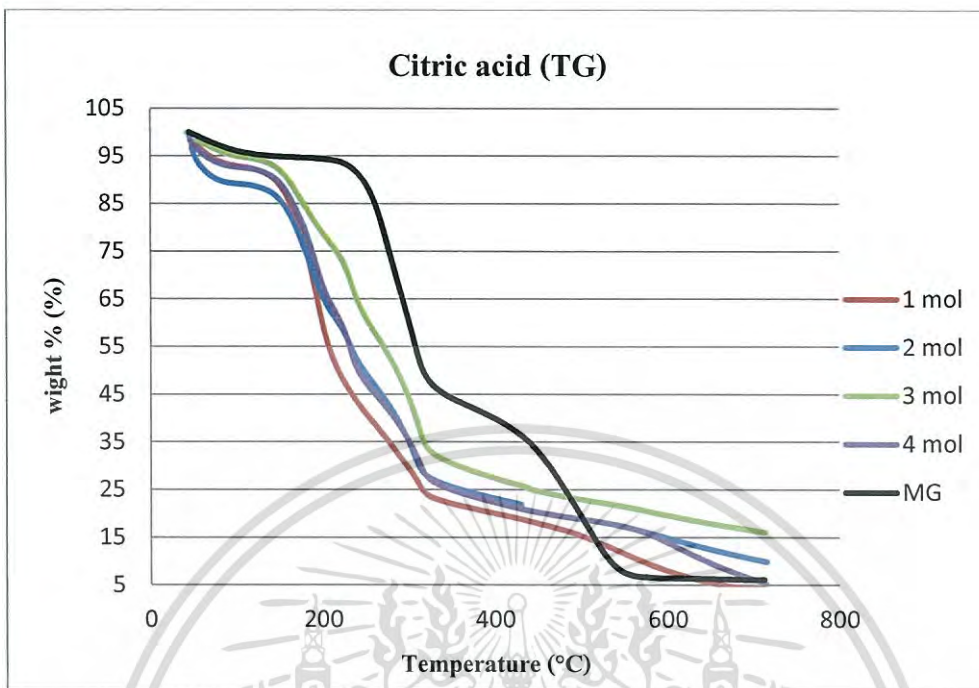
4.4.3 การทดสอบหาความหนาแน่น



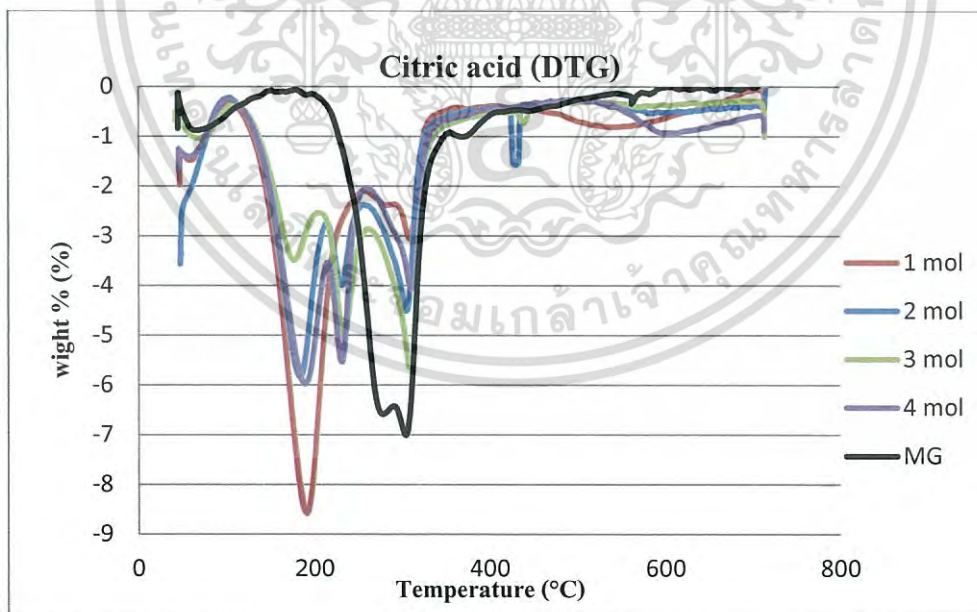
รูปที่ 4.35 ความหนาแน่นของฟิล์มแมงลักเชื่อมโยงด้วยสารก่อกันระเหย Citric acid

จากรูปที่ 4.35 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มแมงลักเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเชื่อมโยง ปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฟิล์มสูงขึ้นด้วย

4.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)



รูปที่ 4.36 แสดงสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี Citric acid เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง



รูปที่ 4.37 แสดงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มี Citric acid เป็นสารก่อก้อนระเชื่อมโยง

หมายเหตุ : MG = Mucilage gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

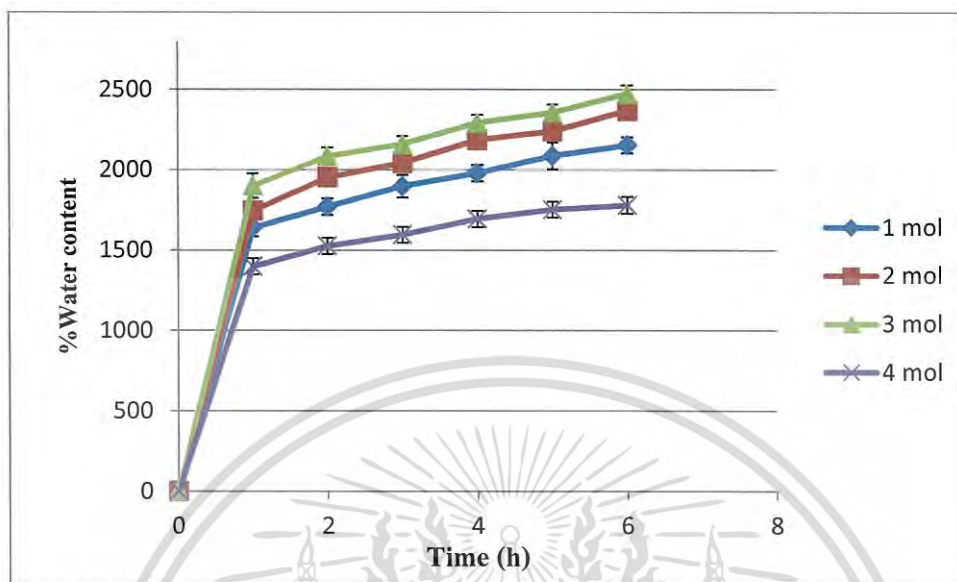
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงอุณหภูมิการสลายตัว สูตร 13-16

สูตร	อัตราส่วนและส่วนผสมของแต่ละสูตร	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
13	สารเมือกจากแมงลัก + Citric acid 1 mol + Glycerol	191, 280, 309
14	สารเมือกจากแมงลัก + Citric acid 2 mol + Glycerol	182, 230, 304
15	สารเมือกจากแมงลัก + Citric acid 3 mol + Glycerol	176, 233, 309
16	สารเมือกจากแมงลัก + Citric acid 4 mol + Glycerol	189, 231, 310

จากตารางที่ 4.12 รูปที่ 4.36 และ 4.37 พบอุณหภูมิการสลายตัว 3 อุณหภูมิ คือประมาณ 176 – 191 °C และ 230 – 280 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลัก เนื่องจากเกิดไฮโดรไลซิส เพราะ CA เป็นกรด อุณหภูมิประมาณ 304 – 310 °C อาจเป็นอุณหภูมิของพันธะเอสเทอร์ระหว่าง หมู่ COOH ของ Citric acid กับหมู่ OH ของแมงลัก เพราะรูป 4.36 พบว่าการสลายตัวช้าลงเรื่อยๆ ตามปริมาณ Citric acid ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณกากของแข็งที่เหลือเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณ Citric acid เพิ่มขึ้น จากการรายงานของ Rui S. และคณะ [42] พบว่าการเติม CA ลงในแป้ง จะทำให้ มีกากของเหลือเพิ่มขึ้น เพราะอาจเกิดพันธะเอสเทอร์

4.4.5 สมบัติการดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำที่สมดุล

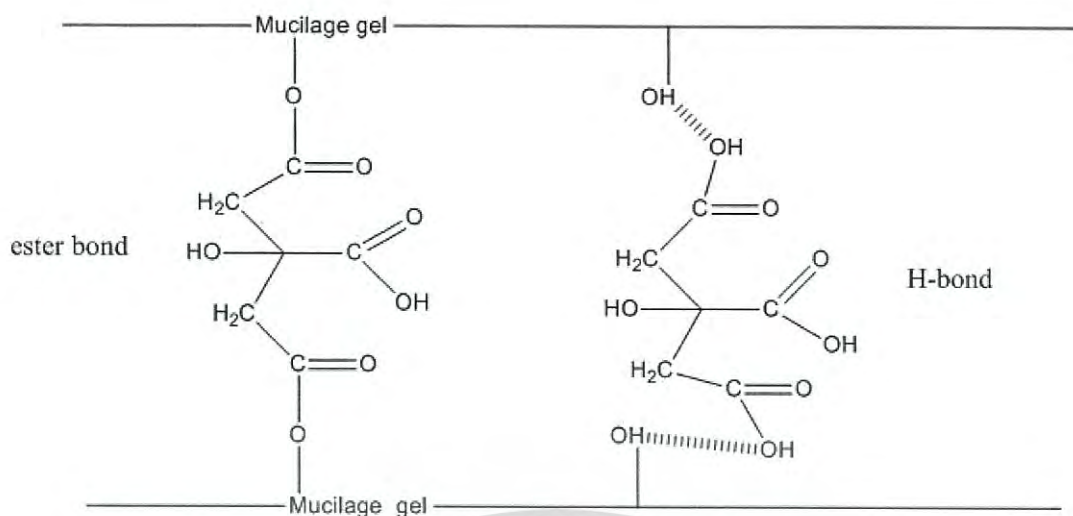
4.4.5.1 สมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น



รูปที่ 4.38 ปริมาณการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ Citric acid

1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

จากรูปที่ 4.38 ฟิล์มสารเมือกของแมงลักเมื่อใส่สารก่อกวนระเหยของ Citric acid พบว่าการดูดน้ำของแผ่นฟิล์ม เรียงลำดับดังนี้ ปริมาณ Citric acid 3 mol > 2 mol > 1 mol > 4 mol เมื่อใช้ Citric acid เป็นสารก่อกวนระเหย หมู่คาร์บอกซิลิกของ Citric acid จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแมงลัก ทำให้หมู่ชอบน้ำลดลง แต่โมเลกุลของ Citric acid เองมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ และหมู่ COOH 3 หมู่ ดังนั้นถ้าใช้ Citric acid มาก เท่ากับเป็นการเพิ่มหมู่ชอบน้ำ ดังนั้นการใช้ Citric acid 3 mol (2473%) จึงดูดน้ำได้มากกว่า 2 mol (2368%) และ 1 mol (2153%) ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณ Citric acid เพิ่มขึ้นเป็น 4 mol (1779%) การดูดน้ำลดลงเพราะจำนวนพันธะเชื่อมโยงมากทำให้ช่องว่างที่น้ำจะแทรกเข้าไปลดลง



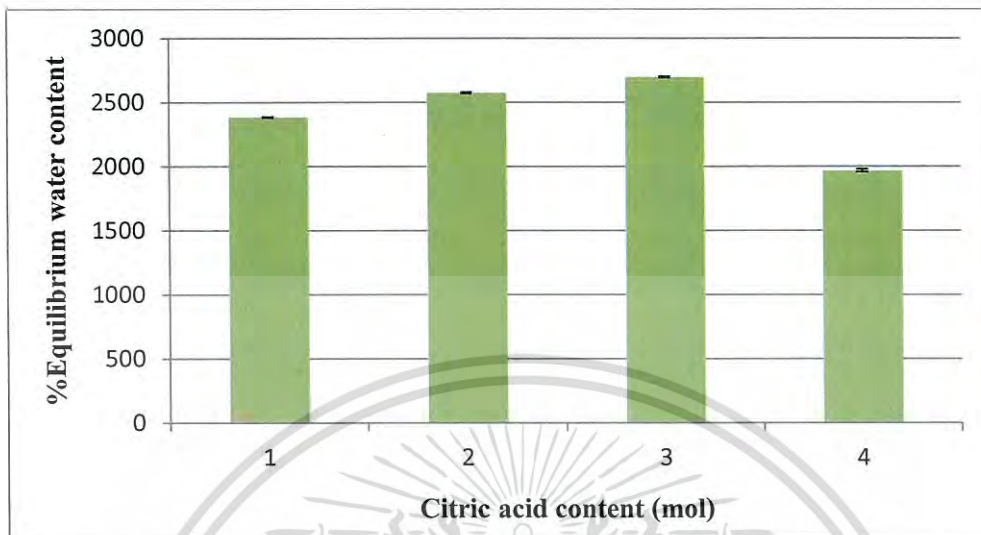
รูปที่ 4.39 โครงสร้างการเกิดพันธะเชื่อมโยง ระหว่าง Citric acid กับแมงลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5.2 สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่นเป็นเวลา

72 ชั่วโมง



รูปที่ 4.40 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีปริมาณ Citric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol

จากรูปที่ 4.40 เมื่อนำแผ่นฟิล์มสารเมือกของแมงลักซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Citric acid มาทดสอบปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มี Citric acid 3 mol สามารถดูดซับน้ำได้สูงที่สุดเนื่องจากโมเลกุลของ Citric acid มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ดังนั้นการใช้ Citric acid มาก เท่ากับเป็นการเพิ่มหมู่ชอบน้ำ ดังนั้นการใช้ Citric acid 3 mol (2695%) จึงดูดน้ำได้มากกว่า 2 mol (2574%) และ 1 mol (2382%) ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณ Citric acid เพิ่มขึ้นเป็น 4 mol (1967%) การดูดน้ำลดลงเพราะจำนวนพันธะเชื่อมโยงมากทำให้ช่องว่างที่น้ำจะแทรกเข้าไปลดลง

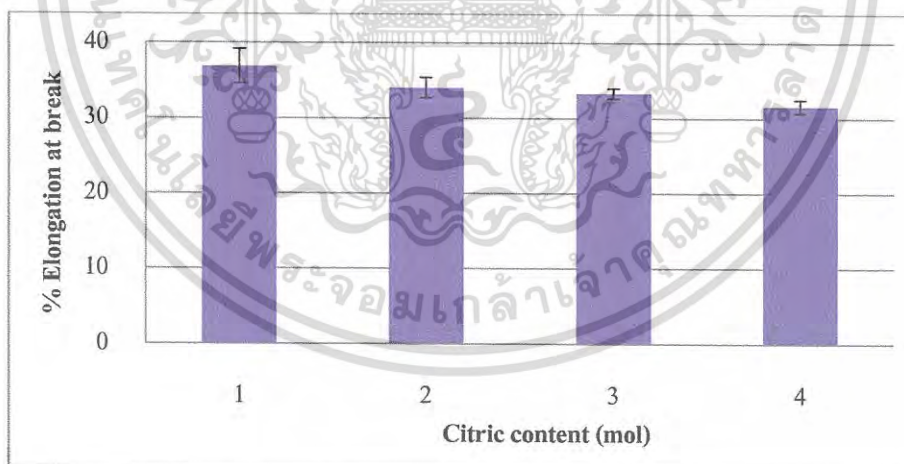
4.4.6 สมบัติเชิงกล

4.4.6.1 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และความแข็งแรงดึง

(Tensile strength)

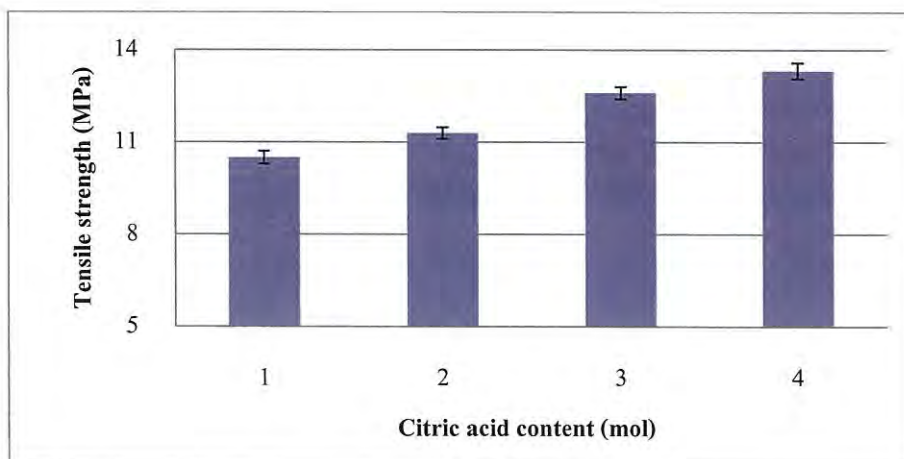
ตารางที่ 4.13 อัตราส่วนผสมของสูตรฟิล์ม สูตร 13-16

สูตร	อัตราส่วนผสม	% Elongation at break	Tensile strength (MPa)
1	สารเมือกแมงลัก + Citric acid 1 mol + Glycerol	36.89 ± 2.28	10.50 ± 0.21
2	สารเมือกแมงลัก + Citric acid 2 mol + Glycerol	34.03 ± 1.36	11.29 ± 0.19
3	สารเมือกแมงลัก + Citric acid 3 mol + Glycerol	33.30 ± 0.68	12.61 ± 0.20
4	สารเมือกแมงลัก + Citric acid 4 mol + Glycerol	31.58 ± 0.88	13.33 ± 0.26



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าเปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



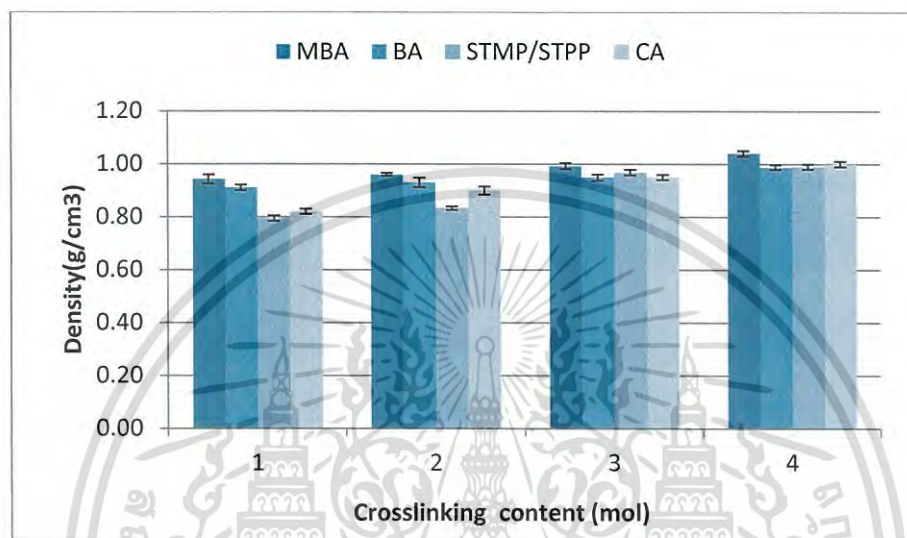
รูปที่ 4.42 ค่าความแข็งแรงดึง

จากรูปที่ 4.42 พบว่า เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง Citric acid 1 mol, 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่า % Elongation at break เท่ากับ 36.89% 34.03% 33.30% และ 31.58% ตามลำดับ ค่า % Elongation at break ลดลง เมื่อสารก่อพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น เพราะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิแซคคาไรด์ของแมงลัก พันธะเชื่อมโยงทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่ซับซ้อน แต่พันธะเชื่อมโยงที่มากเกินไปก็อาจไปขัดขวางการเคลื่อนตัวของโซ่แมงลัก จึงทำให้ค่า % Elongation at break ลดลง แต่ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนี้ แผ่นฟิล์มที่มีสารก่อพันธะเชื่อมโยง Citric acid 1 mol , 2 mol, 3 mol และ 4 mol ให้ค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 10.5% 11.29% 12.61% และ 13.33% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.42 อาจเป็นเพราะสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่มากขึ้น ทำให้สายโซ่ยึดโยงกันมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงมากขึ้น แต่ฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง CA มีลักษณะยืดหยุ่นได้ค่อนข้างดี เพราะพันธะเชื่อมโยง CA เป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่าง CA กับแมงลัก ซึ่งเป็นการลดการเกิดผลึกของแมงลัก ผลการทดลองคล้ายการทดลองที่ใช้ CA ผสมในแป้ง [43]

4.5 เปรียบเทียบผลของสารก่อพันธะเชื่อมโยงชนิดต่างๆมีดังนี้

N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA), Boric acid (BA), Sodium tripolyphosphate/ Sodium trimetaphosphate (STMP/STPP) และ Citric acid (CA)

4.5.1 เปรียบเทียบผลของความหนาแน่นของสารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด



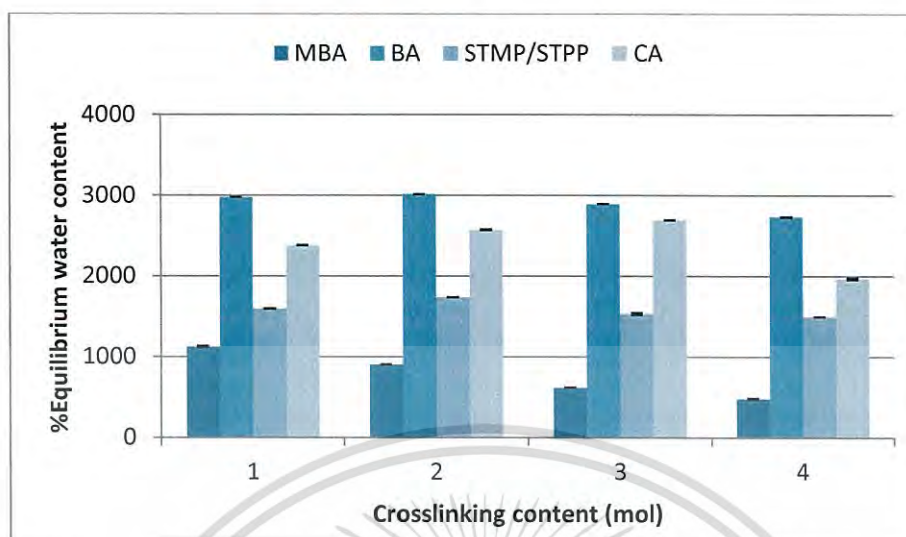
รูปที่ 4.43 ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มแมงลักเชื่อมโยงด้วยสารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด

จากรูปที่ 4.43 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มแมงลัก เปลี่ยนแปลงตามชนิดและปริมาณสารเชื่อมโยง ปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มสูงขึ้นด้วย โดยพบว่าสารเชื่อมโยง 4 ชนิด MBA, BA, STMP/STPP และ CA นั้น เมื่อใช้ในปริมาณ 2 mol ฟิล์มที่ใช้ MBA เป็นสารเชื่อมโยงให้ความหนาแน่นสูงที่สุด ส่วนฟิล์มที่ใช้ STMP/STPP และ CA เป็นสารเชื่อมโยงที่ให้ความหนาแน่นต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 3 และ 4 mol ฟิล์มที่ใช้ STMP/STPP ให้ความหนาแน่นที่สูงที่สุด อาจเนื่องจากความหนาแน่นของฟิล์ม คำนวณจาก มวล/ปริมาตร ปริมาตรชิ้นงานถูกกำหนดให้มีขนาด 1 x 1 x ความหนา เซนติเมตร และคำนวณในสมการ

$$D = M/V$$

โดย D = ความหนาแน่น, M = มวล, V = ปริมาตร

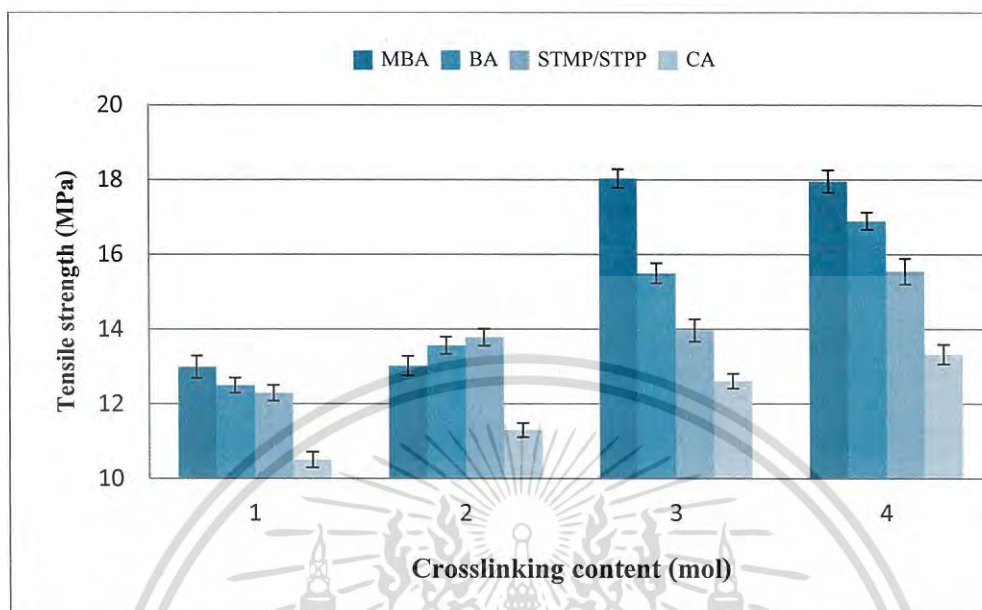
4.5.2 เปรียบเทียบผลของการดูดซับน้ำที่สมดุลของฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด



รูปที่ 4.44 การดูดซับน้ำที่สมดุลของฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด

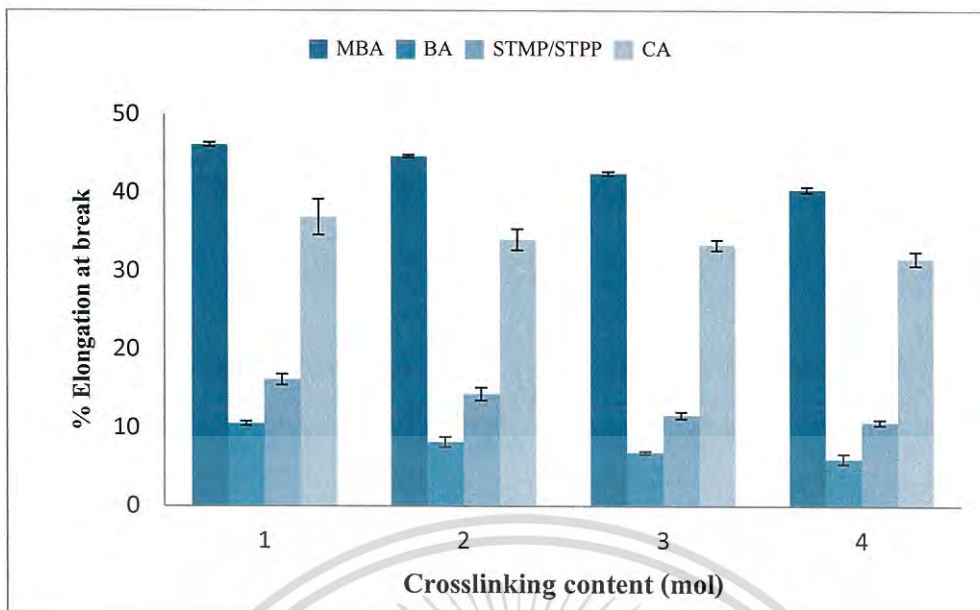
จากรูปที่ 4.44 พบว่าการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มเมงลัก เปลี่ยนแปลงตามชนิดและปริมาณสารเชื่อมโยง โดยการดูดซับน้ำที่สมดุลเรียงลำดับดังนี้ $BA > CA > STMP/STPP > MBA$ เพราะอะตอม B ถูกล้อมรอบด้วยด้วยประจุลบ (-OH) ที่สามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลกับเมงลัก ทำให้เมื่อใส่สารเชื่อมโยง BA จะดูดน้ำได้มากที่สุด การใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยง CA ดูดน้ำได้รองลงมา เนื่องจากโมเลกุลของ CA มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ดังนั้นการใช้ CA มาก เท่ากับเป็นการเพิ่มหมู่ชอบน้ำ ส่วนการใช้ STMP/STPP เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง พบว่าดูดน้ำมากกว่า MBA เนื่องจากฟอสเฟตเป็นหมู่มีขั้ว แต่เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP ที่มากขึ้น การดูดซับน้ำลดลงเพราะเป็นการลดหมู่ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลง ส่วนสารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA เกิดจุดเชื่อมโยงในโครงสร้างได้ดี ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงมาก การดูดน้ำจึงน้อยลง

4.5.3 เปรียบเทียบผลของเปอร์เซ็นต์ดิงยี่ต ฌ จุดขาด (% Elongation at break) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด



รูปที่ 4.45 ค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มเมงลักที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด

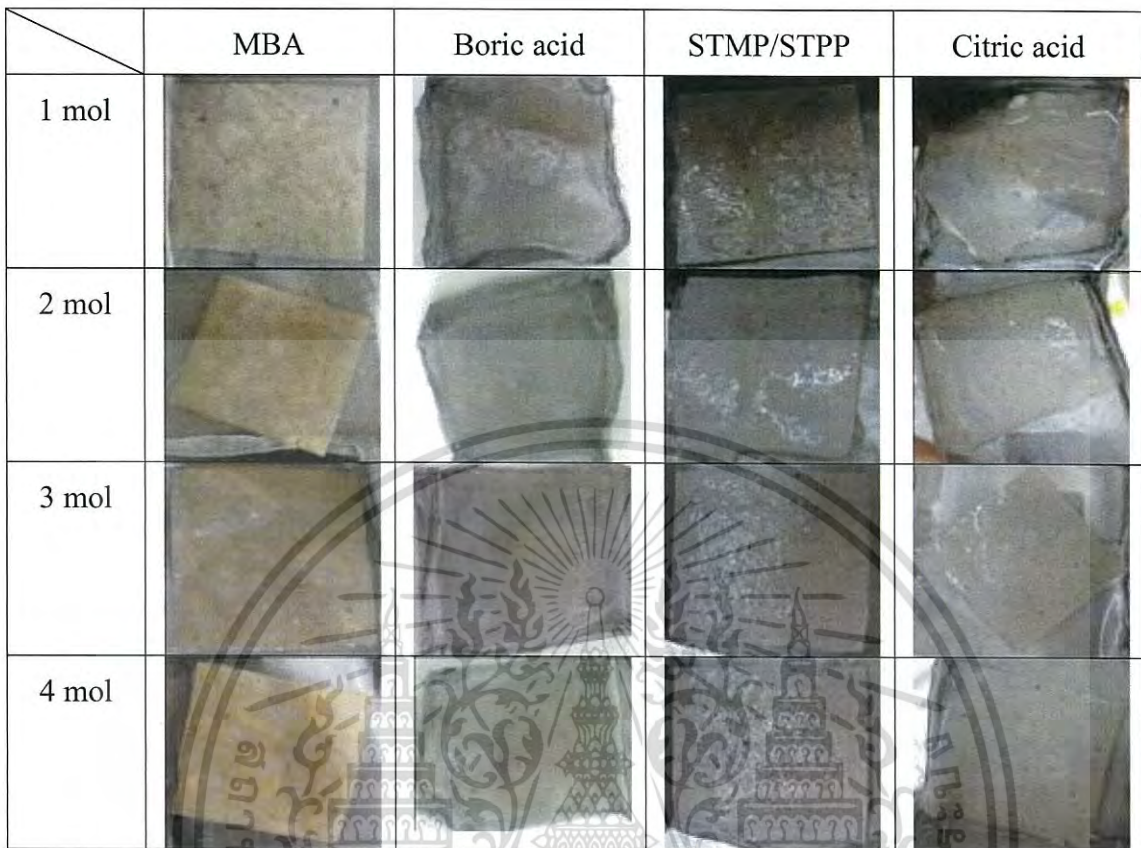
จากรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดึงขึ้นกับ การเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่โโมเลกุลของเมงลัก เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงมาก พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA 3 mol และ 4 mol ให้ค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุด และค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง BA 1 mol ให้ค่าความแข็งแรงดึงน้อยที่สุด



รูปที่ 4.46 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มแมงลัก
ที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด

จากรูปที่ 4.46 แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA ให้ค่า เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มากที่สุด ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด เรียงลำดับดังนี้ $MBA > CA > STMP/STPP > BA$ จากผล XRD พบว่าค่า % Crystallinity ของ แมงลัก + MBA 3 mol เท่ากับ 9% พบว่าสารเชื่อมโยง MBA เข้าทำปฏิกิริยาได้มาก ส่งผลให้การจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ยาก เพราะสารเชื่อมโยงไปขัดขวางการเกิดผลึก จึงทำให้มีส่วน amorphous มาก ส่งผลให้ค่า เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มากที่สุด

4.5.4 รูปแผ่นฟิล์ม ณ จุดจับน้ำที่สมดุลของฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงต่างชนิด



รูปที่ 4.47 รูปแสดงการบวมตัวของฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยงด้วย
MBA, BA, STMP/STPP และ CA

พบว่าฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA คงรูปเป็นแผ่นได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ส่วนแผ่นฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง BA เปื่อย ชุ่ม ไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้เลย แสดงว่า BA เกิดพันธะไฮโดรเจนหรือไฮโดรเจนกับแมงลักซึ่งไม่แข็งแรง แผ่นฟิล์มที่ใส่ CA สามารถคงรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้เมื่อใส่ Citric acid 3 mol ขึ้นไป แต่แผ่นฟิล์มก็คงรูปได้ไม่ดีเท่า MBA แสดงว่า CA อาจเกิดพันธะเชื่อมโยง ester บางส่วนกับโมเลกุลของแมงลัก ส่วนฟิล์มที่ใส่ STMP/STPP ฟิล์มเมื่อบวมตัวมีลักษณะเป็นวุ้น คงตัวในน้ำได้ แต่ฟิล์มบวมตัวมากเมื่อเทียบกับสูตรที่ใส่ MBA แสดงว่า STMP/STPP เกิดการเติมหมู่ PO_4 เข้าไปในโมเลกุลของแมงลักบางส่วน เป็นการเพิ่มขี้ไให้กับแมงลัก แต่ไม่เปื่อยชุ่มเหมือนกรณีของ BA เพราะพันธะที่เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์













เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มทุกประเภทแล้ว จึงเลือกฟิล์ม MBA มาศึกษาการย่อยสลายเมื่อคลุกหมัก เนื่องจากยังคงรูปฟิล์มอยู่ได้เมื่อถูกน้ำ ฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงอื่นอาจสลายตัวเร็วเกินไป

4.6 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มด้วยวิธีการคลุมดิน









ตารางที่ 4.14 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่มี MBA เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง

สูตร	ก่อนคลุมดิน	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์
MBA 1 mol			
MBA 2 mol			
MBA 3 mol			
MBA 4 mol			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	8 สัปดาห์
MBA 1 mol			
MBA 2 mol			
MBA 3 mol			
MBA 4 mol			

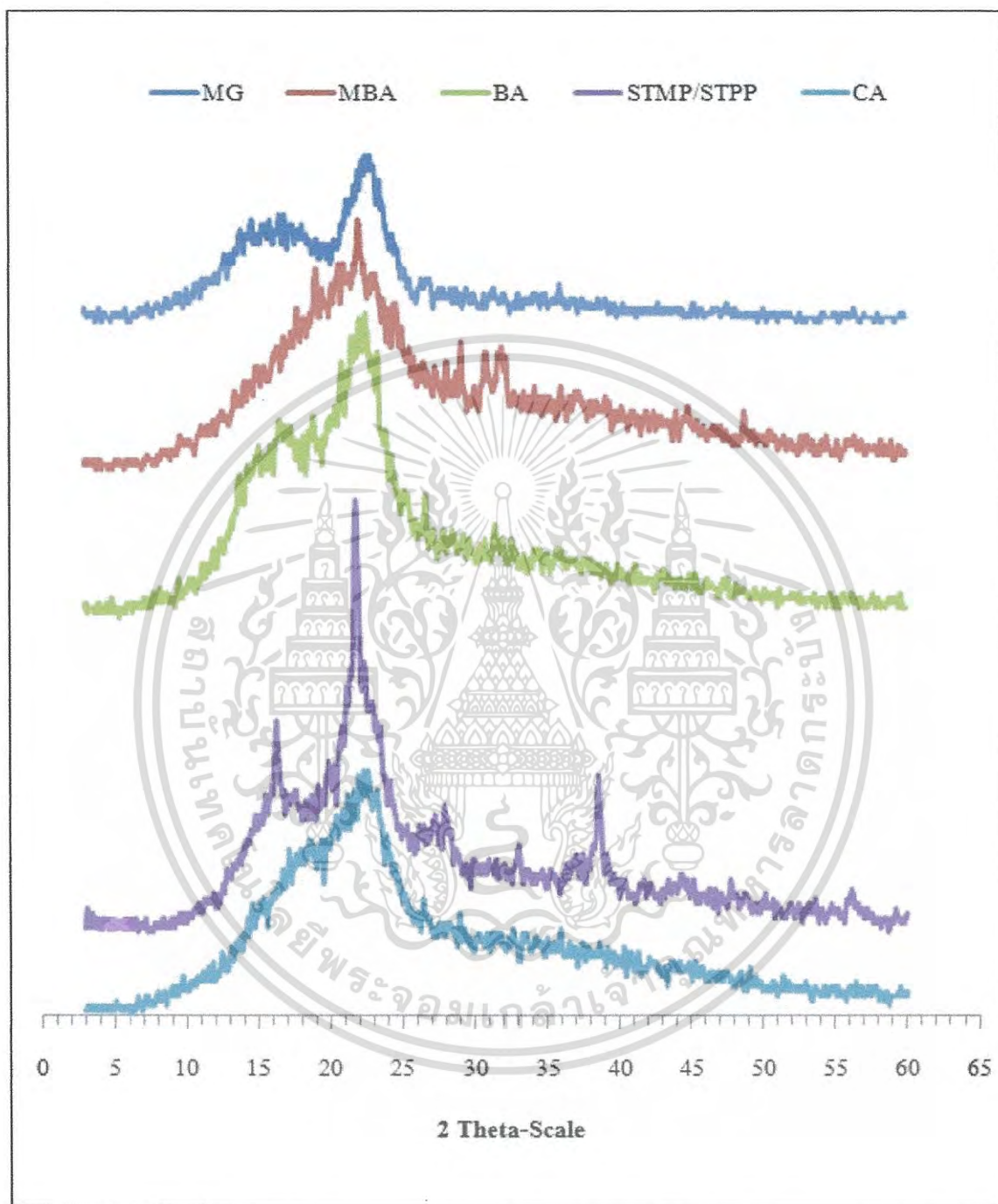
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์
MBA 1 mol		
MBA 2 mol		
MBA 3 mol		
MBA 4 mol		

เมื่อเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มที่ใส่ MBA 4 mol สามารถคงรูปร่างเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีที่สุด ฟิล์มที่มี MBA 1 mol แผ่นฟิล์ม บิด งอ มากกว่าทุกสูตร ส่วนฟิล์มที่มี MBA 2 mol และ 3 mol บิด งอเช่นกัน แต่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตรงขอบของแผ่นฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 โครงสร้างของผลึก [X-ray diffractometer (XRD)]



รูปที่ 4.48 โครงสร้างของผลึกที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อม โยงชนิดต่างๆ

หมายเหตุ : MG = Mucilage gel

รูปที่ 4.48 พิกของแมงลักมี 2 พิก โดยพิกเล็กที่ 16.5° และพิกใหญ่ที่ 22.8° ที่แสดงความ เป็นผลึกขององค์ประกอบแต่ละส่วนของเซลล์ูโลส [47]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติม MBA 3 mol ลงในแมงลักทำให้พีค 2 พีค ที่แสดงความเป็นผลึกขององค์ประกอบแต่ละส่วนของแมงลักรวมเป็นพีคเดียว แสดงว่ากลไกอนุโมลติสระของการเชื่อมโยงเกิดทั้งสองส่วน การเชื่อมโยงเกิดแบบ random ความเป็นผลึกของแมงลักลดลง ทำให้เมื่อนำมาเตรียมฟิล์ม โครงผลึกจึงเปลี่ยนอย่างสิ้นเชิง ซึ่งคล้ายกรณีของการเติม CA เป็นสารเชื่อมโยง

การเติม BA 3 mol ลงในแมงลัก ทำให้พีค 2 พีคของแมงลักยังคงอยู่ แต่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง 2θ โดยพีคเล็กที่ 16.5° เปลี่ยนเป็น 16.2° และพีคใหญ่ 22.8° เปลี่ยนเป็น 22° เมื่อเติม BA แสดงว่าการเชื่อมโยงด้วย BA ไม่ทำให้โครงผลึกเดิมของแมงลักเปลี่ยนแปลง ซึ่งคล้ายกับการใช้ STMP/STPP เป็นสารเชื่อมโยง

การเติม STMP/STPP 3 mol ลงในแมงลัก ทำให้พีค 2 พีคของแมงลักยังคงอยู่ และมีความเข้มสูงมาก ทั้งๆที่ความเป็นผลึกของแมงลักลดลง แสดงว่ามีบางส่วนของโซ่แมงลักในส่วน amorphous จัดตัวเป็นระเบียบหลังการเชื่อมโยง [44] ตำแหน่งของ 2θ เปลี่ยนไปเล็กน้อย โดยพีคเล็กที่ 16° เปลี่ยนเป็น 16.2 ° และพีคใหญ่ที่ 22.8° เปลี่ยนเป็น 22° เมื่อเติม STMP/STPP การเชื่อมโยงด้วย STMP/STPP ไม่ทำให้โครงผลึกของแมงลักเปลี่ยนมากนัก ซึ่งคล้ายกับการใช้ BA เป็นสารเชื่อมโยง

การเติม CA ทำให้พีค 2 พีคของแมงลักรวมเป็นพีคเดียว แสดงว่า CA สามารถเข้าไปและลด inter และ intramolecular H-bond ระหว่างแมงลักลง ทำให้สายโซ่ของแมงลักมีการเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ การเคลื่อนที่ของแมงลักสายโซ่สั้นๆที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสพบมากขึ้น ความเป็นผลึกของฟิล์มแมงลักลดลง ลักษณะ XRD ของฟิล์มแมงลักคล้ายกับเมื่อใช้ MBA เป็นสารเชื่อมโยง

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า % Amorphous และ % Crystallinity

	% Amorphous	% Crystallinity
Mucilage gel	56	43
MBA 3 mol	90	9
BA 3 mol	72	27
STMP/STPP 3 mol	64	35
CA 3 mol	81	18

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ค่า % Crystallinity เรียงลำดับดังนี้ Mucilage gel > STMP/STPP > BA > CA > MBA แสดงว่าสารเชื่อมโยง MBA เข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากที่สุด และ STMP/STPP เข้าทำปฏิกิริยาได้น้อยที่สุด ส่งผลให้ฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมโยง MBA มี % amorphous สูงจึงทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะทางกายภาพที่ดี มีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าฟิล์มที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสารเมือกจากแมงลักซึ่งเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ทำให้สารเมือกแมงลักเกิดการเชื่อมโยงโดยใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยง 4 ชนิด ได้แก่ N, N'-methylenebisacrylamide (MBA), Boric acid (BA), Sodium trimetaphosphate/Sodium tripolyphosphate (STMP/STPP) และ Citric acid (CA) เพื่อคุณสมบัติต่างๆ จากสารเชื่อมโยงทั้ง 4 ชนิด โดยการนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติการบวมน้ำ (% Swelling) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D-1822-L ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง XRD หาความหนาแน่นของแผ่นฟิล์ม และทดสอบการคลวมคิน

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพในสูตรต่างๆ พบว่า ในทุกๆ สูตรขึ้นงานจะมีสีออกปาทาสีเหลืองหรือน้ำตาลอ่อน ซึ่งเป็นสีของแมงลักสลายตัวในขั้นตอนการอบแห้ง

2. เมื่อใส่สารเชื่อมโยง N,N'-methylenebisacrylamide (MBA) พบว่าแผ่นฟิล์มมีลักษณะที่ค่อนข้างยืดหยุ่นดี และสามารถคงรูปร่างได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารก่อพันธะเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ เมื่อทำการทดสอบการบวมน้ำ และเมื่อเพิ่มปริมาณ MBA มาก การดูดน้ำยิ่งน้อยลง ทำให้แผ่นฟิล์มคงรูปร่างได้ดี

3. เมื่อเทียบกับสารก่อพันธะเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง Boric acid ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะที่ค่อนข้างกรอบ เปราะ ยืดหยุ่นไม่ดีเท่าที่ควร และเมื่อทำการทดสอบการบวมน้ำพบว่า แผ่นฟิล์มไม่สามารถคงรูปร่างได้

4. เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง Citric acid แผ่นฟิล์มค่อนข้างฉีก ขาด ได้ง่าย และเมื่อทำการทดสอบการบวมน้ำพบว่า แผ่นฟิล์มไม่สามารถคงรูปร่างได้

5. เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง STMP/STPP ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มคล้ายกับสูตรที่ใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยง MBA แต่เมื่อทำการทดสอบการบวมน้ำ พบว่าแผ่นฟิล์มไม่สามารถ

คงรูปร่างได้ดีนัก ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

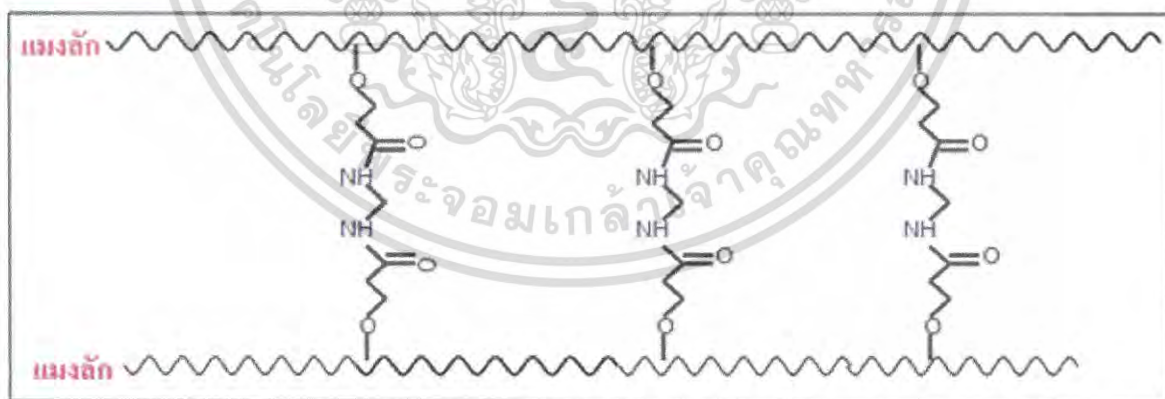
6. ผลการทดสอบของสมบัติเชิงกล พบว่าค่าของความแข็งแรงดึง ในสารก่อกันระเชื่อมโยงทั้ง 4 ชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ค่า เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ในสูตรที่ใช้สารก่อกันระเชื่อมโยง MBA ให้ค่าสูงที่สุด และสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม คือแผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นที่ดี ดังนั้น MBA จึงเป็นสารก่อกันระเชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุด ในสภาวะการทดลองนี้

7. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่าการใช้ MBA กับ CA ทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงและความเป็นผลึกลดลง ส่วนการใช้ BA และ STMP/STPP ไม่ทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงแต่ทำให้ความเป็นผลึกลดลง

8. จากผลการทดลองเรื่องการดูดซับ โดยเลือกเฉพาะสูตรที่ใช้สารก่อกันระเชื่อมโยง MBA เป็นตัวทดสอบ เมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่าที่อัตราส่วน MBA 4 mol แผ่นฟิล์มบิดงอตัวได้ช้ากว่าอัตราส่วนอื่นๆ และพบว่า ฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่ใช้สารก่อกันระเชื่อมโยง MBA สามารถทนความชื้นที่มีอยู่ภายในดินได้ดี

9. แผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่ดีที่สุดคือสูตร 4 ซึ่งมีปริมาณสารเมือกจากแมงลัก 300 กรัม, MBA 4 mol, APS 1 mol และกลีเซอรอล 1 กรัม เนื่องจากมีสมบัติการดูดซับน้ำน้อย แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นที่ดี เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป อาจจะเป็นทางด้านการเกษตรเป็นต้น

แบบจำลองการเชื่อมโยง MBA บนสารเมือกแมงลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เวลาในการปั้นเอกสารเมื่อกจากเม็ดเมงลักไม่ควรนานเกินไป เพราะจะทำให้เม็ดสีดำแตก
2. ในขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์ม โดยการใช้เทคนิคการเทหล่อ (Casting) แล้วนำไปอบให้แห้งไม่ควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงเกินไป เพราะจะทำให้แผ่นฟิล์มเกิดการเสียสภาพเนื่องจากความร้อนและเกิดการเปลี่ยนสี
3. ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมื่อกเมงลักควรทำให้ความหนาความสม่ำเสมอและไม่หนาจนเกินไป เพราะจะทำให้ชิ้นงานแห้งช้า ใช้เวลาใช้เวลานานในการอบนานซึ่งเป็นผลให้ชิ้นงานสลายตัวเกิดการเปลี่ยนสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Metal and Materials Technology Center (MTEC). “พลาสติกย่อยสลายได้.” [online]. Available: (18 ตุลาคม 2555)
http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html
- [2] อัจฉราพร รัตนมณี. “ฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้จากอีโคเพล็กผสมแป้งคัดแปรเอสเทอร์และแป้งพรีเจด สำหรับงานเกษตรกรรม.” วิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
- [3] S.Godbole.,S. Gote., M. Latkar and T.Chakrabarti. “ **Preparation and characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate-starch blend films.**” Bioresource technology. Vol.86, 2003. pp.33-37.
- [4] R.L. shogren , W.M. Doane , D. Garlotta J.W. Lawton and J.W. Willett. **Biodegradation of starch/poly(lactic acid /poly(hydroxyester-ether) composite bars in soil.** 2003.Polymer degradation and Stability. Vol.79: pp.405-411.
- [5] แมงลัก. [online]. Available: (15 ตุลาคม 2555)
http://www.tungsong.com/samunpai/drug/53_manglux/manglux.html
- [6] ไฟเบอร์สกัดจากเมล็ดแมงลักกับการลดน้ำหนัก. [online]. Available: (15 ตุลาคม 2553)
<http://www.samunpai.com/diet/show.php?id=53&cat=3>
- [7] [Online]. Available: <http://www.samunpai.com/diet/show.php?id=53&cat=3>
- [8] มุลนิธิหมอชาวบ้าน. “แมงลัก : ผักพื้นบ้านน่ารักที่ไม่ใช่ตัวเมง” [Online]. Available :
<http://www.doctor.or.th/>. 1997
- [9] “สารเมือกแมงลัก.” [Online]. Available :<http://www.texturantsystemss.com/texturant/html/e/Product/alginate/mole.htm>. 2006. (20 ตุลาคม 2555)
- [10] “Ammonium persulphate.” [Online]. Available : <http://www.chemblink.com/products/>. (20 ตุลาคม 2555)
- [11] “N,N'-Methylenebisacrylamide.” [Online]. Available :
<http://www.chemblink.com/products/>. (20 ตุลาคม 2555)
- [12] “Boric acid.” [Online]. Available : http://www.wikipedia.org/wiki/Boric_acid
 (20 ตุลาคม 2555)
- [13] “Sodium tripolyphosphate.” [Online]. Available : http://www.wikipedia.org/wiki/Sodium_Tripolyphosphate. (20 ตุลาคม 2555)

เอกสาร [14] “Sodium trimetaphosphate.” [Online]. Available : http://www.wikipedia.org/wiki/Sodium_Trimetaphosphate
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

trimetaphosphate. (20 ตุลาคม 2555)

- [15] “Citric acid.” [Online]. Available : http://www.wikipedia.org/wiki/Citric_acid. (20 ตุลาคม 2555)
- [16] อรุณา สรวารี. 2546 . สารเติมแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [17] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : บุ๊คเน็ท. 2548.
- [18] เต็มสุข แดงหอม, สิริรัตน์ พานิช, กฤษณา ปิวสาร, จุฑาทิพย์ นิลคูหา, วงศ์วลี ทองคอนง้าว และณรงค์ศักดิ์ เจริญศิริ. การทดสอบสมบัติเชิงกล. [online]. Available: (18 ตุลาคม 2555)
- [19] ณีจรรยา ศรีสุภาพ, นิรามัย บุญเนียม และสุธิดา สบายแท้ “ การศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซานที่เคลือบด้วยอะลูมินา.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2553.
- [20] พิริยธร สุวรรณมาลา และคณะ. “ตัวดูดซับโลหะชนิดใหม่เตรียมโดยการใช้ล้าอเล็กตรอนเหนี่ยวนำปฏิกิริยา การเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง.” [Online]. Available : Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT).mht
- [21] Prachaub chaibu and Buncha chawanchai. “วิจัยตัวดูดซับและศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอออนของโลหะหนักในสารละลาย.” [online]. Available: (18 ตุลาคม 2555)
- [22] การทดสอบสมบัติความร้อน. [online]. Available: (18 ตุลาคม 2555)
http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_scanning_calorimetry
- [23] ชिरุยท วิไลวัลย์ และ วรวรรณ พันธุมนาวิน. “อินฟราเรดสเปกโทรเมทรี FTIR”. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548
- [24] ณัฐชวีศา รัศมีพงศ์. “การดัดแปรสารเมือกจากแมงลักเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
- [25] กุลชิตา แซ่อู่. “พฤติกรรมการพองตัวและสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลผสมระหว่างพอลิ-2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลตและสารเมือกจากเม็ดแมงลัก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [26] พดาร์ตน์ นิลเจียรนัย, จินานาฎ วิทยาประชากร, โรบิรต์ มอลลอย และคณาัฐ ฌ ลำปาง. “การออกแบบและสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลสำหรับใช้งานทางการแพทย์เพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล.” Chiangmai Journal of Science, ฉบับที่ 34, ตุลาคม 2550. หน้า 183-189.

[27] พรวิ สุมิตร. “ การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้จากไคโตซานกับแป้งดัดแปรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนนิตยสารใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสเทอร์.” วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

[28] G.S Mugnozza., E. Schettini., G. Vox., M. Malinconico., B. Immirzi and S. Pagliara.

“**Mechanical properties decay and morphological behavior of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment.**” *Polymer Degradation and Stability*.

Vol.91, 2006. pp. 2801-2808.

[29] H. Dave , P.V.C. Roa และ J.D Desai .1997. “ **แป้งที่ผสมด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และทำการเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มเพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ.**” [online]. Available: (18 ตุลาคม 2555)

[30] Y.J Kim , Y.M Lee และ Park .1994. “ **การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์โดยแป้ง.**” [online]. Available: (19 ตุลาคม 2555)

www.phtnet.org/research/perishable-fruit_step2.asp?id_name...id

[31] G.H. Yew , A.M. Mohd Yusof , Z.A. Mohd Ishak and U.S. Ishiku.2005. **Water absorbtion and enzymatic degradation of poly lactic acid)/rice starch composites.** *Polymer and degradation and Stability*. Vol.90: pp.488-500.

[32] ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง และวชิรพันธ์ จันทร์พงษ์. “การใช้มิวซิเลจแห้งจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกล้วยหอม.” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*.ปีที่ 2 ฉบับที่ 1, 2548, หน้า 18-27

[33] พิมภรณ์ สมกิตติธรรม, รัตนาพร นิละนนท์ และรองศาสตราจารย์ ดร. วันดี กลุณณพันธ์. “ **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากแมงลัก.**” *โครงการพิเศษ ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*. 2552

[34] นิวัฒน์ บุญญะรัง, สุภวรรณ ดีโรจนเดช และ สุธีจินต์ พยัคคง. “**บทบาทของแคลเซียมไอออนที่มีต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยงของวุ้นเมล็ดแมงลัก.**” *โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2552

[35] คาลัด แสงเพ็ชร, ชรินทร์ ศรีเพ็ญแสงพงษ์ และ ณัชคม กัลยาณทิพย์ “**การเตรียมวัสดุดูดซึมน้ำจากสารเมือกแมงลักผสมกับ 2-HEMA.**” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2552.

[36] A. Pourjavadi, Sh. Barregar, Mahdavinia “**MBA-crosslinked Na-Alg/CMC as a smart full-polysaccharide superabsorbent**” *Carbohydrate Polymer*.66(2006) 386-395

[37] A.K. Bajpai, Anjali Giri “**Water sorption behavior of highly swelling (carboxy methylcellulose-polyacrylamide) hydrogels and release of potassium nitrate as**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- agrochemical” Bose Memmorial Research Laboratory, Department of Chemistry, Government Autonomous Science College, Jabalpur 482-001, India
- [38] Yue Li, Charles F. Shoemaker, Jianguo Ma, Xueran Shen, Fang Zhong “Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating.” *Food chemistry*, 2008,106: 1105-1112
- [39] Yeping Yin, Jianfang Li, Yingchun Liu, Zhong Li. “Starch crosslinked with Poly(vinyl alcohol) by Boric acid.” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.96. 1394-1397, 2005.)
- [40] “Borate Crosslinked Guar.” [Online]. Available : <http://www.gofrac.com/services/gel-crosslinked.html> (22 ตุลาคม 2555)
- [41] Lars Passauer, Falk Liebner, Klaus Fischer “Synthesis and Properties of Novel Hydrogels from crosslinked starch phosphates” *Macromol. Symp.* 2006 224, 180-193
- [42] Rui Shi, Zizheng Zhang, Quanyong Liu, Yanming Han, Liqun Zhang, Dafu Chen, Wei Tian. “Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending.” *Carbohydrate Polymers* 69 (2007) 748-755
- [43] Yu Jiugao, Wang Ning, Ma Xiaofei. “The effect of Citric acid on the properties of Thermoplastic Starch Plasticized by Glycerol.” School of Science, Tianjin University, Tianjin, China.
- [44] Narendra Reddy and Yiqi Yang. “Citric acid cross-linking of starch films.” Published in *Food Chemistry* 118:3
- [45] “ATR-FTIR spectroscopic studies of boric acid adsorption on hydrous ferric oxide.” [Online]. Available : <http://ag.udel.edu/soilchem/PeakO3GCA.pdf> (22 ตุลาคม 2555)
- [46] “ATR-FTIR citric acid – A dispersant for aqueous Alumina suspensions.” [Online]. Available : <http://m.pcp.oxfordjournals.org/content/42/5/546.short> (22 ตุลาคม 2555)
- [47] “Overview on native cellulose and microcrystalline cellulose structure studied by x-ray diffraction comparison between measurement techniques.” [Online]. Available : www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/konzern/lenzinger_berichte/ausgabe_89_2011/LB_2011_15_Terinte.pdf (22 ตุลาคม 2555)



ภาคผนวก ก

การดูชั้นน้ำ การดูชั้นน้ำที่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

- การคำนวณเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ (% Swelling)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ (\% Swelling)} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ

W_2 = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำ

- การคำนวณเปอร์เซ็นต์จุดสมดุล หรือจุดอิ่มตัวในการบวมน้ำ (% Equilibrium water content)

$$\% \text{ Equilibrium water content} = \left(W_e - \frac{wg}{wg} \right) \times 100$$

W_e = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง

W_g = น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำ

สมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่น

จากการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่น โดยทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและแต่ละสูตรทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ ก-1 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม

สูตรที่	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (ชั่วโมง)					
	1	2	3	4	5	6
1	755.6	852.11	893.91	922.96	942.33	1075.4
2	619.66	674.9	704.3	733.74	753.37	785.97
3	460.87	490.14	507.66	519.29	545.7	563.21
4	305.56	320.18	374.92	386.75	395.44	403.42
5	2015.32	2202.63	2389.35	2547.24	2693.61	2748.52
6	2098.68	2263.48	2462.19	2634.92	2753.19	2825.73
7	1997.34	2130.58	2304.65	2498.69	2625.26	2630.28
8	1950.32	2105.48	2257.45	2453.21	2570.42	2596.44
9	1123.62	1254.36	1293.83	1323.74	1345.5	1378.32
10	1323.6	1375.11	1404.02	1439.18	1474.03	1501.49
11	992.74	1028.69	1096.82	1174.73	1255.94	1298.58
12	971.24	999.3	1015.87	1054.92	1198.45	1227.98
13	1639.57	1771.1	1897.64	1979.26	2086.44	2153.42
14	1744.56	1952.29	2041.34	2184.31	2239.53	2368.15
15	1900.4	2083.66	2158.43	2292.25	2355.67	2473.98
16	1398.35	1525.48	1595.15	1693.6	1752.31	1779.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักในน้ำกลั่น

จากการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำที่สมดุลของแผ่นฟิล์มในน้ำกลั่น โดยทำการทดลองเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและแต่ละสูตรทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ ก-2 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สมดุลเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม

สูตรที่	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (ชั่วโมง)
	72
1	1122.96
2	903.97
3	618.92
4	480.97
5	2976.87
6	3015.44
7	2895.53
8	2734.16
9	1596.34
10	1739.28
11	1534.26
12	1497.83
13	2382.59
14	2574.16
15	2695.74
16	1967.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินฟราเรดสเปกโทรเมทรี FTIR

ตารางที่ ข-1 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด

Type of Vibration		Frequency (cm ⁻¹)	Intensity
C-H	Alkanes (stretching)	3000-2850	s
	-CH ₃ (bending)	1450 and 1375	m
	-CH ₂ - (bending)	1465	m
=C-H	Alkenes (stretching, R-CH=CH ₂)	3040-3010	m
	(stretching, cis R-CH=CH-R')	3040-3010	
	(stretching, trans R-CH=CH-R')	3040-3010	
	(stretching, R ₁ R ₂ C=CH ₂)	3095-3075	
	(stretching, R ₁ R ₂ C=CH-R ₃)	3040-3010	s
	(bending, R-CH=CH ₂)	990, 910	
	(bending, R ₁ R ₂ C=CH ₂)	890	
	(bending, cis R-CH=CH-R')	728-675	
(bending, trans R-CH=CH-R')	970-960		
Ar-H	Ar (stretching)	3150-3050	s
	(bending, monosubstituted)	770-730	s
	(bending, 1,2-disubstituted)	710-690	
	(bending, 1,3-disubstituted)	770-735	
	(bending, 1,4-disubstituted)	810-750	
≡C-H	Alkynes	3300	s
O=C-H	Aldehyde (stretching)	2900-2700	m
C=C	Alkene (stretching, nonconjugation)	1680-1625	m-w
	(stretching, C=C or C=O conjugation)	1600	
	Aromatic	1600 and 1475	m-w

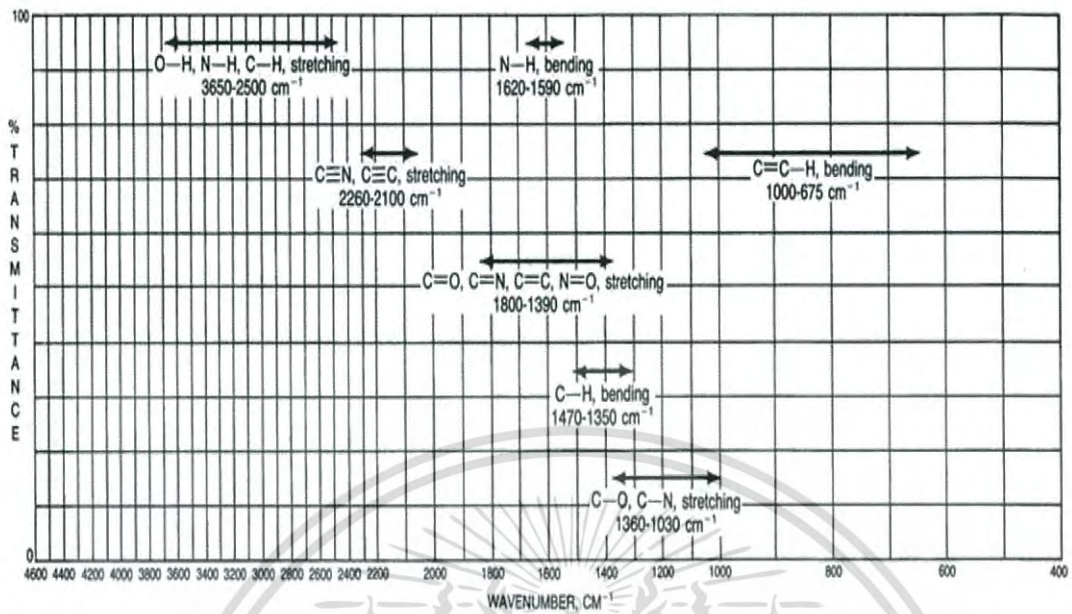
ที่มา: ธีรยุทธ วิไลวัลย์ และ วรพรรณ พันธมนาวิน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พ.ศ. 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 (ต่อ) ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สามัญบางชนิด

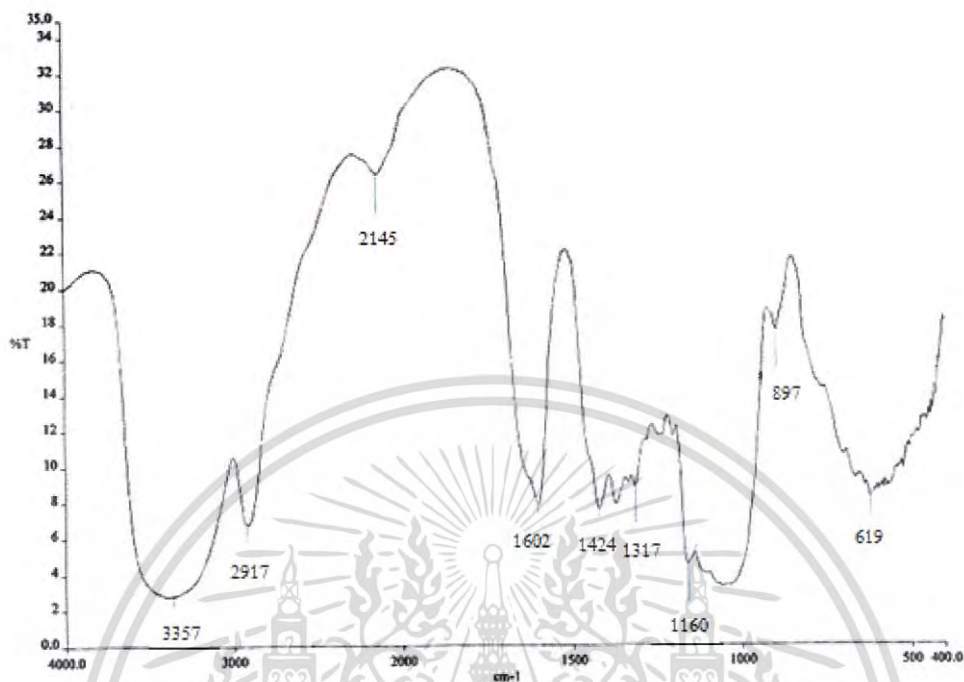
Type of Vibration		Frequency (cm ⁻¹)	Intensity	
C≡C	Alkyne (stretching, terminal)	2140-2100	m-w	
	(stretching, internal)	2260-2190		
C=O	Aldehyde (stretching, saturated or alicyclic)	1740-1730	s	
	(stretching, C=C conjugation)	1705-1680		
	(stretching, aryl conjugation)	1715-1695		
	Ketone	(stretching, saturated or alicyclic)	1725-1705	s
		(stretching, C=C conjugation)	1690-1675	
		(stretching, aryl conjugation)	1715-1695	
	Carboxylic Acid	(stretching, saturated or alicyclic)	1725-1700	s
		(stretching, C=C or aryl conj.)	1705-1680	
	Ester	(stretching, saturated or alicyclic)	1750-1735	s
(stretching, C=C or aryl conjugation)		1730-1717		
Amide	(stretching)	1670-1640	s	
Anhydride	(stretching)	1810 and 1760	s	
Acid chloride	(stretching)	1800	s	
C-O	Ethers, Esters, Carboxylic acids, Anhydrides (stretching)	1300-1000	s	
	Alcohols	(stretching, primary alcohol)		1050
		(stretching, secondary alcohol)		1100
		(stretching, tertiary alcohol)		1150
Phenols	(stretching)	1200		
O-H	Alcohols, Phenols	(stretching, Free OH)	3650-3600	m
		(stretching, H-bonded OH)	3500-3200	m
		(bending, 1° and 2° alcohols)	1350-1260	
	(bending, 3° alcohol and phenol)	1410-1310		
Carboxylic acids	(stretching, H-bonded OH)	3400-2400	m	
N-H	1° and 2° Amines and Amides	(stretching, Free NH)	3500-3100	m
		(bending)	1640-1550	m-s
C-N	Amines	(stretching)	1350-1000	m-s
C=N	Imines and Oximes	(stretching)	1690-1640	w-s
C≡N	Nitriles	(stretching)	2260-2240	m



รูปที่ ข-1 แสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันสามัญบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพสเปกตรัม

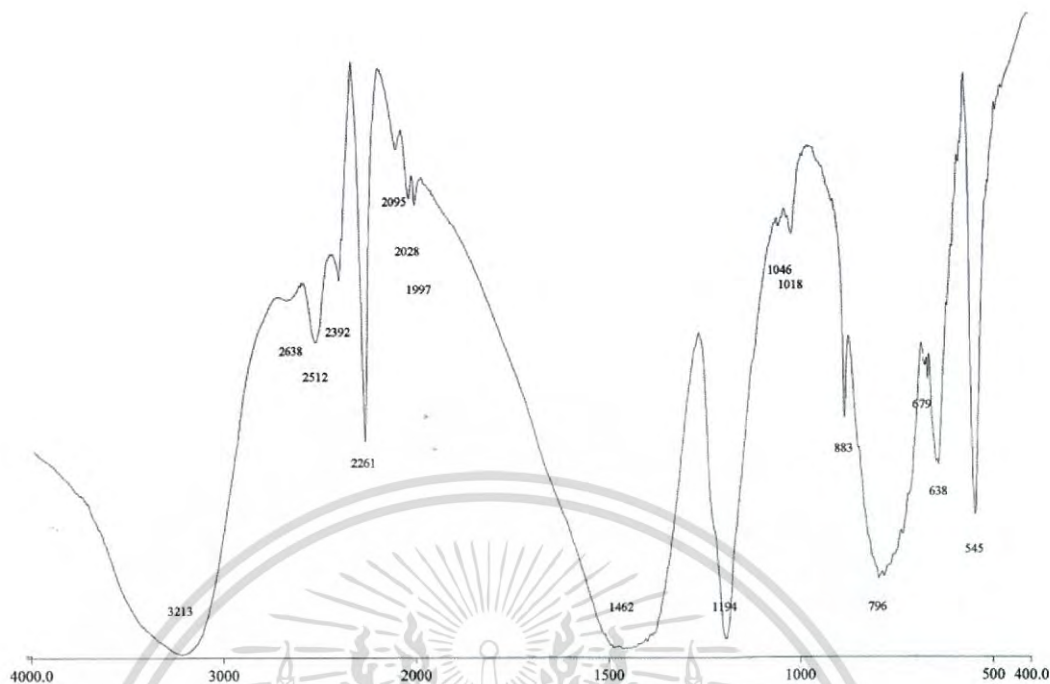


รูปที่ ข-2 แสดง IR spectrum ของสารเมือกจากแมงลัก

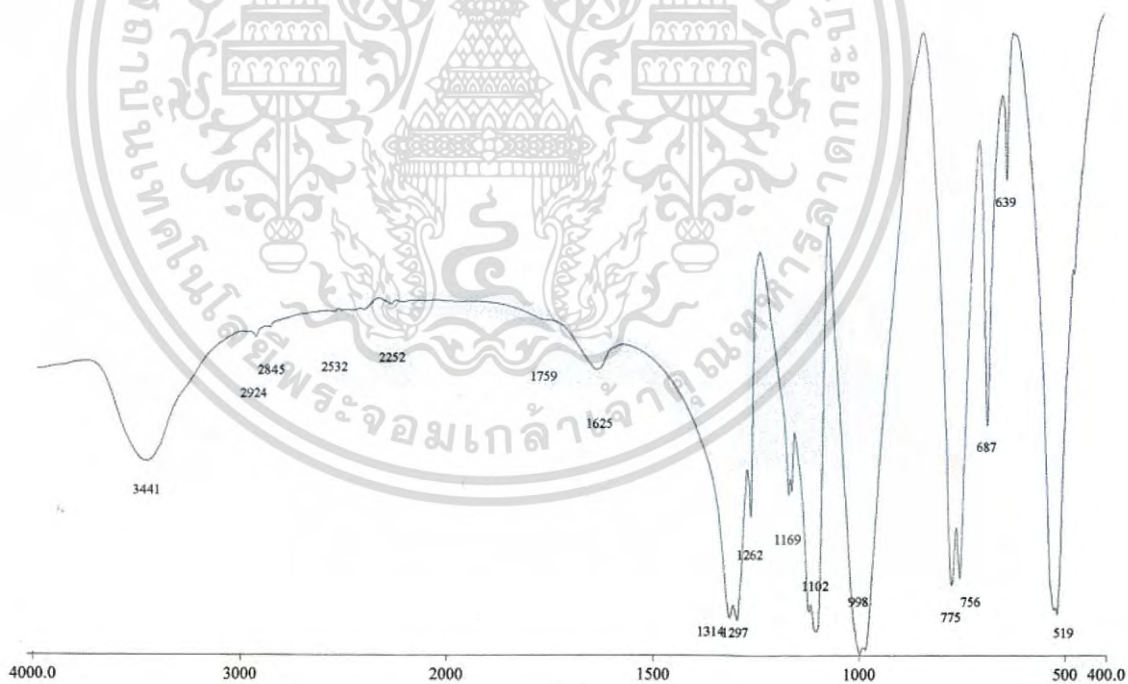


รูปที่ ข-3 แสดง IR spectrum ของ N,N'-Methylenebisacrylamide (MBA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

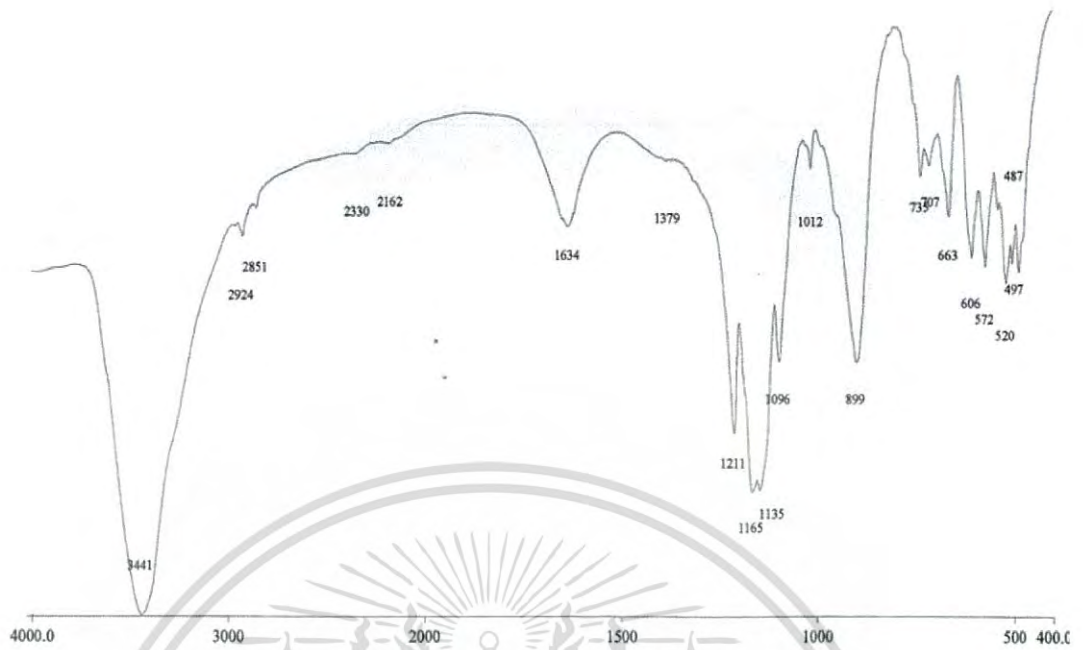


รูปที่ ข-4 แสดง IR spectrum ของ Boric acid

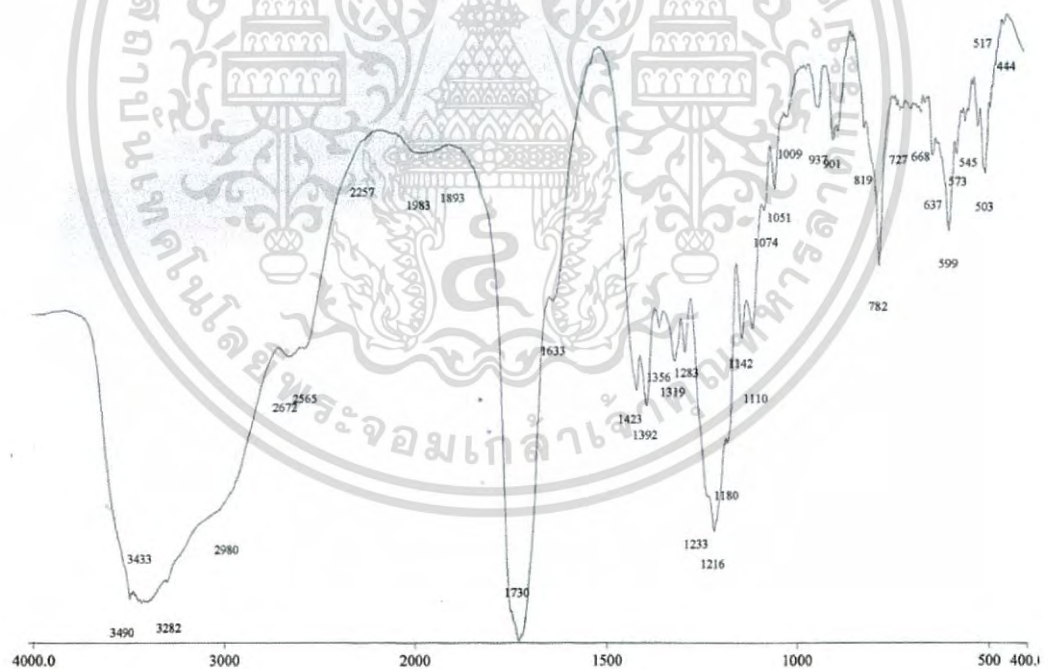


รูปที่ ข-5 แสดง IR spectrum ของ Sodiumtrimetaphosphate (STMP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-5 แสดง IR spectrum ของ Sodiumtripolyphosphate (STPP)



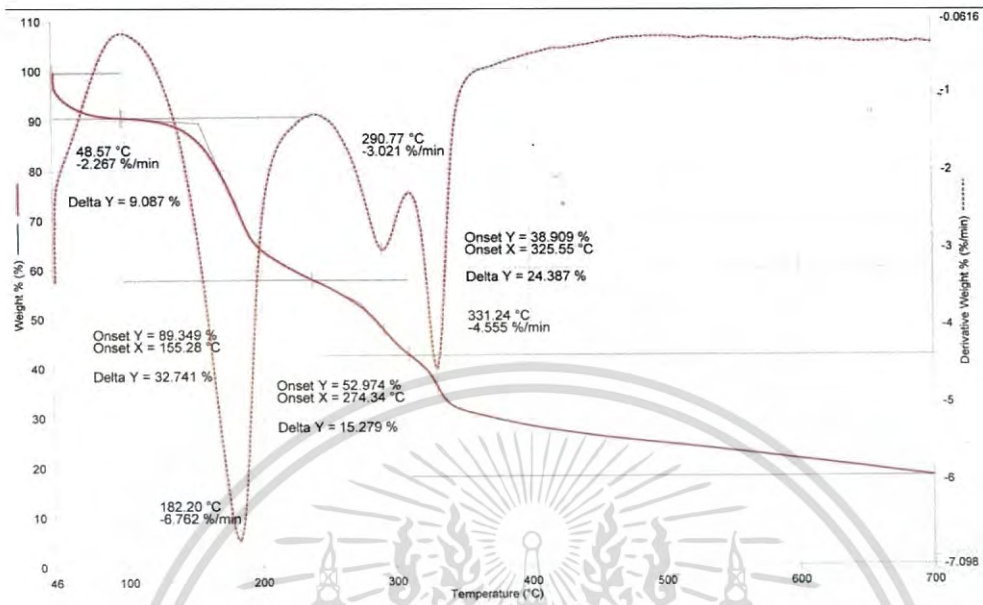
รูปที่ ข-6 แสดง IR spectrum ของ Citric acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



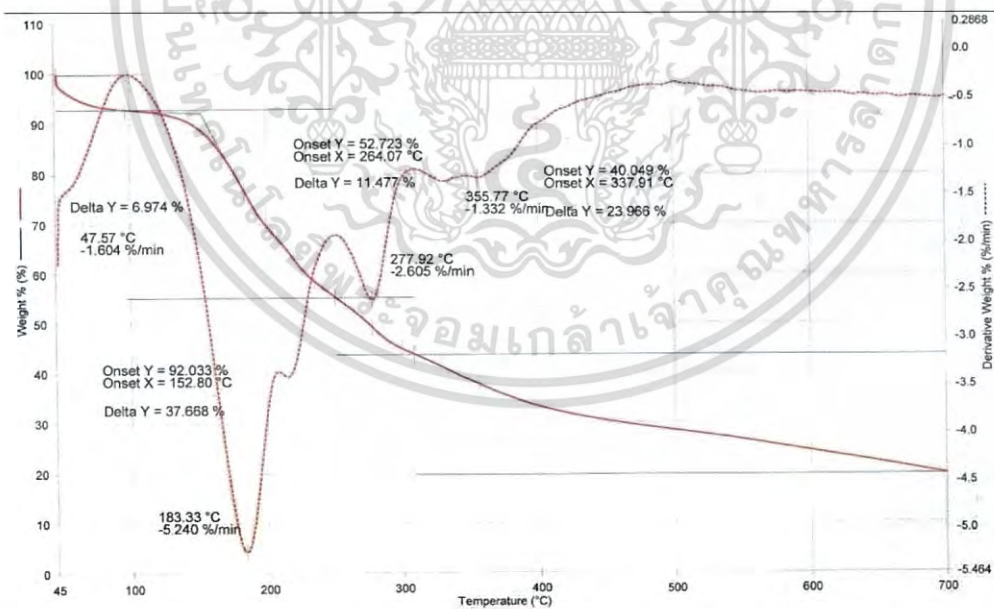
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค



รูปที่ ค-1 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยง

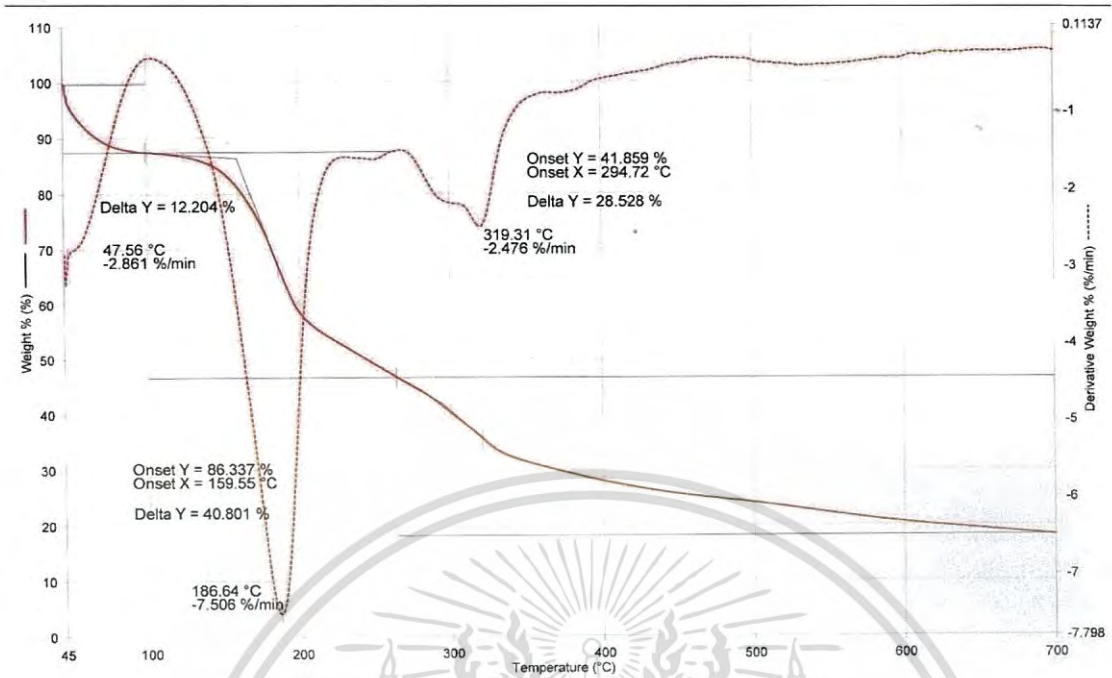
MBA 1 mol



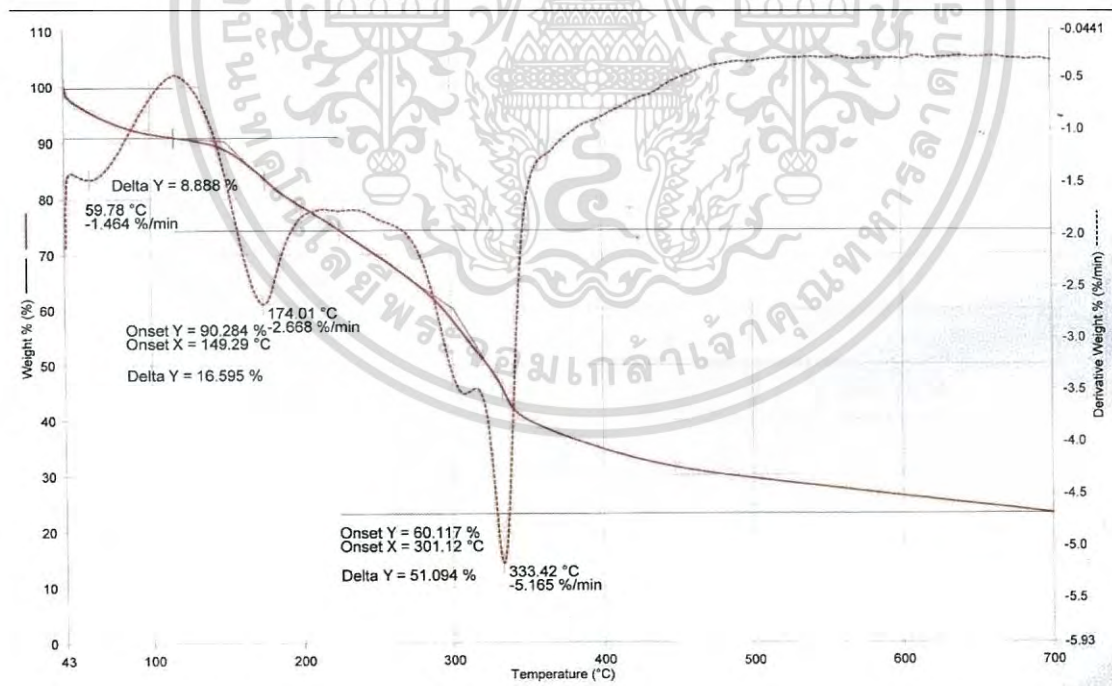
รูปที่ ค-2 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยง

MBA 2 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

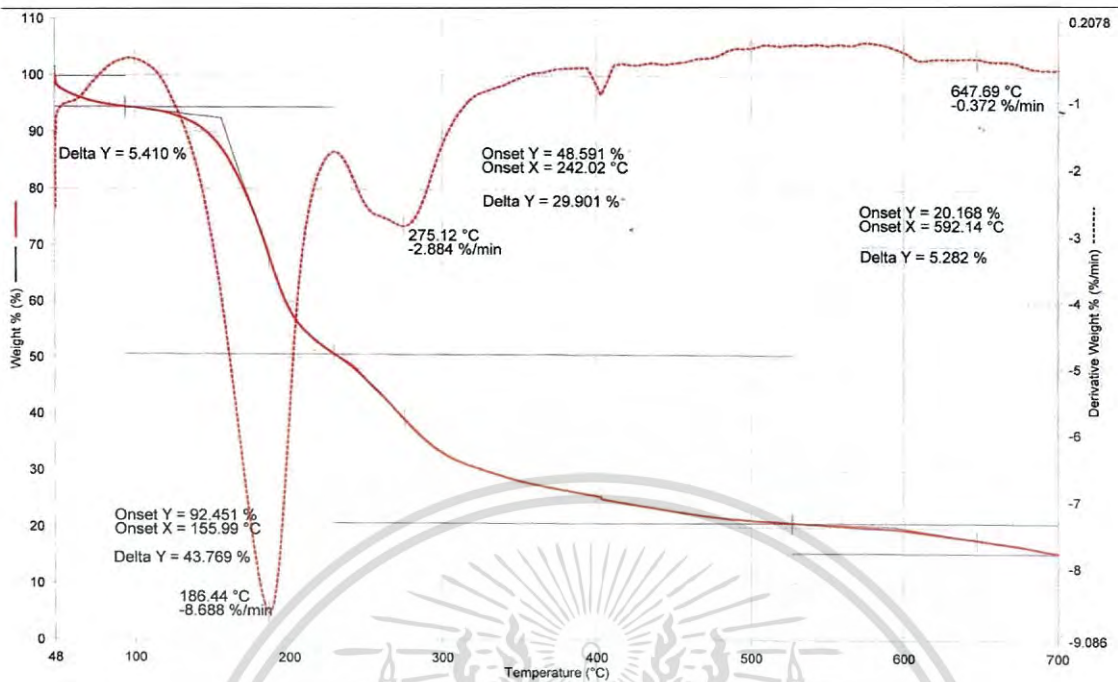


รูปที่ ค-3 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยง MBA 3 mol

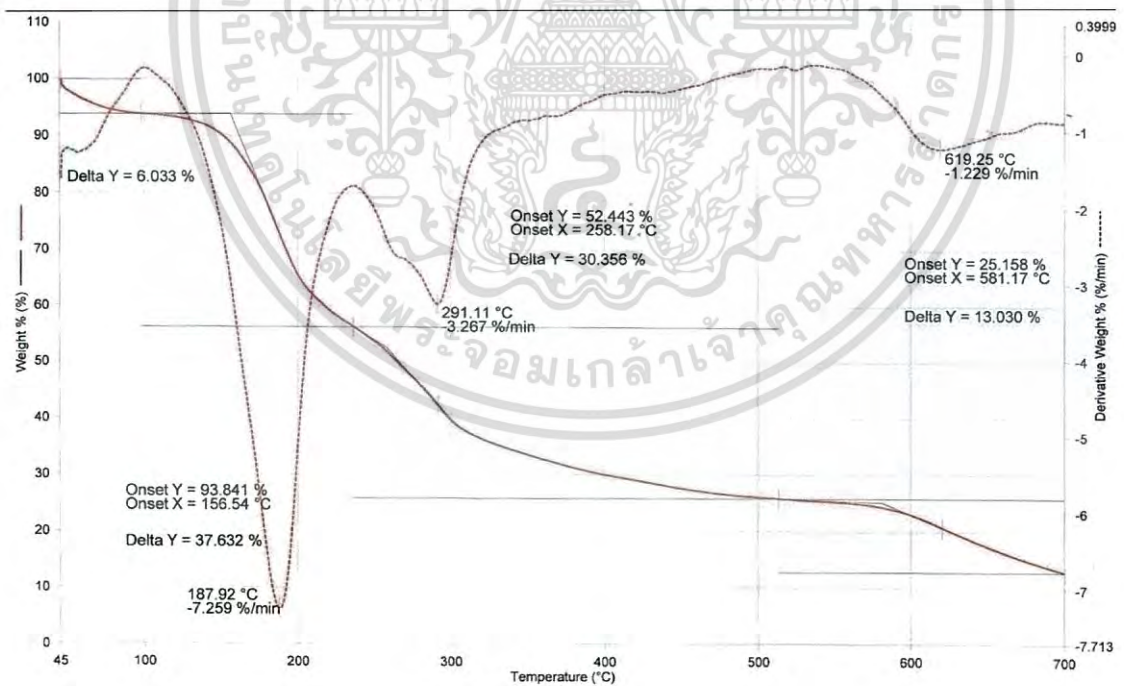


รูปที่ ค-4 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยง MBA 4 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

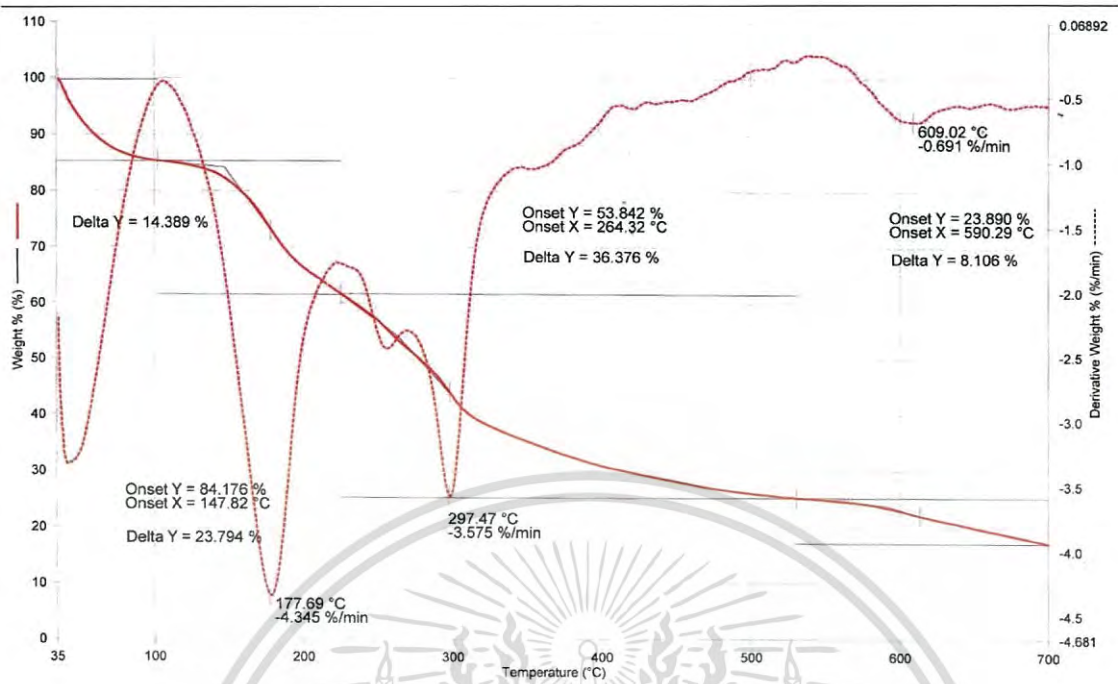


รูปที่ ค-5 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Boric acid 1 mol

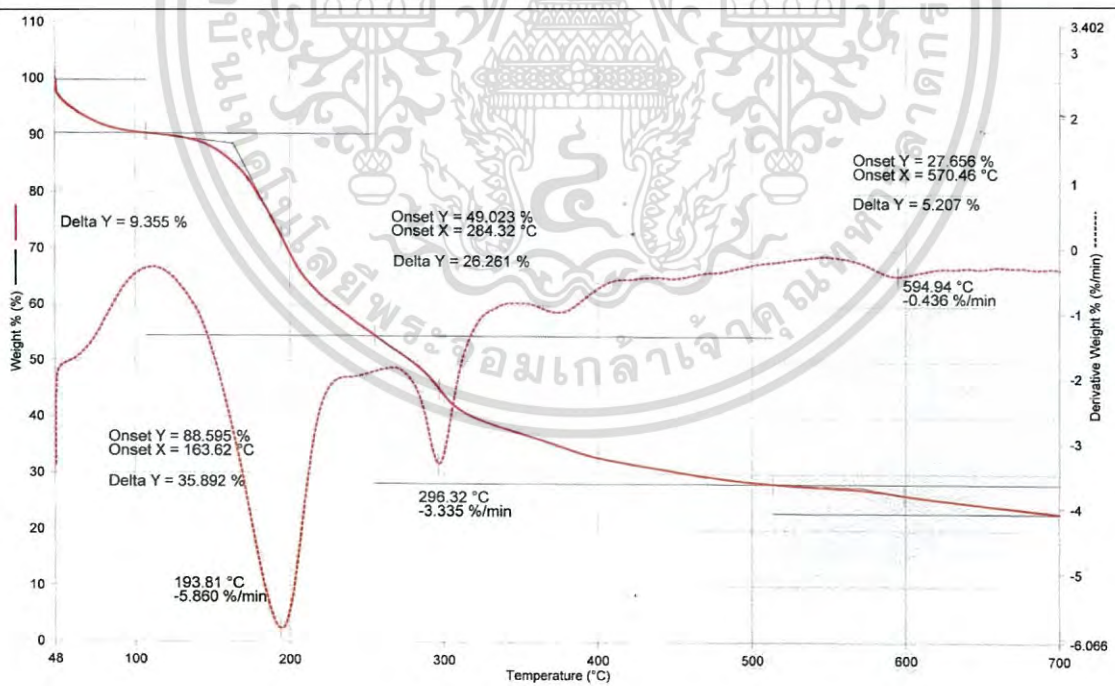


รูปที่ ค-6 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Boric acid 2 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

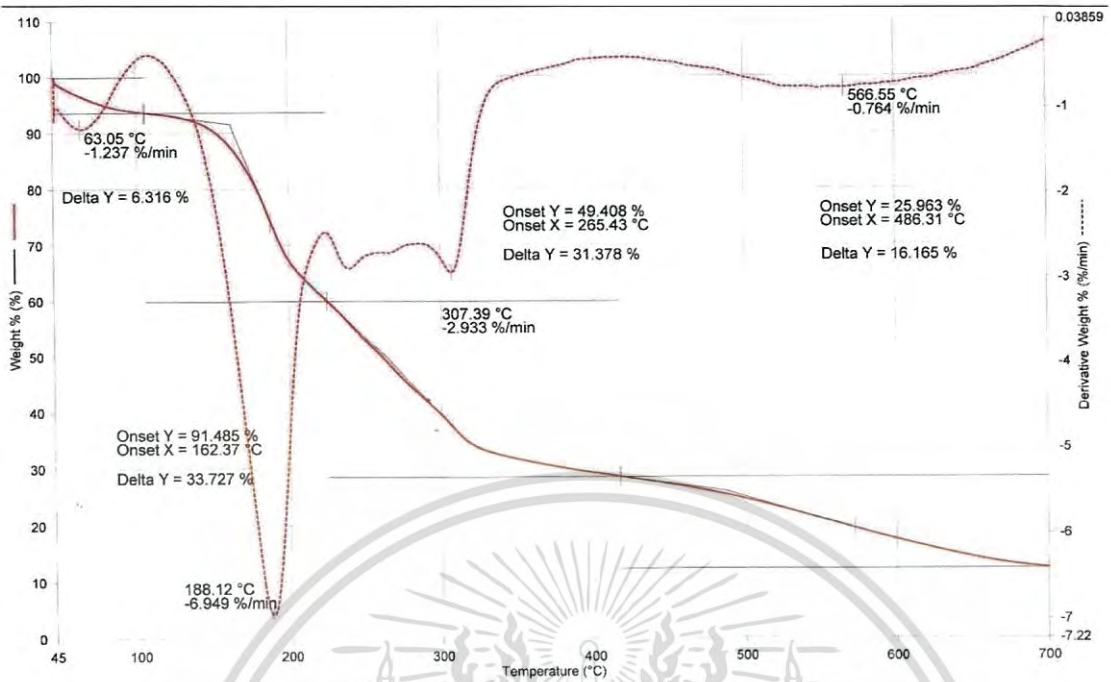


รูปที่ ค-7 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Boric acid 3 mol

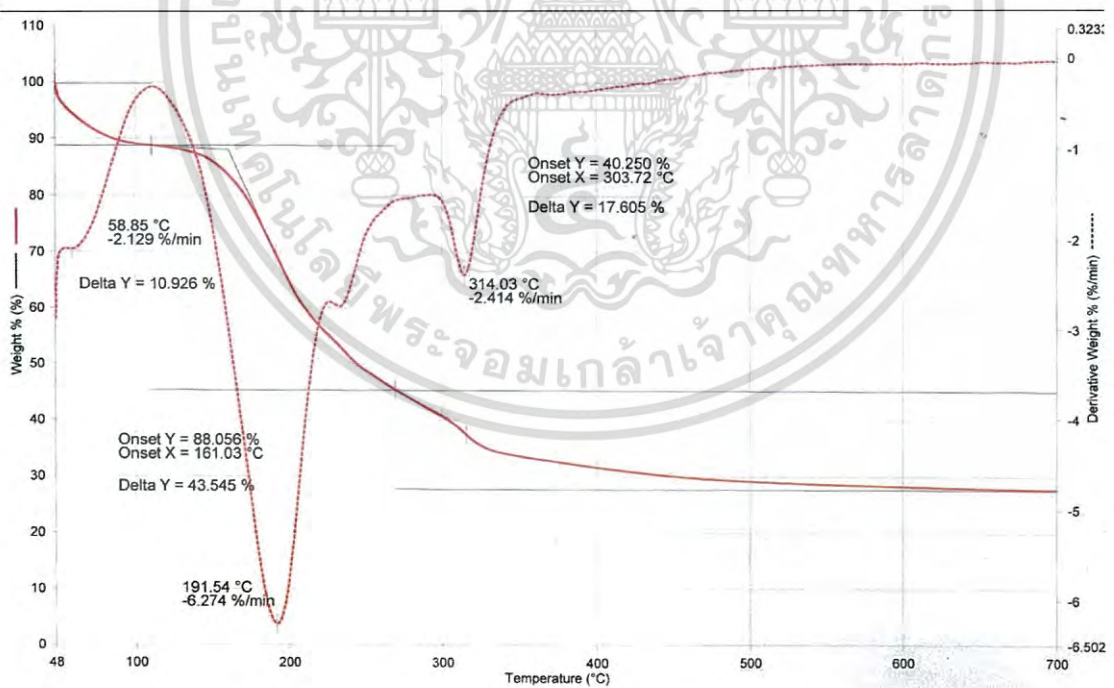


รูปที่ ค-8 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Boric acid 4 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

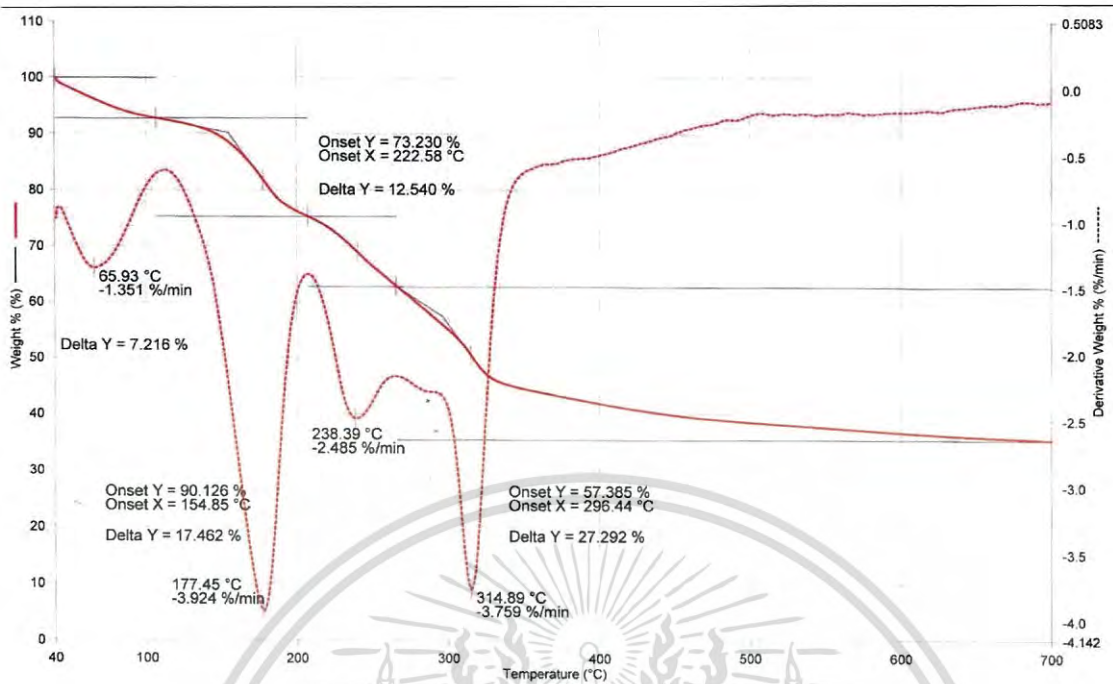


รูปที่ ค-9 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อม โยงด้วย สารเชื่อม โยง STMP/STPP 1 mol

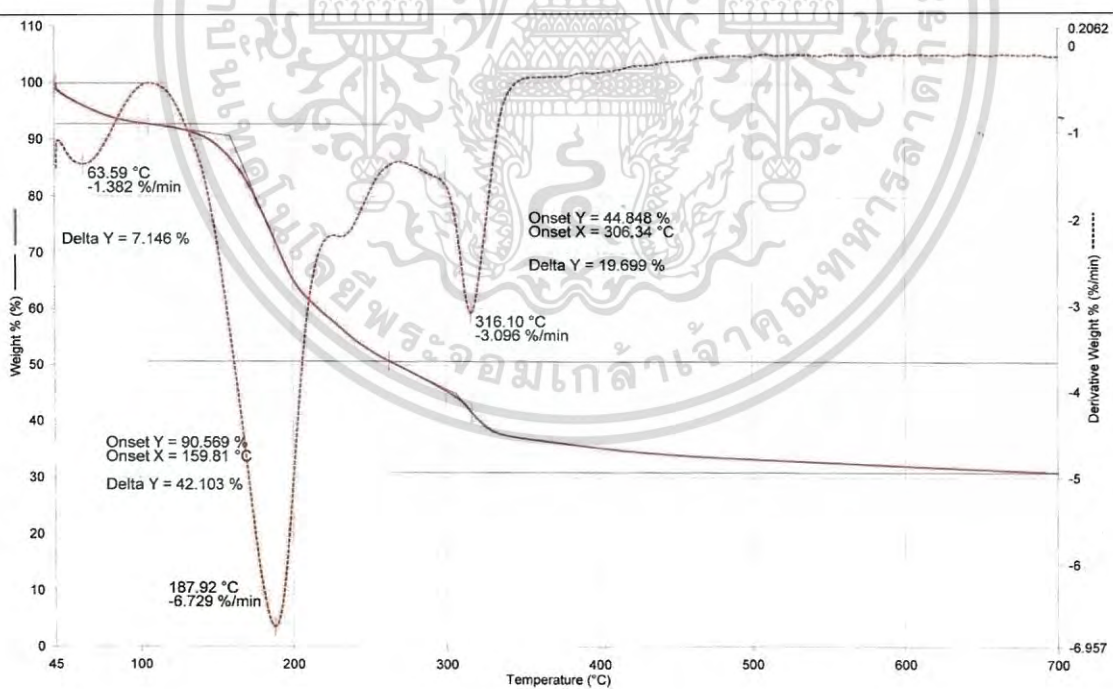


รูปที่ ค-10 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อม โยงด้วย สารเชื่อม โยง STMP/STPP 2 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

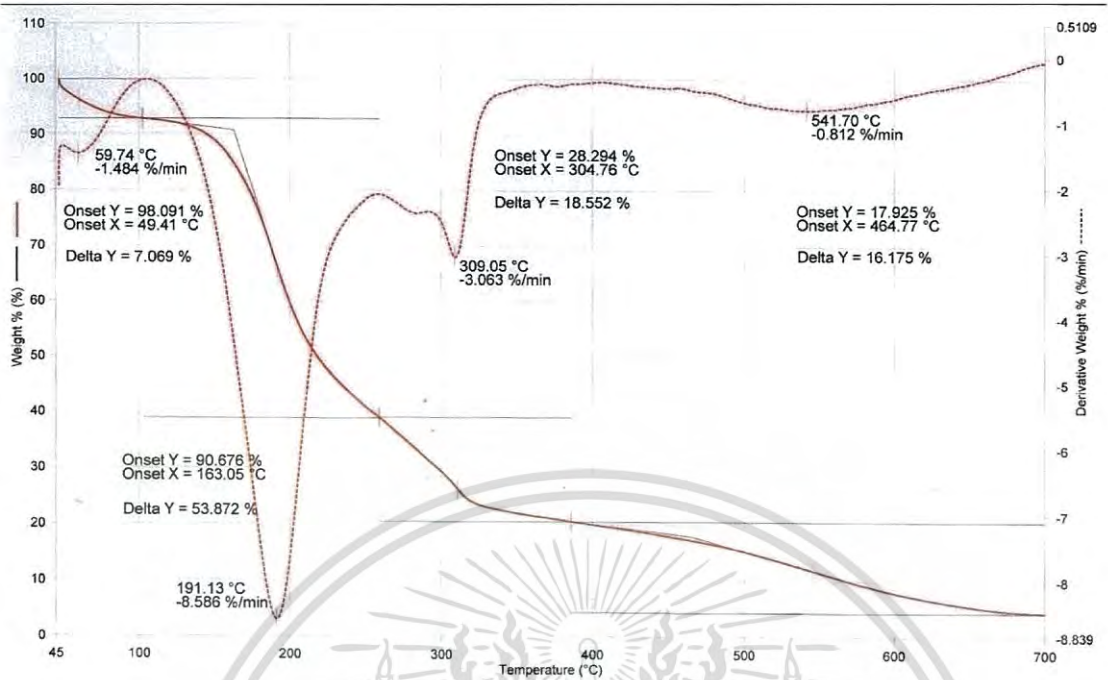


รูปที่ ค-11 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย
สารเชื่อมโยง STMP/STPP 3 mol

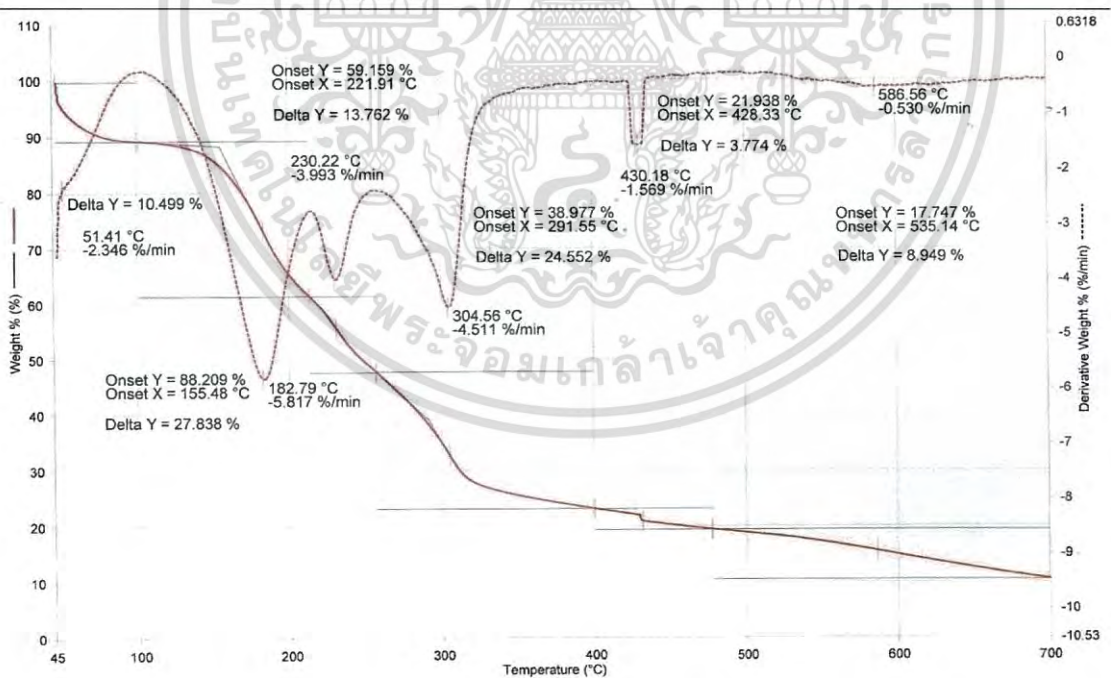


รูปที่ ค-12 เทอร์โมแกรม TGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย
สารเชื่อมโยง STMP/STPP 4 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

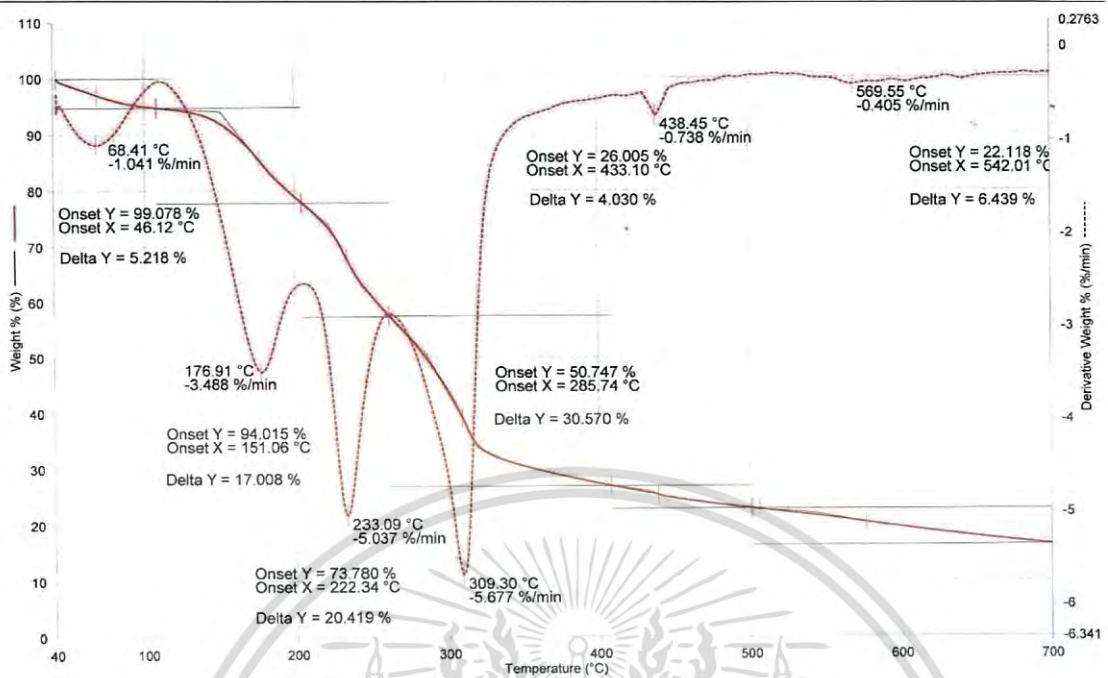


รูปที่ ค-13 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Citric acid 1 mol

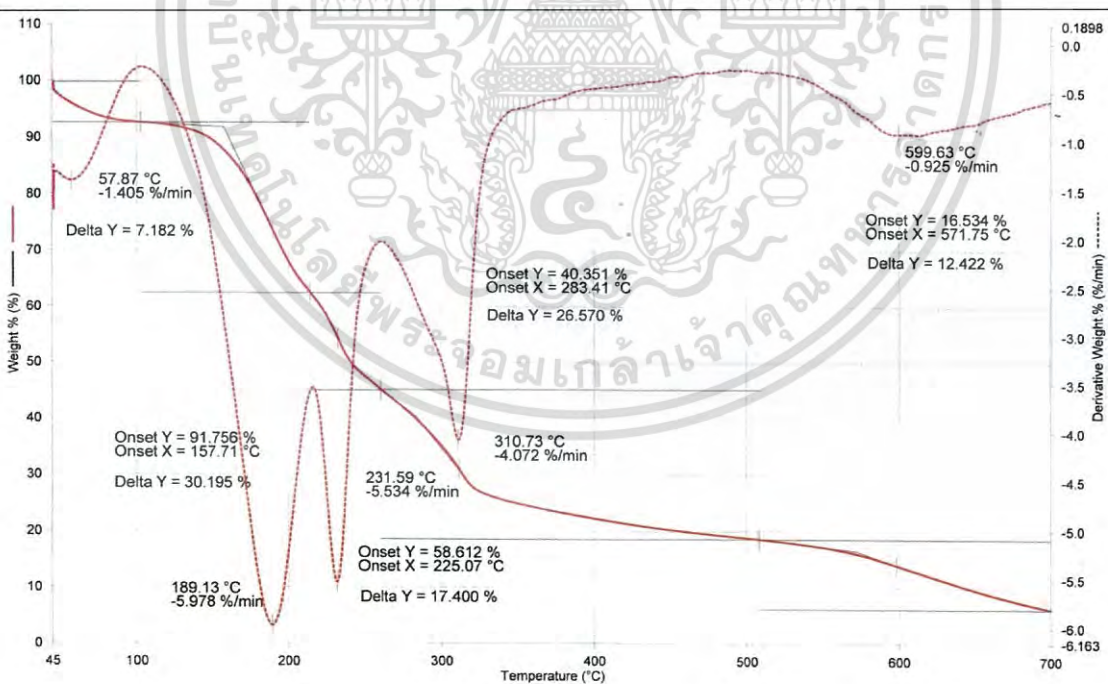


รูปที่ ค-14 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย สารเชื่อมโยง Citric acid 2 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

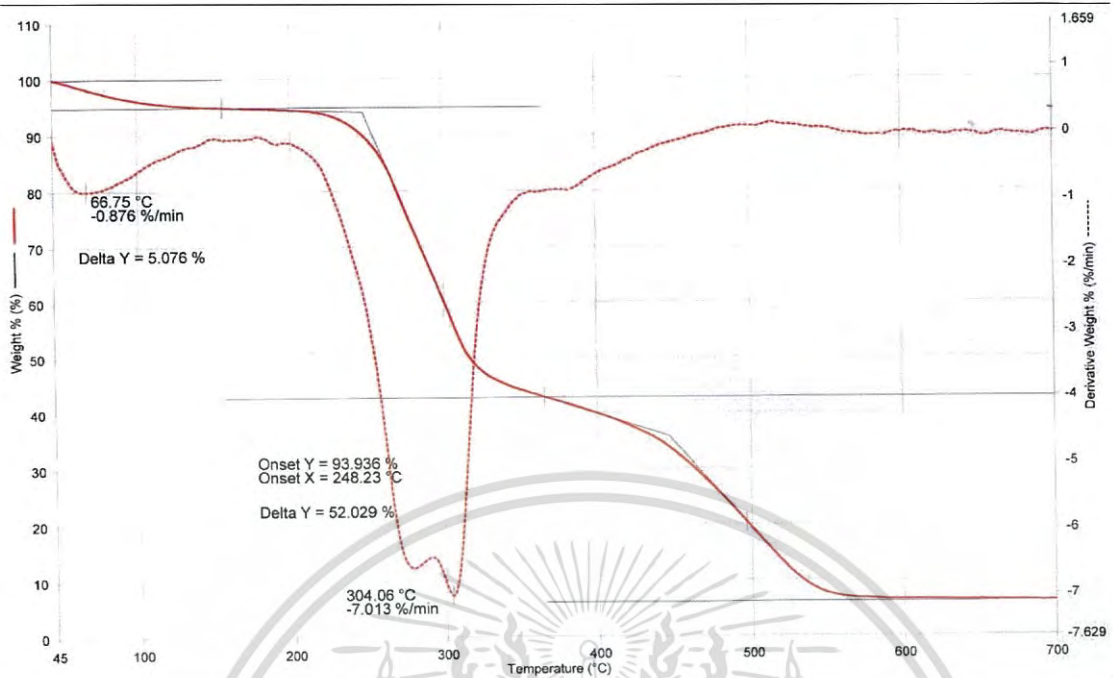


รูปที่ ค-15 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย
สารเชื่อมโยง Citric acid 3 mol



รูปที่ ค-16 เทอร์โมแกรมTGA ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลักที่มีการเชื่อมโยงด้วย
สารเชื่อมโยง Citric acid 4 mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-17 เทอร์โมแกรม TGA ของเมงลักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์
(Universal testing machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก

ตารางที่ ง-1 แสดงค่าความแข็งแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของแผ่นฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก

สูตร	Tensile strength (MPa)	% Elongation at break
1	12.99	46.14
2	13.01	44.64
3	18.03	42.45
4	17.95	40.40
5	12.49	10.52
6	13.56	8.16
7	15.49	6.82
8	16.89	6.02
9	12.29	16.17
10	13.78	14.32
11	13.97	11.59
12	15.54	10.69
13	10.50	36.89
14	11.29	34.03
15	12.61	33.30
16	13.33	31.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้