

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล
ผสมระหว่างอัลจิเนตและแป้งถั่วเขียว
STUDY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN ALGINATE AND
MUNG BEAN STARCH



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล
ผสมระหว่างอัลจิเนตและแป้งถั่วเขียว
STUDY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN ALGINATE AND
MUNG BEAN STARCH



T149188

นางสาวกัลยรัตน์
นางสาวชีวิภัทร
นางสาวชีวิรัตน์

วงศ์เจริญ
ปาโมกษ์
อุดเจริญ

ส.พ.
ท 3977
2558

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149188
วันเดือนปี 29 ส.ค. 2561

b. A2880607
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN ALGINATE AND
MUNG BEAN STARCH



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ของไฮโดรเจลผสมระหว่าง อัลจิเนตและแป้งถั่วเขียว		
นักศึกษา	นางสาวกัลยรัตน์	วงศ์เจริญ	รหัสนักศึกษา 55050570
	นางสาวชีวกัทธ	ปาโมกษ์	รหัสนักศึกษา 55050624
	นางสาวชีวรัตน์	อุดเจริญ	รหัสนักศึกษา 55050625
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลาย 5% แป้งถั่วเขียว กับสารละลาย 5% โซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และ แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยการหล่อแบบ นำมาอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่าง แป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อฟิล์มผสม และศึกษาปริมาณ ของ 2% แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มผสม สมบัติที่ทดสอบ ได้แก่ สมบัติ ทางกายภาพ การบวม น้ำ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไฮโดรเจล

ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งถั่วเขียวที่ความเข้มข้น 5%w/v กับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 5%w/v ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลี เซอรอล 3%v/v และ 2% แคลเซียมคลอไรด์ 0.002%w/v ลงไป จะทำให้ฟิล์มที่ขึ้นรูปได้เรียบสวย ไม่หดตัว ได้รูปร่าง และมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด นอกจากนี้เมื่อแช่น้ำถึง 24 ชั่วโมง ฟิล์มก็ยังคงรูปร่าง เดิมได้ และมีค่าการบวมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการเติม 2% แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณอื่น ซึ่งทำให้ ฟิล์มมีอายุการใช้งานได้นาน การเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมอัลจิเนตทำให้ฟิล์มมีสมบัติการบวมน้ำและ การละลายน้ำสูง เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะทำให้ฟิล์มยืดหยุ่นดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม 2% แคลเซียมคลอไรด์ ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่นลดลงและหดตัวมากขึ้น

คำสำคัญ : แป้งถั่วเขียว โซเดียมอัลจิเนต ฟิล์มไฮโดรเจล

Title	Study on physical and mechanical properties of hybrid hydrogels between Alginate and Mung bean starch		
Student	MissKanyarat	Wongcharoen	Student ID 55050570
	MissCheevapat	Pamok	Student ID 55050624
	MissCheewarat	Udcharoen	Student ID 55050625
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin		

Abstract

This special project aims to preparation of hydrogel films from blending solutions of mung bean starch and sodium alginate by using glycerol as a plasticizer and calcium chloride as a crosslinker. The mixture solution was cast and dried in the oven at temperature 80 °C for 2 hr. and 60 °C for 4 hr. The ratios of mung bean starch and sodium alginate, the amount of glycerol and the effect of 2% calcium chloride were studied. Physical property, functional group analysis, swelling, mechanical and thermal stability properties of film were investigated.

The results were found that hydrogel film at ratio of mung bean starch 60 to sodium alginate 40 in the presence of 3%v/v of glycerol with 0.002%w/v of 2% CaCl₂ provided the optimum film forming and good mechanical properties. This film showed the lowest swelling and not dissolved in water after immersion for 24 hours. Increasing sodium alginate in the blend ratios induced swelling and solubility properties of hydrogel films. The higher amount of glycerol improved film flexibility and the addition of 2% CaCl₂ produced film rigidity

Keywords : Mung bean starch, Sodium Alginate, Hydrogel film

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้หากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจน คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำ จากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ คำปรึกษาในทุกๆ ด้านตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย และรองศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษโดยช่วยตรวจทาน ให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ซึ่งทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุจิต สอนสะอาด เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกและคอยให้ความช่วยเหลือรวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือตลอดการดำเนินการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณกัญญา มงคลโภชน์ ที่กรุณาช่วยสอนการใช้เครื่อง TGA คุณสุภัทร บานเย็น ที่กรุณาช่วยสอนการใช้เครื่อง FT-IR และคุณทองสุข ภู่น้อย ที่ให้ความร่วมมือในการเบิกอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดลอง รวมทั้งสอนเทคนิคต่างๆแก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการห้องคอมพิวเตอร์ของคณะวิทยาศาสตร์ รวมทั้งบุคลากรท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่คอยให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

กัลยรัตน์ วงศ์เจริญ

ชีวกัทร ปาโมกษ์

ชีวรรัตน์ อุดเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แป้ง (Starch).....	4
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง.....	4
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง.....	4
2.1.3 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง.....	9
2.1.4 สมบัติของแป้ง.....	9
2.1.5 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง.....	11
2.2 แป้งถั่วเขียว.....	12
2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว.....	12
2.2.2 ชนิดแป้งถั่วเขียว.....	13
2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend).....	13
2.4 อัลจิเนต (Alginate).....	15
2.4.1 แหล่งที่มาของอัลจิเนต.....	15
2.4.2 โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต.....	15
2.4.3 กระบวนการผลิตโซเดียมอัลจิเนต.....	17
2.4.4 ประโยชน์ของโซเดียมอัลจิเนต.....	18
2.5 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic).....	18
2.6 ไฮโดรเจล (Hydrogel).....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
2.6.1	สมบัติของไฮโดรเจล (Properties of hydrogels).....	24
2.6.2	การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในทางการแพทย์เพื่อเป็นวัสดุปิดแผล (Medical applications of hydrogels for used as wound dressing).....	26
2.7	พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer).....	27
2.7.1	ประโยชน์ของพลาสติกไซเซอร์.....	27
2.7.2	พลาสติกไซเซชัน (Plasticization).....	27
2.7.3	กลไกของพลาสติกไซเซชัน (Mechanism of plasticization)	28
2.8	แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride).....	28
2.8.1	การผลิตแคลเซียมคลอไรด์.....	29
2.8.2	ประโยชน์แคลเซียมคลอไรด์.....	29
2.8.3	พืชแคลเซียมคลอไรด์.....	29
2.9	กลีเซอรอล (Glycerol).....	29
2.9.1	สมบัติของกลีเซอรอล.....	30
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	38
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.3	ขั้นตอนการทดลอง.....	39
3.3.1	การเตรียมสารละลาย.....	40
3.3.2	วิธีการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากสารละลายผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนตโดยเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างกัน.....	41
3.3.3	วิธีการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว กับโซเดียมอัลจิเนตโดยเติมกลีเซอรอล 3%v/v และเติมแคลเซียม คลอไรด์ที่ปริมาณต่างกัน.....	42
3.4	วิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจล.....	43
3.4.1	ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจล.....	43
3.4.2	ทดสอบหุ้ฟงักซัน.....	43
3.4.3	การหาสมบัติการบวมน้ำ (Swelling property).....	43
3.4.4	ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D882.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.5 ทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	45
4.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	45
4.1.1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เติมน้ำเกลือ 1%v/v.....	46
4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณเกลือที่ผสมต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจล ผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40.....	48
4.1.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจลผสม ระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มี เกลือ 3%v/v.....	50
4.2 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR).....	52
4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่มีผลต่อ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสม ระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เติมน้ำเกลือ 1%v/v.....	54
4.2.2 ศึกษาผลของปริมาณเกลือที่มีผลต่อ IR สเปกตรัม ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40.....	55
4.2.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อ IR สเปกตรัมฟิล์มไฮโดรเจล ผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีเกลือ 3%v/v.....	57
4.3 ผลการทดสอบการบวมน้ำ.....	58
4.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับ โซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เติมน้ำเกลือ 1%v/v ที่มีผลต่อการบวมน้ำ (%Swelling).....	60
4.3.2 ศึกษาผลของปริมาณเกลือที่มีผลต่อการบวมน้ำ (%Swelling) ของฟิล์มแป้งถั่วเขียว และฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียม อัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
4.3.3	ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อการบวมน้ำ (%Swelling) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v.....	63
4.4	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	65
4.4.1	ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 ที่มีผลต่อความ แข็งแรงดึง (Tensile strength), ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break), ค่ามอดุลัสของยัง (Young’s modulus).....	65
4.4.2	ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ร้อยละ การดึงยืด (%Elongation at break), ค่ามอดุลัสของยัง (Young’s modulus).....	68
4.5	การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA).....	71
4.5.1	ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับ โซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน มีกลีเซอรอล 1%v/v ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว.....	72
4.5.2	ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 ที่มีผลต่อ อุณหภูมิการสลายตัว.....	73
4.5.3	ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มี กลีเซอรอล 3%v/v ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว.....	75
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข.....	93
ภาคผนวก ค.....	100
ภาคผนวก ง.....	103
ภาคผนวก จ.....	109
ภาคผนวก ฉ.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	126



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน.....	5
2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ.....	7
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า.....	13
2.4 ตัวอย่างไฮโดรเจลที่มักนำมาประยุกต์ใช้งาน.....	22
2.5 สมบัติของกลีเซอรอล.....	31
3.1 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งข้าวเจ้า และ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต.....	39
3.2 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งข้าวเจ้า และ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณ กลีเซอรอลต่างกัน.....	40
3.3 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งข้าวเจ้า และ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณ 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	40
4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งข้าวเจ้ากับ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต มีกลีเซอรอล 1%v/v.....	47
4.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งข้าวเจ้ากับ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต เติมกลีเซอรอล 2 และ3%v/v.....	49
4.3 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งข้าวเจ้ากับ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ ที่ปริมาณ 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	51
4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมหลังจากแช่น้ำเป็นเวลาต่างๆ.....	58
4.5 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลต่างๆ.....	71
ข.1 แสดงค่าความหนาของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเจ้ากับ สารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ.....	93
ข.2 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม ระหว่างสารละลายแป้งข้าวเจ้ากับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน และปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	94
ข.3 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง สารละลายแป้งข้าวเจ้ากับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.4 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เดิมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	96
ข.5 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เดิม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	97
ข.6 แสดงผลค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เดิมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	98
ข.7 แสดงผลค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus)) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เดิม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	99
ค.1 แสดงค่าน้ำหนักของฟิล์มไฮโดรเจล หลังทดสอบการบวมน้ำ.....	100
ค.2 แสดงค่าการทดสอบการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล.....	101
จ.1 แสดงภาพการทมน้ำมันของฟิล์มสูตรต่างๆ.....	109
ฉ.1 แสดงค่าความหนาของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ.....	110
ฉ.2 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน มีกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	112
ฉ.3 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน มีกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	114
ฉ.4 แสดงผลค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน และปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	116
ฉ.5 แสดงค่าน้ำหนักของฟิล์มไฮโดรเจล หลังทดสอบการบวมน้ำ.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ฉ.6	แสดงค่าการทดสอบการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล.....	119
ฉ.7	แสดงภาพการดูดน้ำของฟิล์มสูตรต่างๆ.....	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะไมโลส.....	5
2.2 โครงสร้างบิตเกลียวของอะไมโลส.....	6
2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน.....	8
2.4 โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ.....	16
2.5 กลไกการเกิดเจลของ Calcium alginate (Egg-box model).....	16
2.6 โครงสร้างของโซเดียมอัลจิเนต (Structure of sodium alginate).....	17
2.7 กระบวนการผลิตโซเดียมอัลจิเนต.....	17
2.8 โครงสร้างของไฮโดรเจลประเภทต่างๆ แบ่งตามลักษณะการสังเคราะห์.....	23
2.9 อันตรกิริยาของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจล.....	25
2.10 โครงสร้างกลีเซอรอล (Glycerol).....	29
4.1 IR สเปกตรัมของแป้งข้าวเจ้า.....	52
4.2 IR สเปกตรัมของโซเดียมอัลจิเนต.....	53
4.3 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน เติมกลีเซอรอล 1%v/v.....	54
4.4 แสดงการเกิดอันตรกิริยาเคมี (พันธะไฮโดรเจน) ระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับ โซเดียมอัลจิเนต.....	55
4.5 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	55
4.6 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลกลีเซอรอลระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับ โซเดียมอัลจิเนต.....	56
4.7 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	57
4.8 แสดงการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง Ca^{2+} กับ COO^- ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจิเนต.....	58
4.9 กราฟแสดงค่าการบวมตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับ โซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1%v/v.....	60
4.10 กราฟแสดงค่าการบวมตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับ โซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งข้าวเจ้า โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v และเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v	63
4.12 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลชนิดต่างๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	64
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ	65
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยึด ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ.....	66
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ.....	67
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	68
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยึด ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	69
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v.....	70
4.19 TG(ก) และDTG(ข) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1%v/v.....	72
4.20 (ค) และ(ง) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 (จ) และ(ฉ) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ0.02%w/v	75
ก.1 สเปกตรัมของสูตร SG.....	85
ก.2 สเปกตรัมของสูตร 8S2AG.....	85
ก.3 สเปกตรัมของสูตร 6S4AG.....	86
ก.4 สเปกตรัมของสูตร 4S6AG.....	86
ก.5 สเปกตรัมของสูตร 2S8AG.....	87
ก.6 สเปกตรัมของสูตร AG.....	87
ก.7 สเปกตรัมของสูตร S2G.....	88
ก.8 สเปกตรัมของสูตร 6S4A2G.....	88
ก.9 สเปกตรัมของสูตร A2G.....	89
ก.10 สเปกตรัมของสูตร S3G.....	89
ก.11 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G.....	90
ก.12 สเปกตรัมของสูตร A3G.....	90
ก.13 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G0.1C.....	91
ก.14 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G0.5C.....	91
ก.15 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3GC.....	92
ง.1 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร SG.....	103
ง.2 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 8S2AG.....	103
ง.3 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4AG.....	104
ง.4 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 4S6AG.....	104
ง.5 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 2S8AG.....	105
ง.6 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร AG.....	105
ง.7 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A2G.....	106
ง.8 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G.....	106
ง.9 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G0.1C.....	107
ง.10 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G0.5C.....	107
ง.11 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3GC.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ฉ.1	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนา ของฟิล์มแบง์ถั่วเขียว ฟิล์มผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต ที่ปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ100 ml. 111
ฉ.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มแบง์ถั่วเขียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ100 ml. เติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ..... 113
ฉ.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยืด ของฟิล์มแบง์ถั่วเขียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ100 ml. เติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ..... 115
ฉ.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง ของฟิล์มแบง์ถั่วเขียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ100 ml. เติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v ตามลำดับ..... 117
ฉ.5	กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 30 : 20 เปรียบเทียบกับฟิล์มแบง์ถั่วเขียว โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v..... 120
ฉ.6	กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบง์ถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 30 : 20 เปรียบเทียบกับฟิล์มแบง์ถั่วเขียว โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ3%v/v..... 120

คำย่อ/สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SG	ฟิล์มที่มีแต่แป้งข้าวเปียกเพียงอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
8S2AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 80 : 20 เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
6S4AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
4S6AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 40 : 60 เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
2S8AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 20 : 80 เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
AG	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 1%v/v
S2G	ฟิล์มที่มีแต่แป้งข้าวเปียกอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 2%v/v
6S4A2G	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 2%v/v
A2G	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 2%v/v
S3G	ฟิล์มที่มีแต่แป้งข้าวเปียกอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 3%v/v
6S4A3G	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 3%v/v
A3G	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เต็มกลีเซอรอล 3%v/v
6S4A3G0.1C	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002%w/v
6S4A3G0.5C	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.01%w/v
6S4A3GC	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเปียก กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เต็มกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.02%w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

งานวิจัยเพื่อพัฒนาการนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradable plastics) เกิดขึ้นครั้งแรกในราว 40 ปีที่แล้ว ซึ่งในระยะแรกงานวิจัยด้านนี้ยังไม่ได้ได้รับความสนใจมากนัก อย่างไรก็ตามด้วยภาวะโลกร้อนและปัญหามลพิษ ประกอบกับภาวะการขาดแคลนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเคมีที่เกิดขึ้นในโลกขณะนี้ ทำให้ระยะหลังงานวิจัยในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ได้รับความสนใจและมีความก้าวหน้าอย่างมากทั้งในแง่ของการวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาด้านการตลาด ซึ่งถึงแม้จะมีราคาที่สูงกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอย่างมาก แต่เนื่องจากความตื่นตัวของผู้บริโภคที่มีต่อสิ่งแวดล้อมการยอมรับของผู้บริโภคต่อพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆ พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพนั้นหมายถึง พลาสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรงทนทาน และสมบัติการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป (conventional plastics) แต่มีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยน้ำย่อย (enzymes) จากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของพลาสติกแล้ว ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่นในกองปุ๋ยหมัก ก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และวัตถุดิบที่กลับคืนสู่ธรรมชาติโดยไม่ทิ้งสารพิษใดๆที่จะเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

ถึงแม้ว่าพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพอาจผลิตได้จากวัตถุดิบกลุ่มปิโตรเคมี (petroleum-based resource) แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลจากธรรมชาติ (bio-based materials) เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (renewable) และถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า ในบรรดาชีวมวลจากธรรมชาติทั้งหลาย แป้งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้^[1]

ไฮโดรเจล^[2] เป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถดูดซับน้ำได้มากเนื่องจากสามารถกักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ เช่น หมู่ -OH, -COOH, -CONH-, NH₂ และ -SOH เป็นต้น โดยระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ พันธะไฮโดรเจน หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันต่างๆในสายโซ่ ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมาก และเมื่อโมเลกุลมีการรวมตัวกันและหดตัวอยู่จะทำให้โครงสร้างโดยรวมเกิดเป็นรูพรุนและร่องขนาดเล็กๆมากมาย จึงทำให้ไฮโดรเจลมีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับน้ำ และของเหลวทางชีวภาพ นอกจากนี้คุณลักษณะเด่นของไฮโดรเจลด้านโครงสร้างที่เป็นโครงร่างตาข่าย และประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำอยู่ภายในโครงสร้าง จึงทำให้มีการนำไฮโดรเจลไปประยุกต์ใช้งานหลายๆด้าน เช่น การนำส่งยา การดูดซับโลหะหนัก และวัสดุปิดแผล เป็นต้น วัสดุที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี หรือพอลิเมอร์จากธรรมชาติ (Natural polymer) ซึ่งไฮโดรเจลที่มาจากธรรมชาติมีข้อดีคือ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ

แป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่าย มีราคาถูก และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้มากมาย จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฮโดรเจล จากการสำรวจงานวิจัยพบที่มีการใช้แป้งชนิดต่างๆ เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาคู และแป้งมันเทศ แต่แป้งที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งคือ แป้งถั่วเขียว^[3] (Mung bean Starch) ซึ่งเป็นแป้งที่สกัดมาจากถั่วเขียว เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะข้นค่อนข้างใส เมื่อพักให้เย็นจะจับตัวเป็นก้อนแข็งอยู่ตัวค่อนข้างเหนียว ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปลูกได้ดีในเขตร้อน แหล่งปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในเอเชีย สำหรับประเทศไทยถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ไม่ได้ปลูกเป็นพืชหลักแต่ปลูกเป็นพืชประกอบร่วมกับพืชอื่นๆ ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่เกษตรกรให้ความสนใจที่จะทำการเพาะปลูกมากขึ้น ส่วนที่ใช้ภายในประเทศนั้น ได้แก่ นำไปกะเทาะเป็นถั่วซีกเพื่อนำไปประกอบอาหาร และขนมต่างๆ แปรรูปเพื่อสกัดเอาแป้งทำวุ้นเส้นหรือแป้งถั่วเขียว และทำถั่วงอก ต่างประเทศนั้นส่วนใหญ่จะนำเข้าไปใช้เพาะเป็นถั่วงอก ทำวุ้นเส้น หรือแป้งถั่วเขียว ซึ่งบริโภคกันในหมู่ชาวเอเชียเท่านั้นจึงมีตลาดค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อนำแป้งถั่วเขียวมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น เป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรมาแทนที่พอลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นการใช้แป้งถั่วเขียวจึงช่วยลดปริมาณการใช้ปิโตรเคมี อีกทั้งแป้งถั่วเขียวยังสามารถย่อยสลายได้อีกด้วย ทำให้พลาสติกที่สังเคราะห์ได้สามารถย่อยสลายเป็นอนุภาคเล็กๆ ลดการเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม^[4]

อัลจินเตเป็นเกลือของกรดอัลจินิก เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีความเป็นพิษ สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล^[5] โครงสร้างของอัลจินเตประกอบด้วย 1,4 เบตา-ดี-มานูโลนิค (1,4- β -D-mannuronic acid (M)) และ กรดแอลฟา-แอล-กูรูโลนิค (α -L-guluronic acid (G)) เชื่อมกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ซึ่งมีการจัดเรียงตัวได้ 3 แบบ เกิดทั้งได้แบบบล็อก (G-blocks และ M-blocks), แบบสลับ (MG-blocks)^[6] อัลจินเตสามารถใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำฟิล์ม และสารเคลือบ เพราะด้วยลักษณะเด่นที่เป็นคอลลอยด์ และสมบัติในการก่อตัวเป็นเจล (Gel-forming)^[7] อย่างไรก็ตามอัลจินเตมีประโยชน์อย่างมาก และมีสมบัติเฉพาะตัว โดยสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะได้ เช่น แคลเซียม ไอออน ในตัวกลางที่เป็นของเหลว ทำให้ได้เจลที่แข็งแรง และเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ^[8]

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงผลิตฟิล์มไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจินเตที่สามารถย่อยสลายได้ เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน ลดปริมาณขยะ และลดมลพิษทางอากาศได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจล จากสารละลายผสมระหว่างแป้ง ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate)
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ เช่น กลีเซอรอล ที่มีต่อฟิล์มไฮโดรเจล
3. เพื่อศึกษาการเกิดพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มผสม ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาของความเป็นไปได้ในการเตรียมฟิล์มจากสารละลายแป้ง ถั่วเขียวและสารละลายโซเดียมอัลจิเนตโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มผสมได้จากการเติมสารก่อพันธะเชื่อมโยง เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านทางการแพทย์ ด้านการเกษตร และทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผลที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตร หรืองานในทางการแพทย์
2. ทราบถึงผลของพลาสติกไซเซอร์กลีเซอรอลที่มีต่อฟิล์มผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติของฟิล์มที่ดีขึ้น
3. ทราบถึงผลของแคลเซียมไอออนที่มีต่อฟิล์มผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติของฟิล์มที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แป้ง (Starch)

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์เป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่เกิดจากกลูโคสหลายพันโมเลกุลมาต่อกันทำให้มีโมเลกุลขนาดใหญ่ พืชเก็บสะสมแป้งไว้ในส่วนต่างๆ เช่น หัว เมล็ด ราก ลำต้น และผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง (Starch granule) พบมากในพืชเมล็ด และหัว เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันเทศ มันฝรั่ง และถั่วเขียว แป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะคือ มีโครงสร้างทางเคมีโมเลกุลต่างกันและเม็ดแป้งจะมีขนาดรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย

ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมการคงตัว และเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง (Freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (Pasteurization) เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปรรูป เป็นต้น เพราะสามารถควบคุมคุณภาพได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและราคาถูก^[9]

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสมีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมด้วยพันธะ Glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งมี Aromatic carbon (C1) ไม่จับกับโมเลกุลอื่น ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งมีด้านปลายที่มีสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) คือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง แป้งแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและการจัดเรียงตัวคือ อะไมโลส (Amylose) มีขนาดเล็กและมีกิ่งเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) มีขนาดใหญ่และกิ่งมากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลของแป้งอีกชนิดหนึ่ง มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพกทินเรียกว่า “intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มาก แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน^[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน^[9]

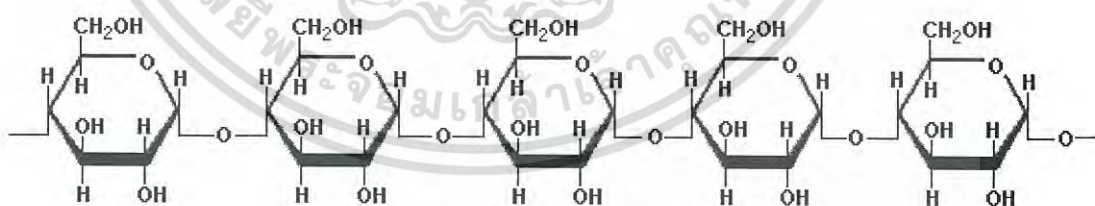
สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	$\alpha - 1, 4$	$\alpha - 1, 4$ และ $\alpha - 1, 6$
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 1,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

- 1.) อะไมโลส (Amylose)
- 2.) อะไมโลเพกทิน (Amylopectin)
- 3.) สารตัวกลาง (Intermediate material)
- 4.) ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง

1. อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 ($\alpha - 1,4$)



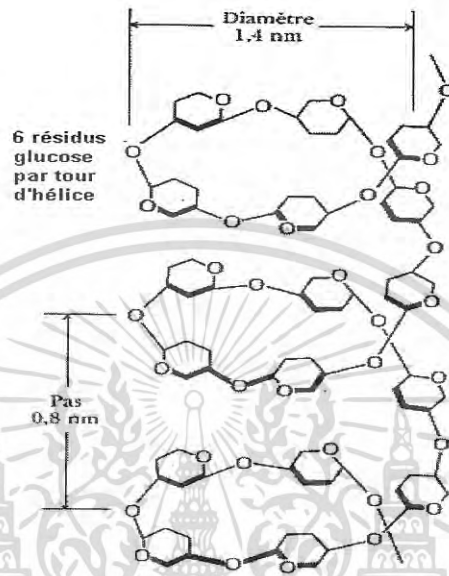
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส^[9]

แป้งจากรั้วพืชมีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28 % แป้งจากรากและหัวมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าประมาณ 20% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติอะไมโลส มีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของแป้งหลายๆชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

อะไมโลสสามารถดูดซับน้ำและสามารถเกิดเป็นไมเซลลีนน้ำได้โดยที่สายโซ่พอลิแซคคาไรด์ของอะไมโลสบิดเป็นเกลียว (Helical conformation) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างบิดเกลียวของอะไมโลส^[9]

เมื่อพิจารณาสายโซ่พอลิแซคคาไรด์ พบว่าที่ปลายสายโซ่ข้างหนึ่งประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่มีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ หมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 2 หมู่ และหมู่ Aldehydic reducing ในโครงสร้างแบบเฮมิอะซิตาล (Hemiacetal) หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสนี้เรียกว่า Reducing end ของโมเลกุล ปลายสายโซ่อีกข้างหนึ่ง หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 3 หมู่ เรียกว่า Non reducing end หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่เหลือซึ่งอยู่ระหว่างหน่วยที่อยู่ปลายสายโซ่ทั้งสองประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 2 หมู่ ต่อ 1 หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส

จากโครงสร้างของอะไมโลส พบว่ามีหมู่ไฮดรอกซีอยู่จำนวนมากซึ่งส่งผลให้แป้งมีสมบัติชอบน้ำและสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นไม่มีโซ่กิ่ง มีหมู่ไฮดรอกซีจำนวนมาก อะไมโลสจึงมีแนวโน้มในการจัดเรียงตัวขนานและชิดกัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ด้วยสาเหตุนี้ความชอบน้ำของโมเลกุลอะไมโลสจึงลดลง ทำให้ของผสมระหว่างอะไมโลสกับน้ำซึ่งอยู่ในลักษณะโซล (Sol) ขุ่นขึ้น ในสภาวะที่สารละลายเจือจาง อะไมโลสมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและตกตะกอนในสภาวะที่สารละลายเข้มข้น อะไมโลสจะมีความเกาะก่ซึ่งกันและกันจึงรบกวนการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้อยู่อัดติดกัน ดังนั้น อะไมโลสจึงจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้เพียงบางส่วน ทำให้มีปริมาตรอิสระระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายโซ่จำนวนมากซึ่งน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปและสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะไมโลส เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติในรูปของเจล (Gel)

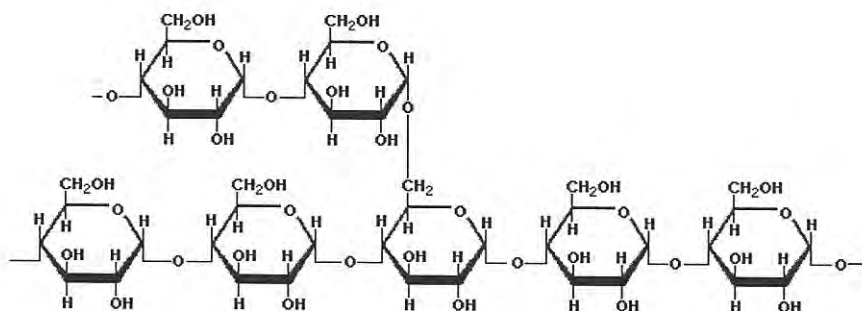
ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเปกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) การศึกษาการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้งมันฝรั่ง พบอะไมโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง อะไมโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะไมโลเปกทินอยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะไมโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ด โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (Helix) เกลียวที่คล้ายตัว (Interrupted helix) หรือ ม้วนอย่างไม่เจาะจง (Random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเกลียวที่คล้ายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดอะไมโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง นอกจากนี้โครงสร้างของอะไมโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลด้วย อะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500 ถึง 160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (Double helix) ส่วนอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นม้วนอย่างไม่เจาะจงและอาจมีบางส่วนที่ละลายได้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ^[9]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส(% น.น.แห้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (%น.น.แห้ง) Absolute
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
ถั่วเขียว	37.9	30.7

2. อะไมโลเปกทิน (Amylopectin)

อะไมโลเปกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 - 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ดังรูปที่ 2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเปกทินจากแป้งชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน^[9]

หน่วยกลูโคสที่มีกลูโคซิดิกชนิด $\alpha - 1,6$ มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณกลูโคสในอะไมโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิด คือ

- 1.) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)
- 2.) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างของอะไมโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
- 3.) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ซึ่ง 1 หมู่ในอะไมโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลเพกทินแต่ใหญ่กว่าอะมิโลส และสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะไมโลเพกทิน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนอะมิโลส อะไมโลเพกทิน และสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างการเพาะปลูก เป็นต้น

4. ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

- 1.) ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
- 2.) ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง
- 3.) ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดย

การทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

2.1.3 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐาน ส่วนสายโซ่ของอะไมโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซ่ยาวของอะไมโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่

2.1.4 สมบัติของแป้ง

2.1.4.1 การเกิดเจลาทีโนซ

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้ จะทำให้แป้งละลายน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีโนเซชัน (Gellatinization) อุณหภูมิเริ่มเจลาทีโนเซชันมักเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือเวลาเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

การเกิดเจลาทีโนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดหยุ่นได้อย่างจำกัดความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 °C (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นกับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาทีโนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้เริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหยียงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินเข้ม เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดการเกิดเจลาทีโนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงไปในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเมื่แป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึม จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17%

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือน้ำในผลึก (Crystal water) น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bond water) และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10% สามารถจับกับแป้งได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5) \cdot H_2O]$

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆกันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มมากขึ้น สมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

2.1.4.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback) เมื่อลดอุณหภูมิลงต่ำไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อนเกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆจะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดอะไมโลส อะไมโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้งในสถานะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุบวกและลบ แคลเซียมไนเตรท และยูเรีย

ปริมาณและขนาดอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกทินสูงในอัตราการคืนตัวสูงสุด (การละลายที่ต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (Degree of polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 - 160 °C อะไมโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน

2.1.4.4 ความหนืด (Viscosity)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็วทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่ความหนืดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) อาจลดลงหรือคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดแป้งและมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะไมโลสกับอะไมโลสเพกทินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีค่ามากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะลดลง เมื่อลดอุณหภูมิลงโมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมาโดยเฉพาะส่วนของอะไมโลสถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมไม่สั้นและไม่ยาวจนเกินไปจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้และกักน้ำไว้ทำให้มีความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับมาสูงอีกเรียก Setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพกทิน อุณหภูมิ ฯลฯ^[9]

2.1.5 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง

การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มตั้งแต่การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติราคาถูก คือ แป้งผสมในการฉีดพลาสติกและได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ขณะนี้สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ดังนี้

2.1.5.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

กลุ่มนี้จะใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90% ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า Gelatinized starch puff หรือ Plate expanded by extrusion หรือ Baking with extrusion เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

water หมายความว่า การให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำภายในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงกลายเป็นไอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นการทดแทนโพลีที่มาจากพอลิสไตรีน เรียกกันว่าโพลีแป้ง ใช้ในการรองรับภาชนะกันกระแทก ในกล่องโพลีแป้งแบ่งออกได้เป็น

1.) โพลีพลาสติกจากแป้ง

การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบอัดด้วยความดันสูงในเครื่องอัดรีด (Extruder) แป้งจะพองออกจากหัวฉีดเนื่องจากสูญเสียความชื้นและลดแรงดัน เมื่อเย็นตัวลงจะมีโครงสร้างแข็ง มีรูพรุนคล้ายโพลีสำหรับอุ้มอากาศ สมบัติของโพลีนี้ (ความหนาแน่น ความเหนียว) เกิดจากสมบัติของน้ำ ปริมาณน้ำ ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่ง (Additive)

2.) โพลีจากแป้ง

เป็นการใช้ลักษณะการขยาย (Expansion) ของส่วนผสมจากแป้งและเส้นใย เช่น เยื่อ (Pulp) เพื่อสร้างความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อขึ้นรูปในแม่พิมพ์ เช่น ภาชนะใส่ของ ถ้วย ถาด เป็นต้น^[10]

2.2 แป้งถั่วเขียว (Mung Bean starch)

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว

ชื่ออื่น	ถั่วจิม(เชียงใหม่) ถั่วมูม(ภาคเหนือ) ถั่วดำ ถั่วเขียว ถั่วทอง(ไทย-ภาคกลาง)
ชื่อสามัญ	: Mung Bean, Mung, Green Bean
ชื่อวิทยาศาสตร์	: <i>Phaseolus Aureus Roxb</i>
ลักษณะทั่วไป	
ต้น	: เป็นพรรณไม้ล้มลุกเนื้ออ่อนและจะมีอายุเพียงไม่เกิน 1 ปี ลำต้นมีสีน้ำตาลและแตกกิ่งก้านสาขา
ใบ	: เป็นใบรวมประกอบด้วยใบย่อยประมาณ 3 ใบ ฐานใบจะกว้างตรงปลายใบจะแหลม
ดอก	: มีสีเหลือง
ผล	: เป็นฝักและมีขนสีน้ำตาลอยู่ทั่วฝัก ฝักจะมีความยาวประมาณ 6-10 ซม. ส่วนเมล็ดจะมีสีต่างกัน อาจมีสีเขียวหรือสีเหลือง
ถิ่นที่อยู่	: พรรณไม้นี้มักจะปลูกทั่วไปในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศจีน อินเดีย มาเลเซีย ในบางประเทศบางท้องถิ่นนิยมปลูกกันในนา
สรรพคุณ	: รสหวาน ช่วยขับร้อน ถอนพิษ ขับของเหลวในร่างกาย บำรุงสายตา ลดความดันโลหิต มีประโยชน์ต่อลำคอและผิวหนัง รักษาอาการกระหายน้ำ ไตอักเสบ หรือลำไส้อักเสบ ใช้หัด ผื่นคัน เบาหวาน พิษจากพืชและสารหนู ช่วยกระตุ้นประสาทเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

อาหารมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก มักทำเป็นเครื่องดื่มแก้ร้อนในและแก้พิษในฤดู ผู้ที่ม้ามและกระเพาะอาหารอ่อนแอ ถ่ายอุจจาระบ่อยหรือท้องเดินควรกินแต่น้อย^[11]

2.2.2 ชนิดแป้งถั่วเขียว

แป้งที่สกัดมาจากถั่วเขียว เมล็ดแห้งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ สามารถทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำด้วยไฟอ่อนปานกลาง แป้งละลายง่าย สุกง่าย ชั้นเร็ว เมื่อสุกแล้ว แป้งมีลักษณะเหนียวใส ล่อน ไม่ติดภาชนะ เมื่อเย็นสนิทจะรวมเป็นก้อนแข็งอยู่ตัว ใส แป้งถั่วเขียวมีอยู่ 2 ลักษณะ ซึ่งมีอรรถประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

- แป้งถั่วเขียวตัดแปรรูป เป็นแป้งถั่วเขียวที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปเหมาะสำหรับทำอาหารที่ต้องการความใสอยู่ตัว เช่น สาคูหิม ขนสลิมกลืน ตะโก้
- แป้งถั่วเขียวธรรมชาติ เป็นแป้งที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวุ้นเส้นหรือก๋วยเตี๋ยวเชียงใหม่ และอาหารแบบตะวันออก (oriental foods)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียว^[9]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	9.49
คาร์โบไฮเดรต	3.20
โปรตีน	22.26
ไขมัน	0.33
เส้นใย	0.53
เถ้า	3.20
ปริมาณอะไมโลส	37.90
ปริมาณอะไมโลสเปกติน	62.10
อื่นๆ	0.90

2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสม คือ พอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันทางกายภาพ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมแบ่งหลักๆ เป็น 2 วิธีคือ

- การเตรียมในสภาวะสารละลาย (Solution blending)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยละลายพอลิเมอร์ต่างชนิดกันในตัวทำละลายที่เหมาะสมชนิดเดียวกันทิ้งไว้จนตัวทำละลายระเหยออกจนหมด จะได้พอลิเมอร์ผสมเป็นของแข็งซึ่งวิธีการนี้เหมาะสมกับการศึกษาในห้องปฏิบัติการแต่ไม่เป็นที่นิยมในทางอุตสาหกรรมเพราะเป็นวิธีการที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้ตัวทำละลายที่มีปริมาณมาก อีกทั้งวิธีการระเหยตัวทำละลายปริมาณมากออกจากพอลิเมอร์ผสมทำได้ยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ผลของตัวทำละลายที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก จึงต้องมีระบบในการจัดเก็บตัวทำละลายที่ระเหยออกมา และนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งต้องเพิ่มในส่วน of ค่าใช้จ่ายในการจัดการทำให้วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยวิธีนี้ไม่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมเนื่องจากเหตุผลหลักในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่สูง

- การเตรียมโดยการหลอมผสม (Melt blending)

โดยการให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ในอุณหภูมิที่สูงกว่า T_g ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ณ อุณหภูมิดังกล่าว พอลิเมอร์จะอยู่ในสถานะที่อ่อนนุ่ม ทำให้สามารถผสมพอลิเมอร์เข้าด้วยกันได้ การผสมด้วยวิธีนี้มักทำโดยใช้เครื่องมือ เช่น Barbender melt mixer ซึ่งมีขนาดเล็กใช้ปริมาณพอลิเมอร์เพียง 30 กรัม Small-scale mixer สำหรับผสมตัวอย่างในหน่วยกรัม Twin screw extruder ที่พัฒนาโดยเพิ่มส่วนของการหมุนผสมและเครื่องผสมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับสารขนาดมากกว่า 500 กรัม เป็นต้น การผสมด้วยวิธีการหลอมผสมสามารถเตรียมตัวอย่างขนาดใหญ่เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลตามมาตรฐานการวิเคราะห์ ASTM ได้¹¹²

เหตุผลในการทำพอลิเมอร์ผสม

1. พัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามต้องการ
2. ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดีขึ้น
3. ต้องการพอลิเมอร์ที่ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง
4. ปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมได้ตามความต้องการ

หลักการในการนำพอลิเมอร์มาผสมกัน

1. ต้องรู้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี
2. เลือกพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ
3. เมื่อเลือกคู่พอลิเมอร์ได้แล้วดูสมบัติความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด
4. สรุปผลว่าควรทำโดยใช้วิธีใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อัลจิเนต (Alginate)

2.4.1 แหล่งที่มาของอัลจิเนต

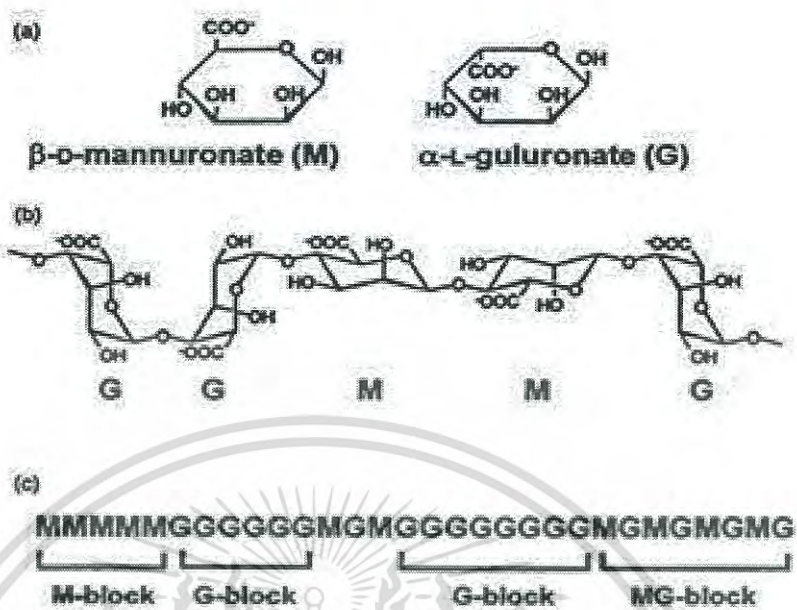
อัลจิเนต หรือ อัลจิน (Algin) เป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ในการผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสาหร่ายทะเลที่ใช้ได้แก่ มาโครคิสทิส พายริเฟร่า (*Macrocystis pyrifera*) มีอัลจินประมาณ 14-19% ลามินาเรีย คัสโทนี (*Laminaria cloustoni*) และลามินาเรีย ดิจิตาต้า (*Laminaria digitata*) มีอัลจินประมาณ 15-40% ปริมาณที่พบขึ้นอยู่กับชนิดสาหร่ายฤดูกาลสาหร่ายและแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโตสาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วไปในโลก ประเทศที่ผลิตอัลจิเนตมาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น

2.4.2 โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต

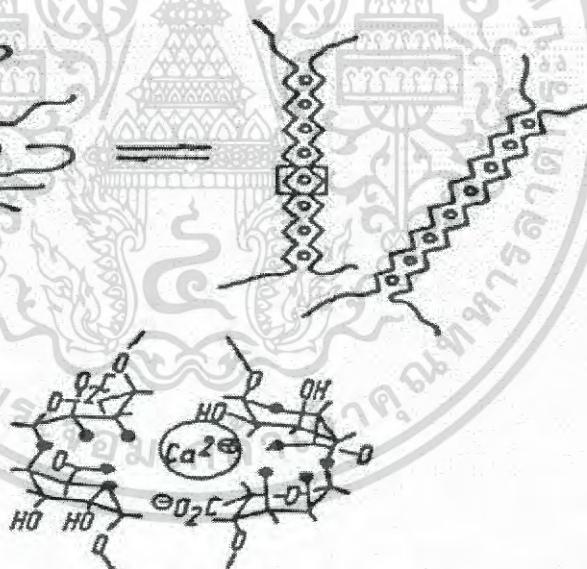
อัลจิเนต เป็นอันบลานไบนารีโคพอลิเมอร์ (Unbranched binary copolymer) ของกรด 1,4 เบตา-ดี-มานูโลนิค (1,4- β -D-manulonic acid (M)) และ กรดแอลฟา-แอล-กูลูโลนิค (α -L-gululonic acid (G)) ดังรูป 2.4a ในโมเลกุลประกอบด้วยบริเวณหน่วยของพอลิเมอร์ที่ซ้ำๆกันเพียงชนิดเดียว (Homopolymeric regions) ของ G และ M ที่เรียกว่า G-blocks และ M-blocks ตามลำดับและมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น M-G Blocks ดังรูป 2.4b และ c สัดส่วนของโคพอลิเมอร์แต่ละโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น ถ้าพอลิเมอร์มี G ที่ในปริมาณที่สูงจะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของประจุบวกเฉพาะ (Polyvalent metal cation) แต่ถ้าพอลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่เกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า อัลจิเนตที่นำมาจำหน่ายทางการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่ต่างกัน เช่น อนุพันธ์ของเกลือ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ และยังผลิตในรูปโพรไพรีนไกลคอลอัลจิเนต (Propylene glycol alginate) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของกรดอัลจินิก (Aginic acid) กับโพรไพรีนออกไซด์ (Propylene oxide) ภายใต้ความดันอนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็นความหนืดของสารละลายอัลจิเนตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก

อัลจิเนตไม่ทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นเจล และจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (Egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายพอลิเมอร์ ดังรูป 2.5 คุณสมบัติที่ดีของอัลจิเนตเนต คือทำให้เกิดเจลที่ไม่คืนตัว (Irreversible gel) ในน้ำเย็นเมื่อมี Ca^{2+} รวมอยู่ด้วยซึ่งคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้อัลจิเนตแตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีแดง^[13]

โซเดียมอัลจิเนตมีสูตรโมเลกุล คือ $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ เป็นสารประกอบทางเคมีเกลือโซเดียมของกรดอัลจินิก ดังแสดงในรูป 2.6

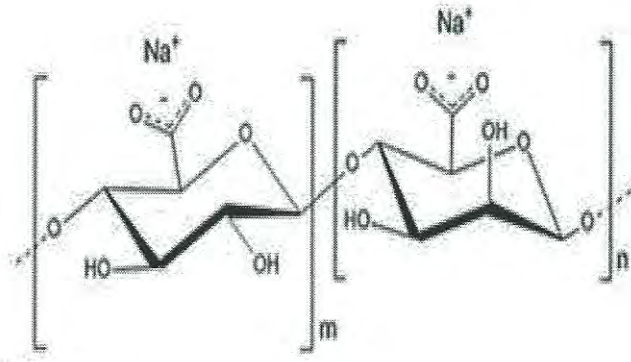


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ^[13]



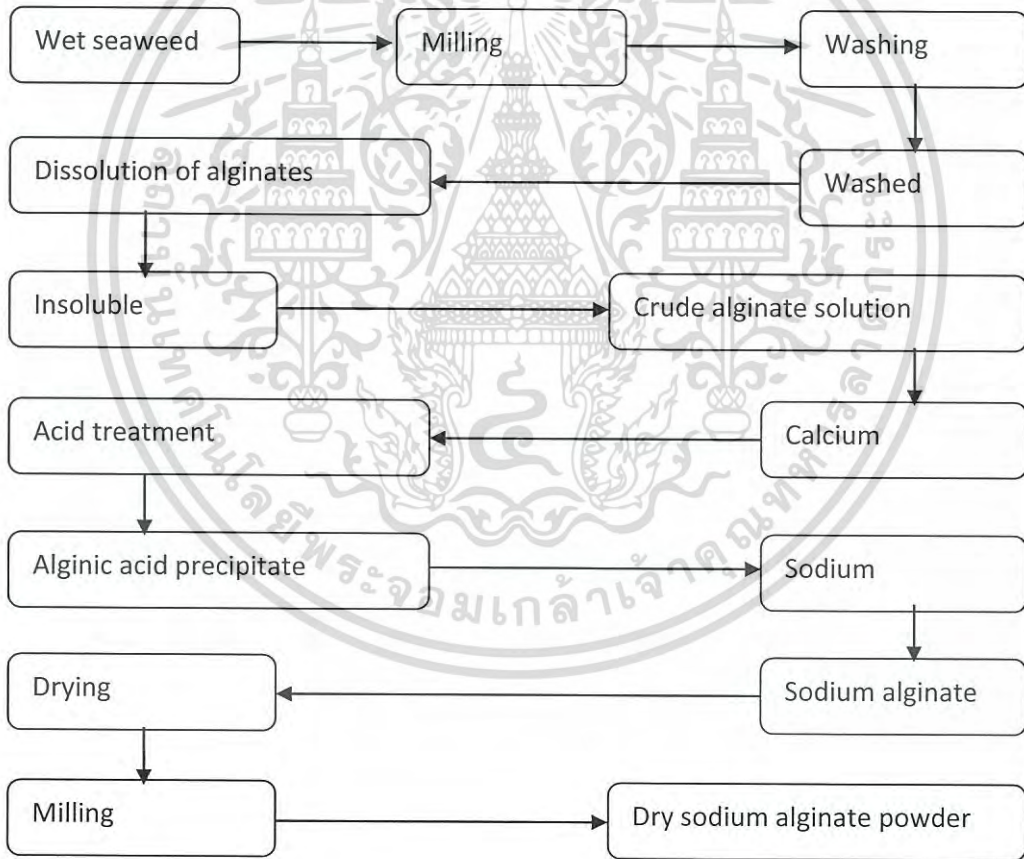
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดเจลของ Calcium alginate (Egg-box model)^[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของโซเดียมอัลจิเนต (Structure of sodium alginate)^[13]

2.4.3 กระบวนการผลิตโซเดียมอัลจิเนต



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตโซเดียมอัลจิเนต^[13]

2.4.4 ประโยชน์ของโซเดียมอัลจิเนต

โซเดียมอัลจิเนตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยเติมในอาหารกระป๋อง บางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้มีลื่นขึ้นคงตัว สารทำให้เกิดเจลและสารยับยั้งการเกิด Syneresis ตัวอย่างเช่น

- 1.) โซเดียมอัลจิเนตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ยาแก้โรคระเคาะ
- 2.) โซเดียมอัลจิเนตเป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็นเพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่าง (Freeze-thaw)
- 3.) ใช้เคลือบผิวเนื้อปลาก่อนนำไปแช่เยือกแข็งเพื่อป้องกันการเกิดรอยไหม้จากความเย็น (Freeze burn) กับชิ้นเนื้อปลา
- 4.) ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม

2.5 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic)

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) คือ พลาสติกที่ออกแบบเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้จริงทำให้สมบัติต่างๆของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

สามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 5 ประเภท คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรงแตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่นหมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีดหรือแม็กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนาмаกบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่

ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สลายไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้น ในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในเวลาที่กำหนดโดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้นและสูญเสียสมบัติเชิงกล

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดราต พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และGlycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมีสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบและแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้คำว่าพลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally degradable plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลมหรือจาก

เอนไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีกลายเป็นสารที่ถูกดูดซึมและย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตใหนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายโดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้นี้ต้องเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อมและคำว่าพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลงและส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน^{[14][15]}

2.6 ไฮโดรเจล (Hydrogel)

ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ชนิดไฮโดรฟิลิกที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ โครงสร้างของไฮโดรเจลประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนที่สามารถเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับโมเลกุลของน้ำหรือเรียกว่าส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) เช่น หมู่ -OH, -COOH, -CONH₂, -CONH- และ -SO₃H เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) เช่น หมู่ -CH₂- และ -CH₃ เป็นต้น [Kroshwitz (1989)] ระหว่างสายโซ่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ พันธะไฮโดรเจน หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ต่างๆในสายโซ่ ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมากมาย และโมเลกุลมีการพันตัวกันหรือขดตัวกันอยู่ ทำให้ภายในโครงสร้างโดยรวมเกิดรูพรุนขนาดเล็กๆ มากมาย ตัวอย่างของโครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจล แสดงดังตาราง 2.4 สมบัติเด่นของไฮโดรเจล คือ สามารถดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นร่างตาข่าย (Crosslinked network structure) พร้อมกับสามารถพองตัวหรือขยายตัวออกได้ และยังสามารถหดตัวได้เมื่อมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำออกไป นอกจากนั้นยังไม่สามารถละลายในตัวทำละลายทุกชนิด การจำแนกประเภทของไฮโดรเจลสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ก) ไฮโดรเจลแบบแผ่นฟิล์ม (Cast film)

ไฮโดรเจลแบบแผ่นฟิล์มมักนำไปใช้เพื่อเคลือบพื้นผิวของวัสดุต่างๆไฮโดรเจลชนิดนี้มีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะช่วยป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายต่างๆ ได้ โครงสร้างของไฮโดรเจลชนิดนี้แสดงดังรูป 2.8 (ก)

ข) ไฮโดรเจลแบบโครงร่างตาข่าย (Crosslinked network)

ไฮโดรเจลแบบโครงร่างตาข่ายเตรียมจากการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerisation) ระหว่างสารละลายผสมของมอนอเมอร์ (Monomer) ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) และตัวเชื่อมตอสายโซ่ (Crosslinking agent) หรือในบางกรณีอาจเติมตัวทำละลายลงไปด้วยจากนั้นเทลงไปในแม่พิมพ์ โครงสร้างของไฮโดรเจลชนิดนี้ แสดงดังรูป 2.8 (ข)

ค) ไฮโดรเจลแบบกราฟท์บนพื้นผิว (Surface grafted polymer)

ไฮโดรเจลแบบกราฟท์บนพื้นผิวทำได้โดยการให้ไฮโดรเจลเกิดพันธะกับพอลิเมอร์อื่นที่ไม่สามารถละลายน้ำเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลให้ตรงกับความต้องการเพื่อเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานได้ เช่น ปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นโดยทำให้เกิดพันธะกับพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า หรือการทำให้ไฮโดรเจลที่ละลายน้ำได้กลายเป็นไฮโดรเจลที่ไม่ละลายน้ำโดยเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำ เป็นต้น โครงสร้างของไฮโดรเจลชนิดนี้แสดงดังรูป 2.8 (ค)

ง) ไฮโดรเจลแบบอินเตอร์เพเนตเรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (Interpenetrating polymer network, IPN)

ไฮโดรเจลแบบ IPN เป็นไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างตาข่าย 2 ชนิดแทรกกันอยู่ ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ส่งผลให้โครงสร้างโดยรวมมีความแข็งแรงมากขึ้นหรือมีสมบัติอื่นที่ตรงกับความต้องการในการประยุกต์ใช้งานได้ดีขึ้น โครงสร้างของไฮโดรเจลชนิดนี้แสดงดังรูป 2.8 (ง)

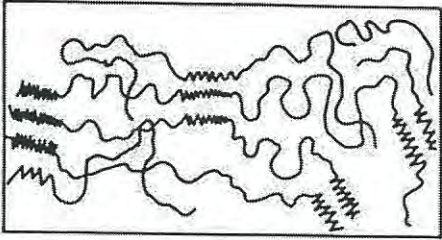
นอกจากนี้ยังมีไฮโดรเจลชนิดที่เป็นแบบกึ่งอินเตอร์เพเนตเรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (semi-IPN) คือไฮโดรเจลที่มีพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายกับพอลิเมอร์ที่ไม่มีโครงสร้างตาข่ายสอดแทรกกันอยู่ซึ่งทั้งสองเทคนิคเป็นการปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลอีกทางหนึ่งเพื่อให้ตรงต่อการประยุกต์ใช้งานในแต่ละแบบ^[16]

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างไฮโดรเจลที่มักนำมาประยุกต์ใช้งาน^[16]

โครงสร้างทางเคมี	ชื่อ	ประเภทไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ขึ้นได้
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH} \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) (Poly(2-hydroxyethyl methacrylate))</p>	<p>-ฟิล์ม -โครงร่างตาข่าย -กราฟท์บนพื้นผิว -อินเตอร์เพเนตรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก</p>
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(อะคริลาไมด์) (Poly(acrylamide))</p>	<p>-โครงร่างตาข่าย -กราฟท์บนพื้นผิว -อินเตอร์เพเนตรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก</p>
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{COOH} \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(เมทาคริลิก แอซิด) (Poly(methacrylic acid))</p>	<p>-โครงร่างตาข่าย -กราฟท์บนพื้นผิว</p>
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2 \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลามิโนเอทิลเมทาคริเลต) (Poly(N,N-dimethylaminoethyl methacrylate))</p>	<p>-โครงร่างตาข่าย -กราฟท์บนพื้นผิว</p>
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(เอ็น-ไวนิล ไพร์โรลิโดน) (Poly(N-vinyl pyrrolidone))</p>	<p>-โครงร่างตาข่าย -กราฟท์บนพื้นผิว</p>
$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array} \right]_n$	<p>พอลิ(เอทิลีน ออกไซด์) (Poly(ethylene oxide))</p>	<p>-โครงร่างตาข่าย</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) ไฮโดรเจลแบบฟิล์ม (Cast film)

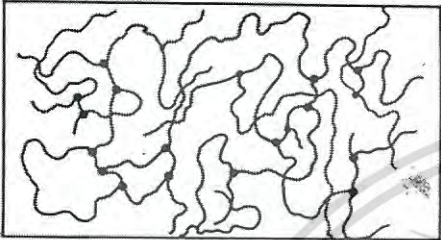


พอลิเมอร์ส่วนที่ชอบน้ำ



พอลิเมอร์ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

ข) ไฮโดรเจลแบบโครงร่างตาข่าย (Crosslinked network)



พอลิเมอร์ส่วนที่ชอบน้ำ

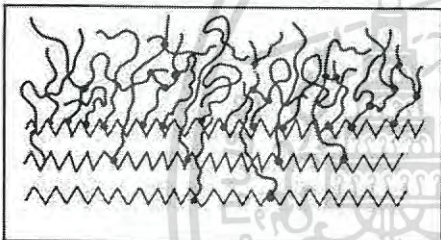


พอลิเมอร์ส่วนที่เกิดพันธะโควาเลนต์



พอลิเมอร์ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

ค) ไฮโดรเจลแบบกราฟท์บนพื้นผิว (Surface grafted polymer)



พอลิเมอร์ส่วนที่ชอบน้ำ

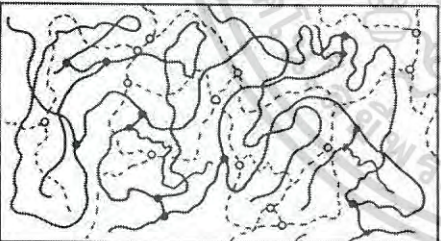


พอลิเมอร์ส่วนที่มีการเชื่อมต่อ



พอลิเมอร์ส่วนที่มีการเชื่อมต่อ

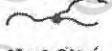
ง) ไฮโดรเจลแบบอินเตอร์เพเนตริงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (Interpenetrating polymer network)



พอลิเมอร์ชนิดที่ 1 (ส่วนที่ชอบน้ำ)



พอลิเมอร์ชนิดที่ 2 (ส่วนที่ชอบหรือไม่ชอบน้ำ)



พอลิเมอร์ชนิดที่ 1 (ส่วนที่เกิดการเชื่อมต่อ)



พอลิเมอร์ชนิดที่ 2 (ส่วนที่เกิดการเชื่อมต่อ)

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไฮโดรเจลประเภทต่างๆ แบ่งตามลักษณะการสังเคราะห์^[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 สมบัติของไฮโดรเจล (Properties of hydrogels)

สมบัติเฉพาะของไฮโดรเจล คือ สามารถพองตัวแต่ไม่ละลายในน้ำเนื่องจากไฮโดรเจลประกอบด้วยทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ เมื่อนำไฮโดรเจลไปแช่น้ำโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่ผ่านและแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณที่ว่างหรือรูพรุนภายในโครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจลนั้นได้ เนื่องจากแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) โมเลกุลน้ำบางส่วนจะเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์แล้วผลักดันให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการขยายตัวหรือเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างของไฮโดรเจลให้เกิดสมดุลใหม่ไฮโดรเจล เมื่อขยายตัวเต็มที่จะไม่แยกขาดออกจากกันได้ เนื่องจากภายในจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีความยาวจำกัดและยึดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยมีตัวเชื่อมต่อกัน (Crosslinker) เป็นตัวช่วยยึดระหว่างสายพอลิเมอร์ไว้ การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัว สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล มีดังนี้คือ

ก) แรงดันออสโมติกเนื่องจากปริมาณน้ำภายในและภายนอกไฮโดรเจลมีไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดแตกต่างของแรงดันออสโมติก ดังนั้นน้ำจากภายนอกจึงแพร่เข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนของไฮโดรเจลนั้น ถ้าแรงดันออสโมติกแตกต่างกันมาก น้ำก็จะเคลื่อนที่เข้าไปในไฮโดรเจลมากขึ้น

ข) แรงกระทำระหว่างโมเลกุลน้ำกับไฮโดรเจล ถ้าพอลิเมอร์นั้นมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มาก เช่น เมื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นหรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วจะทำให้เป็นการเหนี่ยวนำโมเลกุลน้ำแพร่เข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

ค) ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ถ้าไฮโดรเจลมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มาก น้ำก็จะแพร่เข้าไปได้มาก

ง) ความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้าสายโซ่มีความยืดหยุ่นที่ดีจะเป็นการลดแรงต้าน (Resistance force) ของการแพร่ของโมเลกุลน้ำเพื่อเข้าสู่สมดุลใหม่ทำให้โมเลกุลน้ำแพร่ผ่านเข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

จ) ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้ามีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อมากจะเปรียบเสมือนกับการเพิ่มแรงต้านทานในการขยายตัวของไฮโดรเจลทำให้ความสามารถในการพองตัวได้ลดลง

โมเลกุลน้ำที่อยู่ภายในไฮโดรเจลมี 2 ลักษณะใหญ่ๆ แสดงดังรูป 2.9 ได้แก่ โมเลกุลน้ำที่ไม่เกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เรียกว่า “โมเลกุลน้ำอิสระ” (Free water) สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ระเหยได้ง่าย มีผลต่อสมบัติของไฮโดรเจลไม่มากนัก และโมเลกุลน้ำที่เกิดพันธะกับสายโซ่ (Bound water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ภายในโครงสร้างไฮโดรเจลได้ยากกว่าและต้องใช้ความร้อนปริมาณหนึ่งในการระเหยโมเลกุลน้ำลักษณะนี้ออกปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในไฮโดรเจล (Water content, WC) สามารถคำนวณได้จากสมการ

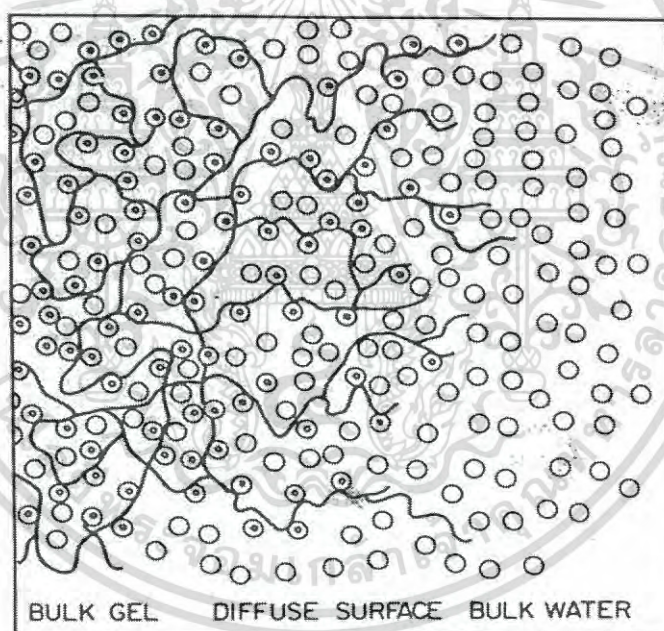
$$\% \text{ปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบ} = \frac{(\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับ} - \text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง})}{\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับ}} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไฮโดรเจลขณะที่ไฮโดรเจลพองตัวเต็มที่แล้ว เรียกว่า “ปริมาณน้ำสมดุล” (Equilibrium water content, EWC) นอกจากการหาปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายในไฮโดรเจลในตัวแปรของ WC ยังมีการศึกษาในตัวแปรสัดส่วนของการพองตัว (Swelling ratio, SR) ซึ่งเป็นการแสดงน้ำหนักของน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปเทียบกับพอลิเมอร์ การคำนวณหา SR แสดงดังสมการ

$$\text{สัดส่วนการพองตัว} = \frac{(\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง})}{\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง}}$$

สมบัติที่สำคัญอีกประการของไฮโดรเจลคือ การยอมให้มีการแพร่ผ่านของโมเลกุลต่างๆ เช่น น้ำ โปรตีน ยา หรือแม้แต่ก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านทางการแพทย์^[16]



-  คือ สายโซ่พอลิเมอร์
-  คือ น้ำโมเลกุลอิสระ
-  คือ โมเลกุลน้ำที่เกิดพันธะกับสายโซ่พอลิเมอร์

รูปที่ 2.9 อันตรกิริยาของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจล^[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในทางการแพทย์เพื่อเป็นวัสดุปิดแผล (Medical applications of hydrogels for used as wound dressing)

วิวัฒนาการของไฮโดรเจลสังเคราะห์

ในปี ค.ศ. 1960 ได้เริ่มมีการศึกษานำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผลซึ่ง Wichterle และ Lim (1960) ได้นำพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต) (poly(2-hydroxyethyl methacrylate), PHEMA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดโครงร่างตาข่าย ข้อดีของพอลิเมอร์ชนิดนี้ คือสามารถดูดซับน้ำได้ ยอมให้มีการแพร่ผ่านของไอน้ำและเมตาบอลิซึม และยังสามารถนำไปผ่านการฆ่าเชื้อ (Sterilize) ได้โดยที่ไม่ทำให้พอลิเมอร์เสียสภาพนอกจากนั้นยังสามารถออกแบบรูปร่างรวมถึงโครงสร้างย่อย (Microstructure) ได้หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานที่กว้างมากขึ้น ต่อมา Tanaka (1979) ได้มีความสนใจพอลิ(อะคริลาไมด์) (poly(acrylamide)) ซึ่งพบว่ามีสมบัติที่ใกล้เคียงกับพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต) ข้างต้น แต่มีข้อดีเพิ่มขึ้นมาคือสามารถดูดซับน้ำได้ในอัตราที่เร็วกว่า นอกจากพอลิเมอร์สังเคราะห์สองชนิดที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ยังมีความพยายามที่จะนำพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ มาใช้ เช่น พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ เอ็น-ไวนิล-2-ไพโรลิโดน (N-vinyl-2-pyrrolidone) เมทาคริลิกแอซิด (methacrylic acid) เมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) และ 2-อะคริลาไมโด-2-เมทิลโพรเพนซัลโฟนิคแอซิด (2-acrylamido-2-methylpropaneulfonic acid, AMPS) เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีการปรับปรุงพอลิเมอร์ดังกล่าวด้วยวิธีการพอลิเมอไรเซชันในลักษณะต่างๆ เช่น โคพอลิเมอร์ พอลิเมอร์เบลนด์ และพอลิเมอร์แบบกราฟท์ เป็นต้น^[16]

ตัวอย่างวัสดุปิดแผลชนิดไฮโดรเจลทางการค้าที่ได้รับความนิยม เช่น ไฮดรอน (Hydron®) วิจิลอน (Vigilon®) และเจลลิเพิร์ม (Geliperme®) เป็นต้น ซึ่งไฮโดรเจลเหล่านี้ประกอบขึ้นมาจากมอนอเมอร์ที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิก เช่น HEMA เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) และอะคริลาไมด์ (acrylamide) เป็นต้น นอกจากนั้นแผ่นไฮโดรเจลทางการค้าบางชนิดยังมีการออกแบบให้มีลักษณะที่ประกอบขึ้นเป็นชั้นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานให้มีหน้าที่จำเพาะของแต่ละชั้นด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป วัสดุไฮโดรเจลข้างต้นจะช่วยป้องกันการติดเชื้อเนื่องจากมีส่วนของชั้นที่ป้องกันการผ่านเข้ามาของสิ่งสกปรกหรือแบคทีเรียจากภายนอก และส่งเสริมให้เกิดการหายของแผลได้ในระยะเวลาที่เร็วขึ้นเนื่องจากแผ่นไฮโดรเจลมีความสามารถรักษาความชุ่มชื้นให้กับบาดแผล มีหลักฐานการยืนยันทางการแพทย์ระบุว่าแผลที่มีความชุ่มชื้นในระดับที่เหมาะสมจะลดการติดเชื้อและที่สำคัญคือช่วยเร่งการหายของแผล^[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติไซเซอร์ คือ สารเติมแต่ง (Additive) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อให้มีสมบัติเปลี่ยนไปคือ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง ทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและยา เครื่องมือทางการแพทย์ ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง

2.7.1 ประโยชน์ของพลาสติไซเซอร์

1. เพิ่มความสามารถในการไหล ลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) ของพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดัดรีด ฉาบ หรือหล่อแบบ
2. เพิ่มความอ่อนตัว (Softness) เป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย ลดจุดอ่อนตัว (Softening point)
3. เพิ่มความสามารถในการดึงให้ยืดออก (Extensibility)
4. ลด Cold flex temperature อุณหภูมิซึ่งพอลิเมอร์จะสูญเสียความยืดหยุ่นไปหมดเมื่อ ($T < T_{cold\ flex}$)
5. ลดความทนแรงดึง และแรงอัด
6. เพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก
7. เป็นฉนวนไฟฟ้า
8. ทนต่อกรดต่าง น้ำมันและผงซักฟอกโดยจะใส่ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก^[18]

2.7.2 พลาสติไซเซชัน (Plasticization)

พลาสติไซเซชัน (Plasticization) คือ กระบวนการหรือกรรมวิธีที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) หรือกระบวนการยืดหยุ่นให้กับพอลิเมอร์ซึ่งได้จากการที่เราเติมพลาสติไซเซอร์ลงในสารผสมของพอลิเมอร์ โดยพลาสติไซเซอร์แบ่งได้เป็นพลาสติไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) และพลาสติไซเซอร์ภายใน (Internal plasticizer)

1. พลาสติไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) จะถูกผสม หรือ ละลายอยู่ในพอลิเมอร์สารที่นำมาใช้ควรมีสมบัติ

1.1 น้ำหนักโมเลกุลอย่างน้อย 300 เพื่อให้มีจุดเดือดสูง ไม่ระเหยง่าย

1.2 ค่า Solubility parameter ใกล้เคียงกับของพอลิเมอร์เพื่อให้ละลายเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี

1.3 ถ้าพอลิเมอร์มีแนวโน้มเกิดผลึกได้ Plasticizer ควรมีแรงดึงดูดพิเศษกับพอลิเมอร์นั้น

1.4 Plasticizer ไม่ควรเป็นของแข็งที่เป็นผลึก ณ อุณหภูมิห้อง นอกจากว่าจะมีแรงดึงดูดพิเศษกับพอลิเมอร์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พลาสติไซเซอร์ภายใน (Internal plasticizer)

ได้แก่พวก Copolymerization โดยนำ Monomer ที่เป็น Homopolymer ที่มี T_g สูงมา Copolymerize กับ Monomer ซึ่ง Homopolymer ของมันมี T_g ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมี ส่วนที่ “แข็ง” และ “อ่อน” อยู่รวมกัน ไม่สามารถแยกจากกันได้โดยการสกัดออก (Extraction)

พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร พลาสติกห่ออาหาร เครื่องมือแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือดหรือน้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์ รองเท้า กระเป๋าเสื้อผ้า กระเบื้องยางปูพื้นสายไฟ เทปพันสายไฟ ท่อน้ำแข็งเก็บสารเคมี และอื่นๆโดยที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ถึง 65% ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt Brothers ในราว ค.ศ.1870 เมื่อเขาผสมการบูร (Camphor) กับ ไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ต่อมาไตรคริสลฟอสเฟต (Tricresyl phosphate) ก็ถูกนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ตามด้วยพทาเลทเอสเทอร์ (Phthalate esters)

2.7.3 กลไกของพลาสติไซเซชัน (Mechanism of plasticization)

พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ (Polymer molecules) แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรง Vander Waal โดยที่พลาสติไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์แต่จะแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์โดยไปทำให้แรง Vander Waal ลดลง^[19]

2.8 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride: CaCl_2)

แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวใช้มากในงานอุตสาหกรรมทั่วไป อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นสารที่ดูดซับความชื้น และละลายได้ดีในน้ำ เมื่อละลายน้ำจะเกิดกรดไฮโดรคลอริกและเกิดแคลเซียมประจุบวกมักใช้ในรูป $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

ลักษณะจำเพาะ

- สถานะ : ของแข็งสีขาวเงิน
- จุดหลอมเหลว : 851°C
- ความร้อนในการหลอมเหลว : 2.23 kcal/mol
- จุดเดือด : $1,482^\circ\text{C}$
- ความร้อนในการกลายเป็นไอ : 36.7 kcal/mol ที่ $1,482^\circ\text{C}$
- ความหนาแน่น : 1.54 g/cc ที่ 20°C
- ความร้อนเมื่อเผาไหม้ : 151.9 cal/g
- ละลายได้ดีในน้ำ ได้กรดแก่ ไฮโดรคลอริก ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + 2\text{HCl}$ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 การผลิตแคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์ส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการเตรียมโซดาแอช (Na_2CO_3)

2.8.2 ประโยชน์แคลเซียมคลอไรด์

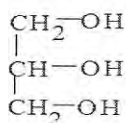
1. งานเทคนิคกรีนนิยมนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเร่งการแข็งตัวและเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วงอายุต้นๆ
2. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์นิยมนิยมใช้รักษา และยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผักผลไม้หลายชนิดโดยการฉีดพ่นสารละลายทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวหรือจุ่มผลผลิตในสารละลายโดยตรง
3. ในอุตสาหกรรมบางชนิด นิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์สำหรับดูดซับความชื้นหรือดูดซับน้ำออกจากตัวทำละลาย
4. ในอุตสาหกรรมอาหารผลไม้กระป๋องนิยมนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อเพิ่มความกรอบให้แก่ผลไม้
5. ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ นิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มความนุ่มของผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ เช่น เนื้อโค เนื้อไก่ เป็นต้น
6. ในอุตสาหกรรมบางชนิดนิยมนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์สำหรับสำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร
7. ในอุตสาหกรรมอาหารบางชนิดนิยมนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อเพิ่มรสชาติและสกัดโปรตีนออกจากเนื้อ เช่น การผลิตไส้กรอก การผลิตเนื้อหมัก

2.8.3 พิษแคลเซียมคลอไรด์

1. สามารถกัดกร่อนโลหะให้เกิดสนิม หากใช้ในงานเทคนิคกรีนมักทำให้คอนกรีตมีการหดตัว และคอนกรีตมีความต้านทานซัลเฟตลดลง
2. สารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด (กรดไฮโดรคลอริก) ทำให้เกิดการระคายเคืองเมื่อสัมผัส ทั้งบริเวณผิวหนังและตา หากสัมผัสกับสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรงทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นตายได้
3. การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้และอาหารทุกชนิดอาจมีการตกค้างของคลอรีน ทำให้เกิดความเป็นพิษได้นอกจากนั้นผลของการตกค้างของคลอรีนมักทำให้อาหารมีกลิ่นไม่พึงปรารถนา และมีรสขม^[20]

2.9 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือที่เรียกว่า กลีเซอริน (Glycerine หรือ Glycerin) หมายถึงสารจำพวก โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรเคมี $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-Propantriol) และมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 โครงสร้างกลีเซอรอล (Glycerol)^[21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอลถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1779 โดย Scheele ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาการผลิตสบู่ (Saponification) ระหว่างน้ำมันมะกอกกับเลดออกไซด์ ต่อมาในปี ค.ศ.1813 Chevreul ได้พบว่ากลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบของไขมัน โดยอยู่ในรูปของกลีเซอรอลเอสเทอร์ (Glycerol ester) ของกรดไขมัน (Fatty acids) และได้ตั้งชื่อว่า “กลีเซอรอล” ซึ่งมาจากภาษากรีกที่มีความหมายว่า “มีรสหวาน” กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกในปี ค.ศ.1866 เมื่อ Nobel ได้ทำการผลิตระเบิดไดนาไมต์ในรูปไนโตรไนเตรตของกลีเซอรอล หรือไนโตรกลีเซอริน (Nitroglycerin) และในปี ค.ศ.1949 สามารถสังเคราะห์กลีเซอรอลโดยใช้โพรฟินเป็นสารตั้งต้น ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมการสังเคราะห์กลีเซอรอลที่มีความสำคัญมาก

ในปัจจุบันกลีเซอรอลถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เป็นอันตราย โดยในปี ค.ศ.1986 มีปริมาณการผลิตโดยรวมประมาณ 550,000 ตัน/ปี โดยเป็นการผลิตจากการแตกตัว (Splitting) น้ำมันที่ได้จากธรรมชาติ 75% และการสังเคราะห์จากโพรฟิน 25%^[21]

2.9.1 สมบัติของกลีเซอรอล

กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และมีโครงสร้างที่คล้ายน้ำตาลจึงทำให้กลีเซอรอลมีรสหวานและเนื่องจากโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนจึงทำให้กลีเซอรอลเป็นของเป็นของเหลวหนืด กลีเซอรอลมีจุดเดือด 290 °C ที่ความดันบรรยากาศ กลีเซอรอลสามารถละลายได้ดีกับน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้ง ฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิกที่ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนในวงแหวน (เช่นไพรีดีน ควิโนลีน) กลีเซอรอลไม่สามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด แอลกอฮอล์ที่มีโซยาว น้ำมันพืชและสัตว์ และตัวทำละลายจำพวกแฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 สมบัติของกลีเซอรอล^[21]

Property	Value
Molecular weight	92.09
Melting pint	18.0 °C
Boiling point (101.3 kPa)	290.0 °C
Density (20 °C)	1.261 g/cm ³
Refractive index,nD	1.474
Dynamic viscosity (20 °C)	1.410 Pa.s
Compressibility (28.5 °C)	2.1×10 ⁻⁴ MPa ⁻¹
Gravity coefficient of thermal expansion (15-20 °C)	0.000615 K ⁻¹
Surface tension (20 °C)	63.4 mN/m
Diffusion coefficient of water into glycerol (20 °C)	1.336×10 ⁻¹¹ m ² /s

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่หลากหลายจึงทำให้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือเป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่มีสี และมีกลิ่น การใช้กลีเซอรอลมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และอาหาร เนื่องจากไม่เป็นพิษ และมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีต่อสารประกอบหลายชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้กลีเซอรอลยังเป็นสารฮิวเมคแทนท์ประเภทอินทรีย์ (Organic humectant) จำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ คือสามารถดูดเก็บความชื้นจากบรรยากาศมาเก็บไว้ได้ภายใต้ความชื้นปกติของบรรยากาศและความหนืด ทำให้สารละลายมีลักษณะเป็นไซรัป กลีเซอรอลถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆดังต่อไปนี้

1. ด้านอาหาร เนื่องจากไม่มีพิษ สามารถใช้แทนคาร์โบไฮเดรตได้ เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื่อม (Syrup) ในลูกอมและไอซิง (Icing) ใช้ในการแช่แข็งของอาหารและเป็นสารหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและการบรรจุหีบห่อ

2. ด้านยาและด้านเครื่องสำอางเป็นส่วนผสมของยาหลายชนิดสารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (Glycerol-Phenol) ในเครื่องสำอางผสมในครีม และโลชั่น ทำให้ผิวชุ่มและชุ่มชื้น ทำยาสีฟันให้มีความหนืดและมันวาว

3. บุหรี่ เป็นส่วนสำคัญในการขึ้นรูปบุหรีก่อนบรรจุ ทำให้บุหรีติดไฟช้า

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนีย์ โชตินีรนาทและคณะ (2000)^[22] งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งถั่วเขียวที่สกัดได้จากพันธุ์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ โดยการสกัดแป้งถั่วเขียวจาก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ อู่ทอง1, กำแพงแสน1, ชัยนาท 60 และ36 และมอ1 แป้งถั่วเขียวทั้ง 5 สายพันธุ์มีความบริสุทธิ์สูงและมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน แป้งถั่วเขียวมีกำลังการพองตัวและค่าการละลายได้ค่อนข้างต่ำซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณอะไมโลสที่มีอยู่สูง (30-32%) ขั้วขวางการพองตัวของเม็ดแป้งโดยทั่วไปแป้งถั่วเขียวจะมีความคงตัวสูงและมีความหนืดคล้ายคลึงกัน สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ α -amylase และ glucoamylase ได้ดี ดังนั้น พันธุ์ถั่วเขียว มอ1 และชัยนาท36 จัดเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพที่จะผลิตแป้งถั่วเขียวเนื่องจากสามารถให้ผลผลิตของเมล็ดเพิ่มขึ้นและได้แป้งที่มีคุณภาพดีขึ้น

รังสิมา ชลคุปและคณะ (2000)^[18] แป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ในพลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องจากมีความกรอบและแข็งเมื่อเก็บไว้เวลานานและมีสมบัติเชิงกลของแป้งที่ไม่ดีจึงมีการใช้พลาสติกไฮเซอรินในส่วนของแป้งเมื่อนำมาผสมกับพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของความหนืดและทางเชิงกล ในการศึกษาครั้งนี้เตรียมสูตรพื้นฐานโดยใช้น้ำผสมกลีเซอรอล (50 : 50) 35% โดยน้ำหนักผสมกับแป้งและพอลิคาร์โพลแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) (50 : 50) ปริมาณ 65% โดยน้ำหนักในสภาวะที่มีพลาสติกไฮเซอริน (0-30%) โดยน้ำหนัก ชนิดต่างๆ ได้แก่ แอมโมเนีย คลอไรด์ ยูเรีย ซอบิทอล ซูโคส span60 ไกลซีน และไทโรซีนในเครื่อง Extruder ผลที่ได้ต่อสมบัติ Melt viscosity พบว่าพลาสติกไฮเซอรินทุกชนิดยกเว้นไกลซีนและไทโรซีนทำให้ความหนืดของ Extruder ลดลง ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบ Shear thinning (Power law index), m มีค่า 0.35-0.70 ส่วน span60 จะให้ลักษณะ Over lubrication (ค่า m มีค่า 0.94) พลาสติกไฮเซอรินทุกชนิดทำให้ค่า Tensile strength ลดลง (0-53% ที่ปริมาณ 30% ของพลาสติกไฮเซอริน) ขณะที่ค่า %Elongation จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้พลาสติกไฮเซอรินทุกชนิดโดยเฉพาะแอมโมเนียคลอไรด์และยูเรียมีผลให้ค่าเพิ่มขึ้น เป็น 19.05% และ 20.76% ตามลำดับ

รัตนา จินดาพรรณ ,จิรนาถ บุญคง และจิรศักดิ์ แก้วเกิด (2005)^[23] จากการทดลองผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียวโดยการเตรียมสารละลายโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้น 6%w/v แปร ระดับ pH คือ 7, 8 และ9 ร่วมกับการแปรอัตราส่วนของปริมาณโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณของกลีเซอรอลที่ 100 : 0, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมกับการ ผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว คือ pH 9 และอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณของกลีเซอรอลเป็น 70 : 30 ฟิล์มที่ผลิตได้มีสมบัติทางกายภาพดังนี้ความหนาเท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.0010 กรัม/ตารางเมตร/ชั่วโมง การต้านทานแรงดึงขาดเท่ากับ 4.0537 นิวตัน และสามารถต้านทานน้ำมันมากกว่า 200 ชั่วโมง เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ประกอบด้วย ความชื้น0.8% โปรตีน 52.6% ไขมัน 0.8% คาร์โบไฮเดรต 32.8% และเถ้า 3.0% ตามลำดับ สุดท้าย

ทดลองนำโปรตีนถั่วเขียวดังกล่าวมาทดลองบรรจุเครื่องปรุงรสเบหมีกึ่งสำเร็จรูปพบว่าฟิล์มโปรตีนถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขี้ยวสกัดสามารถ ปิดผนึกได้ด้วยความร้อนและสามารถเก็บรักษาเครื่องปรุงรส ได้นานกว่า 3 เดือน นอกจากนี้ สามารถละลายได้ในน้ำเดือด ภายในเวลา 90 วินาที

สมภพ อินทสุวรรณ (2006)^[13] ได้ศึกษาฟิล์มแอลจิเนต - เจลาตินที่เชื่อมโยงด้วย Ca^{2+} โดย Ciprofloxacin hydrochloride ใช้เป็นแบบจำลองยาในความเข้มข้นต่างๆ ฟิล์มถูกเตรียมด้วยเทคนิคการหล่อแบบที่ระเหยตัวทำละลาย ทำการตรวจสอบสัณฐานวิทยา, ลักษณะทางเคมี, สมบัติเชิงกลรวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลในการปลดปล่อยยาจากฟิล์มแอลจิเนต-เจลาติน ปัจจัยเหล่านี้รวมทั้งอัตราส่วนขององค์ประกอบของ แอลจิเนต-เจลาติน, ปริมาณ Ciprofloxacin hydrochloride ที่ใส่เข้าไป, ค่า pH และความแข็งแรงของไอออนของสารที่ปลดปล่อย, ความหนาของฟิล์มที่ใส่ยาเข้าไป และเวลาการเชื่อมโยงกับ Ca^{2+} ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 101.5 MPa และเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดที่ 19.4 เปอร์เซ็นต์ ของฟิล์มผสมเมื่อปริมาณเจลาติน 50%wt ผลการทดลองการควบคุมการปลดปล่อยพบว่าปริมาณ Ciprofloxacin hydrochloride ปลดปล่อยลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเจลาตินในฟิล์ม ยิ่งไปกว่านั้นอัตราการปลดปล่อยยาลดลงเมื่อปริมาณยาที่ใส่ในฟิล์มเพิ่มขึ้น ฟิล์มแอลจิเนต - เจลาติน มีความไวต่อค่า pH และความแข็งแรงของไอออนสำหรับ pH 7.4 การปลดปล่อยยาเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ pH 3.6 ซึ่งมันสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลง Intestinal fluid ความหนาของฟิล์มเพิ่มจาก 30 ไมโครเมตร เป็น 55 ไมโครเมตร กับเกิดการลดลงของความเข้มข้น Ciprofloxacin hydrochloride จาก 100 เปอร์เซ็นต์เป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาการเชื่อมโยงของฟิล์มในสารละลาย Ca^{2+} ที่ 0, 5, 15 และ 30 นาที มีอัตราการปลดปล่อยยาถึง 100 เปอร์เซ็นต์, 100 เปอร์เซ็นต์, 77.6 เปอร์เซ็นต์ และ 52.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับภายในเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าฟิล์มแอลจิเนต - เจลาติน มีประโยชน์ในระบบการรับส่งยา

Ornanong S. และคณะ (2006)^[24] Fifteen sodium carboxymethyl mungbean starches (SCMMS หรือ MMSs) เตรียมได้จากแป้งที่ผ่านปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution reaction) โดยใช้ Monochloroacetic acid และตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ, degree of substitution, การละลาย, SEM, X-ray และศึกษาการไหลภายใต้สภาวะปกติและการแช่แข็ง (Freeze-thaw) Degree of substitution ของ MMSs ที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 0.06-0.66 Nine modified mungbean starches สามารถละลายได้อย่างอิสระในน้ำธรรมดาในขณะที่ Six modified mungbean starches ละลายน้ำได้เพียงบางส่วน หรือเกิดการบวมตัวเท่านั้น pH ของน้ำที่ 9.0-10.5 MMSs สามารถละลายได้ Scanning electron microscopy (SEM) แสดงให้เห็นบางส่วนหรือทั้งหมดของแป้งดัดแปรซึ่งส่วนมากเม็ดแป้งจะเกิดรอยแตก ยกเว้น MMS-M-04 และ MMS-E-04 เม็ดแป้งยังคงรูปร่างกลม X-ray diffraction สอดคล้องกับ SEM แสดงให้เห็นว่าอนุภาคทรงกลมของ MMSs สามารถรักษาความเป็นผลึกไว้ได้ ในขณะที่ผิวหน้าถูกทำลาย SEM แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียผลึก 92.4% เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยแป้งดัดแปรจะมีค่าความหนืดสูงที่สุดที่ 100%เอทานอลที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chillo S และคณะ (2008)^[25] ได้ศึกษาเรื่องอิทธิพลของกลีเซอรอลและโคโคซานที่มีต่อฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง ที่มีคุณสมบัติรับประทานได้ กล่าวว่าผลต่อบุคคลและการตอบโต้ของกลีเซอรอลและโคโคซานที่มีต่อฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติรับประทานได้ สํารวจโดยที่บริเวณผิวหน้าในการตอบสนองการทดสอบได้ทำงานในพอลิเมอร์ริกเมทริกเพื่อทดสอบฟิล์มในรูปสารละลาย ทดสอบความเหนียว และสมบัติเชิงกล, ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) และสี ฟิล์มในรูปสารละลายนี้บ่งบอกพฤติกรรมเป็นซูโดพลาสติก สังเกตได้จากสมบัติเชิงกลของมัน โคโคซานแสดงอิทธิพลทางบวก ขณะที่กลีเซอรอลแสดงอิทธิพลทางลบ ค่า $\tan\delta$ มีผลต่อกลีเซอรอลมากกว่าโคโคซานซึ่งอ้างอิงกับข้อมูลของ WVP การเพิ่มขึ้นของโคโคซานแสดงอิทธิพลทางลบ, ในทางตรงกันข้าม กลีเซอรอลก็ให้อิทธิพลทางบวก นอกจากนั้นโคโคซานและกลีเซอรอลมีอิทธิพลเรื่องสีด้วย สามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของโคโคซานและกลีเซอรอลมีผลต่อแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติรับประทานได้ อาจมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการทำงานของฟิล์ม

Jong Oh Kimb และคณะ (2008)^[26] ไฮโดรเจลมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซึมได้ดี จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผ้าปิดแผล เตรียมได้จากนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โซเดียมอัลจิเนต มาผ่านกระบวนการวัลจิกรการทำให้แข็งและละลาย โดยนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โซเดียมอัลจิเนต และไนโตรฟูโรซานที่เตรียมในน้ำกลั่นในอัตราส่วนต่างๆ จากนั้นนำไปกวนให้เข้ากัน และเทในจานแก้ว แล้วทำให้แข็งที่อุณหภูมิ -20°C แล้วให้กลับสู่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชม. จากนั้นทำการทดสอบค่าต่างๆ เช่น อัตราการบวมตัว, TGA, การดูดซึมโปรตีนบนผิวหน้าของไฮโดรเจล เป็นต้น นำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับผ้าพันแผล

ธนสรณ์ สารพัทธิพิเศษและคณะ (2010)^[21] ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากการผสมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง 5%โดยน้ำหนัก (5%w/v) กับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต 5% โดยน้ำหนัก (5%w/v) ที่อัตราส่วนต่างๆกัน อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่ 70°C โดยใช้ N,N-methylenebisacrylamide เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงและแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา และกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ขึ้นรูปฟิล์มโดยการเทพิมพ์นำมาอบที่ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แป้ง : โซเดียมอัลจิเนต และปริมาณสารก่อพันธะเชื่อมโยง ที่ส่งผลต่อสมบัติการบวมน้ำ สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจล ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจลจากสารละลายผสมแป้งมันสำปะหลังกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 7 : 3 ให้ฟิล์มที่มีความเสถียรของรูปร่างดีที่สุด เมื่อแช่น้ำถึง 24 ชั่วโมง สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่มีอัตราส่วน 1 : 9 พบว่าให้ฟิล์มที่มีค่าทนแรงดึงสูงสุด การเพิ่มโซเดียมอัลจิเนตทำให้ฟิล์มละลายน้ำเร็วขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อพันธะเชื่อมโยงของไฮโดรเจลที่อัตราส่วน 7 : 3 ทำให้ฟิล์มบวมน้ำได้น้อยลงแต่ปริมาณของแข็งไม่ละลายและความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น

พิธิษฐพันธ์ กาญจนเตชะและคณะ (2011)^[27] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่น สมบัติเชิงกลและการต้านการซึมผ่านของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวดัดแปรด้วยต่างในแอลกอฮอล์ (AMS) โดยใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ผลการศึกษาพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นฟิล์ม AMS มีลักษณะโปร่งใส มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงเฉาะและความสามารถในการยึดซึ่งใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC E15LV) สำหรับแผ่นฟิล์ม AMS ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก AMS มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นฟิล์ม AMS การละลายในน้ำดีกว่าแผ่นฟิล์ม HPMC E15LV จึงสรุปได้ว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นมีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม AMS

Fazilah และคณะ (2011)^[28] การเตรียมแผ่นฟิล์มจากแป้งสาकु : อัลจิเนต ผสมกันที่อัตราส่วน 1 : 0, 4 : 1, 3 : 1, 2 : 1, 1 : 1 และ 0 : 1 นำฟิล์มที่ได้แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่เวลาต่างๆกัน โดยพบว่าที่เวลา 1 นาทีแรก ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เมื่อแช่จนถึงเวลา 10 นาที พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง แต่ส่งผลต่อการละลายน้ำ ฟิล์มที่ทำจากอัลจิเนตเพียงอย่างเดียวมีความต้านทานน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งเพียงอย่างเดียว โดยฟิล์มผสมมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่ทำมาจากแป้งเพียงอย่างเดียว เมื่อนำฟิล์มผสมไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของอัลจิเนตมากกว่าจะสามารถดูดซับแคลเซียมไอออนได้มาก ฟิล์มผสมที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ไม่ได้แช่สารละลาย ส่วนฟิล์มผสมจะมีความยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งเพียงอย่างเดียว

ภัทราวุธ มนต์วิเศษ (2012)^[29] งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลจากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (C), โซเดียมอัลจิเนต (A) และกัวร์กัม (G) ด้วยการเชื่อมโยงสองแบบ คือการเชื่อมโยงแบบกลไกเดียวด้วยโซเดียมเททระบอเรต และการเชื่อมโยงแบบสองกลไกด้วยโซเดียมเททระบอเรตและแคลเซียมคลอไรด์ การเชื่อมโยงแต่ละแบบแบ่งออกเป็นสองระบบ คือระบบสององค์ประกอบ ได้แก่ ไฮโดรเจล AG และไฮโดรเจล CG และระบบสามองค์ประกอบ ได้แก่ ไฮโดรเจล ACG งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารตั้งต้นเมื่อปริมาณสารเชื่อมโยงเท่ากับ 0.2, 0.6 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไฮโดรเจลที่ได้นำไปทดสอบการบวมตัวที่สถานะต่างๆคือ น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 23 และ 37 °C สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.1, 0.25 และ 0.5 โมลาร์ สารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.25 โมลาร์ และที่สถานะกรด-เบสที่ค่า pH เริ่มต้น 4, 7 และ 10 ผลการทดสอบพบว่าไฮโดรเจลระบบสามองค์ประกอบสูตร A3C1G6-10 มีค่าการบวมตัวในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 23 °C สูงสุดที่ 50 เท่า และไฮโดรเจลระบบสามองค์ประกอบที่เชื่อมโยงสองกลไกสูตร A1C3G6-10Ca สามารถคงสภาพเจลได้นานที่สุดที่เวลาการบวมตัวสูงสุดเท่ากับ 180 นาที การบวมตัวของไฮโดรเจลในสารละลายเกลือพบว่า ค่าการบวมตัวในน้ำกลั่น > NaCl > CaCl₂ และเจลคงสภาพได้นานที่สุดเมื่อบวมตัวในสารละลาย CaCl₂ นอกจากนี้การบวมตัวมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaCl เพิ่มขึ้น การบวมตัวของไฮโดรเจลในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 °C พบว่า เจลบวมตัวได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 23 °C และเกิดการเสียสภาพเร็วขึ้น เมื่อทดสอบการบวมตัวในสถานะกรด-เบสพบว่า ค่าการบวมตัวที่ pH เริ่มต้น 4 < 7 ≅ 10 และที่ pH เริ่มต้น 4 เจลเกิดการเสียสภาพได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฤติกา บุรณโชคไพศาล (2016)^[30] แป้งถั่วเขียวเพาะงอกมีโปรตีนร้อยละ 30.66 ± 0.07 และสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งถั่วเขียวเพาะงอกได้ทำการศึกษาคุนสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากแป้งถั่วเขียวเพาะงอกซึ่งใช้อัตราส่วนแป้งต่อน้ำและสัดส่วนแป้งต่างๆ กันรวม 6 สูตร พบว่าแผ่นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งถั่วเขียวเพาะงอกทั้ง 6 สูตร มีสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแผ่นก๋วยเตี๋ยวจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งต่อน้ำเป็น 1 : 3 จะมีค่า a^* และ b^* สูงกว่าแผ่นก๋วยเตี๋ยวจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งต่อน้ำเป็น 1 : 4 ทั้งนี้แผ่นก๋วยเตี๋ยวจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งต่อน้ำเป็น 1 : 3 และมีสัดส่วนแป้งถั่วเขียวเพาะงอกร้อยละ 100 จะมีค่า L^* สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นก๋วยเตี๋ยวจากสูตรอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งด้านสี กลิ่น ความเหนียว ความนุ่ม และความชอบโดยรวม

A. A. Santana and T. G. Kieckbusch (2013)^[31] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มอัลจินेट โดยทำการศึกษานิตของพลาสติกไฮเซออร์, Soluble mass in water, การดูดซับน้ำ, ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ, ความชุ่ม, ความหนาของฟิล์ม และอิทธิพลของสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พลาสติกไฮเซออร์ส่งผลอย่างมากต่อความชอบน้ำของฟิล์ม และ ค่า T_g ฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้พลาสติกไฮเซออร์ Glycerol และ Xylitol จะมีลักษณะโปร่งแสง, มีความเป็นเนื้อเดียวกัน, มีความยืดหยุ่น และลอกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ส่วนฟิล์มที่ได้จากการเติม Mannitol ค่อนข้างสีขาวขุ่น, ขรุขระ, และแห้ง เมื่อสัมผัสแล้วคล้ายกระดาษคราฟท์ จึงไม่น่าสนใจในการทำบรรจุภัณฑ์ การเติม Glycerol ทำให้ฟิล์มความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากที่สุด ส่วน Mannitol ทำให้ฟิล์มมีค่า Tensile strength at rupture สูงที่สุด และมีค่า Elongation ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน แต่มีการบวมตัวเข้าสู่จุดสมดุลอย่างรวดเร็วที่ค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำฟิล์มที่เติมพลาสติกไฮเซออร์และผ่านการเชื่อมโยงเบื้องต้นบ้างแล้วมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ฟิล์มที่ได้มีความโปร่งใสมากขึ้น, มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และค่าการซึมผ่านของไอน้ำจะลดลง

Rúben Pereira และคณะ (2013)^[32] งานวิจัยนี้อธิบายการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยอัลจินेट และวุ้นหางจระเข้ ใช้เพื่อรักษาบาดแผล และทำหน้าที่ขนส่งยา ขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการเทหล่อ และทำการปรับปรุงสมบัติโดยการเชื่อมโยง เตรียมฟิล์มที่มีอัตราส่วนที่ต่างกันระหว่างอัลจินेट : วุ้นหางจระเข้ คือ 95 : 5, 85 : 15 และ 75 : 25 โดยปัจจัยหลักที่ทำการศึกษาคือความหนา, ความโปร่งแสง, ค่าการบวมตัว และการเสื่อมสภาพของฟิล์ม พบว่าการเพิ่มปริมาณวุ้นหางจระเข้จะทำให้ ฟิล์มขณะแห้งมีความหนาลดลง และฟิล์มขณะเปียกมีความหนาเพิ่ม ส่วนความโปร่งแสงและค่าการบวมตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของวุ้นหางจระเข้ ในขณะที่การเสื่อมสภาพของฟิล์มที่แช่อยู่ในแบบจำลองของเหลวในร่างกาย ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่ามีน้ำหนักหายไปอยู่ในช่วง 14.1-18.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guo Liling และคณะ (2015)^[33] ศึกษาอิทธิพลชนิดของไอออนที่ทำหน้าที่เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง ปัจจัยหลักที่ศึกษาคือ ความหนา, Radiometric profiles, สมบัติเชิงกล และความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ การเชื่อมโยงโดยการเติม Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Ca^{2+} (ยกเว้น Al^{3+}) มีค่า Tensile strength และความโปร่งแสงเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำจะลดลง โดยฟิล์มที่มีการเชื่อมโยงโดย Ca^{2+} จะมีค่า Tensile strength, Elongation และความโปร่งแสงมากที่สุด นอกจากนี้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ และความโปร่งแสงจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Ca^{2+} ส่วนค่า Tensile strength และ Elongation จะสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 2%w/v $CaCl_2$ ซึ่งฟิล์มที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเหมาะสำหรับการทำวัสดุปกคลุมดิน คือฟิล์มที่แช่ในสารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 2%w/v เป็นเวลา 2 นาที

Yossathorn Tanetrungroj และ Jutarat Prachayawarakorn (2015)^[34] ศึกษาอิทธิพลของแป้งแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพโดยมีองค์ประกอบพื้นฐานเป็น Thermoplastic starch (TPS) แป้งแต่ละชนิดจะมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน เช่น แป้งมันสำปะหลัง, แป้งถั่วเขียว และแป้งท้าวยายม่อม TPS polymer ใช้เครื่อง internal mixer ในการผสม และใช้ injection molding ในการขึ้นรูป ผลการวิจัยพบว่าปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ที่มีอยู่ในแป้งส่งผลต่อคุณสมบัติของ TPS polymer แป้งถั่วเขียว (TPMS) มีปริมาณอะไมโลสสูงจะนำไปสู่ความแข็งแรง, ความแข็ง และความเป็นผลึก มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) ที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง โดยงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันก็โดย FT-IR, การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายโดยการฝังดิน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- แป้งถั่วเขียว ของบริษัท สิทธิพันธ์
- สารเคมีและสมบัติ

สารเคมี	Sodium alginate	Glycerol	Calcium chloride
บริษัท	Carlo Erba	Carlo Erba	Ajax Finechem
สูตรโมเลกุล	$(C_6H_7O_6Na)_n$	$C_3H_5(OH)_3$	$CaCl_2$
มวลโมเลกุล	$198.11 \text{ g mol}^{-1}$	92.09 g mol^{-1}	$110.99 \text{ g mol}^{-1}$
ความหนาแน่น	$0.5-0.6 \text{ Kg/m}^3$	1.261 g/cm^3	1.54 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	$> 300 \text{ }^\circ\text{C}$	$18 \text{ }^\circ\text{C}$	$782 \text{ }^\circ\text{C}$
CAS number	9005-38-3	56-81-5	10043-52-4
Code number	366552	-	-

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ปีกเกอร์ 100 ml. 3 ใบ
2. ปีกเกอร์ 250 ml. 3 ใบ
3. ปีกเกอร์ 1000 ml. 2 ใบ
4. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล รุ่น ML204/01 ของบริษัท Mettler Toledo
5. เทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน
6. แท่งแก้วคน 2 อัน
7. กระจกบอทดวง 100 ml. 1 อัน
8. กระจกบอทดวง 250 ml. 1 อัน
9. เครื่องปั่นกวนปรับความเร็วได้ ของบริษัท Fisher Scientific
10. ถาดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ซ้อนตั๊กสาร 3 คัน
12. กรรไกร
13. แผ่นตะแกรงเหล็กความละเอียด 200 mesh
14. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
(Fourier Transform Spectroscopy , FT-IR) ของบริษัท Perkin Elmer instruments
15. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine , UTM) รุ่น LRM 110 ของบริษัทอินโทรเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
16. เครื่องเทอร์โมกราวิเมทรี (Thermogravimetric Analyzer, TGA) ของบริษัท Perkin Elmer instruments

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่1 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต

เพื่อหาอัตราส่วนของฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและโซเดียมอัลจิเนตที่เหมาะสมในการขึ้นรูปและมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งข้าวเหนียว และ5%w/v โซเดียมอัลจิเนต

สูตร	5% แป้งข้าวเหนียว		5% โซเดียมอัลจิเนต		กลีเซอรอล	
	ml.	g.	ml.	g.	ml.	%v/v
SG	100	5	0	0	1	1
8S2AG	80	4	20	1	1	1
6S4AG	60	3	40	2	1	1
4S6AG	40	2	60	3	1	1
2S8AG	20	1	80	4	1	1
AG	0	0	100	5	1	1

ตอนที่2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อฟิล์มผสม

เพื่อหาปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและโซเดียมอัลจิเนตที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งถั่วเขียว และ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน

สูตร	5% แป้งถั่วเขียว		5% โซเดียมอัลจิเนต		กลีเซอรอล	
	ml.	g.	ml.	g.	ml.	%v/v
S2G	100	5	0	0	2	2
6S4A2G	60	3	40	2	2	2
A2G	0	0	100	5	2	2
S3G	100	5	0	0	3	3
6S4A3G	60	3	40	2	3	3
A3G	0	0	100	5	3	3

ตอนที่3 ศึกษาปริมาณของแคลเซียมไอออนที่ใช้เป็นสารก่อกันระเชื่อมโยงของฟิล์มผสมหาปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่เหมาะสมและคุณสมบัติที่ดีที่สุด

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของ 5%w/v แป้งถั่วเขียว และ 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต และกลีเซอรอล 3%v/v และเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณ 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

สูตร	5% แป้งถั่วเขียว		5% โซเดียมอัลจิเนต		แคลเซียมคลอไรด์	
	ml.	g.	ml.	g.	ml.	%w/v
6S4A3G0.1C	60	3	40	2	0.1	0.002
6S4A3G0.5C	60	3	40	2	0.5	0.01
6S4A3GC	60	3	40	2	1	0.02

3.3.1 การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายแป้งถั่วเขียว 5%w/v

ตวงน้ำกลั่น 100 ml. ให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิประมาณ 70-80 °C ซึ่งแป้งถั่วเขียว 5 กรัม จากนั้นเติมแป้งถั่วเขียวลงไปพร้อมกับการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm และยังคงให้ความร้อนต่อเนื่อง ปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาทีจะได้สารละลายแป้งถั่วเขียว 5%w/v

2. เตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) 5%w/v

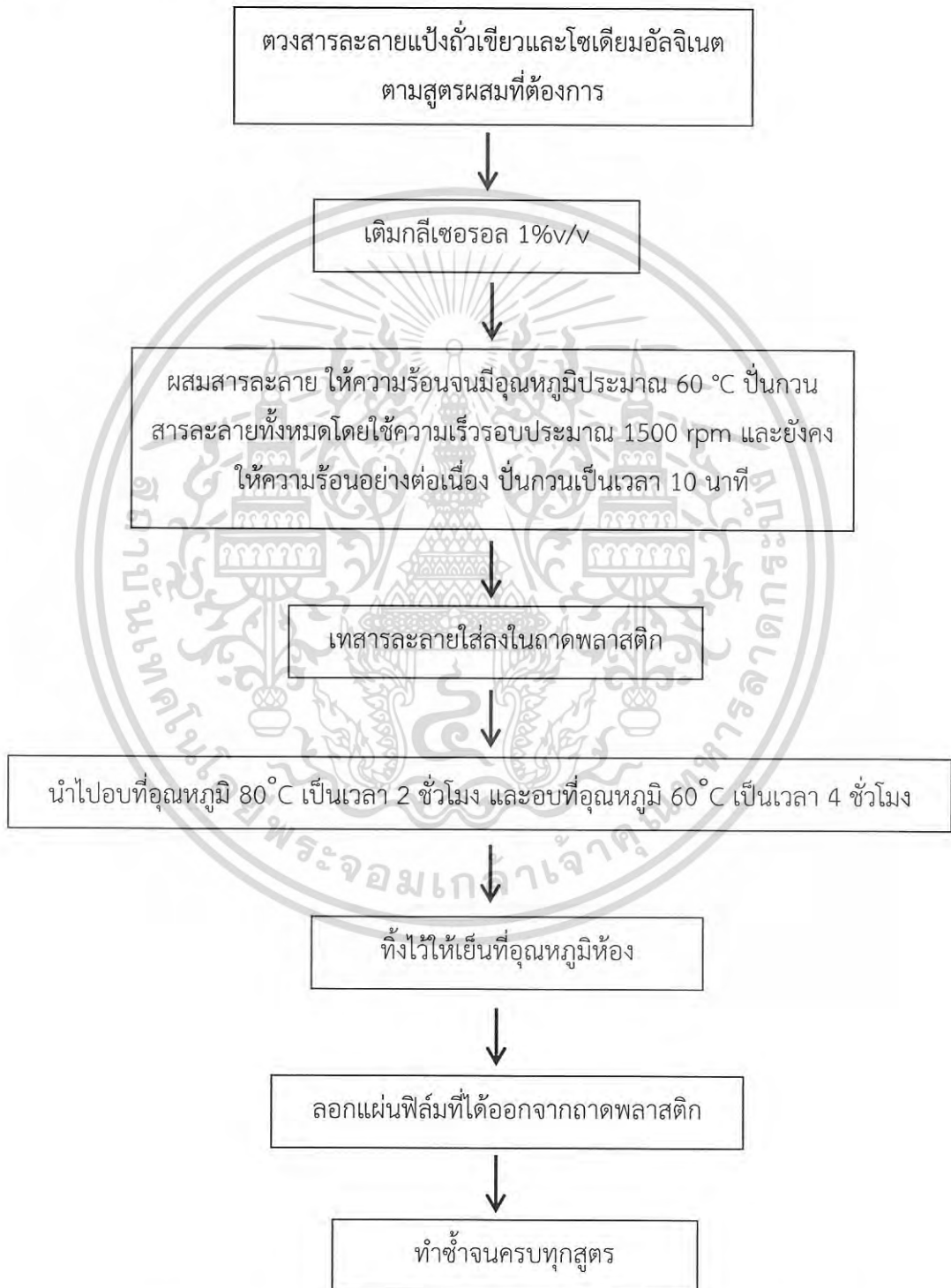
ตวงน้ำกลั่น 100 ml. ให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิประมาณ 60 °C ซึ่งโซเดียมอัลจิเนต 5 กรัม จากนั้นเติมโซเดียมอัลจิเนตพร้อมกับการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm และยังคงให้ความร้อนต่อเนื่อง ปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที ได้สารละลายโซเดียมอัลจิเนต 5%w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2%w/v

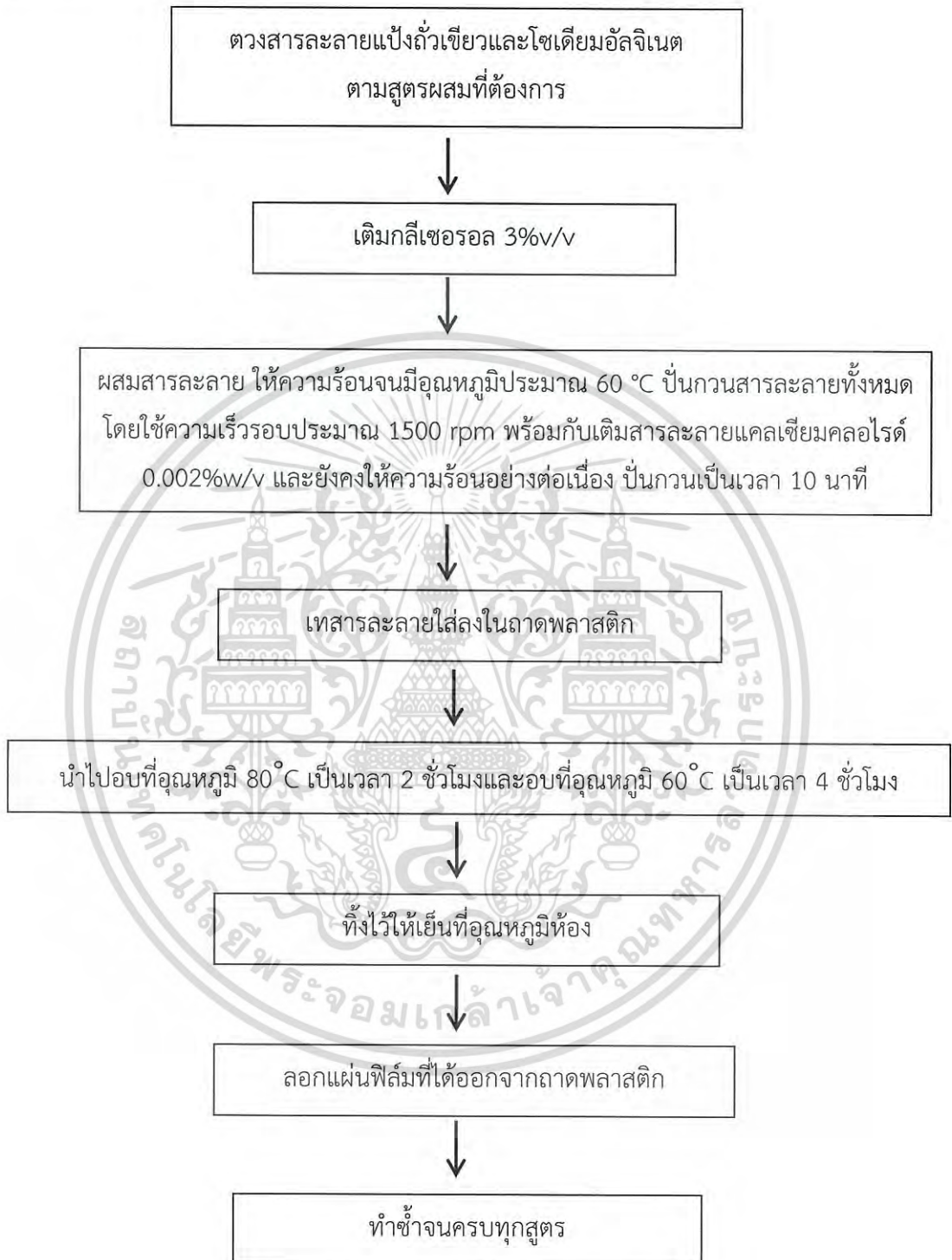
ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ 2 g. เติมน้ำกลั่น 100 ml. คนจนแคลเซียมคลอไรด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.2 วิธีการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า กับโซเดียมอัลจิเนต โดยเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณต่างกัน



หมายเหตุ : การเติมปริมาณกลีเซอรอล 2, 3%v/v ให้ทำซ้ำเหมือนเดิม แต่เปลี่ยนปริมาณกลีเซอรอล
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิธีการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียว กับโซเดียมอัลจิเนต โดยเติมกลีเซอรอล 3%v/v และเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณต่างกัน



หมายเหตุ : การเติมปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 0.01, 0.02%w/v ให้ทำซ้ำเหมือนเดิม แต่เปลี่ยนปริมาณแคลเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจล

3.4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจล

สังเกตลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่า เช่น สีของแผ่นฟิล์ม ความแข็งของแผ่นฟิล์ม ความเหนียวของแผ่นฟิล์ม

3.4.2 ทดสอบหุ้มฟังก์ชัน

ตัดแผ่นฟิล์มให้เป็นชิ้นเล็กๆ นำไปบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ประมาณ 1 มิลลิกรัม จากนั้นใส่เครื่องอัดเม็ดที่ความดัน 5 บาร์ เป็นเวลา 2-3 นาที นำตัวอย่างที่ได้วางบนแผ่นแม่เหล็ก 2 แผ่นประกบกันยึดตัวอย่างไว้ ใส่เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR) สแกนด้วยพอลิสไตรีน โดยทำการตรวจวัดความยาวคลื่นในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ทำการวัดตัวอย่างซ้ำจนครบทุกสูตร

3.4.3 การหาสมบัติการบวมน้ำ (Swelling property)

ตัดชิ้นงานตัวอย่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2×2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตะแกรงเหล็กที่มีความละเอียด 200 mesh จากนั้นใส่ชิ้นงานในตะแกรงเหล็กและชั่งน้ำหนักรวม นำชิ้นงานที่อยู่ในตะแกรงเหล็กไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง โดย 1 ชั่วโมงแรก ให้นำออกมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินและชั่งน้ำหนักก่อน จากนั้นทุกๆ 2 ชั่วโมงนำออกมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินและชั่งน้ำหนัก ทำเช่นนี้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และแช่ชิ้นงานทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมง นำออกมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินและชั่งน้ำหนัก

การคำนวณค่าการบวมน้ำ

$$\% \text{Swelling} = \left[\frac{W_t - W_0}{W_0} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ

W_t = น้ำหนักหลังแช่น้ำที่เวลาใดๆ (นำขึ้นมาชั่งทุก 2 ชั่วโมง)

การคำนวณค่าการบวมน้ำที่ 24 ชั่วโมง

$$\% \text{Equilibrium water content} = \left[\frac{W_t - W_0}{W_0} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ

W_t = น้ำหนักหลังแช่น้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง

3.4.4 ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D882

ตัดแผ่นฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D882 แล้วนำตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่างมายึดติดกับที่จับ (Grip) ทั้งสองข้างโดยใช้ Gauge length 4 cm. speed ในการดึง 50 mm/min และวัดค่า Tensile strength, Elongation at break และ Young's modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

ทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวโดยอาศัยหลักวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric analysis)

นำฟิล์มมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ลงใน Pt pan ประมาณ 10-30 mg. แล้วตั้งสถานะของเครื่อง initial temperature 60 °C ปรับค่า heating rate 20 °C /min ช่วงอุณหภูมิ 60-900 °C ภายใต้สถานะแก๊สไนโตรเจนและวัดอุณหภูมิการสลายตัวจนครบทุกสูตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มระหว่าง 5%แป้งข้าวเขียว กับ 5%โซเดียมอัลจิเนต ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากแป้งข้าวเขียว และฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากโซเดียมอัลจิเนต โดยสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน การบวมน้ำ ทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เติมน้ำเกลือ 1%v/v

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณน้ำเกลือ (พลาสติกไซเซอร์) ที่มีต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ (สารก่อพันธะเชื่อมโยง) ที่มีต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีน้ำเกลือ 3%v/v

4.1 ลักษณะทางกายภาพ

นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตรมาบันทึกลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ความหนา และการคงรูปของแผ่นฟิล์ม เพื่อถ่ายต่อความเข้าใจ จึงกำหนดสัญลักษณ์ ดังนี้

- A = โซเดียมอัลจิเนต
- C = แคลเซียมคลอไรด์
- G = กลีเซอรอล
- S = แป้งข้าวเขียว

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SG	ฟิล์มที่มีแต่แป้งข้าวเขียวเพียงอย่างเดียว เติมน้ำเกลือ 1%v/v
8S2AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 80 : 20 เติมน้ำเกลือ 1%v/v
6S4AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมน้ำเกลือ 1%v/v
4S6AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 40 : 60 เติมน้ำเกลือ 1%v/v






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
2S8AG	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 20 : 80 เติมกลีเซอรอล 1%v/v
AG	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เติมกลีเซอรอล 1%v/v
S2G	ฟิล์มที่มีแต่แป้งถั่วเขียวอย่างเดียว เติมกลีเซอรอล 2%v/v
6S4A2G	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมกลีเซอรอล 2%v/v
A2G	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เติมกลีเซอรอล 2%v/v
S3G	ฟิล์มที่มีแต่แป้งถั่วเขียวอย่างเดียว เติมกลีเซอรอล 3%v/v
6S4A3G	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมกลีเซอรอล 3%v/v
A3G	ฟิล์มที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว เติมกลีเซอรอล 3%v/v
6S4A3G0.1C	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002%w/v
6S4A3G0.5C	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมกลีเซอรอล 3%v/v. และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.01%w/v
6S4A3GC	ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต อัตราส่วน 60 : 40 เติมกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.02%w/v

4.1.1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน เติมกลีเซอรอล 1%v/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งถั่วเขียว 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต และเติมกลีเซอรอล 1%v/v

สูตร	5% แป้งถั่ว เขียว (mL.)	5% โซเดียม อัลจิเนต (mL.)	กลี เซอรอล (%v/v)	ความหนา เฉลี่ย (mm.) $\bar{x} \pm SD$	รูป	รูปร่าง ลักษณะของ ฟิล์มไฮโดร เจล
SG	100	0	1	0.345 ± 0.0461		ฟิล์มใส แข็งเปราะ ไม่สามารถขึ้น รูปเป็น แผ่นฟิล์มได้
8S2A G	80	20	1	0.348 ± 0.0379		ฟิล์มขุ่นและ เหนียวขึ้น
6S4A G	60	40	1	0.353 ± 0.0367		ฟิล์มมีสีเหลือง ขุ่นเล็กน้อย เหนียว มากกว่า 8S2AGS
4S6A G	40	60	1	0.339 ± 0.0375		ฟิล์มมีสีเหลือง มากขึ้น ขุ่นเล็กน้อย เหนียว มากกว่า 6S4AG
2S8A G	20	80	1	0.339 ± 0.0564		ฟิล์มมีสีเหลือง มากขึ้น ขุ่นเล็กน้อย เหนียว มากกว่า 4S6AG



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	5% แป้งข้าว เขียว (mL.)	5% โซเดียม อัลจิเนต (mL.)	กลี เซอร์อล (%v/v)	ความหนา เฉลี่ย (mm.) $\bar{x} \pm SD$	รูป	รูปร่าง ลักษณะของ ฟิล์มไฮโดร เจล
AG	0	100	1	0.353 ± 0.0469		ฟิล์มมีสีเหลือง เหนียวที่สุด แผ่นฟิล์มยุบ


จากตารางที่ 4.1 อัตราส่วนของแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตรสามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ ยกเว้นสูตร SG ซึ่งเป็นฟิล์มแป้งข้าวเขียว มีความแข็งแรงสูง พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเขียวและโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 (สูตร 6S4AG) สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้เรียบใส และไม่มีฟองอากาศ จึงเลือกใช้อัตราส่วนนี้เพื่อศึกษาต่อ เนื่องจากมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเขียวมากกว่าโซเดียมอัลจิเนต เพราะต้องการนำแป้งข้าวเขียวมาใช้ประโยชน์เพื่อลดการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์และต้นทุนในการผลิตฟิล์มให้น้อยลง

4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอร์อล ที่มีต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งข้าว 5%w/v โซเดียมอัลจิเนต เต็มกลีเซอรอล 2 และ 3%v/v

สูตร	5% แป้งข้าว (mL.)	5% โซเดียมอัลจิเนต (mL.)	กลีเซอรอล (%v/v)	ความหนาเฉลี่ย (mm) $\bar{x} \pm SD.$	รูป	รูปร่างลักษณะของฟิล์มไฮโดรเจล
S2G	100	0	2	0.302 ± 0.0312		ฟิล์มใส หดตัวน้อยกว่า SG สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้
6S4A2G	60	40	2	0.312 ± 0.0217		ฟิล์มใส มีสีเหลืองเล็กน้อย เหนียว และมีการหดตัวเล็กน้อย
A2G	0	100	0.342 ± 0.0370		ฟิล์มใส มีสีเหลืองเข้มขึ้น เหนียว หดตัวใกล้เคียงกับ A3G	
S3G	100	0	3	0.370 ± 0.0474		ฟิล์มใส มีฟองอากาศจำนวนมาก และมีการหดตัวเล็กน้อย
6S4A3G	60	40	3	0.346 ± 0.0422		ฟิล์มใส มีสีเหลืองเล็กน้อย นุ่มขึ้น และเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


สูตร	5% แป้งข้าว เขียว (mL.)	5% โซเดียม อัลจิเนต (mL.)	กลี เซอร์อล (%v/v)	ความหนา เฉลี่ย (mm) $\bar{x} \pm SD.$	รูป	รูปร่าง ลักษณะของ ฟิล์มไฮโดร เจล
A3G	0	100	3	0.292 ± 0.0104		ฟิล์มใส มีสี เหลืองเข้มขึ้น เหนียว นุ่ม มี การหดตัว เล็กน้อย

จากตารางที่ 4.2 ศึกษาปริมาณกลีเซอร์อล ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจล ฟิล์มแป้งข้าวเขียวเพียงอย่างเดียวสูตร S2G และ S3G ฟิล์มผสมแป้งข้าวกับโซเดียมอัลจิเนตที่ อัตราส่วน 60 : 40 สูตร 6S4A2G และ 6S4A3G ฟิล์มโซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว สูตร A2G และ A3G พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอร์อลเพิ่มขึ้น ฟิล์มทุกสูตรนุ่ม ยืดหยุ่นได้ดีขึ้น ลดความแข็งเปราะ ของฟิล์มได้ แต่มีการหดตัวเพิ่มขึ้น แสดงว่า กลีเซอร์อลซึ่งเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดีกับแป้งข้าวและโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งเป็นสารพอลิแซคคาไรด์มีหมู่ -OH จำนวนมาก จึงลดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ เพิ่มปริมาตรอิสระ ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ สามารถเคลื่อนตัวได้ง่าย

ผลจากการทดลองจึงเลือกใช้ปริมาณกลีเซอร์อลที่ 3%v/v (สูตร 6S4A3G) เพราะฟิล์มมี ความเหนียวยืดหยุ่นที่ดี ขึ้นรูปฟิล์มได้เรียบร้อย มีความแข็งเปราะน้อย จึงมีความเหมาะสมที่จะ ทำการศึกษาต่อไป

4.1.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อสมบัติฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าว กับ โซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอร์อล 3%v/v

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5%w/v แป้งถั่วเขียว กับ 5%w/v โขเดียมอัลจิเนต มีกลีเซอรอล 3%v/v และเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณ 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

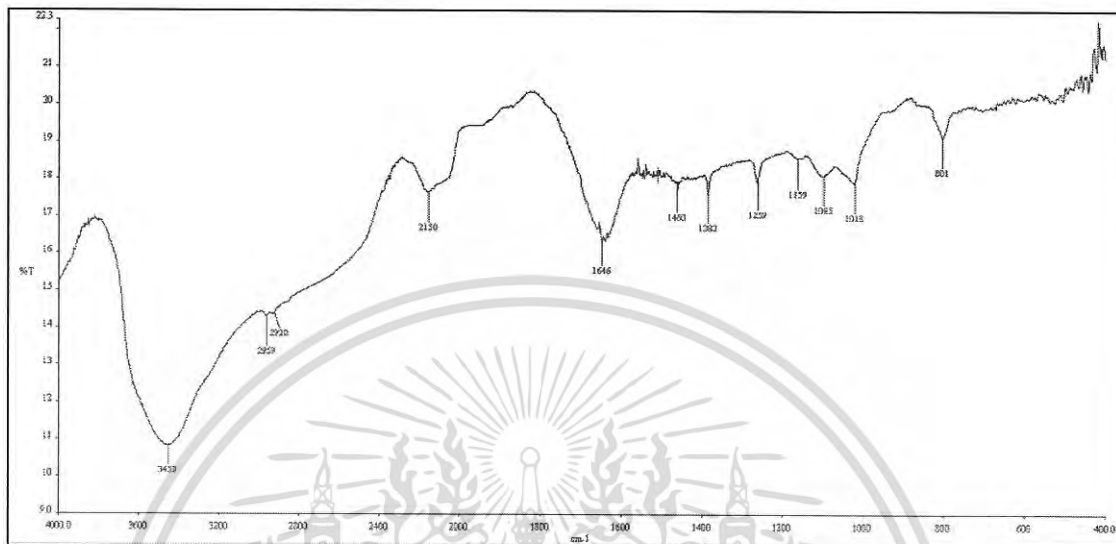
สูตร	5% แป้งถั่วเขียว (mL.)	5% โขเดียมอัลจิเนต (mL.)	กลีเซอรอล (%v/v)	2% แคลเซียมคลอไรด์ (%w/v)	ความหนาเฉลี่ย (mm.) $\bar{x} \pm SD$	รูป	รูปร่างลักษณะของฟิล์มไฮโดรเจล
6S4 A3G 0.1C	60	40	3	0.002	0.345 ± 0.0348		ฟิล์มใส มีสีเหลือง เล็กน้อย เหนียว ไม่หดตัว
6S4 A3G 0.5C	60	40	3	0.01	0.334 ± 0.0288		ฟิล์มใส มีสีเหลือง เล็กน้อย เหนียว ไม่หดตัว แข็งเปราะขึ้น
6S4 A3G C	60	40	3	0.02	0.353 ± 0.0444		ฟิล์มมีสีเหลือง เล็กน้อย เหนียว ไม่หดตัว แข็งเปราะกว่า 6S4A3G0.5C

จากตารางที่ 4.3 ศึกษาปริมาณของ 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโขเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 พบว่า เมื่อปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้น ยืดหยุ่นได้น้อยลง พื้นผิวเรียบไม่ย่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

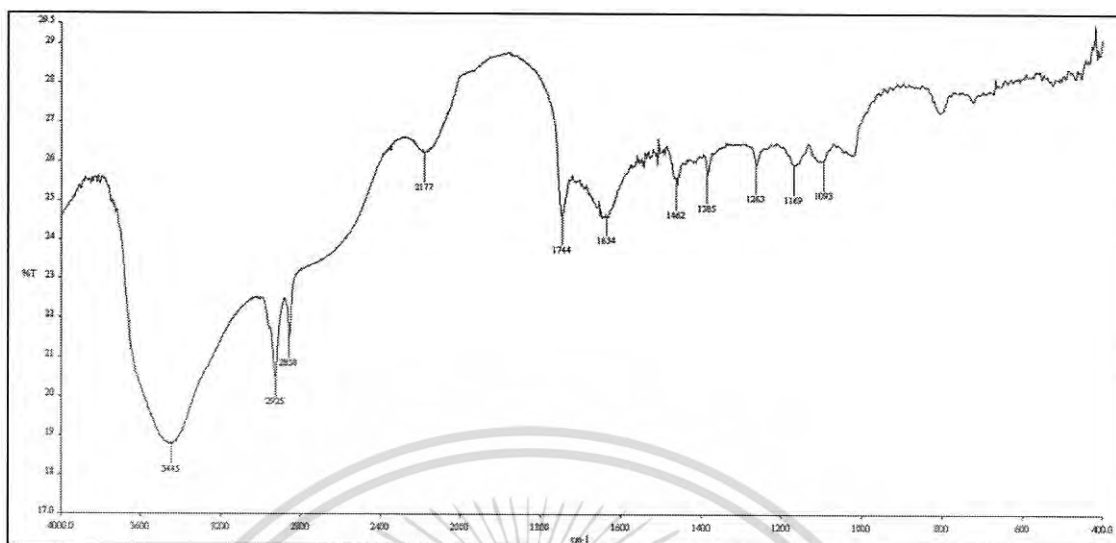
แป้งถั่วเขียว



รูปที่ 4.1 IR สเปกตรัมของแป้งถั่วเขียว

จากรูปที่ 4.1 IR สเปกตรัมของแป้งถั่วเขียว โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่า เลขคลื่นประมาณ 3453 cm^{-1} แสดงถึง O-H stretching เนื่องจาก hydroxyl group ในโมเลกุลของแป้ง เลขคลื่นประมาณ $2920\text{-}2999\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง C-H stretching ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทั่วไปของกลูโคสที่มีสูตรโครงสร้างเป็น $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ เลขคลื่นประมาณ 1646 cm^{-1} แสดงถึงน้ำที่ถูกดูดซับในชั้น amorphous^[35] ของแป้งถั่วเขียว เลขคลื่นประมาณ 1470 cm^{-1} แสดงถึง O-H bending ของ polysaccharide เลขคลื่นประมาณ $1024\text{-}1095\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง C-O-C stretching ที่เกิดจาก Anhydroglucose ring^[36]

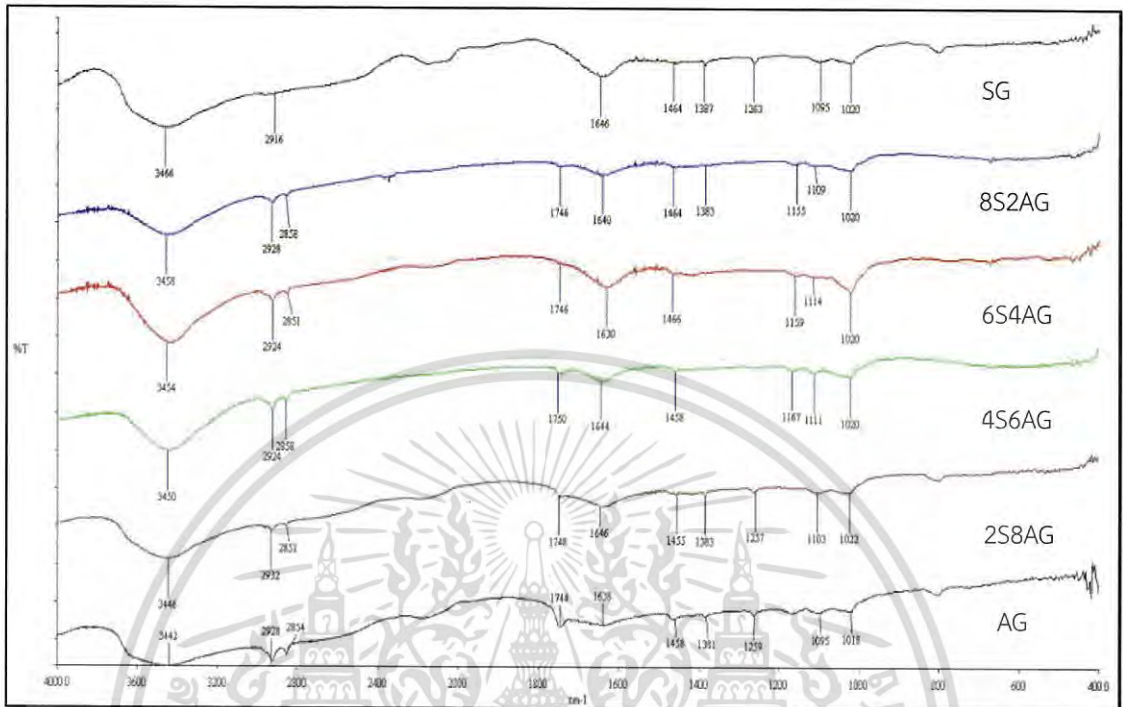
โซเดียมอัลจิเนต



รูปที่ 4.2 IR สเปกตรัมของโซเดียมอัลจิเนต

จากรูปที่ 4.2 IR สเปกตรัมของโซเดียมอัลจิเนต โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง 400-4000 cm^{-1} พบว่า ที่เลขคลื่นประมาณ 3445 cm^{-1} แสดงถึง O-H stretching เลขคลื่นประมาณ 2858-2925 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching เลขคลื่นประมาณ 1744 cm^{-1} แสดงถึง C=O stretching ของหมู่ COOH เลขคลื่นประมาณ 1634 cm^{-1} แสดงถึง asymmetric COO^- เลขคลื่นประมาณ 1462 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นของ symmetric COO^- [37][38] เลขคลื่นประมาณ 1385 cm^{-1} แสดงถึง C-O stretching เลขคลื่นประมาณ 1300-1100 cm^{-1} แสดงถึง C-O-C stretching [39] เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่ามี IR สเปกตรัมที่คล้ายกันเพราะทั้งแป้งข้าวและโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ เพียงแต่โซเดียมอัลจิเนตมีหมู่ COO^- อยู่ในโมเลกุลของ guluronic acid และ manuronic acid ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ในโมเลกุล ดังนั้นในรูป 4.2 จึงพบพีค C=O ของ COOH ที่เลขคลื่น 1744 cm^{-1}

4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่มีผลต่อ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับ โซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน เติมนิกลิเซอรอล 1%v/v



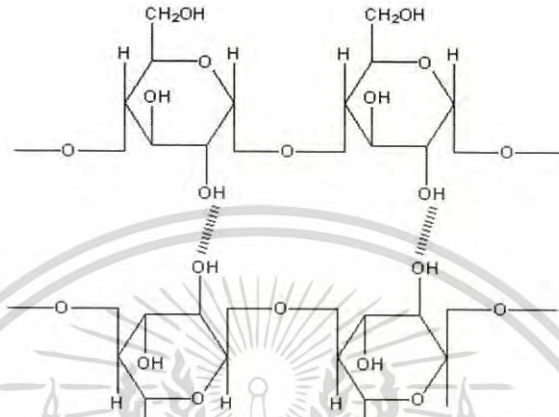
รูปที่ 4.3 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน เติมนิกลิเซอรอล 1%v/v

จากรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่า สูตร SG, 8S2AG, 6S4AG, 4S6AG, 2S8AG และ AG ปรากฏเลขคลื่นที่ประมาณ $3466-3442\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง O-H stretching ของแป้งข้าวเขียวและโซเดียมอัลจิเนตเกิดพันธะไฮโดรเจนแบบ intermolecular และ intramolecular เมื่อปริมาณโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นพื้คมีลักษณะสั้นลงและกว้างขึ้น พร้อมทั้งเกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งข้าวเขียวและโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Pawlak and M. Mucha และ K. Aoi et al.^{[40][41]} โดยรายงานการวิจัยทั้งสองได้กล่าวว่า “พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสององค์ประกอบที่ผสมกันสามารถศึกษาได้จากเทคนิค FTIR โดยเมื่อสององค์ประกอบมีความเข้ากันได้ จะทำให้เกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น (พันธะไฮโดรเจน) ระหว่างองค์ประกอบทั้งสองได้ โดยทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมเกิดการเปลี่ยนแปลง” แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งข้าวเขียวและโซเดียมอัลจิเนต ที่เลขคลื่นประมาณ 2960 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching ของแป้งข้าวเขียวและโซเดียมอัลจิเนต สูตร 8S2AG, 6S4AG, 4S6AG, 2S8AG และ AG ปรากฏเลขคลื่นประมาณ 1740 cm^{-1} แสดงถึง C=O stretching ของหมู่ COOH แต่ไม่พบพื้คนี้ในสูตร SG เนื่องจากเป็นพื้ค

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

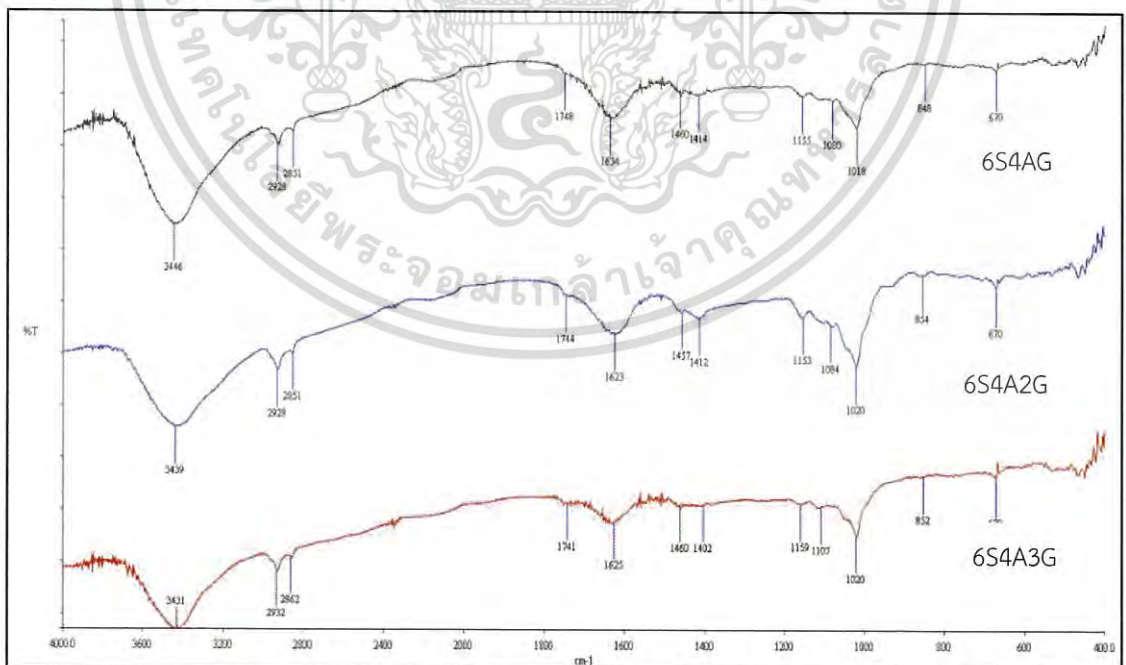
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกลักษณ์ของโซเดียมอัลจิเนต เลขคลื่นประมาณ $1646-1638 \text{ cm}^{-1}$ เป็นพีคการถูกดูดซับน้ำในชั้น amorphous^[35] ของแป้งข้าวและเป็นการสั่นของ asymmetric COO^- ของโซเดียมอัลจิเนต^{[37][38]} เลขคลื่นประมาณ $1466-1420 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง O-H bending^[36] ของแป้งข้าวและเป็นการสั่นของ symmetric COO^- ของโซเดียมอัลจิเนต^{[37][38]}



รูปที่ 4.4 แสดงการเกิดอันตรกิริยาเคมี(พันธะไฮโดรเจน) ระหว่างแป้งข้าวและโซเดียมอัลจิเนต

4.2.2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ที่มีผลต่อ IR สเปกตรัมฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าว ข้าว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40



รูปที่ 4.5 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวข้าว กับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v

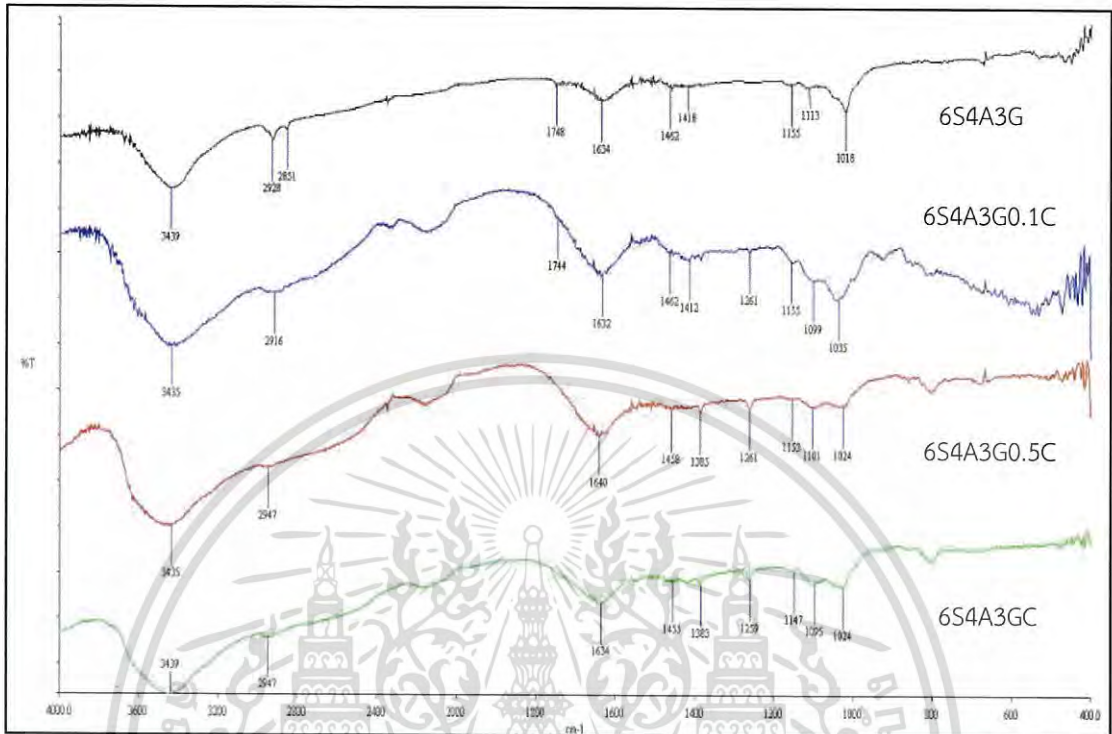
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 พบว่าสูตร 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G เป็นฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ พบว่า เมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นทำให้พีคที่เลขคลื่นประมาณ $3446-3431\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงหมู่ O-H Stretching มีลักษณะสั้นลงและกว้างขึ้น พร้อมทั้งเกิดการเลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง^{[38][39]} แสดงว่าหมู่ -OH ของกลีเซอรอลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของแป้งข้าวเหนียว และหมู่ -OH ของโซเดียมอัลจิเนต เลขคลื่นประมาณ 2930 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C-H Stretching ของแป้งข้าวเหนียวและโซเดียมอัลจิเนต เลขคลื่นประมาณ 1740 cm^{-1} แสดงถึง C=O stretching ของ COOH เลขคลื่นประมาณ $1634-1625\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงน้ำที่ถูกดูดซับในชั้น amorphous^[35] ของแป้งข้าวเหนียวและเป็นการสั่นของ asymmetric COO^- ของโซเดียมอัลจิเนต^{[37][38]} เลขคลื่นประมาณ $1460-1402\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง O-H bending^[36] ของแป้งข้าวเหนียวและเป็นการสั่นของ symmetric COO^- ของโซเดียมอัลจิเนต^{[37][38]}



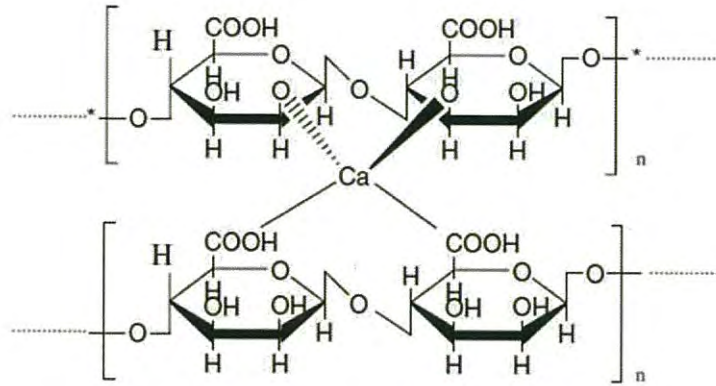
รูปที่ 4.6 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลกลีเซอรอลระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต

4.2.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v



รูปที่ 4.7 IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

จากรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบ IR สเปกตรัมของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 พบว่าสูตร 6S4A3G, 6S4A3G0.1C, 6S4A3G0.5C และ 6S4A3GC เป็นฟิล์มที่มีปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v ตามลำดับ โดยมีปริมาณกลีเซอรอล 3%v/v เท่ากัน เมื่อ 2%แคลเซียมคลอไรด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิด asymmetric COO^- ที่เลขคลื่นประมาณ $1640\text{-}1632\text{ cm}^{-1}$ มีลักษณะพีกที่กว้างขึ้น แสดงว่า Ca^{2+} เข้าไปทำปฏิกิริยากับ $-\text{COO}^-$ ที่อยู่ใน polyguluronic acid ของโซเดียมอัลจิเนต ทำให้ปริมาณ $-\text{COO}^-$ ที่จะจับโปรตอนกลายเป็น $-\text{COOH}$ ลดลง จึงไม่พบพีกที่เลขคลื่นประมาณ 1740 cm^{-1} เลขคลื่นประมาณ $3439\text{-}3435\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ O-H Stretching ของแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนต เลขคลื่นประมาณ $1462\text{-}1385\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึง O-H bending^[36] ของแป้งถั่วเขียวและเป็นการสั่นของ symmetric COO^- ของโซเดียมอัลจิเนต^{[37][38]}











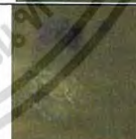








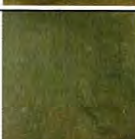





รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง Ca^{2+} กับ COO^- ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจinate^[42]




































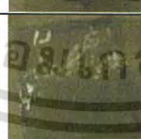









4.3 ผลการทดสอบสมบัติการบวมน้ำ

นำชิ้นงานที่ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 เซนติเมตร แช่ลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง และนำมาชั่งน้ำหนักโดย 1 ชั่วโมงแรกนำมาชั่งน้ำหนักก่อนหลังจากนั้นนำมาชั่งทุก 2 ชั่วโมงจนครบ 6 ชั่วโมงจากนั้นแช่ทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำมาชั่งอีกครั้ง

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมหลังจากแช่น้ำเป็นเวลาต่างๆ

สูตร	ก่อนแช่น้ำ	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6	ชั่วโมงที่ 24
SG						
8S2 AG						
6S4 AG						
4S6 AG				-	-	-
2S8 AG			-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ก่อนแช่น้ำ	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6	ชั่วโมงที่ 24
AG		-	-	-	-	-
S2G						
6S4 A2G						
A2G		-	-	-	-	-
S3G						
6S4 A3G						
A3G		-	-	-	-	-
6S4 A3G 0.1C						
6S4 A3G 0.5C						
6S4 A3G C						

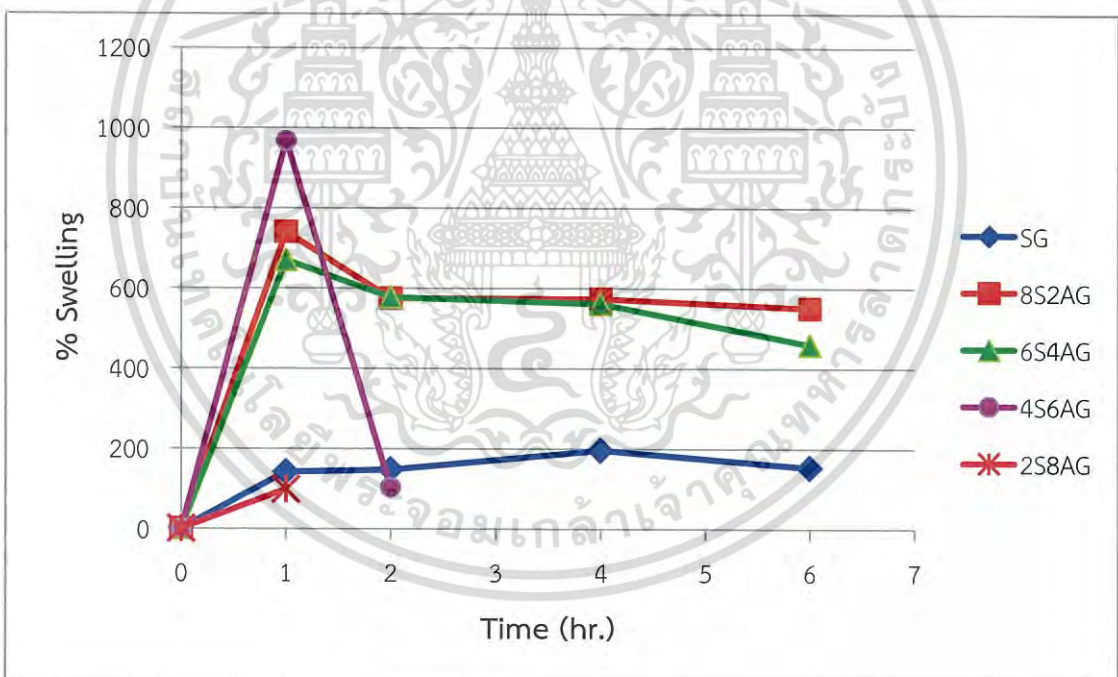
จากรูปในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า फिल्मแบ่งแก้วเขียว SG, S2G และ S3G ซึ่งมีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ ยังคงสภาพเป็นแผ่นอยู่ได้ แม้ว่าแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากแบ่งแก้วเขียวมีปริมาณอะไมโลสอยู่มากทำให้มีส่วนที่เป็นผลึกอยู่มาก การละลายน้ำจึงช้าลงสำหรับฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต AG, A2G และ A3G ซึ่งมีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ พบว่าละลายน้ำเร็วมากภายใน 1 ชั่วโมงแรก เนื่องจากโครงสร้างของโซเดียมอัลจิเนตมีหมู่ $-COO^-Na^+$ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตที่มีปริมาณกลีเซอรอลของ 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ พบว่า ยังคงรูปอยู่ได้แม้ว่าแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่ฟิล์มมีลักษณะยุบและยุบมากใน สูตรที่มีโซเดียมอัลจิเนตอยู่มาก แสดงว่าบริเวณที่เป็นโซเดียมอัลจิเนตดูดน้ำได้เร็วกว่าสูตรที่เป็นแป้ง ถั่วเขียว

ฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต 6S4A3G0.1C, 6S4A3G0.5C และ 6S4A3GC ที่มีปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v ตามลำดับ พบว่า ฟิล์มยังคง รูปอยู่ได้แม้ว่าแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ยิ่งเพิ่มปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ การบวมตัวของฟิล์มก็เพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นการเพิ่ม Ca^{2+} จึงเข้าจับกับโมเลกุลน้ำมากขึ้น

สรุป ฟิล์มสูตร 6S4A3G0.1C มีค่าบวมน้ำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ ปริมาณอื่น ฟิล์มมีความคงสภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น

4.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน เติมกลีเซอรอล 1%v/v ที่มีผลต่อการบวมน้ำ (%Swelling)



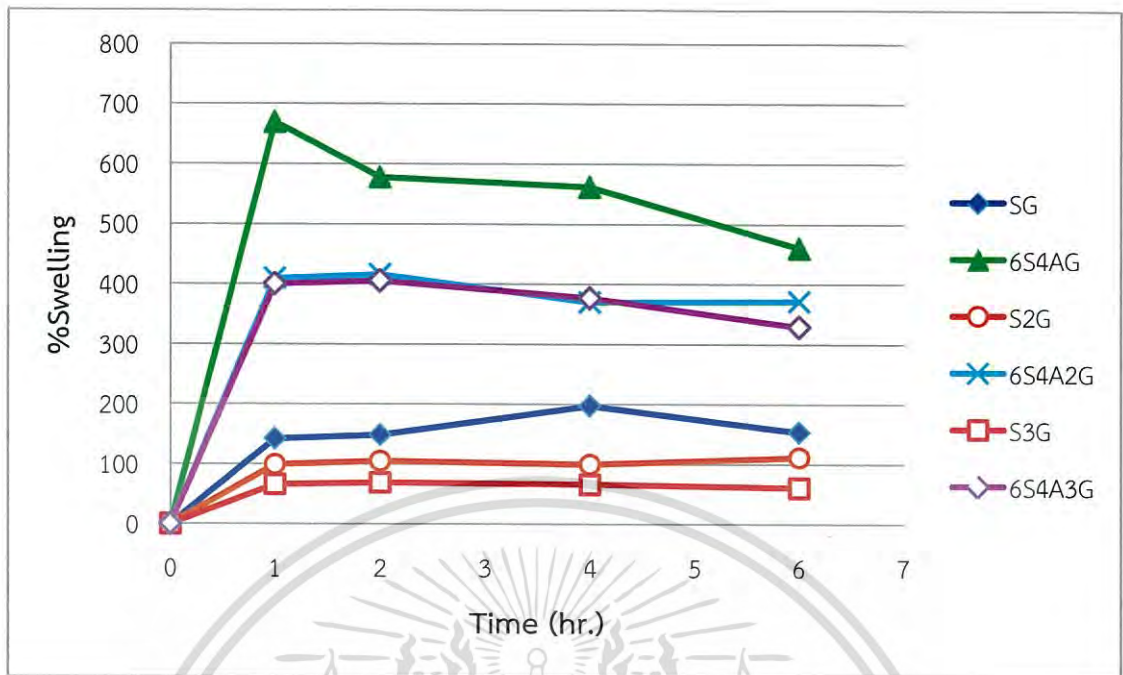
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1%v/v

จากรูปที่ 4.9 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของโซเดียมอัลจิเนตค่าการบวมน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับสูตร SG เมื่ออัตราส่วนของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นจะมีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้น จากนั้นค่าการ บวมน้ำจะลดลงเมื่อแช่น้ำเป็นเวลานานขึ้นเนื่องจากส่วนของโซเดียมอัลจิเนตดูดน้ำได้ดี น้ำที่ถูกดูด แยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเนาไปไซประโยชน์ดานการค้ำ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในโครงสร้างจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนต ทำให้ฟิล์มคงรูปได้ไม่นานและละลายน้ำออกไป สูตรที่มีแต่แป้งเพียงอย่างเดียวคือ สูตร SG มีค่าการบวมน้ำน้อย เพราะแป้งถั่วเขียวมีอะไมโลสอยู่มากจึงมีความเป็นผลึกมากกว่าโซเดียมอัลจิเนต ฟิล์มสามารถคงรูปได้ดี สูตร 8S2AG (80 : 20) และ 6S4AG (60 : 40) มีค่าการบวมน้ำใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากมีอัตราส่วนของแป้งถั่วเขียวที่มากกว่าโซเดียมอัลจิเนต เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตดังรูปที่ 4.4 ทำให้โซเดียมอัลจิเนตละลายน้ำได้น้อยลง ฟิล์มยังคงรูปได้ดี สูตร 4S6AG (40 : 60) มีค่าการบวมน้ำมากที่สุด 967% เนื่องจากมีอัตราส่วนของโซเดียมอัลจิเนตมากกว่าจึงดูดน้ำเข้าไปในโครงสร้างได้มากใน 1 ชั่วโมงแรก โดยโซเดียมอัลจิเนตยังเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแป้งถั่วเขียวอยู่ดังรูปที่ 4.4 ทำให้ฟิล์มละลายน้ำได้ช้าลง แต่ในชั่วโมงที่ 2 มีค่าการบวมน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะโซเดียมอัลจิเนตดูดน้ำได้มากขึ้น เกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตและเกิดการละลายออกไป สูตร 2S8AG (20 : 80) จะมีค่าการบวมน้ำต่ำที่สุด 98% ภายใน 1 ชั่วโมงแรก เนื่องจากมีอัตราส่วนของโซเดียมอัลจิเนตสูงกว่าแป้งถั่วเขียวมาก จึงดูดน้ำเข้าไปในโครงสร้างได้มากเกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซเดียมอัลจิเนตและแป้งถั่วเขียวแล้วละลายออกไปมากทำให้น้ำหนักลดลง จนเหลือแต่ส่วนของแป้งถั่วเขียวที่มีความสามารถในการดูดน้ำได้น้อย และในชั่วโมงที่ 2 ก็เกิดการละลายน้ำจนหมด

สำหรับ สูตร AG เป็นฟิล์มของโซเดียมอัลจิเนตไม่สามารถหาค่าการบวมน้ำได้ เพราะแผ่นฟิล์มละลายน้ำหมดอย่างรวดเร็วจึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้

4.3.2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ที่มีผลต่อการบวมน้ำ (%Swelling) ของฟิล์มแป้งถั่วเขียว และฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40



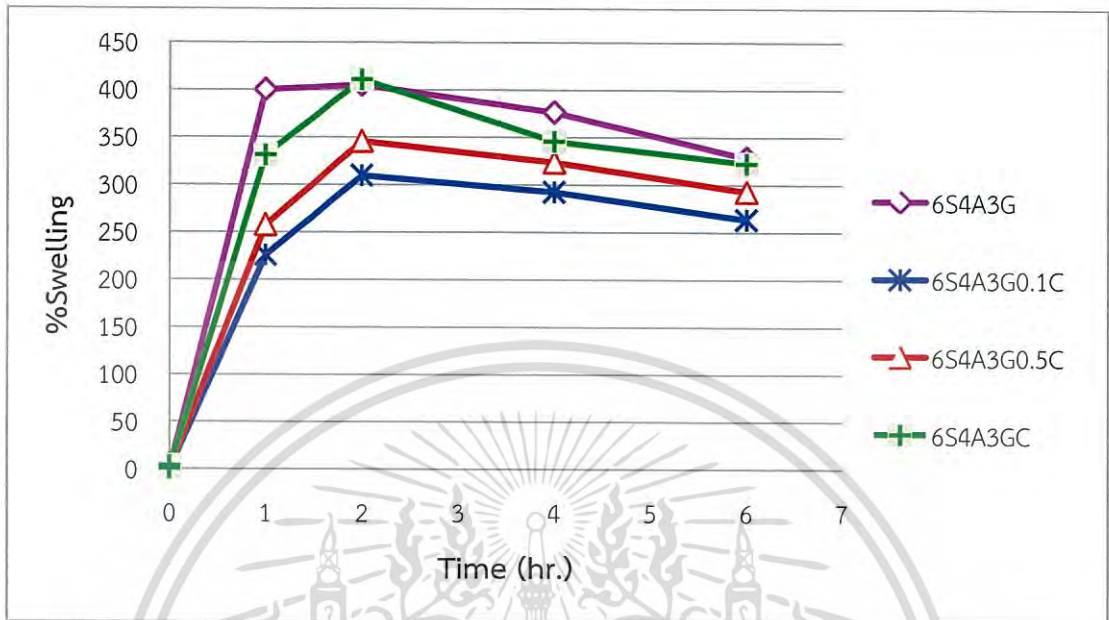
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งถั่วเขียว โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v

จากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาฟิล์มแป้งถั่วเขียว คือ SG, S2G และ S3G ที่มีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ พบว่า ค่าการบวมน้ำของ S (141%) > S2G (99%) > S3G (66%) เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ค่าการบวมน้ำจะลดลง แสดงว่ากลีเซอรอลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่-OH ของแป้งถั่วเขียวได้ดี จึงลดหมู่ -OH อิสระที่จะไปทำปฏิกิริยากับน้ำ เมื่อเทียบกับสูตร 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G ที่มีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ พบว่าแป้งถั่วเขียวมีความเป็นผลึกมากกว่าโซเดียมอัลจิเนตจึงดูดน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มผสม นอกจากนี้โซเดียมอัลจิเนตยังมีหมู่ $\text{-COO}^-\text{Na}^+$ ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี ค่าการบวมน้ำของ 6S4AG (669%) > 6S4A2G (408%) > 6S4A3G (399%) แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ค่าการบวมน้ำจะลดลงเช่นกัน

ผลการทดลองพบว่า ค่าการบวมน้ำของ 6S4AG > 6S4A2G > 6S4A3G > SG > S2G > S3G เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลค่าการบวมน้ำจะลดลง เพราะว่า หมู่ -OH ของกลีเซอรอล เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของแป้งถั่วเขียว และหมู่ -OH ของโซเดียมอัลจิเนตดังรูปที่ 4.6 ทำให้หมู่ -OH ที่เหลือไปดึงดูดน้ำได้ลดลง

สำหรับฟิล์มโซเดียมอัลจิเนตคือ AG, A2G และ A3G ที่มีปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3 %v/v ตามลำดับ ไม่สามารถวัดค่าการบวมน้ำได้เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตละลายน้ำหมดตั้งแต่วินาทีแรก

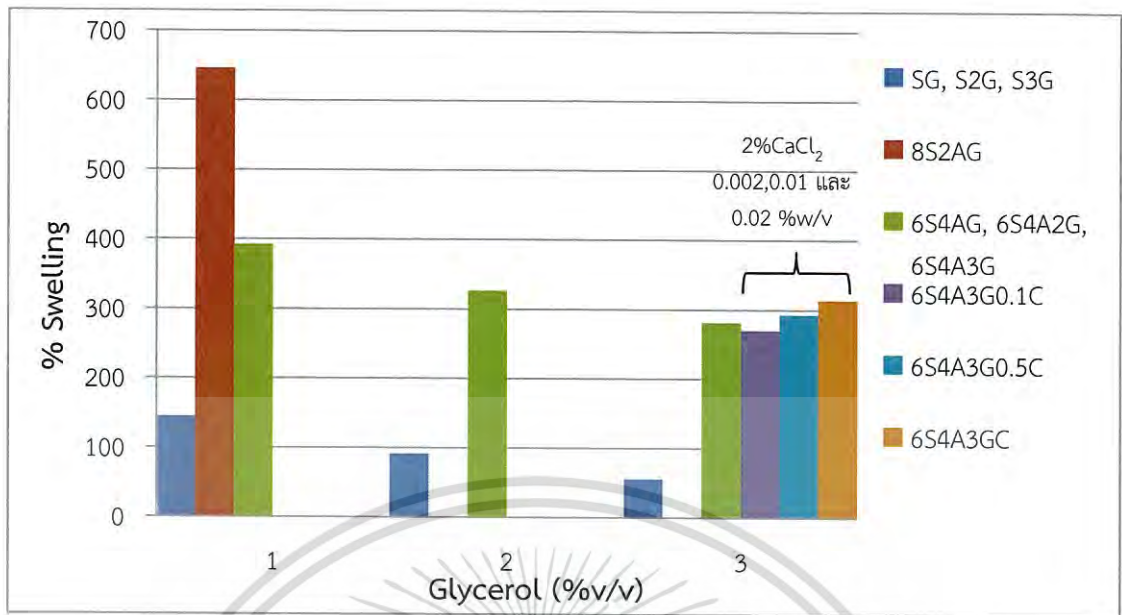
4.3.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อสมบัติการบวมน้ำ (%Swelling) ของฟิล์มไฮโดรเจล ผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

การบวมน้ำของพอลิเมอร์เป็นผลจากสมดุลระหว่างความดันออสโมติก (osmotic pressure) และความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ (polymer elasticity) ความดันออสโมติกเป็นผลของความเข้มข้นของ mobile ions ที่อยู่ในเจลและอยู่ในสารละลายภายนอกเจลนั่นคือ ความดันออสโมติกขึ้นอยู่กับแรงกระทำระหว่างไอออนกับพอลิเมอร์ (polymer ion interaction)

จากรูปที่ 4.11 ศึกษาผลของ 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อฟิล์มผสมที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v พบว่า สูตร 6S4A3G ที่ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์มีค่าการบวมน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 404% ใน 1 ชั่วโมงแรกและอยู่ได้นานถึง 24 ชั่วโมง เมื่อเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ลงในฟิล์มผสมพบว่าค่าการดูดน้ำลดลงดังนี้ สูตร 6S4A3G0.1C (225%) < 6S4A3G0.5C (257%) < 6S4A3GC (330%) และอยู่ได้นานถึง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลชนิดต่างๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.12 ฟิล์มแบ่งตัวเขียวที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันพบว่า สูตร SG, S2G และ S3G มีค่าการบวมน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง เรียงลำดับดังนี้ SG (141%) > S2G (99%) > S3G (66%) แสดงว่ากลีเซอรอลสามารถแทรกเข้าไปในโมเลกุลของแบ่งตัวเขียวแล้วเกิดพันธะไฮโดรเจนได้เป็นอย่างดี จึงลดหมู่ -OH อิสระที่เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ

ฟิล์มสูตร 8S2AG (80 : 20) มีค่าการบวมน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงสูงที่สุดเท่ากับ 740% อาจเนื่องจากมีหมู่ $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ จากโซเดียมอัลจิเนตมาช่วยดูดน้ำ

ฟิล์มผสมที่มีอัตราส่วนระหว่างแบ่งตัวเขียวและโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 คือสูตร 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G ที่ผสมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v พบว่ามีค่าการบวมน้ำดังนี้ 6S4AG (669%) > 6S4A2G (408%) > 6S4A3G (399%) ผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทำนองเดียวกับฟิล์มแบ่งตัวเขียวและสอดคล้องกับ ML. Sanyang และคณะ^[43] พบว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (กลีเซอรอล) ทำให้ความหนาแน่นและการดูดซับน้ำของฟิล์มลดลง อย่างไรก็ตามการบวมน้ำของฟิล์มผสม (สูตร 8S2AG) มีค่าสูงกว่าฟิล์มแบ่งตัวเขียวเนื่องจากฟิล์มผสมมีหมู่ $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ จากโซเดียมอัลจิเนต การเพิ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่างแบ่งตัวเขียวและโซเดียมอัลจิเนต (สูตร 6S4A3G0.1C, 6S4A3G0.5C และ 6S4A3GC) นั้น Ca^{2+} จะเข้าไปจับกับหมู่ $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจิเนตดังรูปที่ 4.8 ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ Ca^{2+} mobile ions ที่อยู่ภายในพอลิเมอร์ผสมและที่อยู่ในสารละลายภายนอก ส่งผลให้การบวมน้ำสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเติมสารละลาย CaCl_2 มากจนเกิดสมดุล จะทำให้ความเข้มข้นของ Ca^{2+} mobile ions ที่อยู่ภายนอกพอลิเมอร์มากขึ้น ส่งผลให้การบวมน้ำของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น^[44]

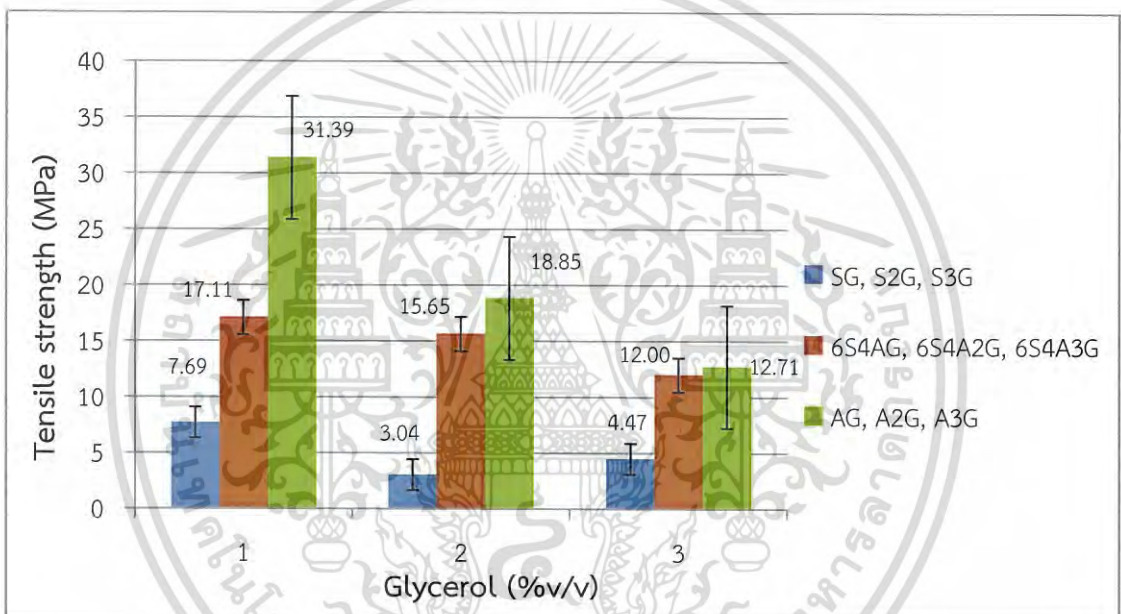
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยตัดฟิล์มไฮโดรเจลเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.5×10 cm. ใช้ Speed ในการดึง 50 mm/min guage length 4 cm. ได้ค่า Tensile strength , Elongation at break และ Young's modulus

4.4.1 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

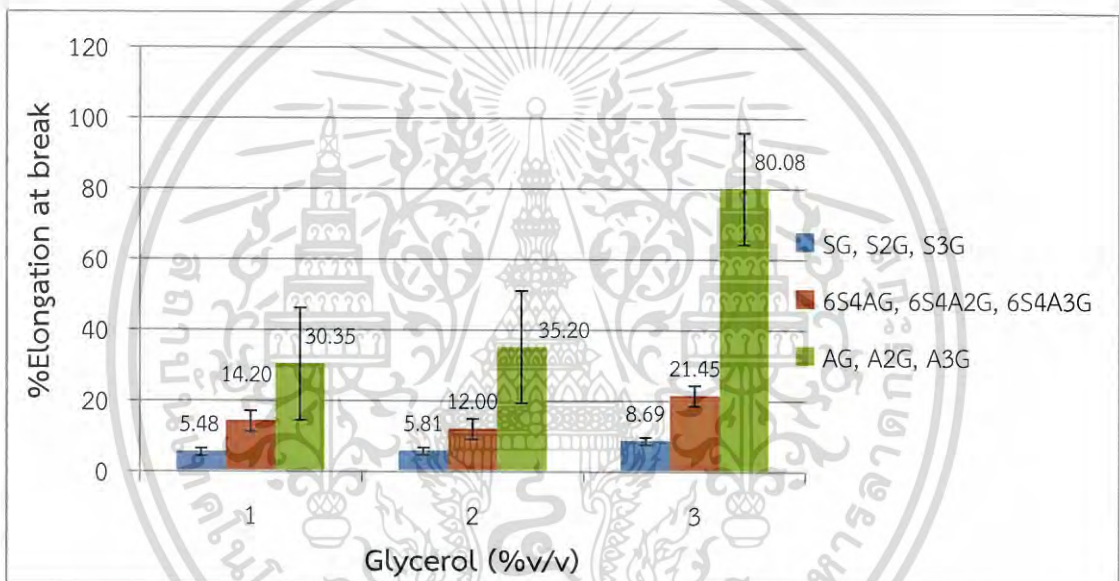
จากรูปที่ 4.13 เมื่อนำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลของแป้งข้าวเขียวที่มีกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v มาทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากปริมาตรอิสระของฟิล์มเพิ่มขึ้น เพราะกลีเซอรอลช่วยให้สายโซ่พอลิเมอร์ขยับเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น (Mobility of chain molecule)^[45] สูตรที่มีแต่แป้งข้าวเขียวอย่างเดียวคือ SG, S2G และ S3G มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 7.69, 3.04 และ 4.47 MPa ตามลำดับ สูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 คือ 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 17.11, 15.65 และ 12.00 MPa ตามลำดับ และสูตรที่มีแต่โซเดียมอัลจิเนตคือ AG, A2G และ A3G มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 31.39, 18.85 และ 12.71 MPa ตามลำดับ ก็มี

แนวโน้มลดลงให้เหตุผลเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในแป้ง แสดงว่าสูตรที่มีเพียงโซเดียมอัลจิเนตจะให้ค่าเอกสารเป็นเอกสารที่สวนในสําหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูเยุ่ให้เน้าไปเซบระเซชันดานการคําไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงดึงสูงสุดเนื่องจากความเป็นขี้ของ COO^- ทำให้เกิดการดึงดูดของโมเลกุลของ COO^- และ OH

จากการทดลองพบว่าความแข็งแรงดึงของแป้งกล้วยเขียวเพียงอย่างเดียวมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของแป้งประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน อะไมโลสจะเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ จึงส่งผลให้แป้งมีความเป็นผลึกสูง แต่แป้งมีส่วนที่เป็นอะไมโลเพกทินอยู่มากซึ่งเป็นสายโซ่กึ่ง ซึ่งทำให้แป้งมีความแข็งแรงเปราะ การเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมอัลจินเตตมีผลทำให้แผ่นฟิล์มไฮโดรเจลมีความแข็งแรงสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความเป็นขี้ของ COO^- ทำให้เกิดการดึงดูดของโมเลกุล COO^- และ OH

2. ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break)



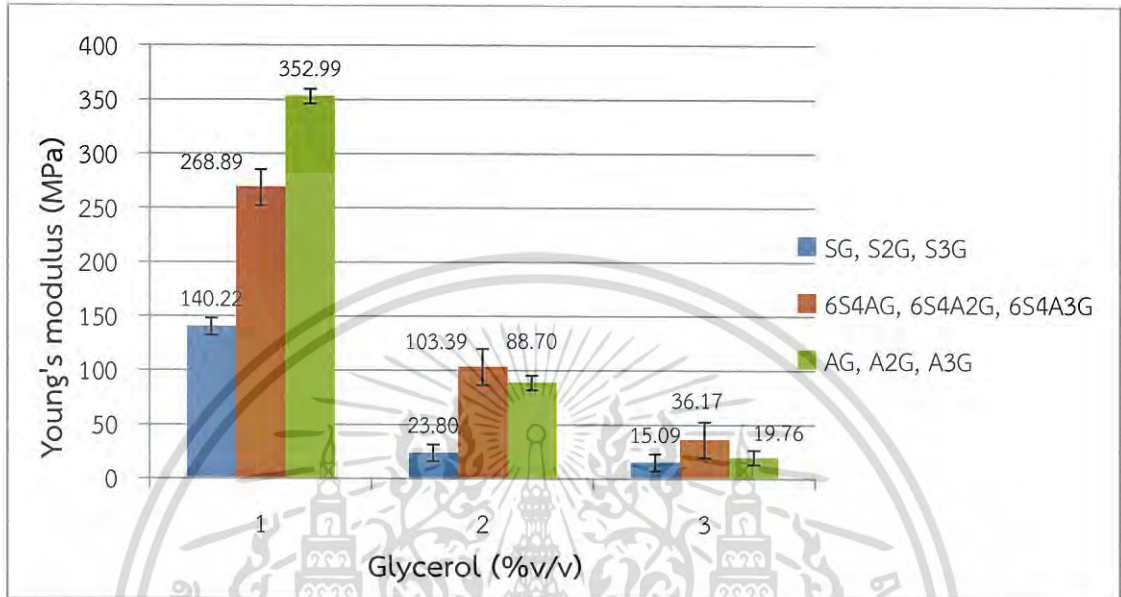
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยืด ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งกล้วยเขียวกับโซเดียมอัลจินเตต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.14 เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะมีค่าการดึงยืดที่มากขึ้น แสดงว่าปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ในการทดลองนี้เพียงพอให้กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์จึงปรับปรุง Chain flexibility และ ductility ของแป้งกล้วยเขียวและโซเดียมอัลจินเตตจึงมีแนวโน้มการทดลองคล้ายกับค่าความแข็งแรงดึง^[44] พบว่าฟิล์มโซเดียมอัลจินเตตคือ AG, A2G และ A3G มีค่าร้อยละการดึงยืดเฉลี่ยมากที่สุดคือ 30.35, 35.20 และ 80.08% ส่วนฟิล์มแป้งกล้วยเขียวคือ SG, S2G และ S3G มีค่าร้อยละการดึงยืดเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 5.48, 5.81 และ 8.69% ตามลำดับ เพราะแป้งมีความเป็นผลึกสูงกว่าโซเดียมอัลจินเตต และฟิล์มผสมระหว่างแป้งกล้วยเขียวกับโซเดียมอัลจินเตต ที่อัตราส่วน 60 : 40 คือ 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G มีค่าร้อยละการดึงยืดเฉลี่ยคือ 14.20, 12.00 และ 21.45% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าฟิล์มแป้งกล้วยเขียว เพราะโซเดียมอัลจินเตตเข้าไปแทรกตัวอยู่ในวัฏภาคของแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเขียวทำให้ความเป็นผลึกของแป้งลดลง พิล์มผสมจึงยืดออกได้มากขึ้นก่อนขาดเมื่อเทียบกับฟิล์มแป้ง

3. มอดุลัสของยัง (Young's modulus)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

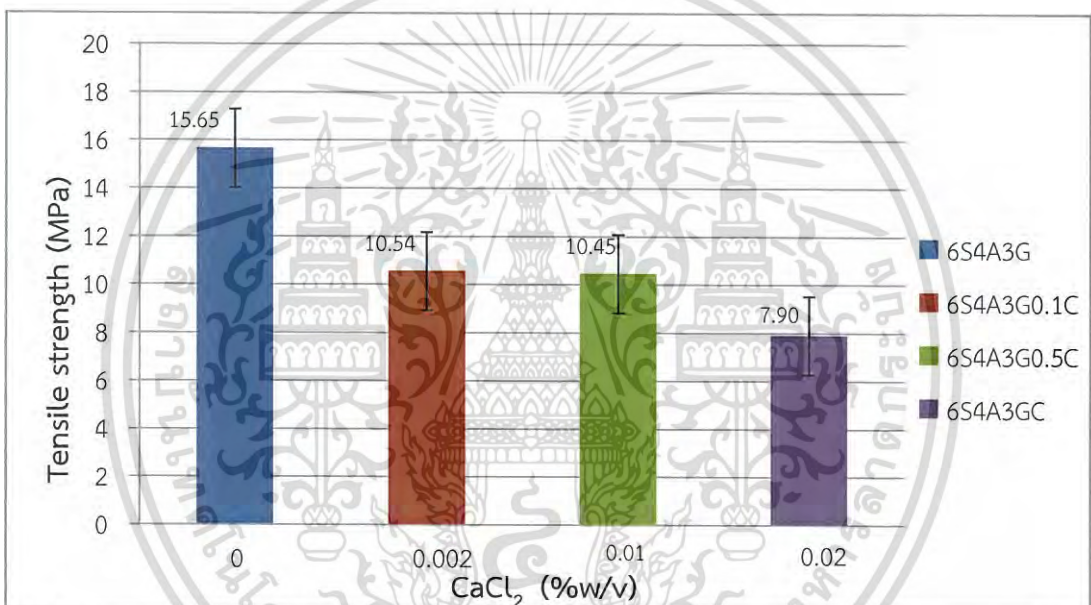
จากรูปที่ 4.15 ฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตรเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะมีค่ามอดุลัสของยังลดลง พบว่าฟิล์มโซเดียมอัลจิเนตคือ สูตร AG, A2G และ A3G มีค่ามอดุลัสของยังสูงสุดคือ 352.99, 88.70 และ 19.76 MPa ตามลำดับ ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนต 60 : 40 คือ 6S4AG, 6S4A2G และ 6S4A3G มีค่ามอดุลัสของยัง เฉลี่ยคือ 268.89, 103.39 และ 36.17 MPa ตามลำดับ และฟิล์มแป้งถั่วเขียวคือ สูตร SG, S2G และ S3G มีค่ามอดุลัสของยัง เฉลี่ย 140.22, 23.80 และ 15.09 MPa ตามลำดับ พบว่าฟิล์มแป้งถั่วเขียว, ฟิล์มผสมและฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต มีค่ามอดุลัสของยังลดลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดย -OH ของกลีเซอรอลเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของแป้งถั่วเขียว และหมู่ -OH ของโซเดียมอัลจิเนต แต่โมเลกุลของกลีเซอรอลมีลักษณะยาวทำให้เกิดปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่มากขึ้น สายโซ่เคลื่อนตัวได้ง่ายดังรูปที่ 4.6 ทำให้ค่ามอดุลัสของยังลดลง

เมื่อพิจารณาฟิล์มแป้งถั่วเขียว ฟิล์มผสม และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต ที่มีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น กลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของพีคสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ที่ตำแหน่งพีค O-H stretching มีลักษณะสั้นลงและกว้างขึ้น พร้อมเกิดการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นดังที่กล่าวไว้ที่รูป 4.5 และสอดคล้องกับค่าการบวมน้ำที่ลดลงเมื่อกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นดังที่กล่าวไว้ที่รูป 4.6 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 และเนื่องจากโครงสร้างที่ยาวของกลีเซอรอลทำให้มีปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่มากขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนตัวของสายโซ่ได้มากส่งผลให้ค่าร้อยละการดึงยืดสูง แต่ค่าความแข็งแรงดึง และมอดูลัสของยังลดลง

4.4.2 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



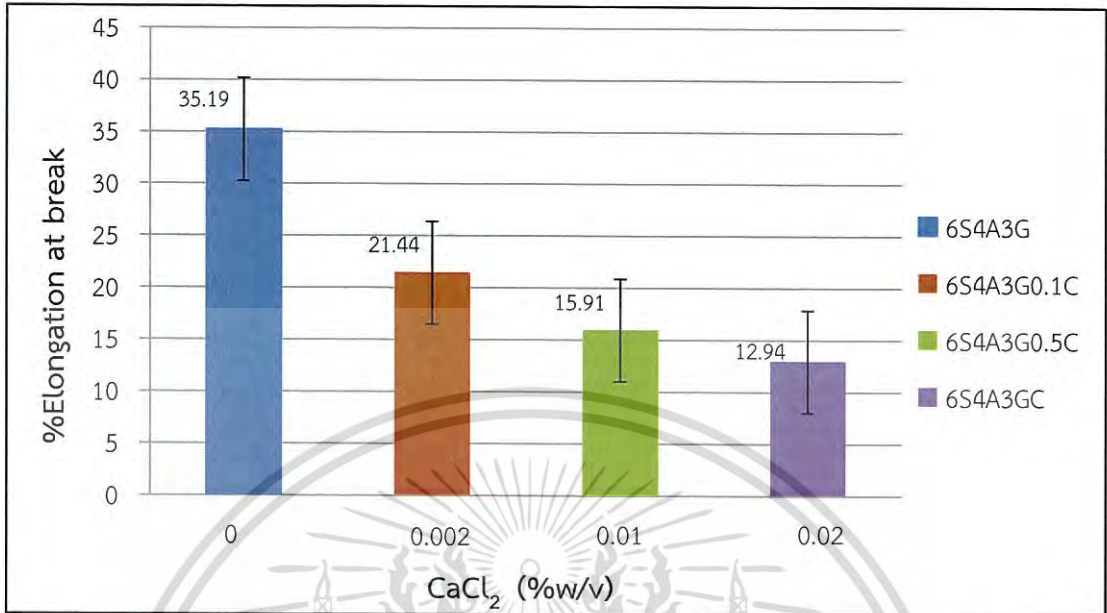
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

จากรูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อเพิ่มปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์มากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงดังนี้ สูตร 6S4A3G (15.65MPa) > 6S4A3G0.1C (10.54 MPa) > 6S4A3G0.5C (10.45 MPa) > 6S4A3GC (7.90 MPa) พบว่า ฟิล์มผสมสูตร 6S4A3G ที่ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเพราะฟิล์มผสมสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตได้มากจึงไปเสริมค่าความแข็งแรงดึงให้สูงขึ้น แต่เมื่อเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ลงไปจะมีค่าความแข็งแรงดึงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากหรืออาจลดลงเล็กน้อย เนื่องจากอนุภาคของ Ca²⁺ เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ COO⁻ ของ guluronic acid ที่อยู่ใน

โซเดียมอัลจิเนตดังรูปที่ 4.8 Ca²⁺ ที่ถูกจับอยู่ในฟิล์มจะทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

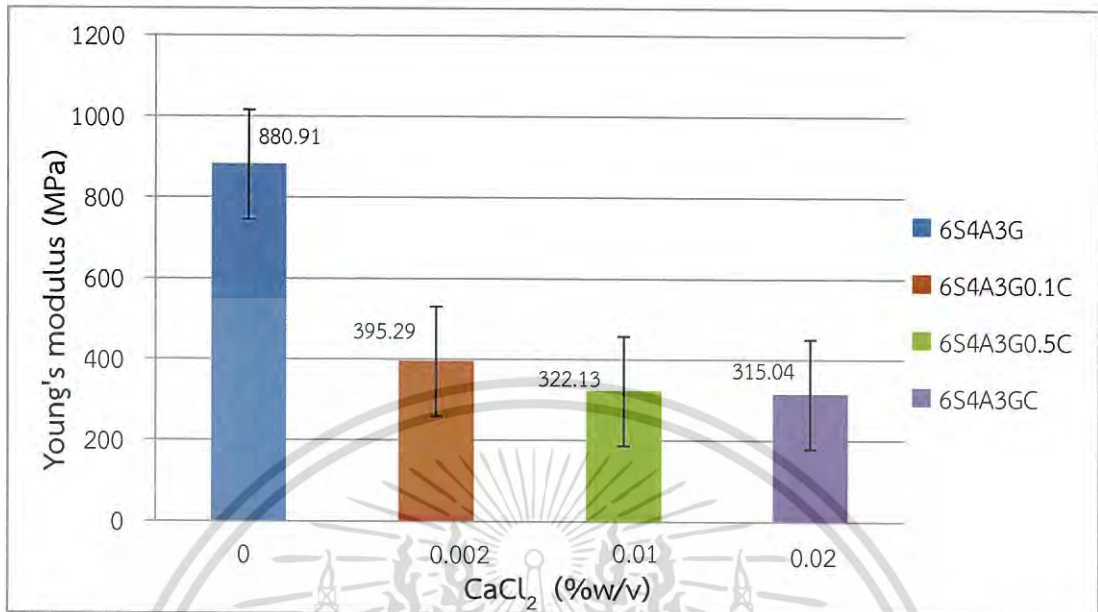
2. ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break)



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยืด ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้ง ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มผสมที่ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์และเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเมื่อ 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดึงยืดลดลงเรียงลำดับดังนี้ สูตร 6S4A3G (35.19%) > 6S4A3G0.1C (21.44%) > 6S4A3G0.5C (15.91%) > 6S4A3GC (12.94%) อาจเนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์ทำให้มีปริมาณ Ca²⁺ มาก และเข้าไปเกิดพันธะเชื่อมโยงกับ COO⁻ ของโซเดียมอัลจิเนตได้มากขึ้นดังรูปที่ 4.8 ทำให้สายโซ่เคลื่อนตัวได้ยากขึ้น ฟิล์มมีความแข็งเปราะมากขึ้น

3. ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยัง ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้ง ถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

จากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มผสมที่ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์และเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ พบว่า เมื่อเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่ามอดูลัสของยังลดลง เรียงลำดับดังนี้ สูตร 6S4A3G (880.91 MPa) > 6S4A3G0.1C (395.29 MPa) > 6S4A3G0.5C (322.13 MPa) > 6S4A3GC (315.04 MPa) สูตร 6S4A3G ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์มีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ยมากที่สุด 880.91 MPa สูตร 6S4A3G0.1C เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002%w/v มีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ย 395.29 MPa สูตร 6S4A3G0.5C เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.01%w/v มีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ย 322.13 MPa และสูตร 6S4A3GC เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.02%w/v มีค่ามอดูลัสของยังเฉลี่ยน้อยที่สุด 315.04 MPa เนื่องจากสูตร 6S4A3G ยังมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตอยู่มากดังรูปที่ 4.4 แต่เมื่อเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น Ca^{2+} จะเข้าไปแทรกตัวในฟิล์มผสมลดการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนตและเข้าไปเกิดพันธะเชื่อมโยงกับหมู่ COO^- ของโซเดียมอัลจิเนตได้มากขึ้นดังรูปที่ 4.8 ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของสายโซ่ได้ยากขึ้น ฟิล์มผสมจึงมีความแข็งเปราะเพิ่มมากขึ้น

สรุป เมื่อใส่ 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้มี Ca^{2+} เพิ่มขึ้น จะเข้าไปลดการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตและเกิดพันธะเชื่อมโยงกับหมู่ COO^- ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจิเนตได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของฟิสิกส์เปกตรัมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ด้วย FTIR ที่ตำแหน่ง C=O stretching ที่คี่จะมีลักษณะสั้นลงและกว้างขึ้นเมื่อ 2% แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นดังกล่าวไว้ที่รูป 4.7 จึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของสายโซ่ได้ยาก พอลิเมอร์มีความแข็งเปราะมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง, ค่าร้อยละการดึงยืด และค่ามอดุลัสของยังลดลง

4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

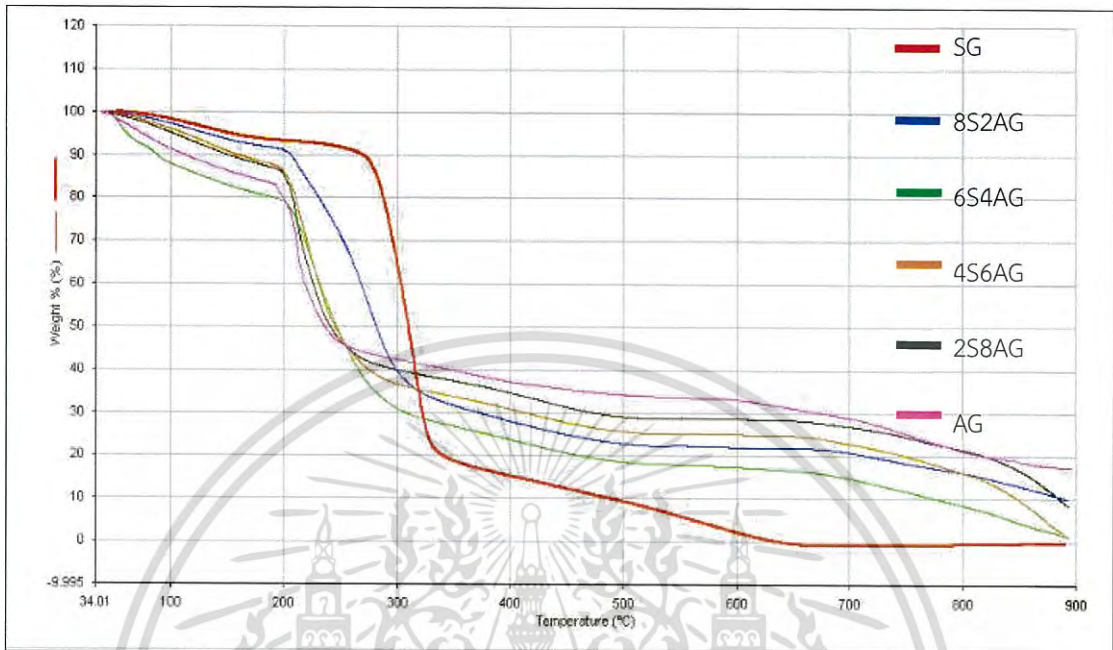
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลต่างๆ

สูตร	Mung bean starch (°C)	Sodium alginate (°C)	Mass loss Δy (%)
SG (100:0)	314	-	72
8S2AG (80:20)	280	213	59
6S4AG (60:40)	245	224	51
4S6AG (40:60)	222	214	51
2S8AG (20:80)	230	212	47
AG (0:100)	-	212	40
6S4A2G	257	251	54
6S4A3G	253	224	56
6S4A3G0.1C	244	213	58
6S4A3G0.5C	249	225	55
6S4A3GC	213	241	57

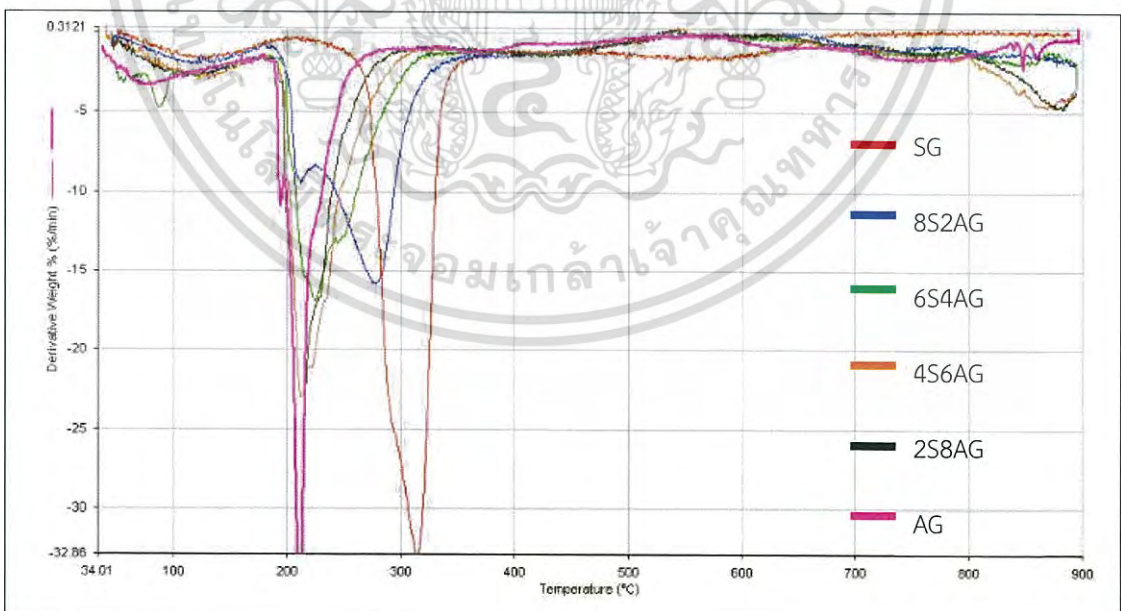
Mass loss คือน้ำหนักของสารที่หายไป ยังมีค่ามากแสดงว่าเกิดการสลายตัวของสารได้มากหรือเกิดการสลายตัวค่อนข้างสมบูรณ์ พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยเขียวคือสูตร SG จะเกิดการสลายตัวมากที่สุด 72% ฟิล์มผสมที่อัตราส่วนต่างกัน สูตร 8S2AG, 6S4AG, 4S6AG และ 2S8AG พบว่าจะมีค่า mass loss ลดลงเมื่อมีส่วนผสมของโซเดียมอัลจินเนตมากขึ้น เนื่องจาก หมู่ -OH ของแป้งกล้วยเขียวจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของโซเดียมอัลจินเนตดังรูปที่ 4.4 และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลหรือแคลเซียมคลอไรด์มากขึ้นค่า mass loss ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและแคลเซียมคลอไรด์ไม่ส่งผลต่อค่า mass loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน มีกลีเซอรอล 1%v/v ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 TGA(ก) และ DTG(ข) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสม

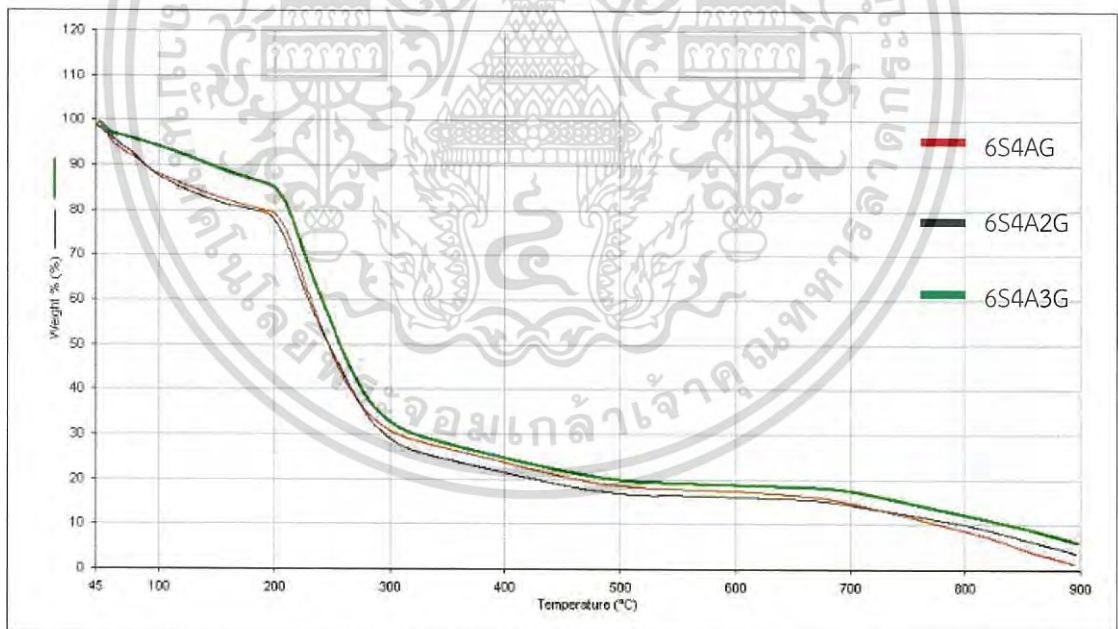
ระหว่างแป้งข้าวเขียว กับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างกัน โดยเติมกลีเซอรอล 1%v/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

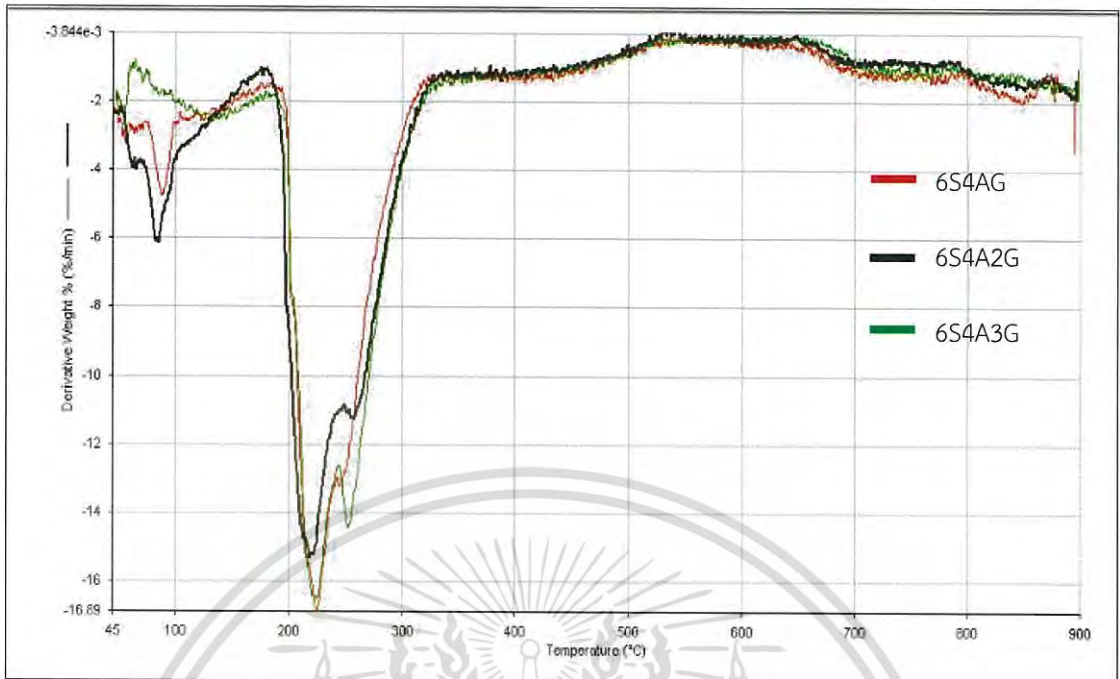
จากรูปที่ 4.19 (ก) และ(ข) เมื่อนำฟิล์มแบงัวเขียวไปวัดอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA พบว่า มีอุณหภูมิการสลายตัวที่พีคอุณหภูมิ 314.5 °C และเมื่อนำฟิล์มโซเดียมอัลจิเนตวัดอุณหภูมิการสลายตัว พบว่ามีพีคอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 212.2 °C ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่า สูตร 8S2AG, 6S4AG, 4S6AG และ2S8AG จะเกิดการเคลื่อนไป (Shift) เข้าใกล้พีคอุณหภูมิการสลายตัวของโซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากมีอัตราส่วนของโซเดียมอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้น สูตร 8S2AG มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 213.2 °C และ280.5 °C สูตร 6S4AG มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 224.8 °C และ245.9 °C สูตร 4S6AG มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 214.2 °C และ222.1 °C สูตร 2S8AG มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 212.2 °C และ230.4 °C ซึ่งแต่ละสูตรมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ในชั้นแรกที่อุณหภูมิต่ำเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของโซเดียมอัลจิเนตและชั้นที่สองที่อุณหภูมิสูงเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแบงัวเขียว ถึงแม้ว่าในแต่ละสูตรจะมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น แต่มีค่าเคลื่อนเข้าหากัน แสดงให้เห็นว่าแบงัวเขียวและโซเดียมอัลจิเนตสามารถผสมกันได้ อาจเนื่องจากแบงัวเขียวและโซเดียมอัลจิเนตมีโครงสร้างที่คล้ายกันมาก

4.5.2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแบงัวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

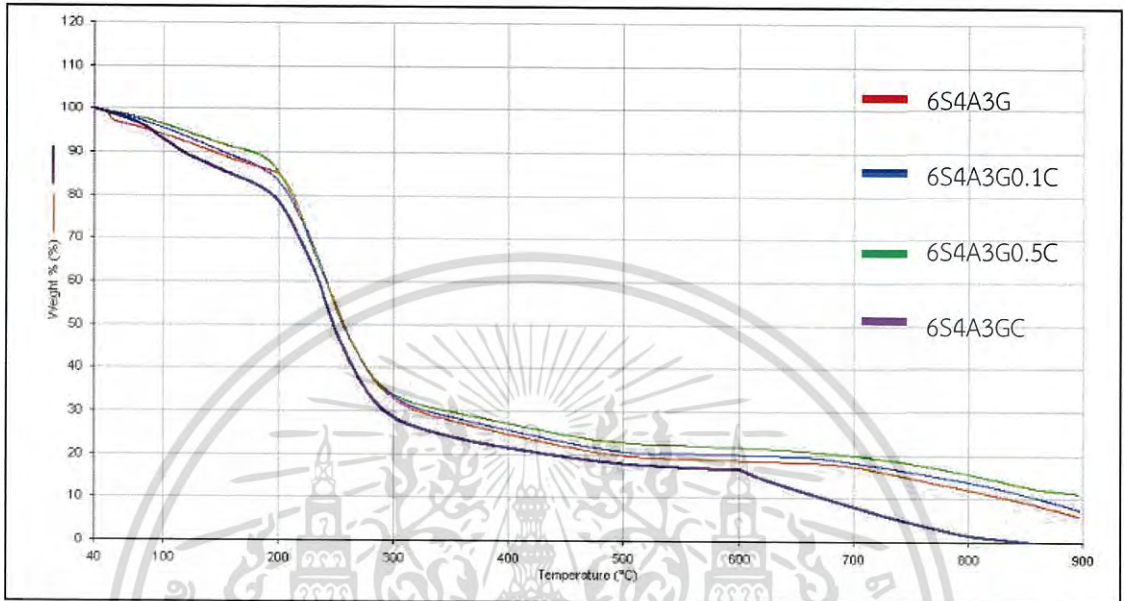


(ง)

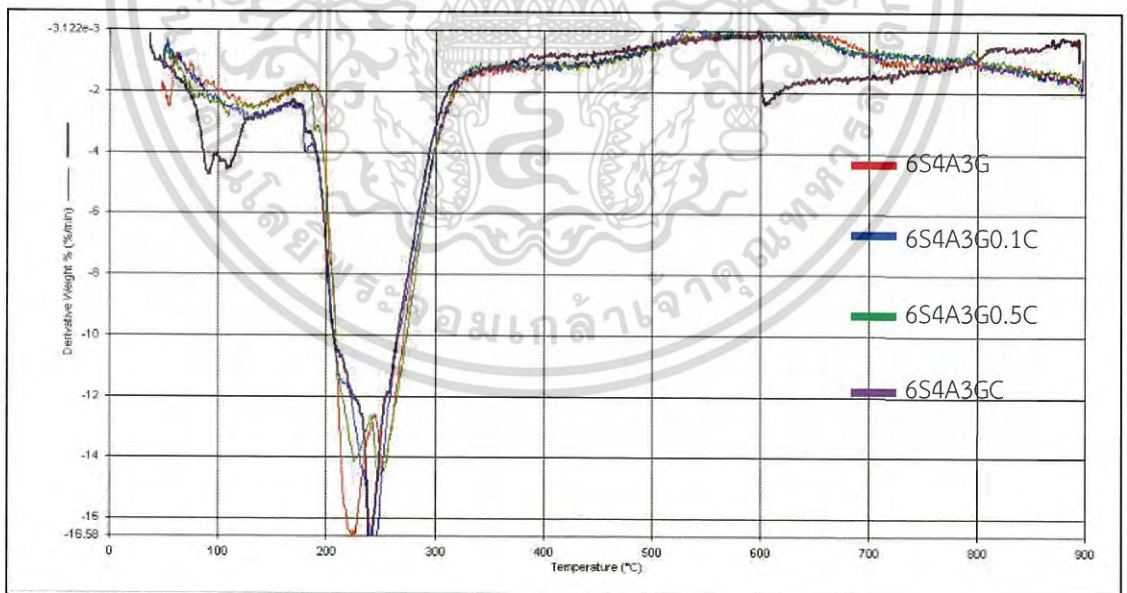
รูปที่ 4.20 (ค) และ (ง) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งถั่วเขียว กับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v

จากรูปที่ 4.20 (ค) และ(ง) แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียว และโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 ที่ปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน พบว่า สูตร 6S4AG มีปริมาณ กลีเซอรอล 1%v/v มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 224 °C และ 245 °C สูตร 6S4A2G มีปริมาณ กลีเซอรอล 2%v/v มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 251 °C และ 257 °C สูตร 6S4A3G มีปริมาณ กลีเซอรอล 3%v/v มีพีคอุณหภูมิการสลายตัวที่ 224 °C และ 253 °C พบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอล เพิ่มขึ้น ทำให้พีคอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งและโซเดียมอัลจิเนตแยกชัดเจนขึ้น อาจเพราะกลี เซอรอลทำปฏิกิริยากับแป้งได้ดีกว่า เกิดพันธะไฮโดรเจนกับแป้งได้มากขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวจึง สูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเดียวกันที่มีกลีเซอรอลน้อยกว่า

4.5.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียว กับ โซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3 %v/v ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว



(จ)



(ข)

รูปที่ 4.21 (จ) และ (ข) แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเขีวกับโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v โดยเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0, 0.002, 0.01 และ 0.02%w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 (จ) และ (ฉ) เมื่อปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น พบว่า แต่ละสูตรมีพีคอุณหภูมิกการสลายตัว 2 ชั้นตอน สูตร 6S4A3G ไม่เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ มีอุณหภูมิกการสลายตัวที่ 224 °C และ 253 °C เมื่อมีการเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง สูตร 6S4A3G0.1C เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002%w/v พบพีคอุณหภูมิกการสลายตัวที่ 213 °C และ 244 °C สูตร 6S4A3G0.5C เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.01%w/v พบพีคอุณหภูมิกการสลายตัวที่ 225 °C และ 249 °C สูตร 6S4A3GC เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.02%w/v พบพีคอุณหภูมิกการสลายตัวที่ 213 °C และ 241 °C พบว่า เมื่อปริมาณ 2%แคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิกการสลายตัวของโซเดียมอัลจิเนต (อุณหภูมิกการสลายตัวในขั้นแรก) เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Ca^{2+} เกิดพันธะเชื่อมโยงกับหมู่ COO^- ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจิเนตได้ดีดังรูปที่ 4.8 ส่งผลให้แป้งข้าวเหนียวเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโซเดียมอัลจิเนตได้น้อยลง อุณหภูมิกการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียว (อุณหภูมิกการสลายตัวในขั้นที่ 2) จึงลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5% แป้งถั่วเขียวกับ 5% โซเดียมอัลจิเนต โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และใช้ 2% แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง ทำการขึ้นรูปฟิล์มไฮโดรเจลด้วยวิธีการหล่อแบบ (Casting) การศึกษาผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนต ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล 1, 2 และ 3%v/v ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 ตอนที่ 3 ศึกษาผลของ 2% แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.5 และ 1%w/v ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ทดสอบสมบัติการบวมน้ำ(%Swelling) ทดสอบสมบัติเชิงกล และทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis(TGA) สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ผลการศึกษาอัตราส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 5% แป้งถั่วเขียวกับ 5% โซเดียมอัลจิเนตที่ผสมกลีเซอรอล 1%v/v พบว่า ที่อัตราส่วน 60 : 40 (สูตร 6S4A) ขึ้นรูปได้เรียบร้อย และยังมีอัตราส่วนของแป้งที่มากกว่า จึงเลือกใช้อัตราส่วนนี้เพื่อทำการศึกษาต่อ เนื่องจากลดการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์และลดต้นทุนการผลิต

ในการทดลองนี้ พบว่า การเติมกลีเซอรอลที่มีหมู่ -OH 3 หมู่ จะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนต เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีลักษณะนิ่ม ยืดหยุ่น ไม่เปราะแตกหักง่าย มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงและการดูดน้ำจะลดลง แต่มีค่าร้อยละการดึงยืดสูงขึ้น

การเติม 2%w/v แคลเซียมคลอไรด์เพื่อเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงลงในฟิล์มผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีกลีเซอรอล 3%v/v พบว่า ฟิล์มมีลักษณะแข็งเปราะ ยืดหยุ่นลดลงและหดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากเป็นการเพิ่ม Ca^{2+} ลงในฟิล์มผสม ทำให้ส่วน COO^- ของ guluronic acid ในโซเดียมอัลจิเนตเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตจับกับ Ca^{2+} โครงสร้างของโซเดียมอัลจิเนตจึงเกิดการเชื่อมโยงหรือเกิดโครงสร้างแบบ egg box ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลไม่ยืดหยุ่น ฟิล์มที่ได้มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด และค่าความแข็งแรงลดลง แต่การดูดน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการละลายของฟิล์มลดลง

การทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าโครงสร้างของแป้งถั่วเขียวและโซเดียมอัลจิเนตเป็นพอลิแซคคาไรด์คล้ายกันมาก ทำให้ผสมเข้ากันได้ดี กลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แป้งแยกตัวออกจากโซเดียมอัลจิเนตส่วนการเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ส่วนของโซเดียมอัลจิเนต มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรูปฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวที่ความเข้มข้น 5%w/v กับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 5%w/v ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยเติมกลีเซอรอล 3%v/v และ 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.1%w/v เป็นฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไข ฟิล์มที่ขึ้นรูปได้เรียบสวย ไม่หดตัว และมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด นอกจากนี้เมื่อแช่น้ำถึง 24 ชั่วโมง ฟิล์มก็ยังคงรูปร่างเดิมได้ และมีค่าการบวมน้ำต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการเติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณอื่น ทำให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น

จากผลการวิจัยฟิล์มผสมที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น ฟิล์มที่ได้สามารถซีลติดกันด้วยความร้อน และมีความสามารถในการทนน้ำมันได้นานถึง 5 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นฟิล์ม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุเครื่องปรุงระงะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ดินวิทยาศาสตร์ วัสดุพอกคลุมดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาสารเชื่อมโยงชนิดอื่นเพื่อให้ได้สมบัติบางประการที่ดีขึ้น เช่น สารที่ทำให้ฟิล์มแข็งแรงขึ้น ดูดซับน้ำได้น้อยลง
2. ปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายผสมของแป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนตเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. ศึกษาที่ปริมาณความเข้มข้นอื่นและลดความหนาของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลเพื่อคุณสมบัติที่ดีขึ้น
4. ศึกษาสารตั้งต้นชนิดอื่นที่นอกเหนือจากแป้งข้าวเหนียวและโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร. [Online]. Available : http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ม.ค. 2559.
- [2] วารุณี ตานันต์ และสายันต์ แสงสุวรรณ. 2557. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก : การสังเคราะห์ การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม - สิงหาคม 2557). หน้า 63-81.
- [3] พิงค์ วานิลลา. ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ. [Online]. Available : <http://www.pinkvanilla.in.th/article/ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 2558.
- [4] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว. [Online]. Available : http://www.archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2554/enfo20354po_ch2.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 2558.
- [5] Rubio, M. R. and Ghaly, E. S. 1994. "In Vitro Release of Acetaminophen from Sodium Alginate controlled Release Pellets". *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 20(7) : 1239-1251.
- [6] Yotsuyanagi, T., Yoshioka, I., Segi, N. and Ikeda, K. 1991. "Acid-induced and Calcium Induced Gelation of Alginic Acid : Bead Formation and P^H Dependent Swelling." *Chem Pharm Bull*. 39 (4) : 1072-1074.
- [7] King, A. H. 1982. "Brown Seaweed Extracts (Alginate)." *In Glicksman, M. (Ed). Food Hydrocolloids*. 2 : 115-188.
- [8] Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A. and Smith, P. J. C. 1973. "Biological Interactions Between Polysaccharides and Divalent Cations: The Egg-box Model." *FEBS Letters*. 32 : 195-198.
- [9] ดุษฎี อุตภาพ. เคมีและสมบัติของแป้ง. [Online]. Available : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 2558.
- [10] กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] สำนักวิทยบริการ สถาบันราชภัฏสมเด็จพระเจ้าพระยา. เอกสารสมุนไพรไทย.
- [12] ชลลดา ฤทธิ์วิรุฬห์. 2545. เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ผสม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] สมภพ อินทสุวรรณ และเพยาว์ อินทสุวรรณ. “การสกัดแอลจินตจากสาหร่ายสีน้ำตาลบางสกุลในจังหวัดภาคใต้.” ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
- [14] ธนาวดี ลี้จากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์.
- [15] พลาสติกชีวภาพตลาดโลกร้อนแรงตามกระแสโลกร้อน. [Online]. Available : <http://www.positioningmag.com/prmews/prmews.aspx?id=67160>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 2558.
- [16] ยิ่งศักดิ์ ไกรพินิจ, ดุษฎี อุตภาพ, วิไล รังสาดทอง, ชินานาฏ วิทยาประภากร และจूरรัตน์ พุดตานเล็ก. 2558. การศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุดรักษา. [Online]. Available : <http://kucon.lib.ku.ac.th/cgi-bin/kucon>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 2558.
- [17] ชินานาฏ วิทยาประภากร, โรเบิร์ต มอลลอย, คณารัฐ ณ ลำปาง และนันทรัตน์ สืบสนิท. 2558. การออกแบบและการเตรียมไฮโดรเจลสังเคราะห์จาก 2-Acrylamido-2-Methylpropane Sulfonic acid (AMPS) และเกลือ (Na-AMPS) สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์เพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล. Available : www.scisoc.or.th/stt/32/sec_e/paper/stt32_E_E0059.pdf.
- [18] รังสิมา ชลคุป, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และกล้าณรงค์ ศรีรอด. 2543. “พลาสติกไซเซอรินแป้งมันสำปะหลังผสมโพลีคาร์โปแลคโตน.” วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร) : 529-536.
- [19] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551. วจ.จัดตั้งห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์สารพลาสติกไซเซอรินที่ใช้ในปะเก็นพลาสติก.
- [20] อาทิตย์ ทิราวงศ์. การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการปรับความนุ่มของพอลิเมอร์. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 2558.
- [21] ธนสรณ์ สารพิศพิเศษ, สภาพร วันประสาธ และสรารัฐ ยุติกา. 2553. “การเตรียมฟิล์มวัสดุดูดซับน้ำที่ยืดจากสารละลายผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับไซเดียมอัลจินตโดยใช้ N,N-Methylene Bisacrylamide เป็นสารก่อก้อนเชื่อมโยง.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [22] สุนีย์ โชตินีรนาท, กำไล เลหาพัฒนาเลิศ, เอ็ง สโรบล และกล้าณรงค์ ศรีรอด. 2543. “สมบัติทางฟิสิกส์เคมีของแป้งถั่วเขียวที่สกัดจากพันธุ์ที่พัฒนาในประเทศไทย.” หน้า 529-536. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร).

- [23] รัตนา จินดาพรรณ, จิรนาถ บุญคง และจีรศักดิ์ แก้วเกิด. 2548. “การผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว.” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 1(1) : 45-52.
- [24] Ornanong, S., Jakkapan, S. and Renihard, L. “Preparation and Physicochemical Properties of Sodium Carboxymethyl Mungbean Starches.” *Carbohydrate Polymer*. 63 : 105-112.
- [25] Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gersohenson, L. and Delnobile, M.A. 2008. “Influence of Glycerol and Chitosan on Typical Starch-based Edible Film Properties.” 88 : 159-168.
- [26] Kimb, J.O., Park, J.K. and Kimb, J.H. 2008. “Development of Polyvinyl Alcohol-Sodium Alginate Gel-matrix-based Wound Dressing System Containing Nitrofurazone.” *Journal of Pharmaceutics*. Vol. 359 : Issue1-2 : 79-86.
- [27] พิสิษฐพันธ์ กาญจนเตชะ, ชีราวุธ ปทุมธนทรัพย์, อารมย์ ตัตตะวะศาสตร์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส. 2554. “ผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติเชิงกลและการต้านการซึมผ่านน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวดัดแปรด้วยต่างในแอลกอฮอล์.” หน้า 1086-1095. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 12.
- [28] Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev, B.U. and Chew, S.H. 2011. “Physical and mechanical properties of sago starch-alginate films incorporated with calcium chloride.” *International Food Research Journal*. 18(3) : 1027-1033.
- [29] ภัทราวุธ มนต์วิเศษ. 2555. “การเตรียมและพฤติกรรมการบวมตัวของไฮโดรเจลจากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/โซเดียมอัลจินต/กัวร์กัม.” สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [30] กฤติกา บูรณ์โชคไพศาล. 2556. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งถั่วเขียวเพาะงอก.” *ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร*. 15(2) : 9-15.
- [31] Santana, A. and Kieckbusch, T. G. 2013. “Physical Evaluation of Biodegradable Films of Calcium Alginate Plasticized with Polyols.” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol.30 : 835-845.
- [32] Pereira, R., Mendes, A. and Bártolo, P. 2013. “Alginate/Aloevera Hydrogel Films for Biomedical Applications.” *Procedia CIRP*. 5 : 210-215.
- [33] Liling, G., Di, Z., Jiachao, X., Xin, G., Xiaoting, F. and Qing, Z. 2016. “Effect of Ionic Crosslinking on Physical and Mechanical Properties of Alginate Mulching Films.” *Journal of Carbohydrate polymers*. Vol. 136 : 259-265.

- [34] Yossathorn, T. and Jutarat, P. 2015. "Effect of Starch On Properties of Biodegradable Polymer Based on Thermoplastic Starch Process by Injection Molding Technique." *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 37(20) : 193-199.
- [35] Kizil, R., Irudayaraj, J. and Seetharaman, K. 2011. "Characterization of Irradiated Starches by using FT-Raman and FTIR Spectroscopy."
- [36] Iizuka, K. and Aishima, T. 1999. "Starch Gelation Process Observed by FT-IR/ATR Spectrometry with Multivariate Data Analysis." *Journal of food science.* 64 : 653-658.
- [37] Wang, K. and He, Z. 2002. "Alginate-konjac Gkucomannan-chitosan Beads as Controlled Release Matrix." *Int. J. Pharm.* 244 : 117-126.
- [38] Dong, Y.Q., Zang, L., Shen, J.N., Song, M.Y. and Chen, H.L. 2006. "Preparation of poly (vinyl alcohol)-sodium alginate hollow fiber composite membranes and pervaporation dehydration characterization of aqueous alcohol mixtures." *Desalination.* 193 : 202- 210.
- [39] Taskin, G., Sanli, O. and Asman, G. 2011. "Swelling Assisted Photografting of Itaconic Acid onto Sodium Alginate Membranes." *Applied Surface Science.* 257 : 9444-9450.
- [40] Pawlak, A. and Mucha, M. 2003. "Thermogravimetric and FTIR Studies of Chitosan Blends." *Thermochimica Acta.* 396 : 153-166.
- [41] Aoi, K., Takasu, A., Tsuchiya, M. and Okada, M. 1998. "Miscibility of Chitin-graft-poly (2-ethyl-2-oxazoline) with Poly (vinyl alcohol)." *Macromolecular chemistry physical.* 199 : 2805-2811.
- [42] Teng, S., Shi, J., Peng, B. and Chen, L. 2006. "The Effect of Alginate Addition on the Structure and Morphology of Hydroxyapatite/Gelatin Nanocomposites." *Composites Science and Technology.* 66 : 1532-1538.
- [43] Sanyang, M.L., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R. and Sahari, J. 2016. "Effect of Plasticizer Type and Concentration on Physical Properties of Biodegradable Films Based on Sugar Palm(Arenga Pinnata) Starch for Food Packing." *J Food Sci Technol.* 53(1) : 326-336.
- [44] Bajpai, A.K., Bajpai, J. and Shukla, S. 2001. "Water Sorption Through a Semi Interpenetrating Network with Hydrophilic and Hydrophobic Chains." *React Funct Polym.* 50 : 9-21.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [45] Munthoub, D.I., Aizan, W. and Rahman, W. A. 2011. “Tensile and Water Absorption Properties of Biodegradable Composites Derived from Cassavaskin/Polyvinyl Alcohol with Glycerol as Plasticizer”. *Sains Malaysiana*. 40(7) : 713– 718.



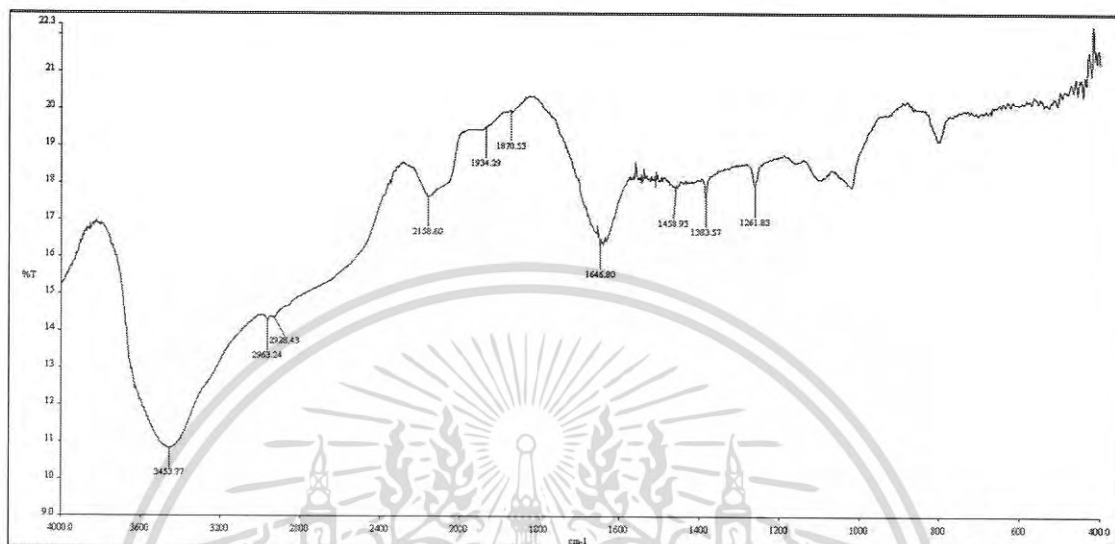
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



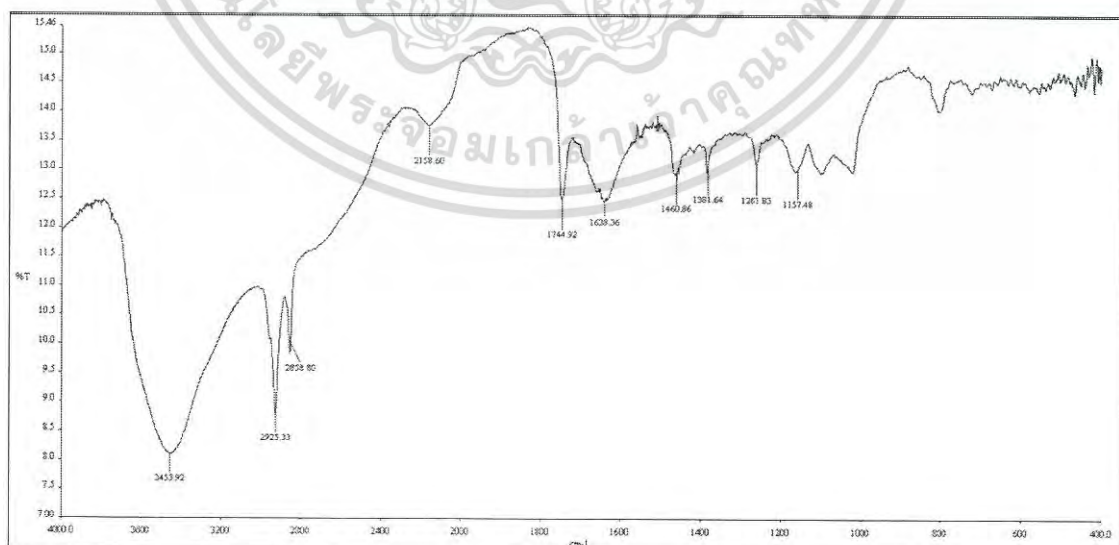
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟ IR สเปกตรัม

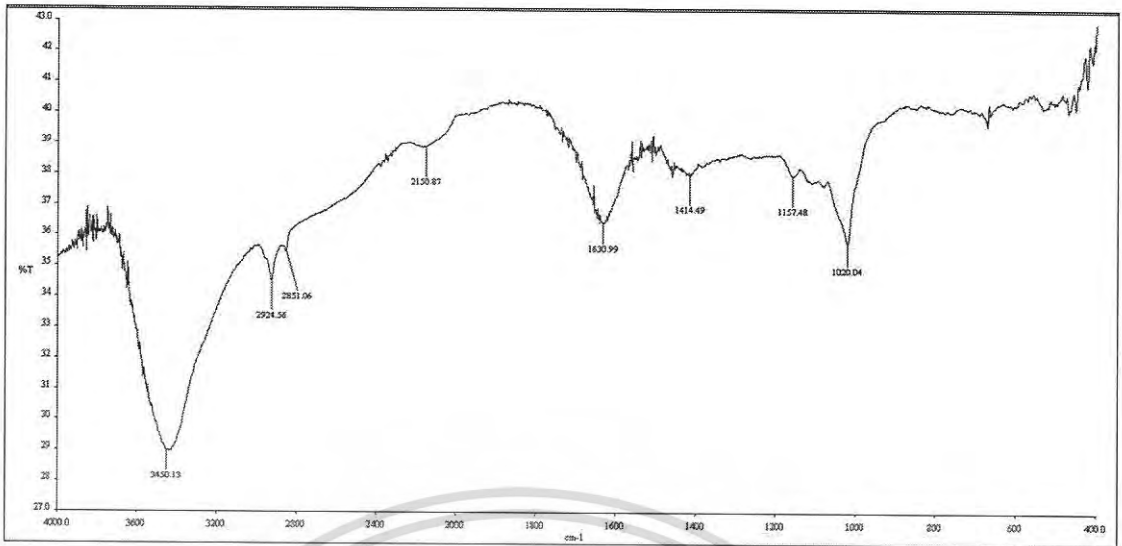


รูปที่ ก.1 สเปกตรัมของสูตร SG

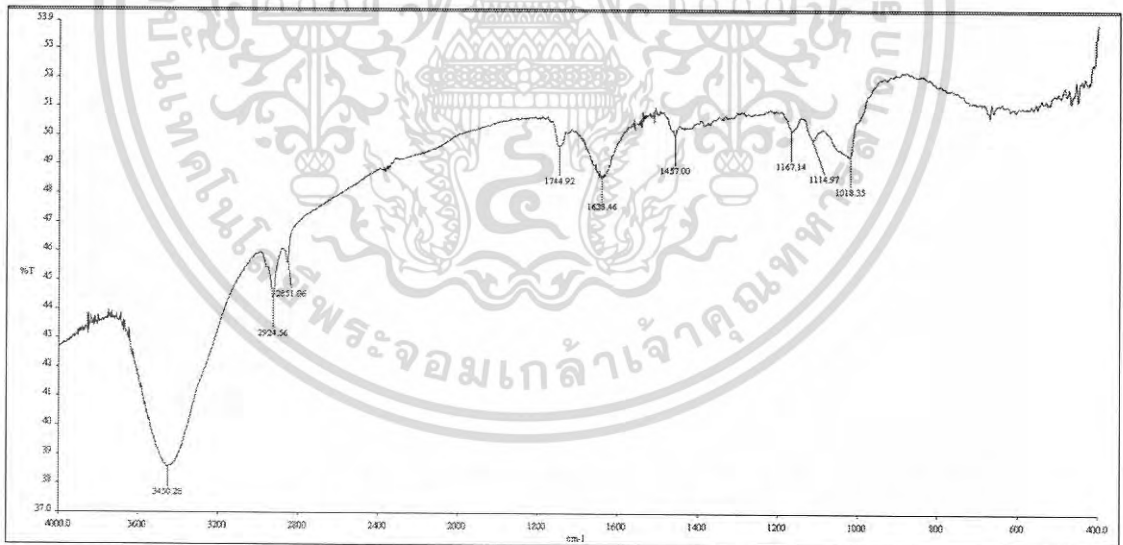


รูปที่ ก.2 สเปกตรัมของสูตร 8S2AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

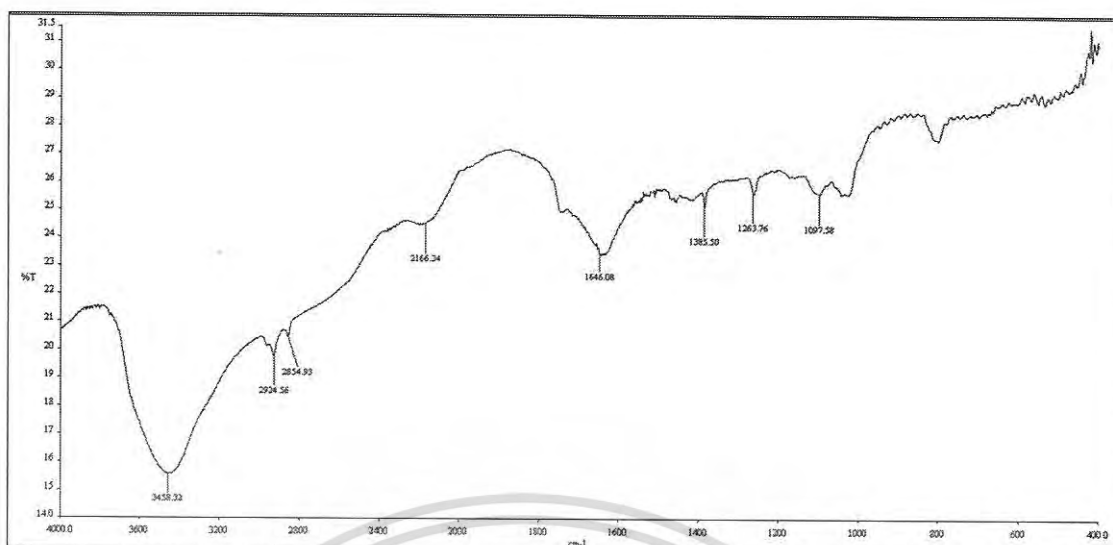


รูปที่ ก.3 สเปกตรัมของสูตร 6S4AG

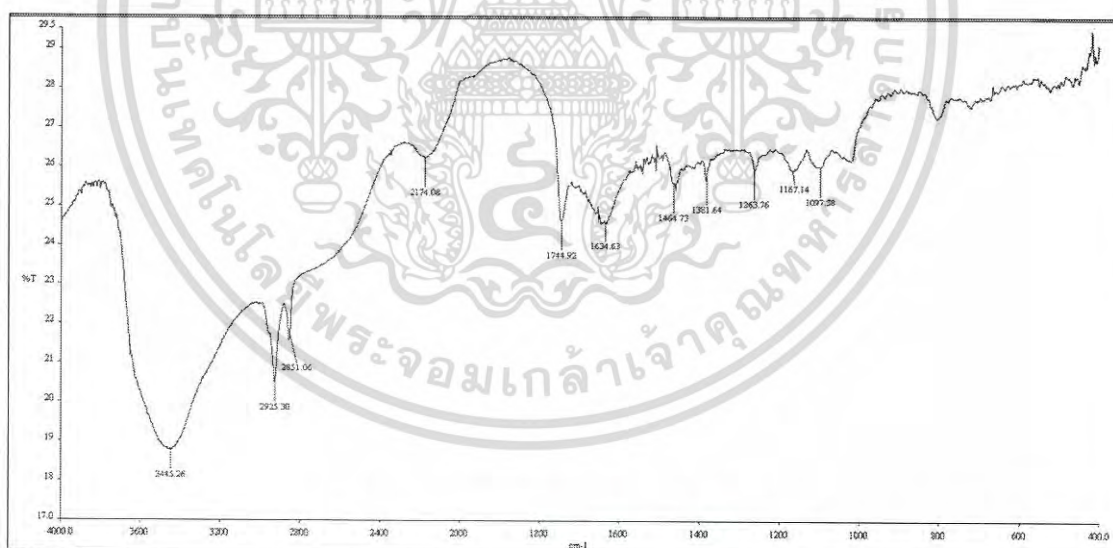


รูปที่ ก.4 สเปกตรัมของสูตร 4S6AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

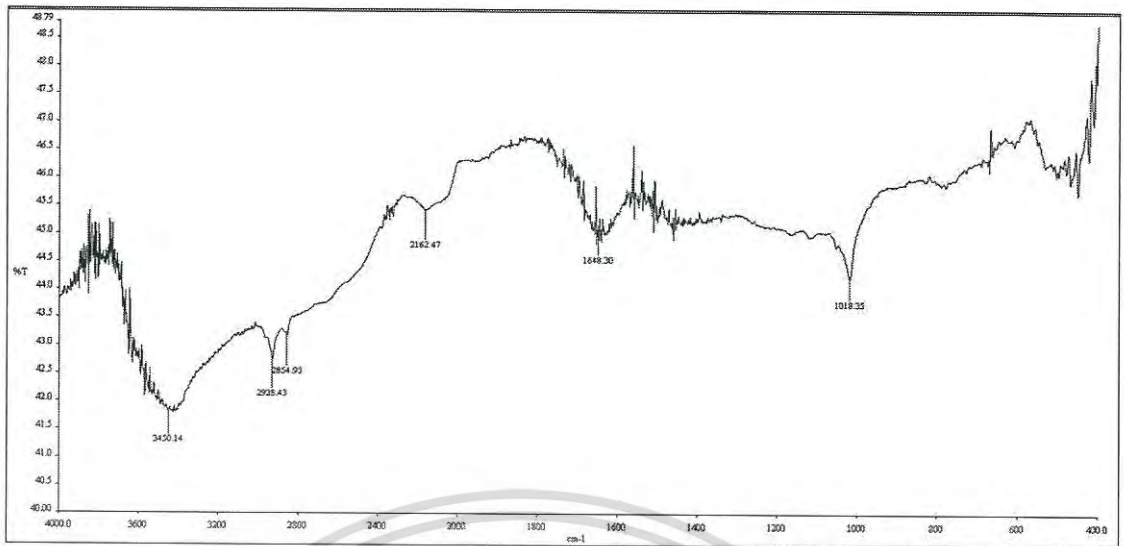


รูปที่ ก.5 สเปกตรัมของสูตร 2S8AG



รูปที่ ก.6 สเปกตรัมของสูตร AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

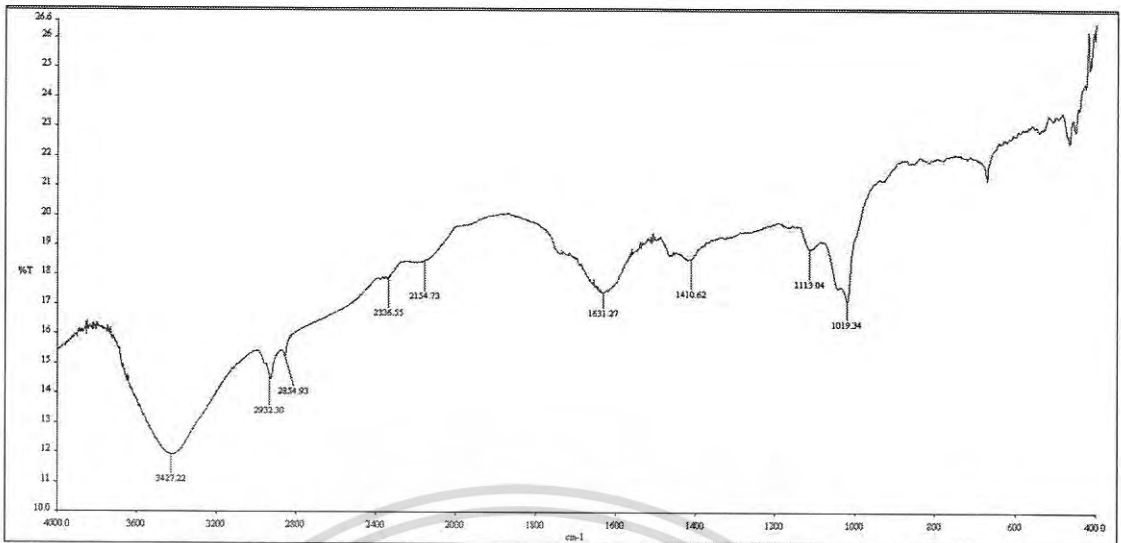


รูปที่ ก.7 สเปกตรัมของสูตร S2G

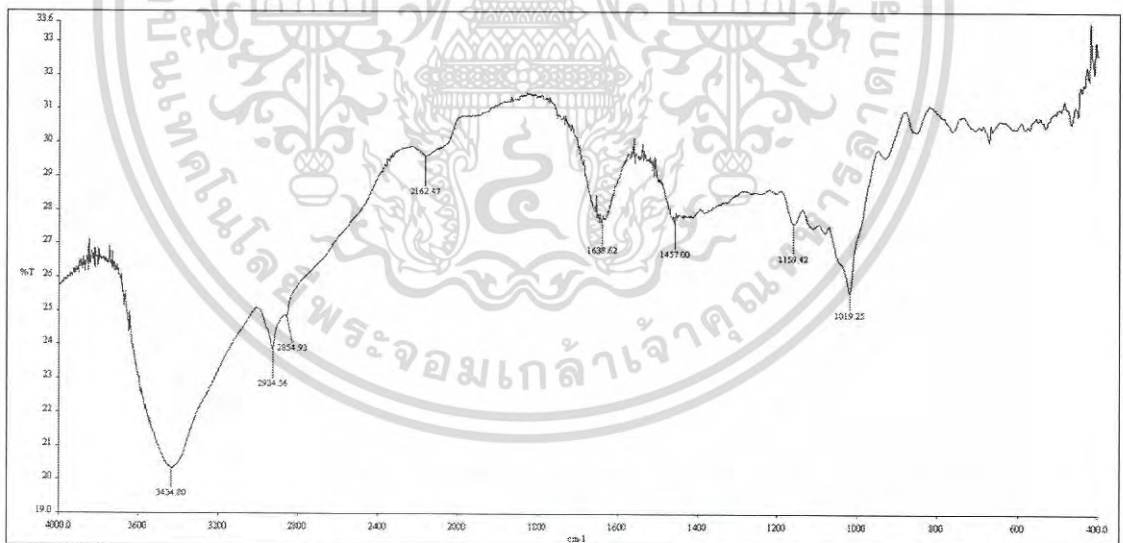


รูปที่ ก.8 สเปกตรัมของสูตร 6S4A2G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

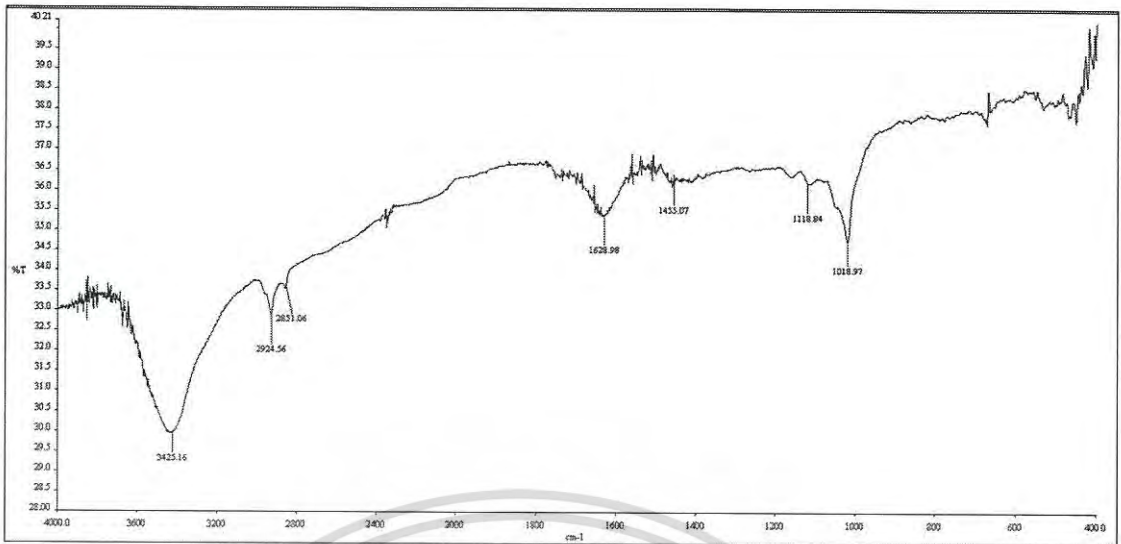


รูปที่ ก.9 สเปกตรัมของสูตร A2G



รูปที่ ก.10 สเปกตรัมของสูตร S3G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

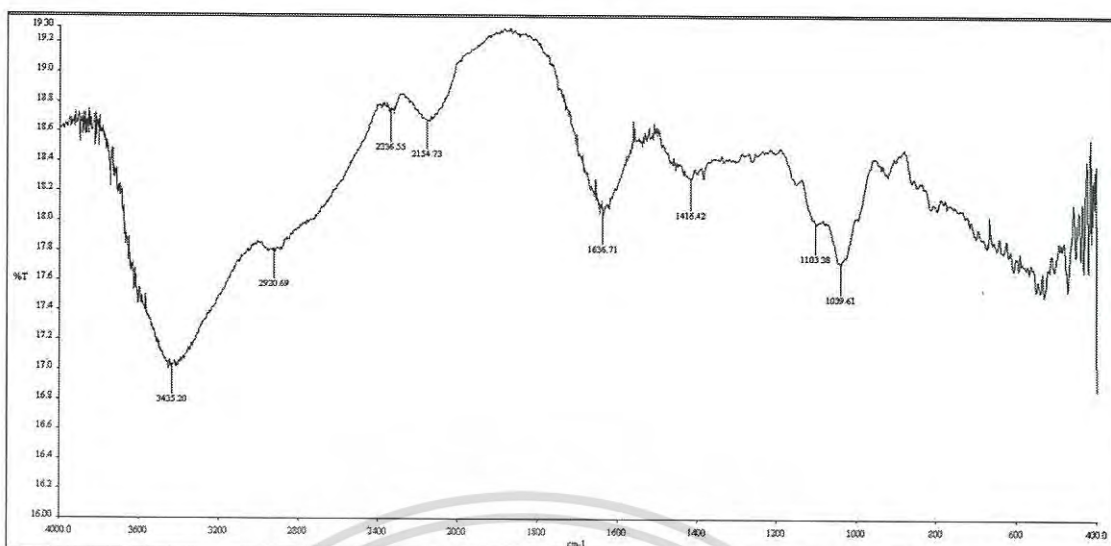


รูปที่ ก.11 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G

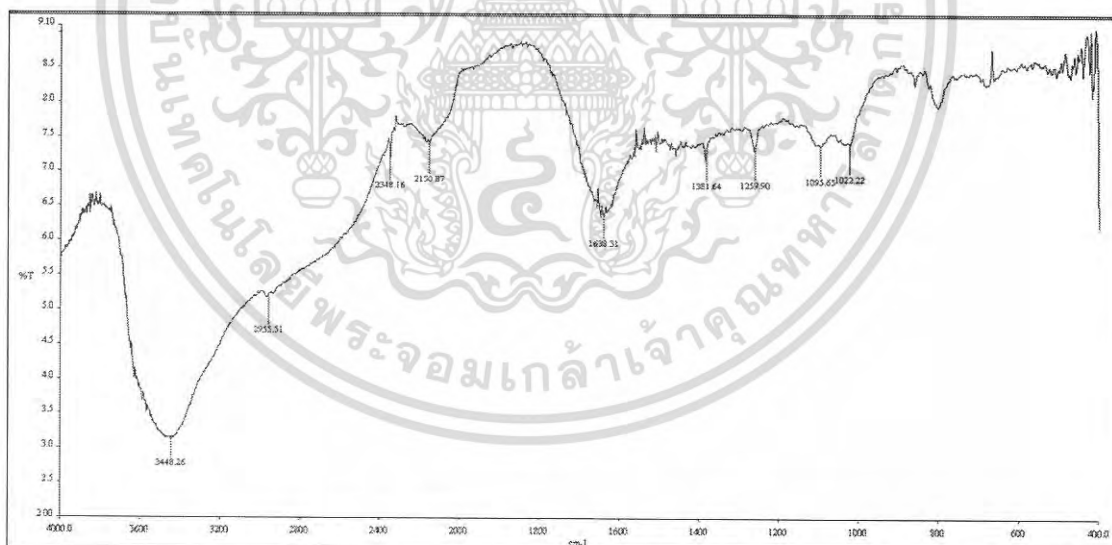


รูปที่ ก.12 สเปกตรัมของสูตร A3G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

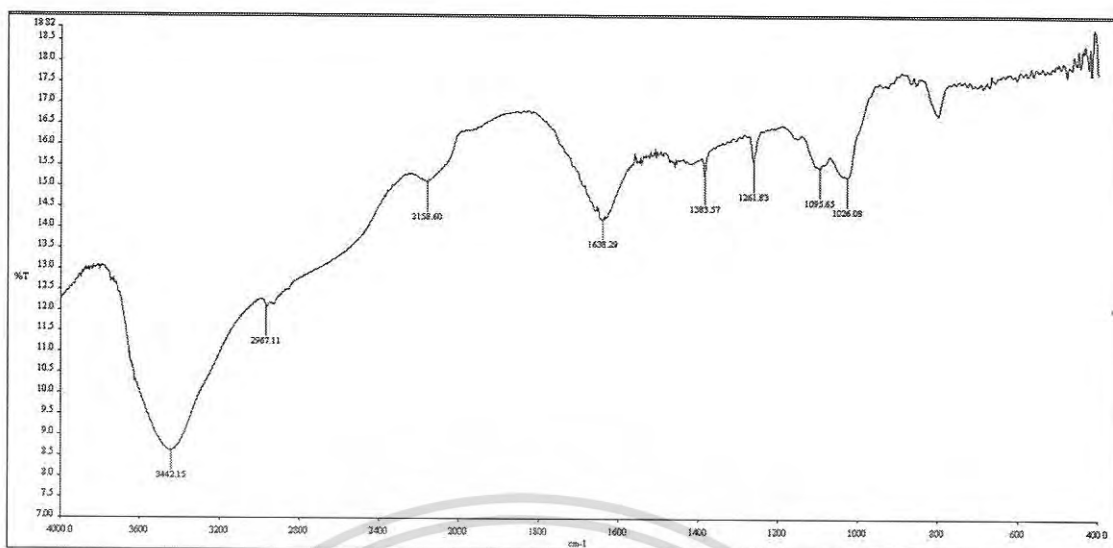


รูปที่ ก.19 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G0.1C



รูปที่ ก.20 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3G0.5C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.21 สเปกตรัมของสูตร 6S4A3GC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สมบัติเชิงกล

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าความหนาของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งถั่วเขียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตร	ความหนา (mm)					$\bar{x} \pm SD.$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
SG	0.310	0.390	0.400	0.305	0.320	0.345±0.0461
8S2AG	0.410	0.345	0.315	0.350	0.320	0.348±0.0379
6S4AG	0.370	0.300	0.400	0.345	0.350	0.353±0.0367
4S6AG	0.400	0.335	0.320	0.340	0.300	0.339±0.0375
2S8AG	0.370	0.280	0.300	0.325	0.420	0.339±0.0564
AG	0.325	0.380	0.290	0.360	0.410	0.353±0.0469
S2G	0.280	0.270	0.330	0.290	0.340	0.302±0.0312
6S4A2G	0.300	0.300	0.330	0.340	0.290	0.312±0.0217
A2G	0.300	0.390	0.350	0.310	0.360	0.342±0.0370
S3G	0.320	0.430	0.410	0.340	0.350	0.370±0.0474
6S4A3G	0.300	0.400	0.380	0.330	0.320	0.346±0.0422
A3G	0.290	0.285	0.280	0.300	0.305	0.292±0.0104
6S4A3G0.1C	0.365	0.380	0.305	0.310	0.365	0.345±0.0348
6S4A3G0.5C	0.340	0.310	0.350	0.300	0.370	0.334±0.0288
6S4A3GC	0.300	0.400	0.320	0.350	0.395	0.353±0.0444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน และปริมาณกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3 %v/v

สูตร	5% แป้งข้าวเหนียว (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณกลีเซอรอล (%v/v)	Tensile strength (MPa)								
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	$\bar{x} \pm SD.$
SG	100	0	1	7.3968	8.0799	9.6347	7.4503	7.2279	7.8040	6.4770	7.4130	7.6854±0.9143
6S4AG	60	40	1	17.6340	17.6460	17.2310	17.4290	16.8090	16.6510	16.9675	16.4830	17.1063±0.4461
AG	0	100	1	28.2076	28.8910	30.5680	29.3290	34.0420	34.5600	32.9720	32.5600	31.3912±2.4568
S2G	100	0	2	2.9673	2.7560	3.4106	2.7624	3.2635	3.2227	2.8218	3.1328	3.2421±0.2507
6S4A2G	60	40	2	11.6100	12.8640	12.9470	11.6470	12.5836	11.1524	10.9808	12.2530	12.0047±0.7636
A2G	0	100	2	19.6440	18.5000	18.6180	20.6940	18.6640	17.4760	18.2080	18.9600	18.8455±0.9676
S3G	100	0	3	3.9773	4.4002	3.9112	4.4568	4.6123	4.9719	5.1973	4.2346	4.4702±0.4499
6S4A3G	60	40	3	14.3333	11.5350	9.5085	9.0741	10.2626	17.2640	12.1630	17.5760	12.7146±3.3422
A3G	0	100	3	15.6640	14.6320	15.1920	18.8160	14.6790	15.9310	15.9060	14.4110	15.6539±1.4088

ตารางที่ ข.3 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวและสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002 , 0.01 และ 0.02%w/v

สูตร	5% แป้งข้าว ข้าว (ml)	5% โซเดียม อัลจิเนต (ml)	ปริมาณ กลีเซอรอล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียม คลอไรด์ (%w/v)	Tensile strength (MPa)								
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	$\bar{x} \pm SD.$
6S4A3G 0.1C	60	40	3	0.002	8.7650	-	-	9.1283	13.9598	10.3270	-	-	10.5450±2. 3723
6S4A3G 0.5C	60	40	3	0.01	7.8966	8.7411	-	13.5340	11.6330	-	-	-	10.4512±2. 6045
6S4A3G C	60	40	3	0.02	7.2181	8.9437	-	-	-	6.5899	8.8552	-	7.9017±1.1 808

ตารางที่ ข.4 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และปริมาณกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

สูตร	5% แป้งข้าวเหนียว (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณกลีเซอรอล (%v/v)	% Elongation at break								
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	$\bar{x} \pm SD.$
SG	100	0	1	5.8056	5.7686	5.8836	5.1597	5.1432	5.6861	5.2540	5.1083	5.4761±0.3380
6S4AG	60	40	1	5.7438	4.3077	5.2868	5.9900	5.6368	7.0337	6.0585	6.4590	5.8145±0.8087
AG	0	100	1	6.5842	9.5245	7.0210	8.6618	7.7811	11.1860	10.3710	8.4135	8.6929±1.5980
S2G	100	0	2	23.1660	19.1060	15.5870	10.4000	15.0970	8.2667	10.9821	11.0280	14.2041±5.0320
6S4A2G	60	40	2	14.0737	9.5933	12.2143	13.6269	9.1221	13.1065	13.7483	10.5462	12.0039±1.9807
A2G	0	100	2	19.067	22.405	18.2390	23.3560	23.2000	22.9359	19.2180	23.1480	21.4461±2.1931
S3G	100	0	3	26.8340	32.9580	29.8180	28.1780	27.8590	24.2680	32.2310	40.6380	30.3480±5.0248
6S4A3G	60	40	3	36.7430	32.3370	33.7050	32.4460	37.7396	42.1030	34.7470	31.7740	35.1993±3.5141
A3G	0	100	3	71.3810	80.5200	70.3010	72.6307	86.9520	88.5100	86.0231	84.3250	80.0804±7.5462

ตารางที่ ข.5 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเจ้ากับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002 , 0.01 และ 0.02%w/v

สูตร	5% แป้งข้าวเจ้า (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณ กลีเซอรอล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียมคลอไรด์ (%w/v)	% Elongation at break								$\bar{x} \pm SD.$
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	
6S4A3G0.1C	60	40	3	0.002	40.801 0	- -	- -	22.995 0	13.612 0	8.33 26	- -	- -	21.4352±14.2635
6S4A3G0.5C	60	40	3	0.01	11.009 0	19.881 0	- -	12.358 0	19.444 0	- -	- -	- -	15.673±4.6429
6S4A3GC	60	40	3	0.02	20.289 0	6.2167 -	- -	- -	- -	11.0 930	14.168 0	- -	12.9417±5.8915

ตารางที่ ข.6 แสดงผลค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งถั่วเขียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและมีกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v

สูตร	5% แป้ง ถั่วเขียว (ml)	5% โซเดียม อัลจิเนต (ml)	ปริมาณ กลีเซอรอล (%v/v)	Young's Modulus (MPa)								$\bar{x} \pm SD.$
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	
SG	100	0	1	127.41	140.07	163.76	144.39	140.53	137.25	123.28	145.12	140.22±12.28
6S4AG	60	40	1	307.01	409.64	325.92	290.97	298.20	236.73	280.06	2.55	268.89±118.30
AG	0	100	1	428.41	303.33	435.38	338.60	304.33	308.98	317.92	386.99	352.99±55.86
S2G	100	0	2	12.81	14.42	21.88	26.56	21.62	38.98	25.69	28.41	23.80±8.28
6S4A2G	60	40	2	82.49	134.09	105.99	85.47	137.95	85.09	79.87	116.18	103.39±23.76
A2G	0	100	2	103.03	82.57	102.08	88.60	80.45	76.19	94.74	81.91	88.70±10.20
S3G	100	0	3	14.82	13.35	13.12	15.82	16.56	20.49	16.13	10.42	15.09±2.97
6S4A3G	60	40	3	39.01	35.67	28.21	27.97	27.19	41.00	35.00	55.32	36.17±9.34
A3G	0	100	3	21.94	18.17	21.61	25.91	16.88	17.99	18.49	17.09	19.76±3.13

ตารางที่ ข.7 แสดงผลค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วน 60 : 40 มีกลีเซอรอล 3%v/v เติม 2%แคลเซียมคลอไรด์ 0.002 , 0.01 และ 0.02%w/v

สูตร	5% แป้งข้าวเหนียว (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณ กลีเซอรอล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียมคลอไรด์ (%w/v)	Young's Modulus (MPa)								$\bar{x} \pm SD.$
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	
					1	2	3	4	5	6	7	8	
6S4A3G0.1C	60	40	3	0.002	163.91	-	-	513.84	359.40	543.99	-	-	395.28±174.1557
6S4A3G0.5C	60	40	3	0.01	558.23	399.16	-	135.75	195.40	-	-	-	322.13±193.6275
6S4A3GC	60	40	3	0.02	239.99	408.86	-	-	-	294.38	316.91	-	315.03±70.3918

ภาคผนวก ค

สมบัติการบวมน้ำของฟิล์ม

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าน้ำหนักของฟิล์มไฮโดรเจลหลังทดสอบการบวมน้ำ

สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอร์อล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียม คลอไรด์ (%w/v)	น้ำหนัก ก่อนแช่น้ำ (W ₀)	น้ำหนักหลังแช่ที่เวลาใดๆ (W _t)				
					1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
SG	100:0	1	-	0.1300	0.3144	0.3226	0.3859	0.3291	1.6371
8S2AG	80:20	1	-	0.0909	0.7637	0.6132	0.6127	0.5915	0.6771
6S4AG	60:40	1	-	0.1358	1.0447	0.9195	0.8981	0.7599	1.9316
4S6AG	40:60	1	-	0.1031	1.1002	0.2100	-	-	-
2S8AG	20:80	1	-	0.1618	0.3214	-	-	-	-
AG	0:100	1	-	0.1525	-	-	-	-	-
S2G	100:0	2	-	0.1208	0.2405	0.2475	0.2412	0.2553	1.4868
6S4A2G	60:40	2	-	0.1120	0.5700	0.5770	0.5255	0.5275	1.7239
A2G	0:100	2	-	0.1145	-	-	-	-	-
S3G	100:0	3	-	0.2515	0.4175	0.4248	0.4181	0.4049	1.7318
6S4A3G	60:40	3	-	0.1471	0.7351	0.7425	0.7004	0.6303	1.8536
A3G	0:100	3	-	0.1596	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าน้ำหนักของฟิล์มไฮโดรเจลหลังทดสอบการบวมน้ำ (ต่อ)

สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอรอล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียม คลอไรด์ (%w/v)	น้ำหนัก ก่อนแช่น้ำ (W ₀)	น้ำหนักหลังแช่ที่เวลาใดๆ (W _t)				
					1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
6S4A3G0.1C	100:0	3	0.002	0.1146	0.3730	0.4692	0.4494	0.4163	0.4236
6S4A3G0.5C	60:40	3	0.01	0.1150	0.4109	0.5125	0.4873	0.4516	0.4512
6S4A3GC	0:100	3	0.02	0.1165	0.5019	0.5947	0.5188	0.4919	0.4813

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าการทดสอบการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล

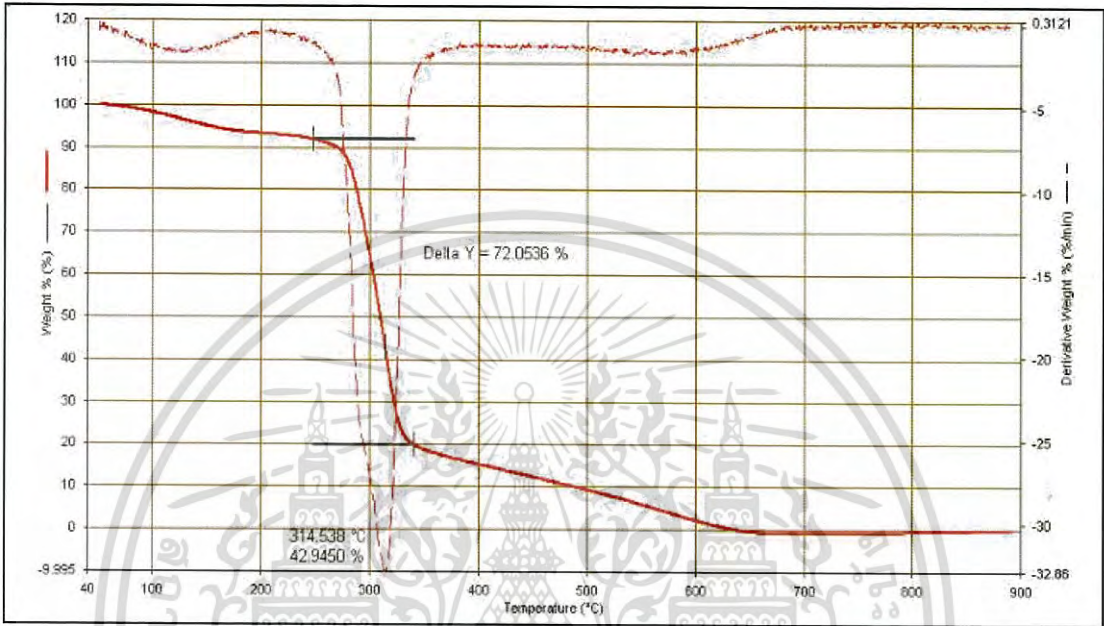
สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอรอล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียม คลอไรด์ (%w/v)	% Swelling (%w/w)				
				1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
SG	100:0	1	-	141.8460	148.1530	196.8461	153.1538	144.0769
8S2AG	80:20	1	-	740.1500	574.5876	574.0376	550.7150	644.8844
6S4AG	60:40	1	-	669.2930	577.0986	561.3402	459.5729	391.8995
4S6AG	40:60	1	-	967.1930	103.6857	-	-	-
2S8AG	20:80	1	-	98.6403	-	-	-	-
AG	0:100	1	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าการทดสอบการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล (ต่อ)

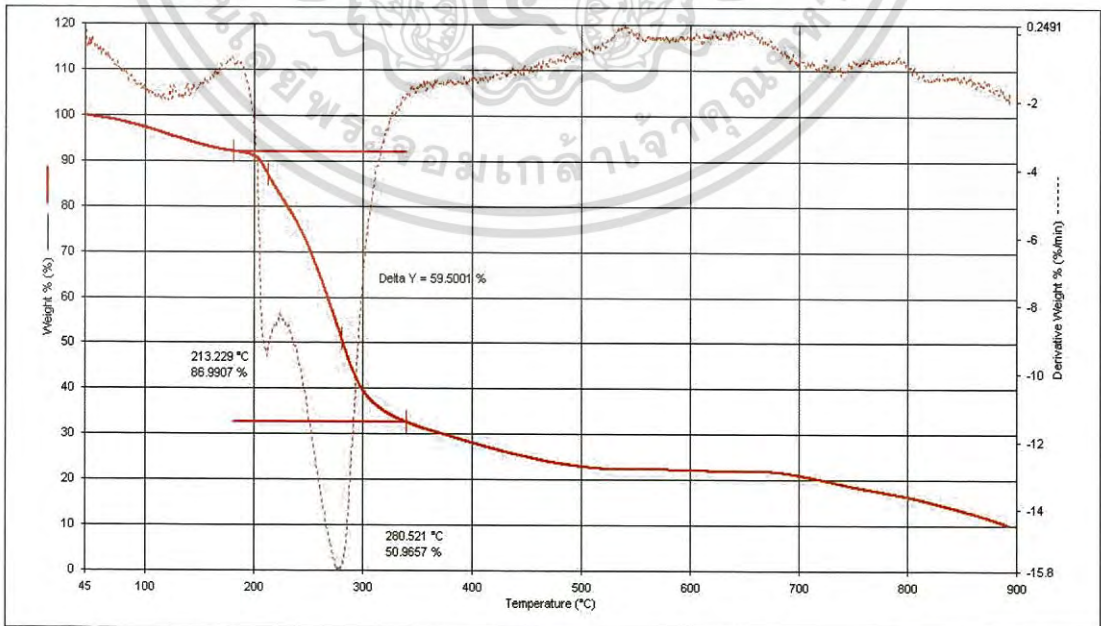
สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอร์อล (%v/v)	ปริมาณ แคลเซียม คลอไรด์ (%w/v)	% Swelling (%w/w)				
				1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
S2G	100:0	2	-	99.0894	104.8841	99.6688	111.3410	91.1428
6S4A2G	60:40	2	-	408.9285	415.1785	369.1964	370.1964	325.9821
A2G	0:100	2	-	-	-	-	-	-
S3G	100:0	3	-	66.0039	68.9065	66.4245	60.9040	55.5070
6S4A3G	60:40	3	-	399.7280	404.7586	376.1386	328.4840	280.9653
A3G	0:100	3	-	-	-	-	-	-
6S4A3G0.1C	100:0	3	0.002	225.4800	309.4240	292.1466	263.2630	269.6335
6S4A3G0.5C	60:40	3	0.01	257.3043	345.6521	323.7390	292.6956	292.3478
6S4A3GC	0:100	3	0.02	330.8155	410.4721	345.3218	322.2317	313.1330

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบ TGA

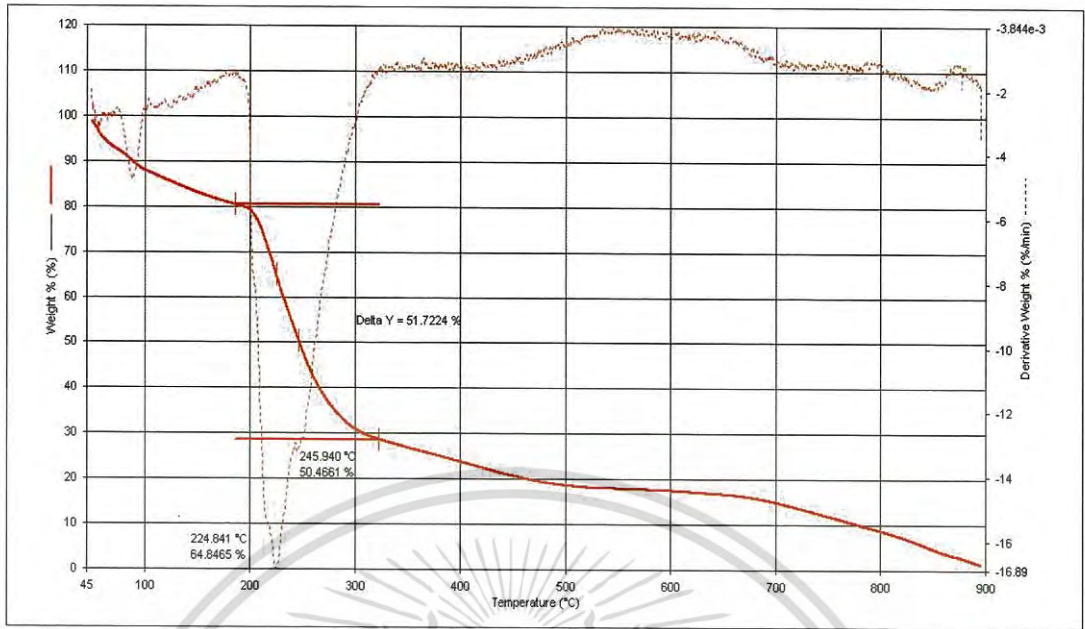


รูปที่ ง.1 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร SG

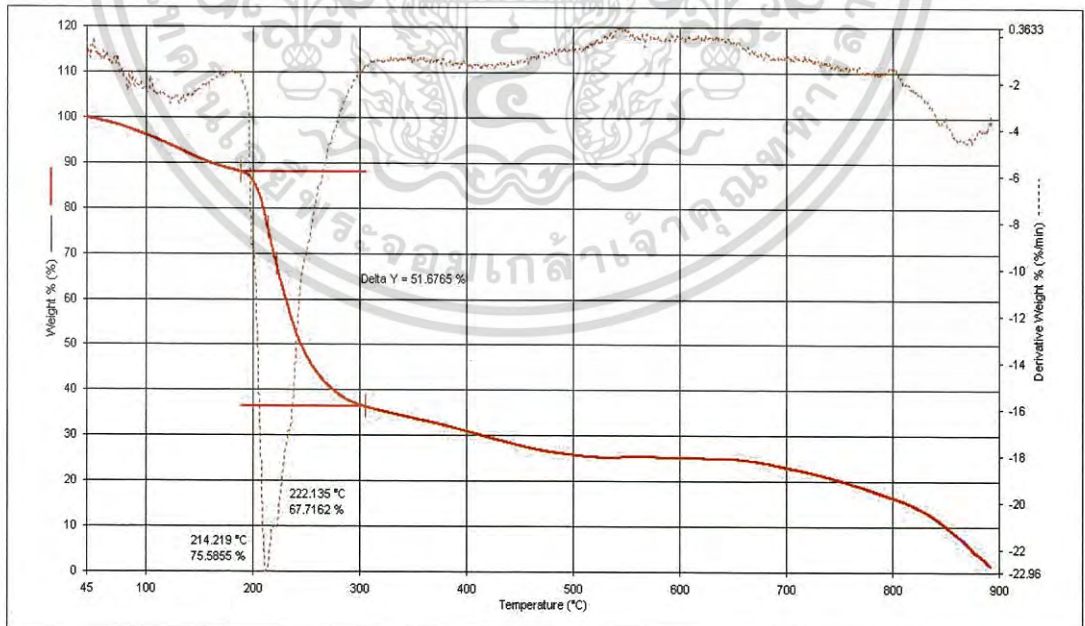


รูปที่ ง.2 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 8S2AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

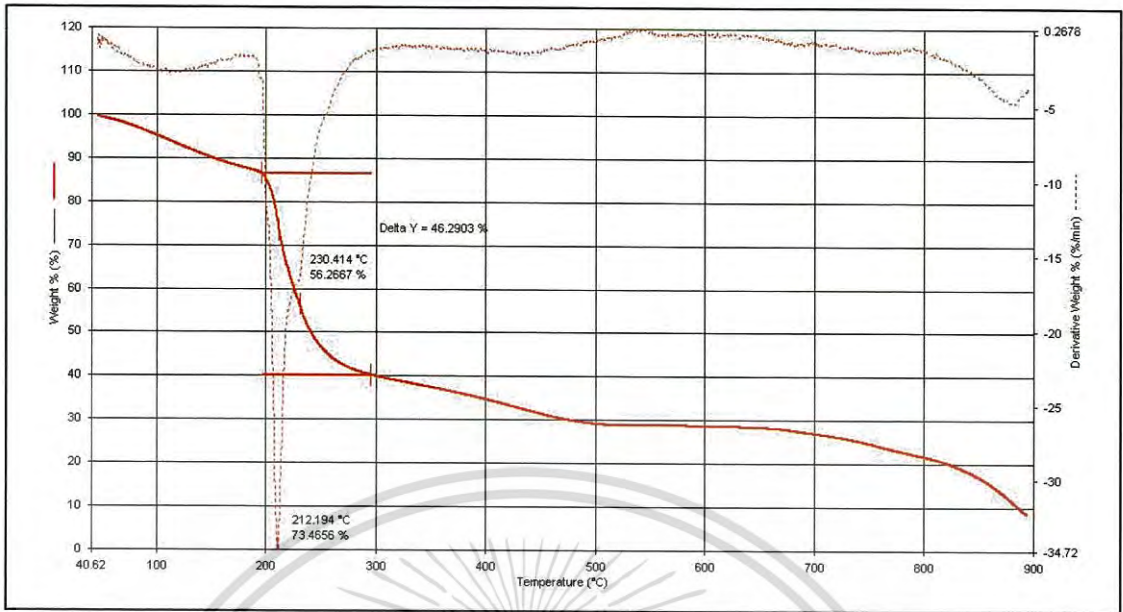


รูปที่ 3.3 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4AG

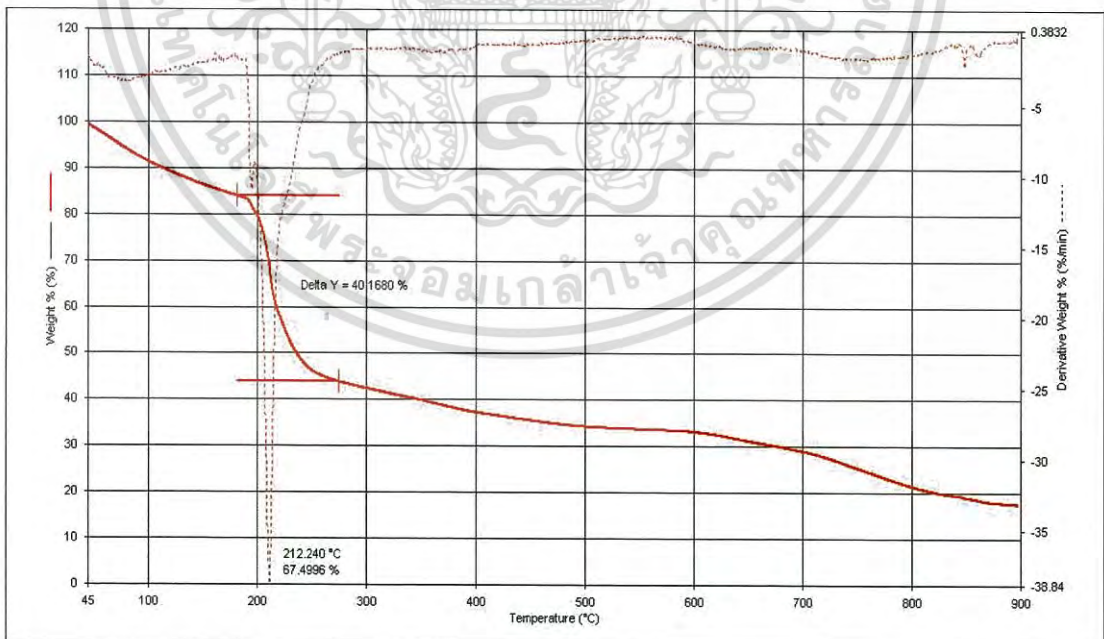


รูปที่ 3.4 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 4S6AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

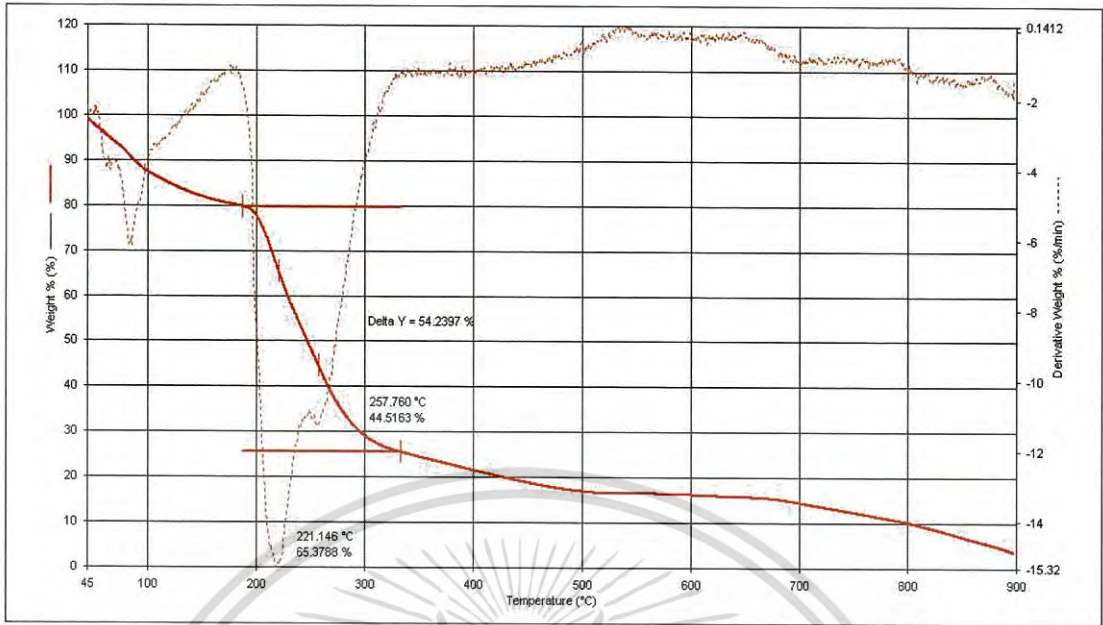


รูปที่ ๕.5 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 2S8AG

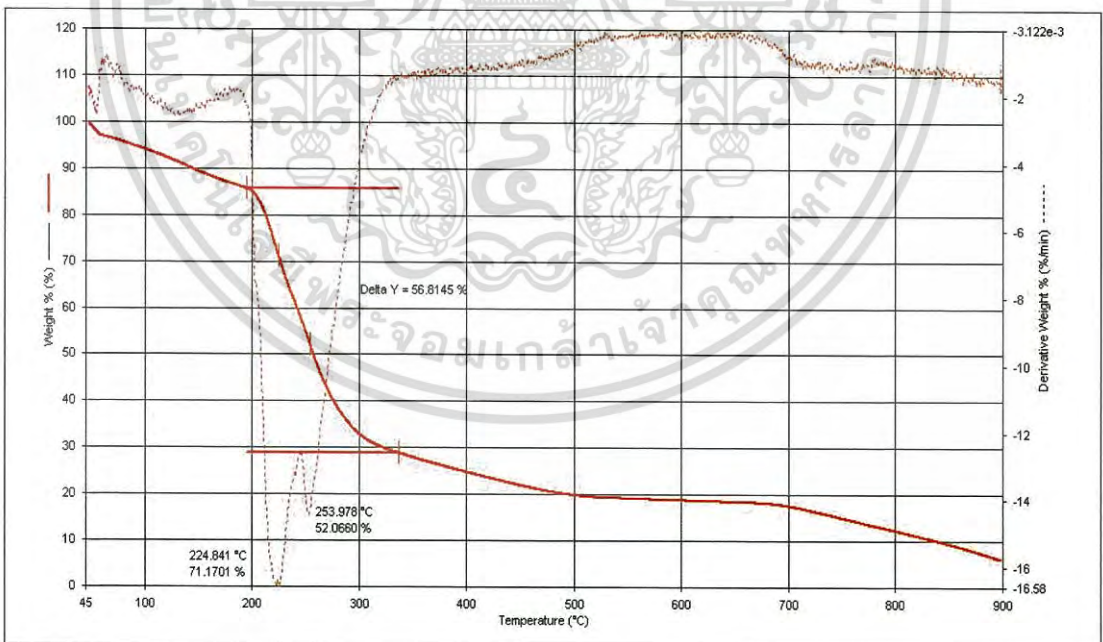


รูปที่ ๕.6 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

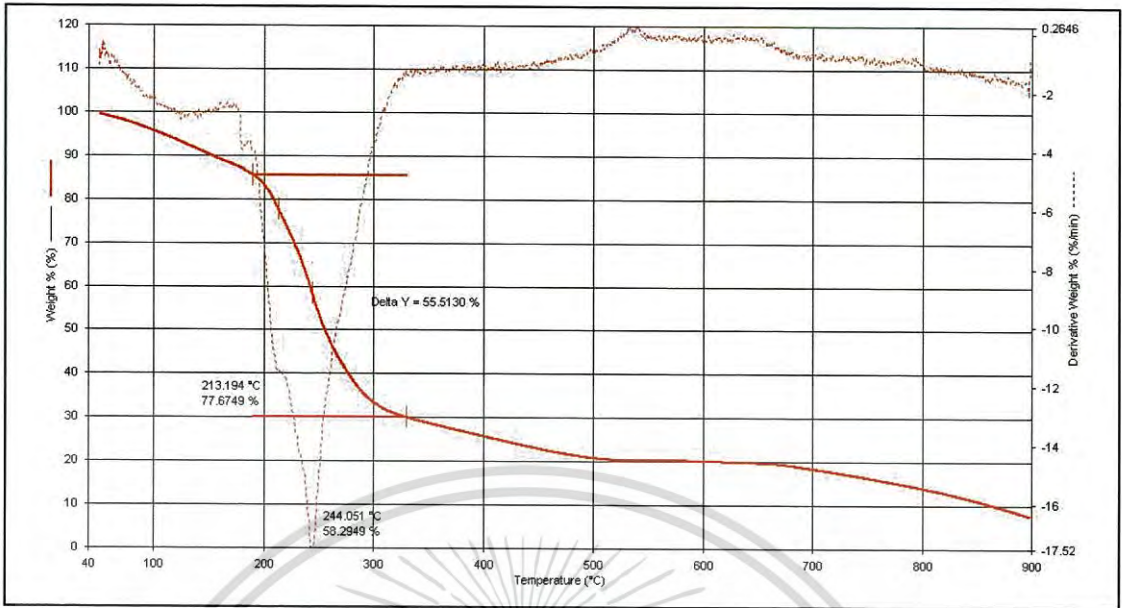


รูปที่ ง.7 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A2G

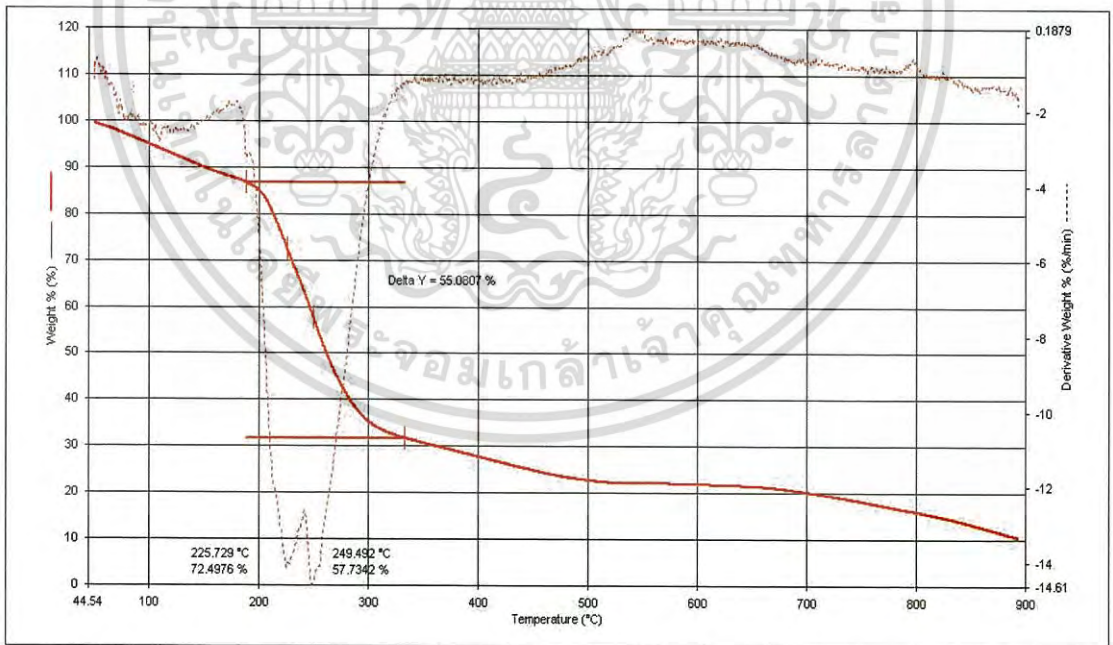


รูปที่ ง.8 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

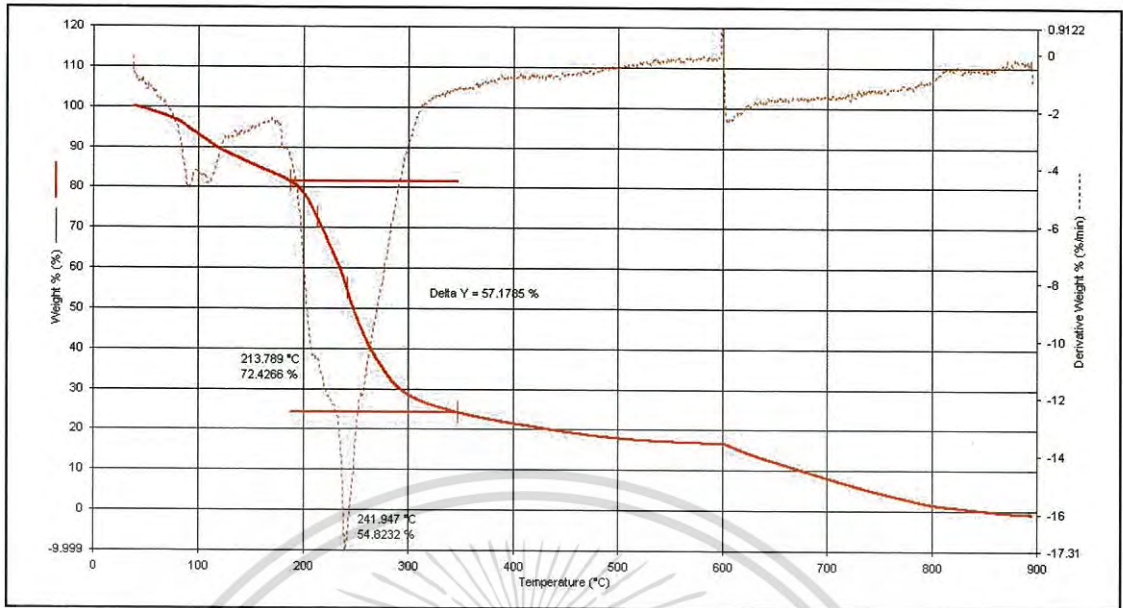


รูปที่ ง.9 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G0.1C



รูปที่ ง.10 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3G0.5C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

















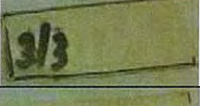






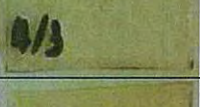






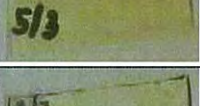


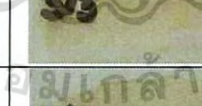
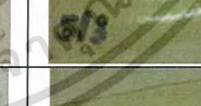
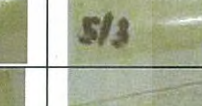








รูปที่ ง.11 แสดงสมบัติทางความร้อนสูตร 6S4A3GC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

สมบัติการทนน้ำมันของฟิล์ม

ตารางที่ จ.1 แสดงภาพการทนน้ำมันของฟิล์มสูตรต่างๆ

สูตร	ก่อนแช่น้ำมัน	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
6S4AG							
6S4A2G							
6S4A3G							
6S4A3G0.1C							
6S4A3G0.5C							
6S4A3GC							

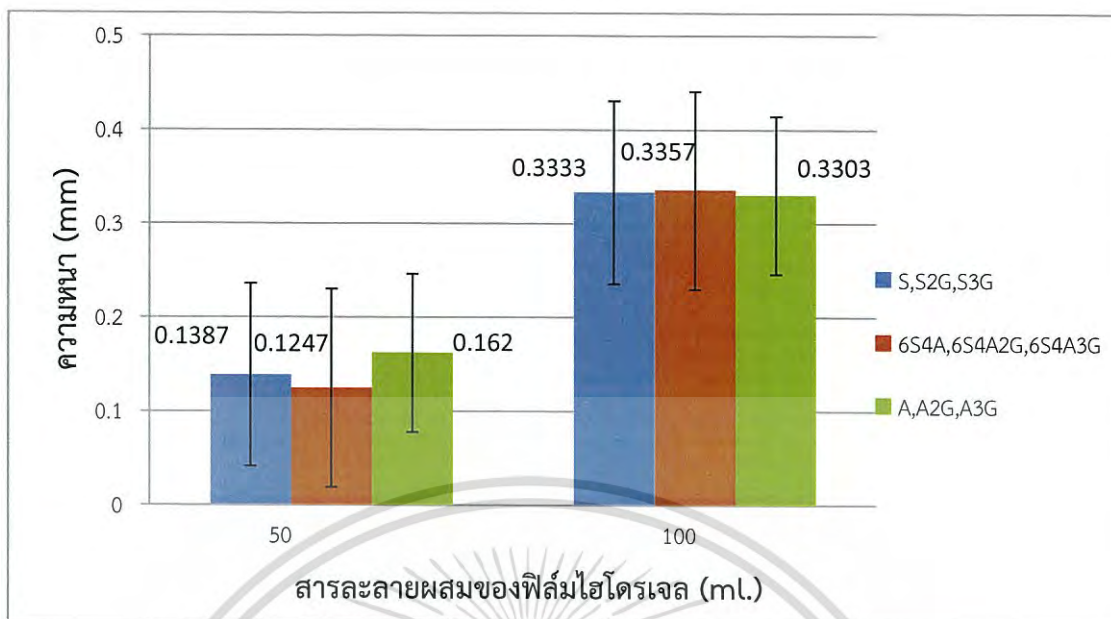
ภาคผนวก ฉ

สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและสมบัติการบวมน้ำ ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม โดยใช้ ปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml.

ตารางที่ ฉ.1 แสดงค่าความหนาของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลาย โซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตร	ความหนา (mm)					$\bar{x} \pm SD.$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
SG	0.22	0.15	0.12	0.10	0.10	0.138±0.0502
6S4AG	0.15	0.11	0.08	0.08	0.10	0.104±0.2881
AG	0.23	0.15	0.11	0.15	0.16	0.160±0.0436
S2G	0.08	0.08	0.13	0.13	0.17	0.118±0.0383
6S4A2G	0.11	0.14	0.12	0.11	0.16	0.128±0.0217
A2G	0.13	0.16	0.12	0.19	0.11	0.142±0.0327
S3G	0.14	0.13	0.10	0.13	0.11	0.122±0.0164
6S4A3G	0.16	0.15	0.13	0.15	0.15	0.148±0.0109
A3G	0.15	0.21	0.17	0.15	0.21	0.178±0.0303

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

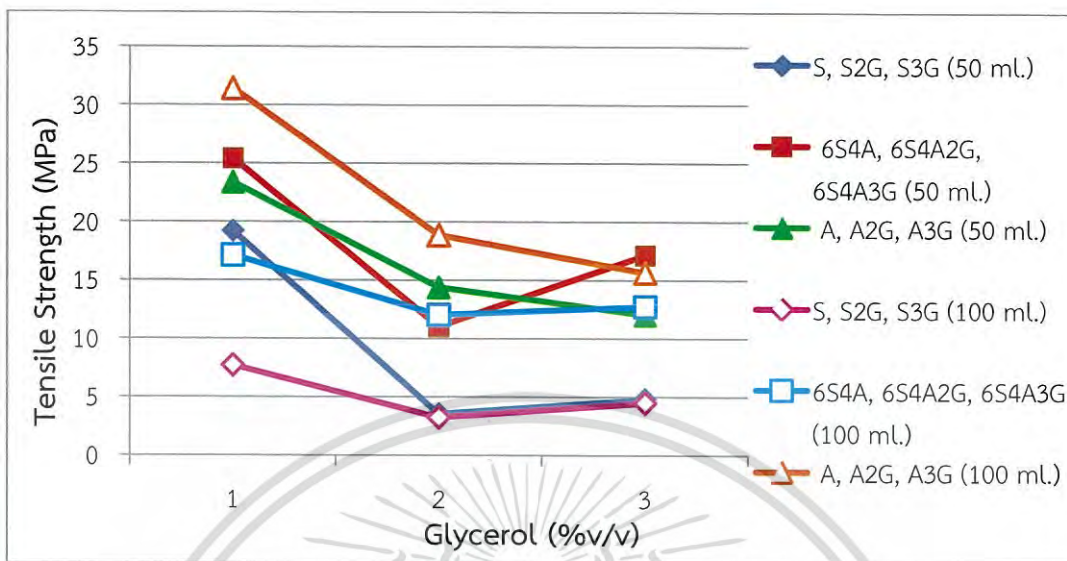


รูปที่ ๑.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มแป้งข้าวเหนียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต ที่ปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ 100 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.2 แสดงผลค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเจ้ากับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราส่วนต่างกัน และปริมาณกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

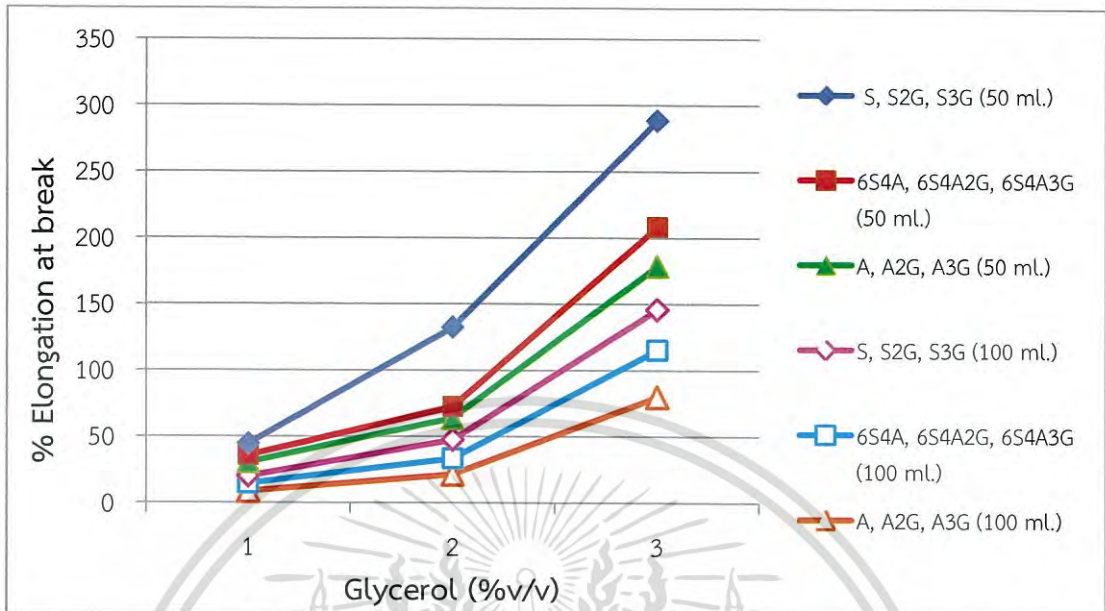
สูตร	5% แป้งข้าวเจ้า (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณกลีเซอรอล (%v/v)	Tensile strength (MPa)								$\bar{x} \pm SD.$
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	
SG	50	0	1	16.9500	18.6400	17.1200	20.0600	19.2100	17.8600	21.3500	22.3000	19.1863±1.9446
6S4AG	30	20	1	28.2800	27.2500	21.7200	37.0300	23.6900	26.5300	23.9700	14.7600	25.4038±6.3242
AG	0	50	1	20.1900	26.5400	20.4900	22.3400	23.9300	19.7700	26.2100	27.2500	23.3400±3.0683
S2G	50	0	2	3.3120	2.8470	3.2660	3.9700	3.9510	2.0790	4.9510	3.9320	3.5385±0.8652
6S4A2G	30	20	2	13.0400	15.2700	12.0400	6.9820	9.8710	7.7030	10.170	13.0600	11.0170±2.8459
A2G	0	50	2	12.1200	11.7800	14.1000	24.5200	23.9500	7.6550	8.2160	12.6500	14.3739±6.4649
S3G	50	0	3	4.0670	3.9600	3.7160	4.5200	6.3790	6.2260	4.6580	4.8490	4.7969±1.0033
6S4A3G	30	20	3	19.8300	15.8900	17.7100	18.8200	15.6500	19.1200	15.9100	14.2700	17.1500±1.9941
A3G	0	50	3	6.2100	9.2280	6.6560	5.5950	4.1710	29.9900	13.3800	20.8700	12.0125±9.0735



รูปที่ ๑.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มแป้งข้าวเขียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียวกับไซเตียมอัลจิเนต และฟิล์มไซเตียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ 100 ml. เติมกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

ตารางที่ ๓.3 แสดงผลค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และปริมาณกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

สูตร	5% แป้งข้าวเหนียว (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณกลีเซอรอล (%v/v)	% Elongation at break								
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	$\bar{x} \pm SD.$
SG	50	0	1	8.6588	9.0094	17.3510	6.6043	9.2144	7.3312	6.5802	3.5904	8.5424±3.9977
6S4AG	30	20	1	5.4785	3.3865	5.3557	12.0710	3.7172	7.2827	3.1405	2.5206	5.3691±3.1243
AG	0	50	1	5.5051	6.6898	8.8692	9.1560	11.4910	6.9735	19.4020	16.2430	10.5412±4.9217
S2G	50	0	2	52.6730	42.8470	91.7050	110.280	91.2930	8.1912	28.1410	51.4370	59.5709±35.1150
6S4A2G	30	20	2	31.9510	6.0422	9.6328	2.2781	3.7054	7.6915	5.1519	3.8250	8.7847±9.6513
A2G	0	50	2	19.2450	22.6750	8.3145	26.4380	13.6360	2.9749	13.2790	23.4000	16.2453±8.1067
S3G	50	0	3	100.920	110.140	71.8730	30.0770	87.0710	110.250	97.5110	33.2330	80.1344±32.4326
6S4A3G	30	20	3	36.8810	32.3880	33.7620	32.5140	13.9820	42.1740	24.8240	21.8420	29.7959±9.0341
A3G	0	50	3	26.9500	33.0310	30.1420	21.2350	17.9170	57.6720	32.3090	43.4460	32.8378±12.6986

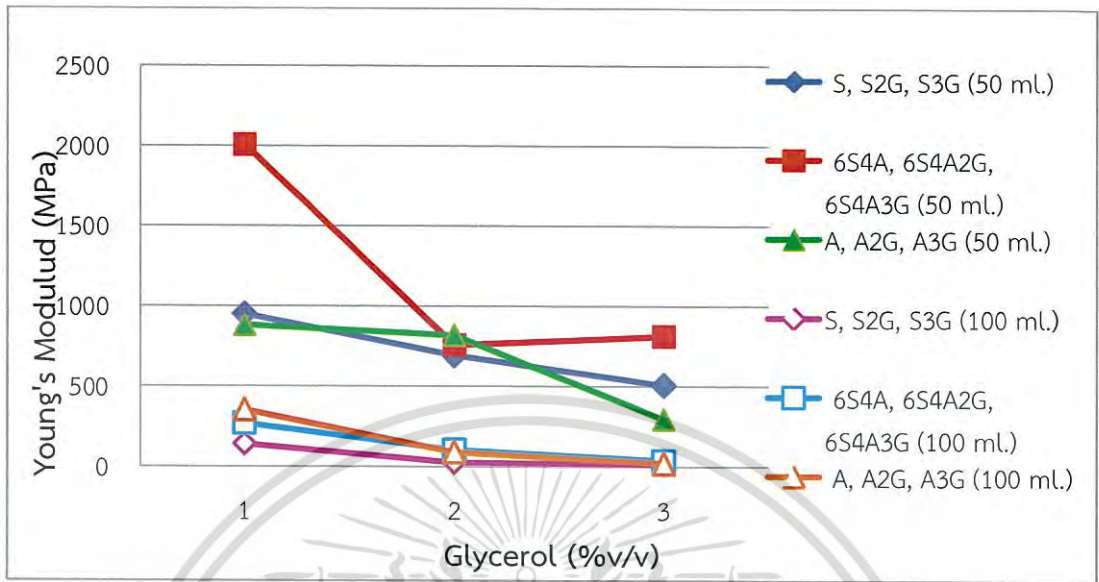


รูปที่ ๓.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงยืด ของฟิล์มแป้งข้าวเขียว ฟิล์มไฮโดรเจล ผสมระหว่างแป้งข้าวเขีวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของ สารละลายผสม 50 ml. และ 100 ml. เติมกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.4 แสดงผลค่านอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายแป้งข้าวกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและมีกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v

สูตร	5% แป้งข้าว (ml)	5% โซเดียมอัลจิเนต (ml)	ปริมาณกลีเซอรอล (%v/v)	Young's Modulus (MPa)								
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	$\bar{x} \pm SD.$
SG	50	0	1	1636.80	975.06	723.81	716.11	1222.20	980.29	620.89	714.61	948.72±341.61
6S4AG	30	20	1	1313.90	1587.80	1384.20	7763.80	968.12	931.78	1075.10	1020.70	2005.68±2337.92
AG	0	50	1	633.64	977.27	300.90	1702.10	1039.20	1092.50	534.62	765.48	880.71±428.33
S2G	50	0	2	200.20	1040.70	145.31	68.42	198.17	973.18	1677.90	1238.00	692.74±614.61
6S4A2G	30	20	2	694.12	956.79	995.43	699.75	666.95	406.90	722.19	920.38	757.81±193.68
A2G	0	50	2	1020.90	1372.90	858.65	747.74	768.93	927.78	272.18	578.21	818.41±321.95
S3G	50	0	3	90.58	434.26	1030.60	545.72	209.36	842.63	449.24	456.60	507.37±307.40
6S4A3G	30	20	3	804.16	853.52	812.64	998.97	871.14	666.70	804.32	700.00	813.93±102.77
A3G	0	50	3	75.65	149.26	167.06	254.58	851.86	261.80	255.54	349.47	295.65±239.96



รูปที่ ๑.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของแข็งของฟิล์มแป้งข้าวเขียว ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งข้าวเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต และฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต โดยมีปริมาตรรวมของสารละลายผสม 50 ml. และ 100 ml. เติมกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v ตามลำดับ

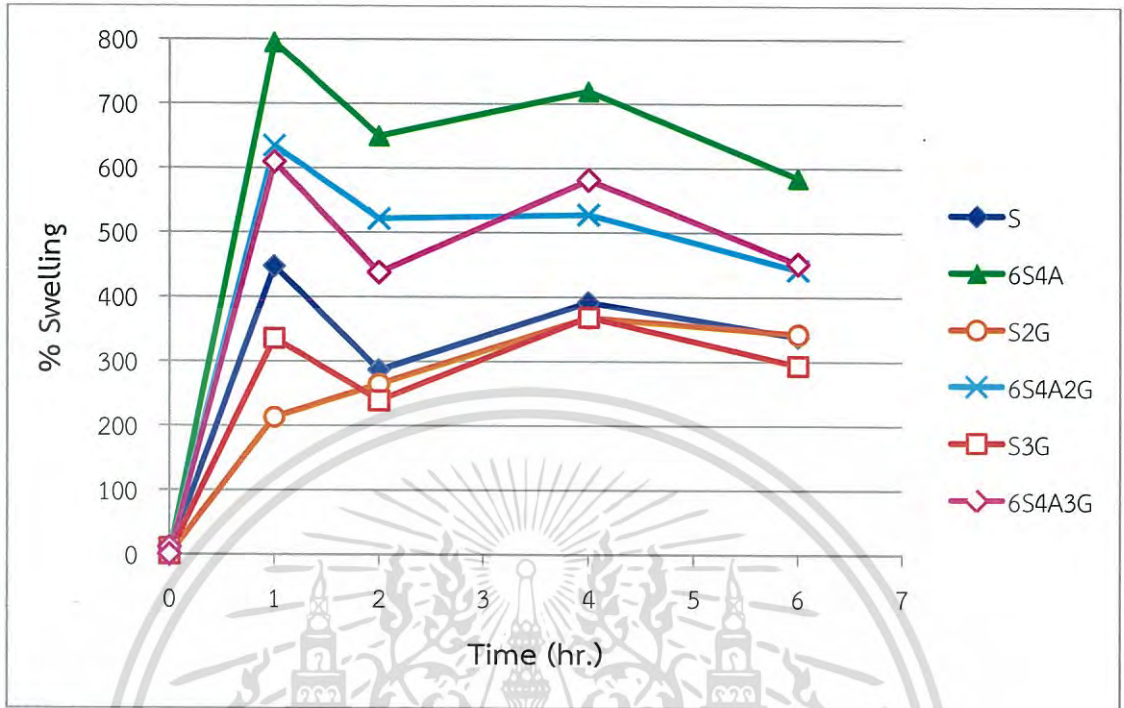
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าน้ำหนักของฟิล์มไฮโดรเจลหลังทดสอบการบวมน้ำ

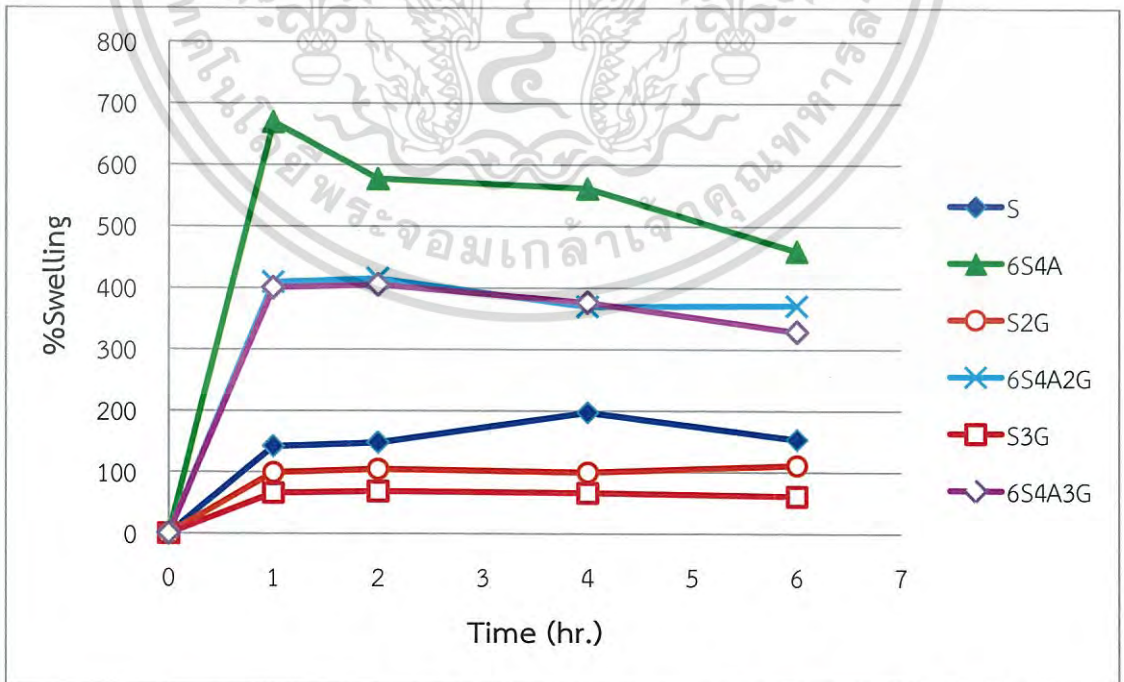
สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอรอล (%v/v)	น้ำหนักก่อน แช่น้ำ (W_0)	น้ำหนักหลังแช่ที่เวลาใดๆ (W_t)				
				1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
SG	50:0	1	0.0435	0.2380	0.1679	0.2137	0.1905	0.1810
6S4AG	30:20	1	0.0406	0.3633	0.3043	0.3326	0.2779	0.2811
AG	0:50	1	0.0767	-	-	-	-	-
S2G	50:0	2	0.0382	0.1195	0.1393	0.1786	0.1689	0.1548
6S4A2G	30:20	2	0.0288	0.2114	0.1789	0.1807	0.1560	0.1413
A2G	0:50	2	0.0622	-	-	-	-	-
S3G	50:0	3	0.0436	0.1898	0.1478	0.2042	0.1716	0.2513
6S4A3G	30:20	3	0.0497	0.3524	0.2674	0.3386	0.2742	0.2962
A3G	0:50	3	0.0597	-	-	-	-	-

ตารางที่ 6 แสดงค่าการทดสอบการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล

สูตร	อัตราส่วน ระหว่างแป้งถั่ว เขียว:โซเดียมอัล จิเนต	ปริมาณกลี เซอร์อล (%v/v)	% Swelling (%w/w)				
			1 ชม.	2 ชม.	4 ชม.	6 ชม.	24 ชม.
SG	50:0	1	447.1264	285.9770	391.2643	337.9310	316.0919
6S4AG	30:20	1	794.8275	649.5073	719.2110	584.4827	592.3645
AG	0:50	1	-	-	-	-	-
S2G	50:0	2	212.8272	264.6596	367.5392	342.1465	305.2356
6S4A2G	30:20	2	634.0277	521.1805	527.4305	441.6670	390.6250
A2G	0:50	2	-	-	-	-	-
S3G	50:0	3	335.3211	238.9908	368.3486	293.5779	476.3761
6S4A3G	30:20	3	609.0543	438.0281	581.2877	451.7100	495.9758
A3G	0:50	3	-	-	-	-	-



รูปที่ ๕.5 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 30 : 20 เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งถั่วเขียว โดยเติมกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v



รูปที่ ๕.6 กราฟแสดงค่าการบวมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับโซเดียมอัลจิเนต ที่อัตราส่วน 60 : 40 เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งถั่วเขียว โดยเติมกลีเซอรอล 1 , 2 และ 3%v/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

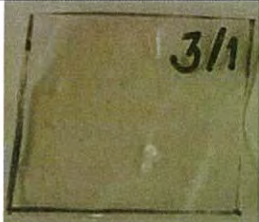
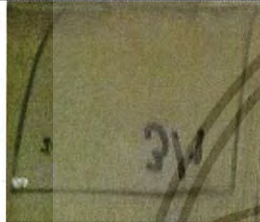







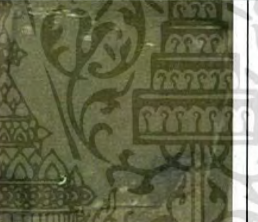
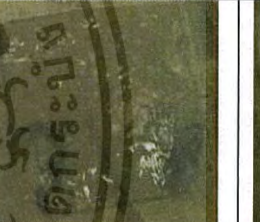


ตารางที่ ๑.7 แสดงภาพการดูหน้าของฟิล์มสูตรต่างๆ

สูตร	ก่อนแช่น้ำ	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6	ชั่วโมงที่ 24
SG						
6S4AG						
AG						

ตารางที่ ๑.7 แสดงภาพการดูหน้าของฟิล์มสูตรต่างๆ (ต่อ)

สูตร	ก่อนแช่น้ำ	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6	ชั่วโมงที่ 24
S2G						
6S4A2G						
A2G		-	-	-	-	-

ตารางที่ ๑.7 แสดงภาพการดูหน้าของฟิล์มสูตรต่างๆ (ต่อ)

สูตร	ก่อนแช่น้ำ	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	ชั่วโมงที่ 4	ชั่วโมงที่ 6	ชั่วโมงที่ 24
S3G						
6S4A3G						
A3G		-	-	-	-	-

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ นางสาวกัลยรัตน์ วงศ์เจริญ
 วัน เดือน ปีเกิด 29 ธันวาคม 2537
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 73 หมู่ที่ 5 ตำบลแหลมทอง อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา
- ประวัติการศึกษา
 พศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโชคชัยสามัคคี เกรดเฉลี่ย 3.68
 พศ. 2558 ปริญญาตรี วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- ชื่อ นางสาวชีวิภัทร ปาโมกษ์
 วัน เดือน ปีเกิด 8 พฤษภาคม 2537
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 36 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี
- ประวัติการศึกษา
 พศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโยธินบูรณะ เกรดเฉลี่ย 3.47
 พศ. 2558 ปริญญาตรี วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- ชื่อ นางสาวชีวรัตน์ อุดเจริญ
 วัน เดือน ปีเกิด 7 มิถุนายน 2537
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 78 หมู่ที่ 5 ตำบลเสม็ดใต้ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
- ประวัติการศึกษา
 พศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนดัดดรุณี เกรดเฉลี่ย 3.47
 พศ. 2558 ปริญญาตรี วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้