



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ      การเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจิเนตผสมสีธรรมชาติ  
Preparation shells of alginate capsules containing natural colors

ชื่อนิสิต            นางสาวเจณิสตา เจะเลาะ  
ภาควิชา             เคมี  
ปีการศึกษา        2560

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจิเนตผสมสีธรรมชาติ

Preparation shells of alginate capsules containing natural colors

โดย

นางสาวเจณิสตา เจะเลาะ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2560

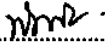
โครงการ การเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจีเนตผสมสีธรรมชาติ

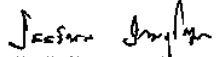
โดย นางสาวเจนิस्ता เจะเลาะ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์รา อีร์พินุลย์เดช)

.....  ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ภัทสรพลง นามอุโฆษ)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

..... หัวหน้าภาควิชาเคมี  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

วันที่ ..... เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ  ดีมาก  ดี  พอใช้

ชื่อโครงการ                      การเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจินเตผสมสารสกัด  
ชื่อนิสิตในโครงการ            นางสาวเจณิสตา เจะเลาะ                      เลขประจำตัว 5733070423  
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชตรา ธีรพิบูลย์เดช  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

### บทคัดย่อ

เตรียมเปลือกแคปซูลแอลจินเตด้วยสารละลายผสมของแอลจินเต กลีเซอรอลและแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง ในการศึกษาเบื้องต้นใช้สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และกลีเซอรอล 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ จะได้ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลดีที่สุด (92 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้งและกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แคปซูลมีลักษณะเป็นทรงกลมและเรียบ มีขนาดของแคปซูลเท่ากับ 4.36 มิลลิเมตร ความหนาของเปลือกแคปซูลเท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร ในการเติมสารสกัดขมิ้นและแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันลงในสารละลายแอลจินเตผสมมีขั้นตอนที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังได้เตรียมฟิล์มแอลจินเตผสมสารสกัดขมิ้นและแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันเพื่อศึกษาสีที่เปลี่ยนแปลงไปภายในเวลา 7 วัน พบว่าสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: แคปซูล, แอลจินเต, แบคทีเรียลเซลลูโลส, เซอีน, สารสกัดขมิ้น, แอนโทไซยานิน

Project title                   Preparation shells of alginate capsules containing natural colors  
Student name                 Miss Jenista Jehloh                   Student ID 5733070423  
Advisor name                 Assistant Professor Pattara Thisaphibundet, Ph.D.  
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2017

### Abstract

The shells of alginate capsules were prepared using the mixture of alginate, glycerol and freeze-dry bacterial cellulose (BC). The 1% w/w of alginate solution, 0.1 and 0.2% of BC and 15 and 20% of glycerol were preliminary studied. The most effective efficiency (92%) for preparation of alginate capsule was 0.1 and 20% of BC and glycerol, respectively. The capsules were spherical and smooth surface with size of 4.36 mm. The thickness of capsule shell was 0.45 mm. Turmeric extract (yellow) and anthocyanin from butterfly pea (blue) were added in the mixture of alginate together with zein using different process. In addition, alginate films with turmeric extract and anthocyanin were fabricated and examined the color changing within 7 days. The result showed that the color was not change significantly.

Keywords: capsule, alginate, bacterial cellulose, zein, turmeric extract, anthocyanin

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและรายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตา ให้ความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร อีรพิบูลย์เดช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่เอื้อเพื่อสถานที่และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย อาจารย์ได้ให้ความรู้ คำอธิบายด้วยความเข้าใจและวางแผนโครงการ เสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือตลอดงานวิจัยนี้ คอยให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความใส่ใจ ตลอดจนช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข และอาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาในการตรวจทานแก้ไข พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไข ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิจัย

ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาโทที่ให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการใช้เครื่องมือต่าง ๆ คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความรู้ต่าง ๆ อันมีประโยชน์ต่อผู้วิจัย ตลอดเวลา 4 ปีที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่ ซึ่งทำให้สามารถนำความรู้เหล่านั้นมาใช้กับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณกำลังใจและความช่วยเหลือจากครอบครัว รวมถึงเพื่อน ๆ ในภาควิชาเคมี ผู้วิจัยขอระลึกถึงความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าความรู้ที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้จะก่อประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และก่อให้เกิดแนวคิดในการพัฒนางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ (ถ้ามี)	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
<b>บทที่ 2 การทดลอง</b>	10
2.1 สารเคมีและเครื่องมือที่สำคัญ	10
2.2 การเตรียมแบคทีเรียลเซลลูโลส	10
2.3 การเลือกตัวทำละลายสำหรับการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน	11
2.4 การเตรียมแคปซูลแอลจิเนตบรรจุน้ำมันรำข้าว	11
2.4.1 การศึกษาปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสและกลีเซอรอลในการเตรียมแคปซูลแอลจิ	11
เนต	12
2.4.2 การศึกษาการผสมเซอีน (zein) ในสารละลายแอลจิเนต	12
2.4.3 การศึกษาการผสมสีจากธรรมชาติในสารละลายแอลจิเนต	12
2.4.3.1 การผสมสารสกัดขมิ้นในสารละลายแอลจิเนต	13
2.4.3.2 การผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันในสารละลายแอลจิเนต	14
2.5 คำานวนประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล	14
2.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีจากพืชด้วยการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มแอลจิเนต	
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	15
3.1 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายในการสกัดแอนโทไซยานินจากอัญชัน	15
3.2 ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสและกลีเซอรอลในการเตรียมแคปซูลแอลจิเนต	15
3.3 ผลการศึกษาการผสมเซอีน (zein) ในสารละลายแอลจิเนต	18
3.4 ศึกษาการผสมสีจากธรรมชาติในสารละลายแอลจิเนตผสม	20
3.4.1 แคปซูลแอลจิเนตผสมสารสกัดขมิ้น	20

3.4.2 แคปซูลแอลจินเตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน	21
3.5 การตรวจห่มู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มแอลจินเต ด้วยเทคนิค ฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโกปี (FTIR)	24
3.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มแอลจินเตที่ผสมสารสกัดขมิ้นและแอนโทไซยานิน	26
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง</b>	28
4.1 สรุปผลการทดลอง	28
4.2 ข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	30
ประวัติผู้วิจัย	34





## สารบัญรูป

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
รูปที่ 1.1 รูปแบบการเกิดสายโซ่ของแอลจินेट ในรูปของไฮโมพอลิเมอร์และเฮเทอโรพอลิเมอร์	2
รูปที่ 1.2 อันตรกิริยาเชื่อมโยงระหว่างแคลเซียมไอออนและหมู่คาร์บอกซิเลต (egg box model)	3
รูปที่ 1.3 การเกิดพันธะไฮโดรเจน ภายในและภายนอกโมเลกุลแบคทีเรียลเซลลูโลส	4
รูปที่ 1.4 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล	5
รูปที่ 1.5 โครงสร้างโมเลกุลของเซอีน	6
รูปที่ 1.6 ตัวอย่างโครงสร้าง ternatins ในดอกอัญชัน	7
รูปที่ 1.7 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาวิโอเลียม ไอออน	7
รูปที่ 1.8 แอนโทไซยานินหลัก 6 ชนิดที่พบในธรรมชาติ	8
รูปที่ 1.9 โครงสร้างของเคอร์คูมินอยด์	8
<b>บทที่ 2 วิธีการทดลอง</b>	10
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมสารสกัดขมิ้นชัน	13
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1	13
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 2	14
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	15
รูปที่ 3.1 สีของสารละลายที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ก.เอทานอล ข.เมทานอล และ ค.น้ำ จากดอกอัญชันแห้ง	15
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายพื้นผิว 2 ภาพในบริเวณที่ต่างกันของแคปซูลแอลจินेटสูตร $B_{0.1}A_1G_{15}$ , $B_{0.1}A_1G_{20}$ , $B_{0.2}A_1G_{15}$ และ $B_{0.2}A_1G_{20}$	17
รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินेट เมื่อเตรียมโดย ละลายแอลจินटक่อน ใส่แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง และปั่นแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้งก่อนละลายแอลจินेट	18
รูปที่ 3.4 ลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินेटหลังอบ สูตร $B_{0.1}A_1G_{20}$ , $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$ และ $A_1G_{20}Z_{0.5}$ ที่ถ่ายด้วยเลนส์กำลังขยาย 15 เท่า และ 40 เท่า	19
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมสารสกัดขมิ้นชัน	20
รูปที่ 3.6 ลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินेटผสมสารสกัดขมิ้นชัน ถ่ายด้วยเลนส์กำลังขยาย 15 และ 40 เท่า	20
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1	21
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 2	21

รูปที่ 3.9 สเปกตรัม FTIR ของ แอลจินต, แบบที่เรียลเซลลูโลสแห้ง และเซอีน	24
รูปที่ 3.10 สเปกตรัม FTIR ของ z film, antho film, antho-z film, cur film, cur-z film	25
<b>บทที่ 4 สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนเตรียมสารละลายแอลจินตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2	28



## สารบัญตาราง

	หน้า
<b>บทที่ 2 วิธีการทดลอง</b>	10
ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของแบคทีเรียเซลลูโลสแห้งและกลีเซอรอลต่าง ๆ ในการเตรียมสารละลายผสมสำหรับการเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจิเนต	11
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	15
ตารางที่ 3.1 อัตราเร็วในการหยดน้ำมันรำข้าวและสารละลายแอลจิเนตผสม และค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจิเนตสูตรต่าง ๆ	16
ตารางที่ 3.2 อัตราเร็วในการหยดน้ำมันรำข้าวและสารละลายแอลจิเนตผสม และค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจิเนตสูตรต่าง ๆ	18
ตารางที่ 3.3 ขนาดและความหนาของแคปซูลแอลจิเนตแห้ง	21
ตารางที่ 3.4 อัตราเร็วในการหยดของสารละลายแอลจิเนตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลขนาดและความหนาของเปลือกแคปซูล วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2	22
ตารางที่ 3.5 ลักษณะแคปซูลแอลจิเนตก่อนและหลังอบด้วยวิธีที่ 1 และ 2	23
ตารางที่ 3.6 แสดงสีที่เปลี่ยนแปลงแผ่นฟิล์มแอลจิเนต วันที่ 1 และวันที่ 7	26
ตารางที่ 3.7 ค่า RGB ของแผ่นฟิล์มแอลจิเนตผสมสารสกัดขมิ้นและแผ่นฟิล์มควบคุม	27
ตารางที่ 3.8 ค่า RGB ของแผ่นฟิล์มแอลจิเนตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันและแผ่นฟิล์มควบคุม	27

## สัญลักษณ์และคำย่อ

อักษรย่อ	ความหมาย
B	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง
A <sub>1</sub>	สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1%
G	กลีเซอรอล
B <sub>0.1</sub> A <sub>1</sub> G <sub>15</sub>	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 15 มิลลิลิตร
B <sub>0.1</sub> A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร
B <sub>0.2</sub> A <sub>1</sub> G <sub>15</sub>	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.2 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 15 มิลลิลิตร
B <sub>0.2</sub> A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.2 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร
B <sub>0.1</sub> A <sub>1</sub> G <sub>20</sub> Z <sub>0.5</sub>	แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร เซอินความเข้มข้น 5%
A <sub>1</sub> G <sub>20</sub> Z <sub>0.5</sub>	สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร เซอินความเข้มข้น 5%
cur-z film	แผ่นฟิล์มแอลจินเต สูตรแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร เซอินความเข้มข้น 5% ผสมสารสกัดขมิ้น
antho-z film	แผ่นฟิล์มแอลจินเต สูตรแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร เซอินความเข้มข้น 5% ผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน
antho film	แผ่นฟิล์มแอลจินเต สูตรแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% กลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร ผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

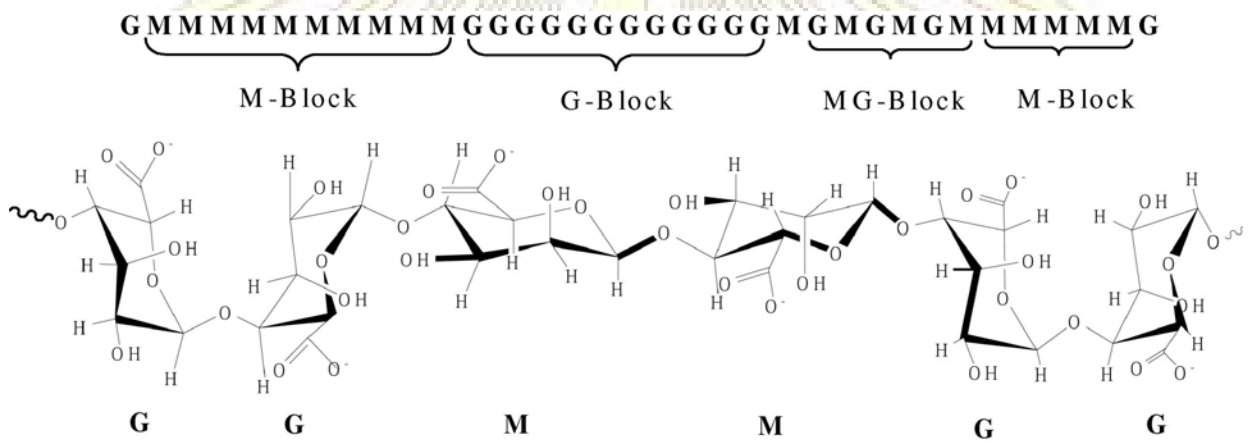
แอลจินेट (alginate) หรือแอลจิน (algin) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของสารประกอบเกลือ เช่น เกลือแคลเซียมหรือเกลือโซเดียม คุณสมบัติเด่นของแอลจินेटคือสามารถละลายน้ำได้ดี เป็นสารกึ่งแข็งที่ทนต่อความร้อน (thermo-irreversible gel) [1] สารละลายแอลจินेटสามารถเตรียมในรูปเม็ด (bead) ได้ โดยการหยดสารละลายแอลจินेटลงในสารละลายแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง (cross-link) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิเลตของแอลจินेटกับแคลเซียมไอออน ปิดแอลจินेटนี้ นิยมนำมาใช้เก็บสารสำคัญโดยผสมกับสารละลายแอลจินेटก่อนหยดลงในสารละลายแคลเซียม [2] สารสำคัญจะถูกกักเก็บไว้ในโครงร่างสายพอลิเมอร์ของแอลจินेटและถูกปลดปล่อยออกมาในสภาวะต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการเตรียมแคปซูลแอลจินेटที่มีเปลือกแอลจินेटห่อหุ้มสารสำคัญภายใน ด้วยอุปกรณ์ที่ออกแบบโดยห้องวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร อธิพิบูลย์เดช (อยู่ระหว่างการยื่นจดอนุสิทธิบัตร) แคปซูลขนาดไมโครเมตรมีส่วนเปลือกเตรียมจากสารละลายแอลจินेटเป็นหลัก และกักเก็บน้ำมันหรือสารที่ไม่ละลายน้ำไว้ใน เสมือนแคปซูลเจลลาตินที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป [3] ในส่วนของสารละลายแอลจินेटสามารถผสมกับสารอื่นๆ เพื่อปรับปรุงให้เปลือกมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสีจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2 ชนิด (antioxidant) คือ สารสกัดขมิ้นชันซึ่งมีสีเหลือง และแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่มีน้ำเงินเข้ม ไม่เพียงแต่ต้องการให้เปลือกแคปซูลสามารถปกป้องน้ำมันภายในจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและยังเพื่อเพิ่มสีให้แคปซูลสวยงามด้วย สารสกัดขมิ้นชันประกอบด้วยเคอร์คูมิน (curcumin) เป็นองค์ประกอบหลัก มีสีเหลือง ไม่ละลายน้ำ และแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี [4, 5] ในการผสมสีซึ่งมีการละลายน้ำที่ต่างกัน ย่อมมีวิธีการที่ต่างกัน ผู้วิจัยได้ใช้แบคทีเรียลเซลลูโลสหรือวุ้นมะพร้าวเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับเปลือกแคปซูล และศึกษาการใช้เซอีน (zein) เป็นสารที่เพิ่มความแข็งแรงอีกหนึ่งชนิดและคาดว่าจะช่วยในการกักเก็บสีบนเปลือกแคปซูลได้ดีขึ้น โดยเซอีนเป็นโปรตีนที่พบอยู่ในข้าวโพด เป็นโพรลามีนโปรตีน ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและไม่เป็นพิษ ละลายได้ในสารละลายทวิภาค (binary solutions) ระหว่างเอทานอลและน้ำ มีรายงานวิจัยว่าการผสมเซอีนในฟิล์มสามารถช่วยป้องกันน้ำและออกซิเจนจากปัจจัยภายนอก [6] หมูอะมิโนบนสายโปรตีนเซอีนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่คาร์บอกซิเลตของแอลจินेटได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแคปซูลแอลจินेट และกักเก็บสีไว้ในโครงร่างพอลิเมอร์ได้ดี

## 1.2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

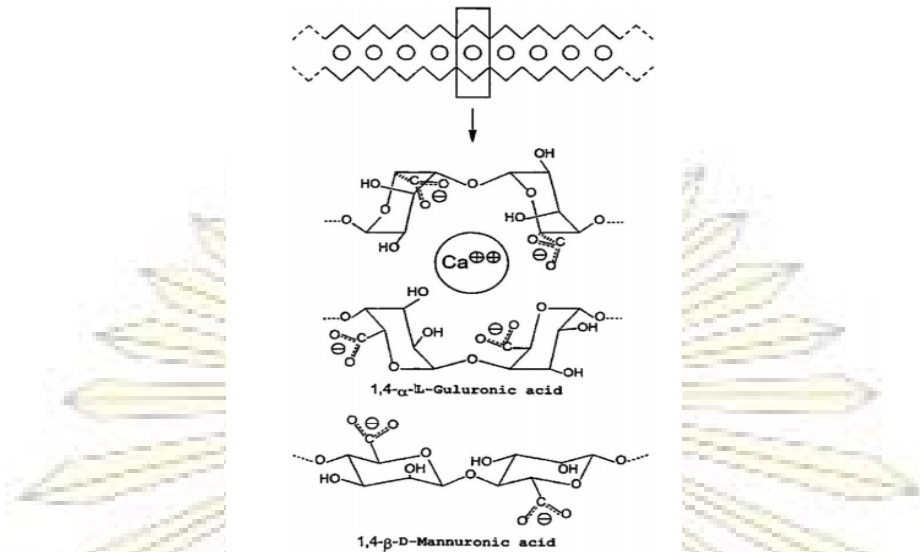
### 1.2.1 แอลจีเนต (alginate)

แอลจีเนตหรืออัลจินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (brown algae) เช่น *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* และผ่านการทำให้แห้ง แอลจีเนตเป็น unbranched binary copolymer ของโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ กรดเบตา-ดี-แมนนูโรนิก ( $\beta$ -D-mannuronic acid, M) และ กรดแอลฟา-แอล-กลูโรนิก ( $\alpha$ -L-guluronic acid, G) ในสายโซ่นี้อาจอยู่ในรูปของโฮโมพอลิเมอร์ คือ MM หรือ GG Blocks และเฮเทอโรพอลิเมอร์ คือ MG-Block ก็ได้ อีกทั้งโครงสร้างของแอลจีเนตสามารถละลายน้ำได้ และมีหมู่คาร์บอกซิเลตเป็นหมู่ฟังก์ชันสำคัญ ดังรูปที่ 1.1 [7]



รูปที่ 1.1 รูปแบบการเกิดสายโซ่ของแอลจีเนต ในรูปของโฮโมพอลิเมอร์และเฮเทอโรพอลิเมอร์ [7]

สารละลายแอลจีเนต มีหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ในรูปคาร์บอกซิเลต มีลักษณะหนืด เป็นเจล เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (crosslinked) กับไดวาเลนต์แคทไอออน อาทิเช่น แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และ แบเรียมไอออน ( $\text{Ba}^{2+}$ ) ทำให้โครงสร้างของเจลมีลักษณะเป็นโครงข่ายสามมิติ เรียกว่า กล่องไข่ (egg box model) การฟอร์มบีดแอลจีเนต เป็นวิธีที่ปลอดภัย สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง [8]



รูปที่ 1.2 อันตรกิริยาเชื่อมโยงระหว่างแคลเซียมไอออนและหมู่คาร์บอกซิเลต (egg box model) [9]

มีงานวิจัยรายงานการเพิ่มความแข็งแรงของแอลจิเนตด้วยแบคทีเรียลเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น

ในปี ค.ศ. 2007 Zhou และคณะ [10] ได้ศึกษาผลของการเติมไซโตเต็มแอลจิเนตในกระบวนการผลิตแบคทีเรียลเซลลูโลส พบว่าไซโตเต็มแอลจิเนตจะไปเปลี่ยนลักษณะสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียลเซลลูโลส จากเดิมที่มีลักษณะเป็นกระจุก ไม่สม่ำเสมอ ให้โครงข่ายของแบคทีเรียลเซลลูโลสเปลี่ยนแปลงไป มีความเป็นรูพรุนมากขึ้น โดยไซโตเต็มแอลจิเนตจะเกาะอยู่บนพื้นผิวของโครงข่ายแบคทีเรียลเซลลูโลส ซึ่งจะดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้แบคทีเรียลเซลลูโลสมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป เช่น สมบัติเชิงกล สามารถอุ้มน้ำได้ดี มีความทนต่อความร้อนและเพิ่มความหนืด (viscosity)

ในปี ค.ศ. 2017 Kim J. H. และคณะ [11] ได้ใช้แอลจิเนตเป็นเทมเพลตในการเตรียมปิดจากแบคทีเรียลเซลลูโลส เพื่อสร้างแบคทีเรียลเซลลูโลส/แอลจิเนตปิด พบว่า เมื่อเติมสารละลายแอลจิเนต ทำให้ควบคุมขนาดและรูปร่างของเม็ดปิดได้ เนื่องจากปิดจากแบคทีเรียลเซลลูโลสอย่างเดียว ไม่สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของเม็ดปิดได้ เป็นผลจากสภาวะในการเลี้ยงเชื้อ เช่น ชนิดของเซลล์ เวลาในการเขย่าที่ควบคุมได้ยาก แอลจิเนตที่เชื่อมขวางด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีค่าการดึงยึด (tensile strength) ต่ำ แต่เมื่อผสมด้วยแบคทีเรียลเซลลูโลสพบว่ามีค่าการดึงยึดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้แอลจิเนตสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นประโยชน์หลากหลายด้าน เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บสาร การขนส่งยา (drug delivery)

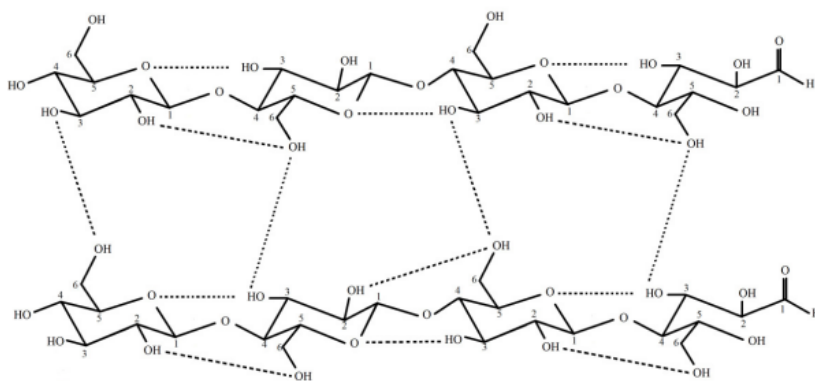
ในปี ค.ศ. 2016 Vasile F. E. และคณะ [12] ได้ศึกษาการใช้แอลจิเนต-โคโตซานปิด มาห่อหุ้มเพื่อยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำมันตับปลา และใช้ *Prosopis alba* เพิ่มความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันของน้ำมันตับปลา พบว่า วิธีการดังกล่าวมีประสิทธิภาพสามารถป้องกันการออกซิไดซ์ของน้ำมันตับปลาได้ โดยการช่วยลด oxidative damage

ในปี ค.ศ. 2016 Li H. และคณะ [13] ได้ใช้แอลจินเนตรวมตัวกับ strontium-substituted hydroxyapatite microspheres (SrHA) เป็นวัสดุคอมโพสิต เพื่อช่วยในการขนส่ง apatite โดยทำการหัดเป็นเม็ดปิดด้วยปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า แอลจินเนตมีส่วนช่วยในการขนส่งยา อีกทั้งมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยตัวยา เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการรวมตัวกับ strontium-substituted hydroxyapatite microspheres

### 1.2.2 แบคทีเรียเซลลูโลส (bacterial cellulose)

แบคทีเรียเซลลูโลสหรือเซลลูโลสจากแบคทีเรีย เป็นชีววัสดุธรรมชาติที่ได้รับความสนใจ มีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถผลิตเซลลูโลสได้ โดยประเทศไทยรู้จักกันในชื่อ Nata de Coco หรือวุ้นมะพร้าว เป็นผลผลิตจากการหมักแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Acetobacter xylinum* ชื่อใหม่คือ *Gluconacetobacter xylinus* ในน้ำมะพร้าว แบคทีเรียเซลลูโลสนี้มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยหน่วยย่อยเรียกว่าไฟบริล หน่วยย่อยคือ ดี-กลูโคส ต่อเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตา 1-->4 ไกลโคซิดิก มีหน่วยย่อยของกลูโคสประมาณ 2,000-18,000 หน่วย [14] ซึ่งขนาดเล็กกว่าเส้นใยของพืชชั้นสูง 10-1,000 เท่า และเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 100 เท่า มีความบริสุทธิ์สูง ไม่มีการเจือปนของ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพกติน เหมือนกับเซลลูโลสที่ได้จากพืช และมีปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกประมาณ 1.0% ซึ่งมากกว่าเซลลูโลสที่ได้จากพืชหากเทียบกับน้ำหนักเปียกในปริมาณที่เท่ากัน [14]



รูปที่ 1.3 การเกิดพันธะไฮโดรเจน ภายในและภายนอกโมเลกุลแบคทีเรียเซลลูโลส [18]



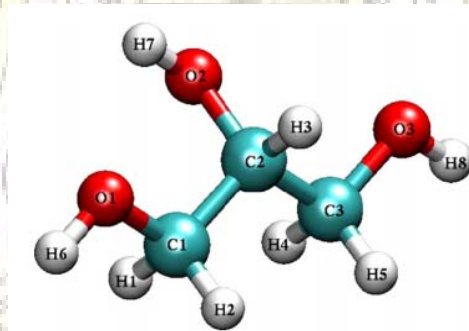
อีกทั้งยังมีส่วนที่ชอบน้ำมากและมีพื้นที่ผิวสูงจึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ประมาณ 60-700 เท่า ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังทนต่อแรงดึงได้ดีกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ โดยมีค่า Young's modulus ประมาณ 30,000 Mpa ซึ่งสูงกว่าไฟเบอร์อินทรีย์ประมาณ 4 เท่า และมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าพอลิเอทิลีนและโพลีคลอไรด์ 5 เท่า [15]

ในปี ค.ศ. 2007 Phisalaphong M. และคณะ [16] ได้ทำการพัฒนาแผ่นฟิล์ม (blend film) ที่มีส่วนประกอบของแอลจินเนต โดยการเติมแบคทีเรียลเซลลูโลส ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนเซลลูโลส 80% และแอลจินเนต 20 % โดยน้ำหนัก มีความจุการดูดซับของน้ำและอัตราการซึมผ่านของน้ำดีขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มแอลจินเนตที่มีส่วนประกอบของแบคทีเรียลเซลลูโลสน้อยกว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแบคทีเรียลเซลลูโลส ทำให้ความทนต่อแรงดึงสูงสุด (tensile strength) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม (elongation at break of the film) มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น

อีกทั้งแบคทีเรียลเซลลูโลสยังมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ไม่เป็นพิษ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุคอมโพสิต (composite materials) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้แก่ผลิตภัณฑ์ [17]

### 1.2.3 กลีเซอรอล (glycerol)

กลีเซอรอล (glycerol) อาจเรียกว่า กลีเซอริน (glycerine หรือ glycerin ) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิโออล (polyol) เป็นสารที่มีลักษณะเป็นของเหลว สี หนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ภายในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทั้ง 3 หมู่ มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_3H_8O_3$  มีจุดเดือด  $290^{\circ}C$  และจุดหลอมเหลว  $18^{\circ}C$  ทำให้ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้อีกทั้งมีคุณสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี (hygroscopic) [18]



รูปที่ 1.4 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล [18]

ตัวอย่างของงานวิจัยที่นำกลีเซอรอลมาใช้ประโยชน์ เช่น ในปี ค.ศ. 2006 Karbowski และคณะ [19] ได้นำกลีเซอรอลมาเป็นส่วนผสมในฟิล์ม ซึ่งกลีเซอรอลสามารถดูดจับน้ำได้ดี อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) ทำให้ฟิล์มที่เกิดการฟอร์มตัวแล้วมีความยืดหยุ่น อ่อนตัวมากขึ้น และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า และทนต่อสภาวะความเป็นกรดเบส

### 1.2.4 เซอีน (zein)

เซอีนเป็นโปรตีนที่พบอยู่ในข้าวโพด เป็นโพรลามีนโปรตีน ซึ่งมีกรดอะมิโนโพรลีนและกลูตามิกเป็นจำนวนมาก แต่มีกรดอะมิโนไลซีน อาร์จินีน ฮิสทีดีน และทริพโตเฟน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นน้อยมาก จึงจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ เซอีนไม่สามารถละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายผสมน้ำ-เอทานอล เซอีนมีลักษณะทางกายภาพคือ มีความบริสุทธิ์ ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ อีกทั้งสามารถนำมาบริโภคได้ [20]



รูปที่ 1.5 โครงสร้างโมเลกุลของเซอีน [20]

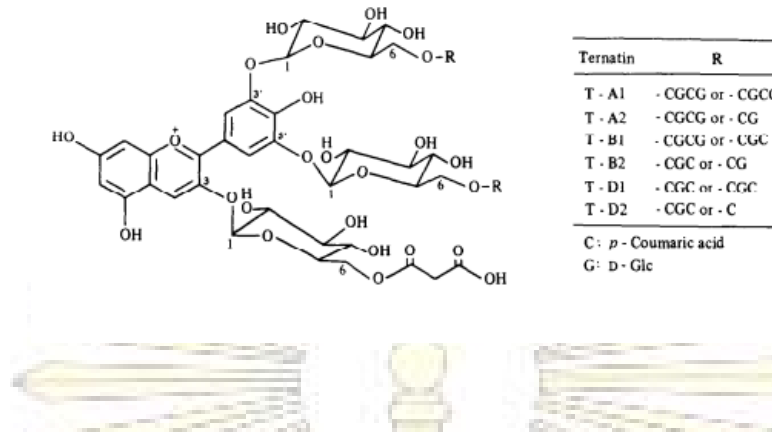
จากหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าผู้วิจัยได้นำเซอีนมาประยุกต์ใช้ในการขนส่งยา การสมานแผล บรรจุภัณฑ์อาหาร

ในปี ค.ศ. 2016 Lee S. และคณะ [21] ได้ใช้เซอีนและแอลจินเตพัฒนาเป็นเปลือกแคปซูล ในระบบการขนส่งยา พบว่าเปลือกแคปซูลที่มีส่วนผสมของเซอีนและแอลจินเตสามารถช่วยต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และช่วยป้องกันการย่อยสลายของ Superoxide dismutase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาผลาญภายในเซลล์

ในปี ค.ศ. 2018 Dai L. และคณะ [22] ได้ทดลองใช้เซอีนและ Rhamnolipid เพิ่มความเสถียรให้กับอนุภาคนาโนที่มีส่วนผสมของเคอร์คูมิน (curcumin) จากขมิ้นชัน พบว่าเซอีนและ Rhamnolipid ช่วยลดแรงดึงดูดทำให้เม็ดของอนุภาคนาโนที่อยู่รวมกัน ไม่ติดกัน นอกจากนี้ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกักเก็บสีของเคอร์คูมินในอนุภาคนาโนและช่วยเพิ่มความเสถียรต่อแสงและความร้อน

### 1.2.6 อัญชัน (Butterfly pea)

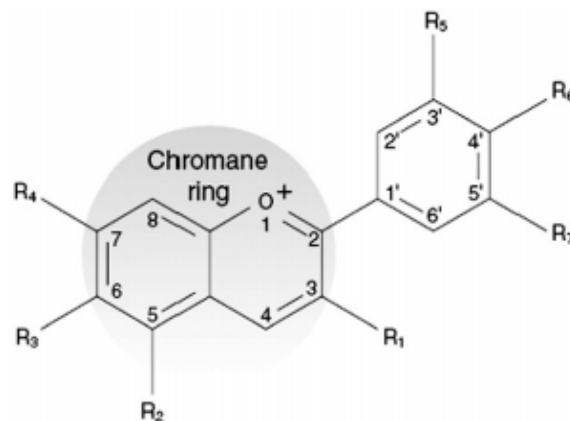
อัญชันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Clitoria ternatea* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ลำต้นของอัญชันจะเป็นไม้เลื้อยล้มลุกเนื้ออ่อน พบเห็นได้ทั่วไปโดยเฉพาะในป่าที่มีความโล่งแจ้ง อัญชันมีดอกสีน้ำเงินเข้ม เมื่อคั้นน้ำออกมาจะได้เป็นสีน้ำเงินอมม่วง ผู้คนมักนิยมนำอัญชันมาใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งสรรพคุณทางยาที่น่าสนใจของอัญชัน คือมีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งละลายน้ำได้ สารหลักที่พบเป็นพวกเทอร์ทานิน (ternatins) ซึ่งเป็น acylated anthocyanins มีโครงสร้างเป็น malonylated delphinidin 3,3',5'-triglucosides โดย D-glucose และ p-coumaric acid ต่อที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 5 ดังรูปที่ 1.5 ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรมากกว่า nonacylated anthocyanins อื่น ๆ [23, 24]



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างโครงสร้าง ternatins ในดอกอัญชัน [24]

### 1.2.7 แอนโทซยานิน (Anthocyanin)

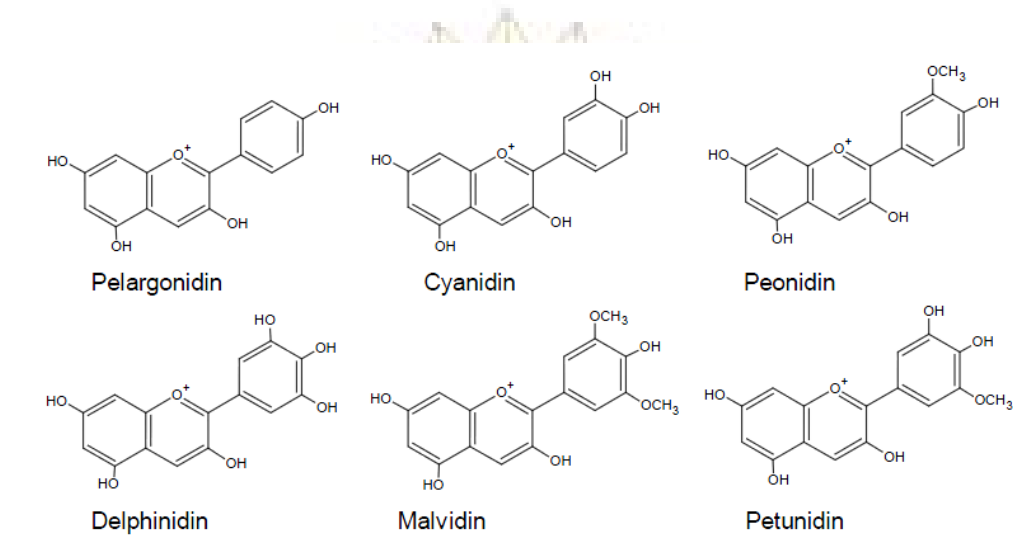
แอนโทซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ปัจจุบันมีการค้นพบมากกว่า 300 ชนิด แต่ทุกชนิดมีลักษณะโครงสร้างหลักคือ แอนโทซยานิดิน (anthocyanidins) น้ำตาลและหมู่เอซิล โดยแอนโทซยานิดินประกอบด้วยคาร์บอน 15 ตัว (C6-C3-C6) เรียกว่าอะไกลโคน (aglycone) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของ 2-ฟีนิลเบนโซไพริเลียม (2-phenylbenzopyrylium) หรือเกลือของฟลาเวียม (flavylium salt) [25] ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.7 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนิอิลเลียม ไอออน [26]

แอนโทซยานิดินที่พบมากในปัจจุบันมี 6 ชนิด ได้แก่ เพลาโกนิน (pelargonidin), ไชยานิดิน (cyanidin), พีโอนิน (peonidin), เดลฟินิดิน (delphinidin), มอลวิดิดิน (malvidin) และเพทูนิดีน (petunidin) ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยแอนโทซยานินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนการเกิดไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) การเกิดเมทิลเลชัน (methylation) การเกิดไกลโคซิเลชัน (glycosylation) และการเกิดอะคิเลชัน (acylation) ของอะลิฟาติก เช่น malonyl, acetyl และอะโรมาติก เช่น coumaroyl,

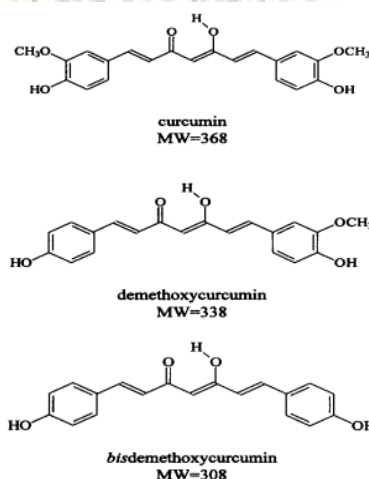
caffeoyl ที่วงอะโรมาติก B ทำให้เกิด bathochromic shift และ hypsochromic shift ส่งผลให้แอนโทซยานินแต่ละชนิดมีการดูดกลืนพลังงานที่ความยาวคลื่นต่างกันและปรากฏสีที่แตกต่างกัน [27]



รูปที่ 1.8 แอนโทซยานินหลัก 6 ชนิดที่พบในธรรมชาติ [28]

### 1.2.8 ขมิ้นชัน (Turmeric)

ขมิ้นชันมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *TURMERIC CURCUMA LONGA LINN.* อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีหัวใต้ดินแตกแขนงหัวจำนวนมาก เนื้อในหัวเป็นสีเหลืองอมส้ม เหง้าขมิ้นชันประกอบด้วยสารสำคัญ 2 กลุ่ม คือ curcuminoids ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่ให้สีเหลือง มีอยู่ประมาณ 1.8-5.4% ประกอบด้วย curcumin, demethoxycurcumin และ bisdemethoxycurcumin และสารสำคัญอีกกลุ่มหนึ่งคือ น้ำมันหอมระเหยสีเหลืองอ่อน ซึ่งมีประมาณ 2-6% ประกอบด้วย monoterpenes และ sesquiterpenes เช่น turmerone, zingerberene, curcumene, borneol [29]



รูปที่ 1.9 โครงสร้างของเคอร์คูมินอยด์ [30]

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างแคปซูลแอลจิเน็ต ที่มีส่วนประกอบของเซอีนและแบคทีเรียลเชลลูโลสในการกักเก็บน้ำมันรำข้าว
2. สกัดสีจากสมุนไพร ได้แก่ ขมิ้นชัน อัญชัน และศึกษาการลำดับการผสมกับสารละลายแอลจิเน็ตในการเตรียมแคปซูลแอลจิเน็ต
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลแอลจิเน็ตที่เตรียมได้
4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อผสมในสารละลายแอลจิเน็ต แบบที่เรียวและเซอีนในรูปแบบแผ่นฟิล์ม

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แคปซูลแอลจิเน็ตที่มีการปรับปรุงส่วนของเปลือกให้แข็งแรงและผสมสีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ



## บทที่ 2

### วิธีการทดลอง

#### 2.1 สารเคมีและเครื่องมือที่สำคัญ

- โซเดียมอัลจิเนต จากบริษัททริเปิลไนน์ โซลูชัน
- แบคทีเรียเซลลูโลสแห้งแบบพรีซดรายป่น เตรียมจากแบคทีเรียเซลลูโลสแห้งที่ไม่มีน้ำตาล
- กลีเซอรอลจากบริษัท QRëC จำกัด
- แคลเซียมคลอไรด์จากบริษัทคาร์โล เออร์บา
- เซอีนจากบริษัทชิกมา
- ผงขมิ้นชัน ความบริสุทธิ์ 95% จากบริษัทเวลล์เทค ไบโอเทค
- ดอกอัญชันอบแห้งจากร้านเจ้ากรมเปือ ตลาดสำเพ็ง
- เครื่องปั๊มสาร จากบริษัท LongerPump จำกัด รุ่น LSP01-1A
- หัวหยดปิดแบบสองชั้น
- น้ำมันรำข้าวยี่ห้อคิง
- เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล จากบริษัท Wenzhou Weidu Electronics
- ดิจิตอลคาลิปเปอร์ จากบริษัท ponpe

#### 2.2 การเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose)

แบคทีเรียเซลลูโลสเตรียมจากวุ้นมะพร้าว (ไม่มีน้ำตาล) โดยนำวุ้นมะพร้าว 1 กิโลกรัม ต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดแบคทีเรียและโปรตีน ปรับพีเอชของแบคทีเรียเซลลูโลสด้วยกรดแอสติคความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีพีเอชเป็นกลาง นำแบคทีเรียเซลลูโลสมาปั่นให้ละเอียด จากนั้นทำให้แห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งเยือกแข็งแบบสุญญากาศ (freeze dry)

### 2.3 การเลือกตัวทำละลายสำหรับการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

ศึกษาชนิดของตัวทำละลายเพื่อใช้ในการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันแห้ง (ไม่มีช่อดอก) ได้แก่ เมทานอล เอทานอลและน้ำ โดยใช้ดอกอัญชันแห้ง 15 กรัม แช่ในตัวทำละลาย 80 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 วัน กรองและสังเกตสีของสารละลายที่ได้ว่าตัวทำละลายใดให้สีแอนโทไซยานินได้ดีกว่า เพื่อเลือกใช้ในการเตรียมสารสกัดแอนโทไซยานินต่อไป

### 2.4 การเตรียมแคปซูลแอลจินเตบรจุน้ำมันรำข้าว

แคปซูลแอลจินเต ประกอบด้วยส่วนเปลือกและสารที่ถูกบรรจุไว้ภายใน เตรียมด้วยเครื่องมือที่มีการออกแบบ โดยหน่วยวิจัยของ ผศ.ดร.พัฒนพร อธิพิบูลย์เดช และอยู่ระหว่างการยื่นจดอนุสิทธิบัตร จึงไม่สามารถเปิดเผยได้ ในส่วนเปลือกของแคปซูลแอลจินเต จะประกอบด้วยสารละลายแอลจินเตเป็นหลัก ซึ่งสามารถเกิดการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออนได้ โดยสารละลายแอลจินเตนี้สามารถผสมกับสารอื่นเพิ่มเติมได้เพื่อปรับปรุงเปลือกแคปซูลให้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพตามที่ต้องการ

ในงานวิจัยนี้ นำแคปซูลแอลจินเตที่ได้หลังจากการหยด แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 10 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นำแคปซูลที่ได้ของแต่ละสูตรมาแบ่งเป็น 3 ชุด อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

#### 2.4.1 การศึกษาปริมาณแบคทีเรียลเซลล์ูโลสและกลีเซอรอลในการเตรียมแคปซูลแอลจินเต

เตรียมสารละลายผสมสำหรับการเตรียมเปลือกแคปซูล โดยใช้สารละลายแอลจินเตความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $A_1$ ) จากนั้นเติมแบคทีเรียลเซลล์ูโลสแห้ง (B) ปั่นสารละลายให้เป็นเนื้อเดียว ทำการกำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องความถี่สูง (sonicator) เป็นเวลา 10 นาที (ไม่สามารถกำจัดฟองออกได้หมดแม้ว่าจะใช้เวลาานกว่านี้) จากนั้นเติมกลีเซอรอล (G) และกวนเบา ๆ ให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสแห้งและกลีเซอรอลแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ความเข้มข้นของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสแห้งและกลีเซอรอลต่าง ๆ ในการเตรียมสารละลายผสมสำหรับการเตรียมเปลือกแคปซูลแอลจินเต

สูตร	ความเข้มข้นของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสแห้ง (% w/v)	ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (% w/v)
$B_{0.1}A_1G_{15}$	0.1	15
$B_{0.1}A_1G_{20}$	0.1	20
$B_{0.2}A_1G_{15}$	0.2	15
$B_{0.2}A_1G_{20}$	0.2	20

นำสารละลายแอลจินตผสมแต่ละสูตรนี้ เตรียมเป็นแคปซูลแอลจินต โดยบรรจุน้ำมันรำข้าวไว้ภายใน ทำการศึกษาอัตราเร็วในการหดยดสารละลายแอลจินตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและลักษณะพื้นผิวของแคปซูลที่ได้

#### 2.4.2 การศึกษาการผสมเซอีน (zein) ในสารละลายแอลจินต

ในเบื้องต้นได้ปรับปรุงการเตรียมสารละลายแอลจินตผสมให้มีฟองน้อยลง โดยพบว่าการปั่นแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้งให้กระจายตัวได้ดีในน้ำก่อนนำไปละลายแอลจินต จะเกิดฟองอากาศน้อยกว่าการเตรียมแบบในหัวข้อ 2.4.1 ดังนั้นในการผสมเซอีนในสารละลายแอลจินตจึงขอใช้วิธีการที่ปรับปรุงนี้

ทำการเตรียมสารละลายเซอีน 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายน้ำผสมเอทานอลอัตราส่วน 1:4 เพื่อผสมในสารละลายแอลจินตผสมต่อไป โดยเตรียมแคปซูลแอลจินต 3 สูตรด้วยกัน คือ  $B_{0.1}A_1G_{20}$ ,  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  และ  $A_1G_{20}Z_{0.5}$  โดยแต่ละสูตรมีวิธีการเตรียมดังนี้

**สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}$**  ปั่นแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน 98 มิลลิลิตร ที่ระดับความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที พักเครื่องเป็นเวลา 2 นาที แล้วปั่นต่อด้วยระดับความเร็วสูงสุด 3 นาที ตามด้วยความเร็วปานกลาง 3 นาที จากนั้นใส่แอลจินต 1.0 กรัมและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเพื่อละลายแอลจินต กวนสารละลายเป็นเวลา 45 นาที จนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน กำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที (ยังคงมีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่เล็กน้อย) จากนั้นเติมกลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร กวนเบา ๆ ให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

**สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$**  เตรียมเช่นเดียวกับสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}$  แต่เติมสารละลายเซอีนความเข้มข้น 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในสารละลายแอลจินต กวนให้เข้ากันก่อนนำไปกำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องความถี่สูง

**สูตร  $A_1G_{20}Z_{0.5}$**  เตรียมเช่นเดียวกับสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  แต่ไม่เติมแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้ง

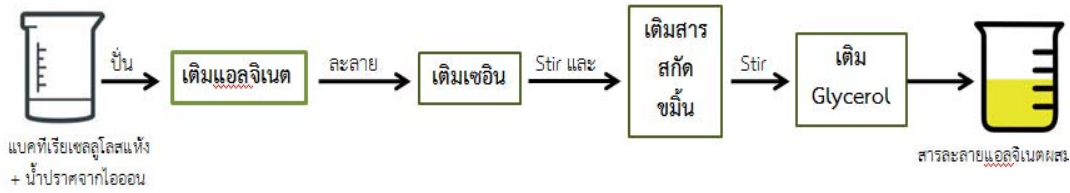
นำสารละลายแอลจินตผสมแต่ละสูตรเตรียมเป็นแคปซูลแอลจินต โดยบรรจุน้ำมันรำข้าวไว้ภายใน ทำการศึกษาอัตราเร็วในการหดยดสารละลายแอลจินตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและลักษณะพื้นผิวของแคปซูลที่ได้

#### 2.4.3 การศึกษาการผสมสีจากธรรมชาติในสารละลายแอลจินต

##### 2.4.3.1 การผสมสารสกัดขมิ้นในสารละลายแอลจินต

ได้ผสมสารสกัดขมิ้นในสารละลายแอลจินตด้วยวิธีเดียวกับสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ในหัวข้อ 2.4.2 แต่ทำการละลายแอลจินตที่อุณหภูมิห้องและใส่สารสกัดขมิ้นจำนวน 40 มิลลิกรัม ก่อนเติมกลีเซอรอล จากนั้นนำสารละลายนี้เตรียมเป็นแคปซูลแอลจินต โดยบรรจุน้ำมันรำข้าวไว้ภายใน ทำการศึกษาอัตราเร็วในการหดยดสารละลายแอลจินตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ขนาดของแคปซูล ความหนาของเปลือกแคปซูล แอลจินตแห้ง ลักษณะพื้นผิวของแคปซูล และความหนาของเปลือกแคปซูลแอลจินตแห้ง ดังรูปที่ 2.1





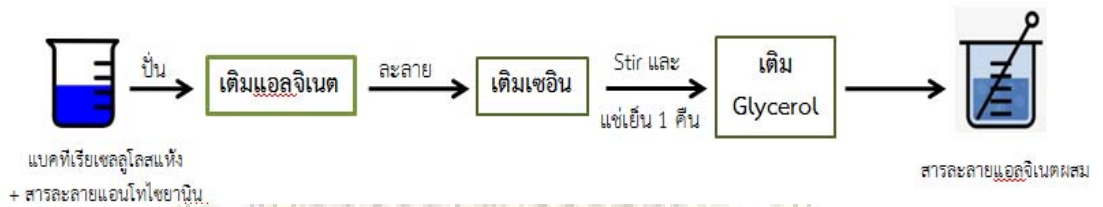
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจิเนตผสมสารสกัดไขมันชั้น

ในการวัดความหนาของเปลือกแคปซูล นำเม็ดแคปซูลแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน มาผ่าตัดขวาง ซึ่งน้ำมันรำข้าวที่บรรจุภายในจะอ่อนตัวและไหลออกไปเหลือแต่ส่วนเปลือก นำส่วนเปลือกมากดบนแผ่นกระเบื้อง แล้วทำการวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล

2.4.3.2 การผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันในสารละลายแอลจิเนต

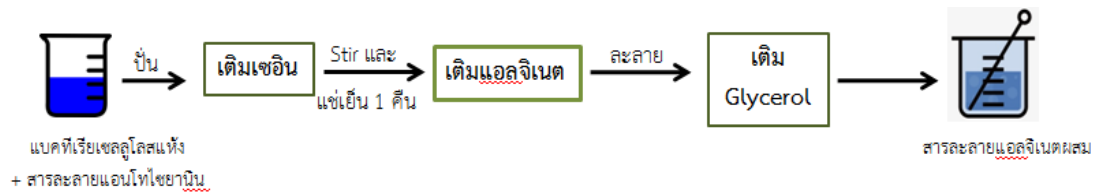
ได้ศึกษาการผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันในสารละลายแอลจิเนต 2 วิธี ดังนี้

**วิธีที่ 1** สกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันน้ำหนัก 7.8 กรัมด้วยน้ำ 98 มิลลิลิตร โดยแช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ทำการกรอง จากนั้นนำไปปั่นกับเบคทีเรียเซลลูโลสแห้ง 0.1 กรัม เติมแอลจิเนต 1 กรัม ละลายแอลจิเนตโดยการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที เติมสารละลายเซอีน 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แช่ในตู้เย็น 1 คืน แล้วนำไปกำจัดฟองอากาศอีกครั้ง เติมกลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร กวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจิเนตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1

**วิธีที่ 2** ใช้ปริมาณสารเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่เปลี่ยนลำดับการเตรียมเป็นดังนี้ ปั่นเบคทีเรียเซลลูโลสแห้งกับสารละลายแอนโทไซยานิน จากนั้นเติมสารละลายเซอีน แล้วแช่ในตู้เย็น 1 คืน เติมแอลจิเนต ทำการละลายโดยการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที เติมกลีเซอรอล 20 มิลลิลิตร กวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแม่เหล็ก ดังรูป 2.3



### รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจีเนตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 2

นำสารละลายแอลจีเนตผสมแต่ละสูตรเตรียมเป็นแคปซูลแอลจีเนต โดยบรรจุน้ำมันรำข้าวไว้ภายใน ทำการศึกษาอัตราเร็วในการหดยาสารละลายแอลจีเนตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ขนาดของแคปซูล ลักษณะพื้นผิวของแคปซูล และความหนาของเปลือกแคปซูลแอลจีเนตแห้ง

#### 2.5 คำนวณประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล (effective efficiency, %EE)

คำนวณหาประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจีเนต ในการหดยา 1 นาทีและนับจำนวนเม็ด แคปซูลที่สมบูรณ์ก่อนอบและหลังอบ โดยใช้สูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล} = \frac{S_f}{S_{tt}} \times 100\%$$

$S_f$  = จำนวนแคปซูลแอลจีเนตสมบูรณ์หลังอบ

$S_{tt}$  = จำนวนแคปซูลแอลจีเนตสมบูรณ์ก่อนอบ

#### 2.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีจากพืชด้วยการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มแอลจีเนต

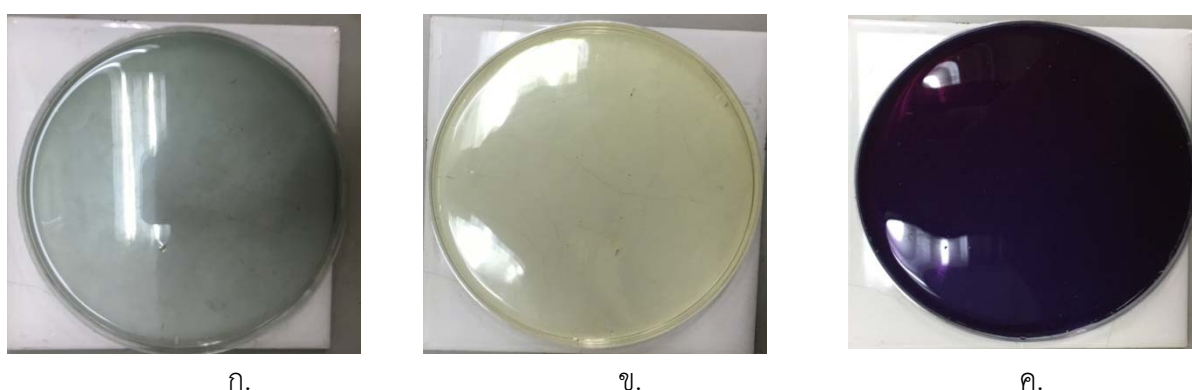
ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มแอลจีเนต โดยนำสารละลายที่เตรียมได้ในหัวข้อ 2.4.3.1 และ 2.4.3.2 วิธีที่ 1 ซึ่งเป็นสารละลายผสมสารสกัดขมิ้นและแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน มาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์ม ดังนี้ แผ่นฟิล์มแอลจีเนต สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ผสมสารสกัดขมิ้น (cur-z film) แผ่นฟิล์มแอลจีเนต สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน (antho-z film) และแผ่นฟิล์มควบคุม 2 แบบคือ แผ่นฟิล์มที่ใส่สีจากสารสกัดขมิ้นแต่ไม่ใส่เซอีน (cur film) แอนโทไซยานินจากอัญชันแต่ไม่ใส่เซอีน (antho film) โดยนำสารละลายแอลจีเนตผสมแต่ละสูตร 20 มิลลิลิตร มาเทลงในเพลทแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.8 นิ้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติมน้ำประปาความเข้มข้น 2% และแช่ทิ้งไว้ 10 นาที เติมน้ำประปาความเข้มข้น 2% ส่วนเกินออก ล้างแผ่นฟิล์มด้วยน้ำปราศจากไอออน 1 ครั้ง จากนั้นนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 6 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลทแก้ว นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปวัดความหนาโดยใช้เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล และพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) จากนั้นนำฟิล์มวางไว้ให้โดนแสงธรรมชาติในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มเทียบกับแผ่นฟิล์มควบคุม 2 ทั้งแบบคือ โดยใช้ค่า red-green-blue (RGB) ด้วยโปรแกรมโฟโตชอป CS5

### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

##### 3.1 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายในการสกัดแอนโทไซยานินจากอัญชัน

ศึกษาชนิดของตัวทำละลายเพื่อใช้ในการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันแห้ง (ไม่มีช่อดอก) ได้แก่ เมทานอล เอทานอลและน้ำ แช่ในตัวทำละลายเป็นเวลา 2 วัน กรองและสังเกตสีของสารละลาย พบว่า สารละลายอัญชันที่ได้จากการสกัดด้วยเมทานอล เอทานอลและน้ำ ได้สารละลายสีน้ำเงินจาง สีเหลือง และสีน้ำเงินเข้ม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สีของสารละลายที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ก.เมทานอล ข.เอทานอล และ ค.น้ำ จากดอกอัญชันแห้ง

เนื่องด้วยน้ำสามารถสกัดสีแอนโทไซยานินได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพื่อสกัดสีจากดอกอัญชันสำหรับการทดลองต่อไป

##### 3.2 ผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียเซลล์ลูโลสและกลีเซอรอลในการเตรียมแคปซูลแอลจินेट

ได้เตรียมสารละลายแอลจินेट 4 สูตร ได้แก่  $B_{0.1}A_1G_{15}$ ,  $B_{0.1}A_1G_{20}$ ,  $B_{0.2}A_1G_{15}$ ,  $B_{0.2}A_1G_{20}$  ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.1 เพื่อศึกษาผลของปริมาณแบคทีเรียเซลล์ลูโลสแห้งและกลีเซอรอลต่อค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและลักษณะพื้นผิวของแคปซูล ผู้วิจัยได้ปรับอัตราเร็วในการหยดสารละลายแอลจินेटผสมและน้ำมันรำข้าวให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด และคำนวณค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.1

ทุกสูตรใช้อัตราเร็วการหยดของน้ำมันรำข้าวเท่ากัน คือ 3 มล./นาที ถ้าใช้อัตราเร็วกว่านี้จะทำให้น้ำมันไหลออกมาไม่เป็นหยด แต่ถ้าน้อยกว่านี้จะทำให้ใช้เวลาในการหยดนาน เมื่อได้อัตราเร็วการหยดของน้ำมันรำข้าวที่เหมาะสมแล้ว จึงมาปรับอัตราเร็วการหยดของสารละลายแอลจินेटผสมต่อไป

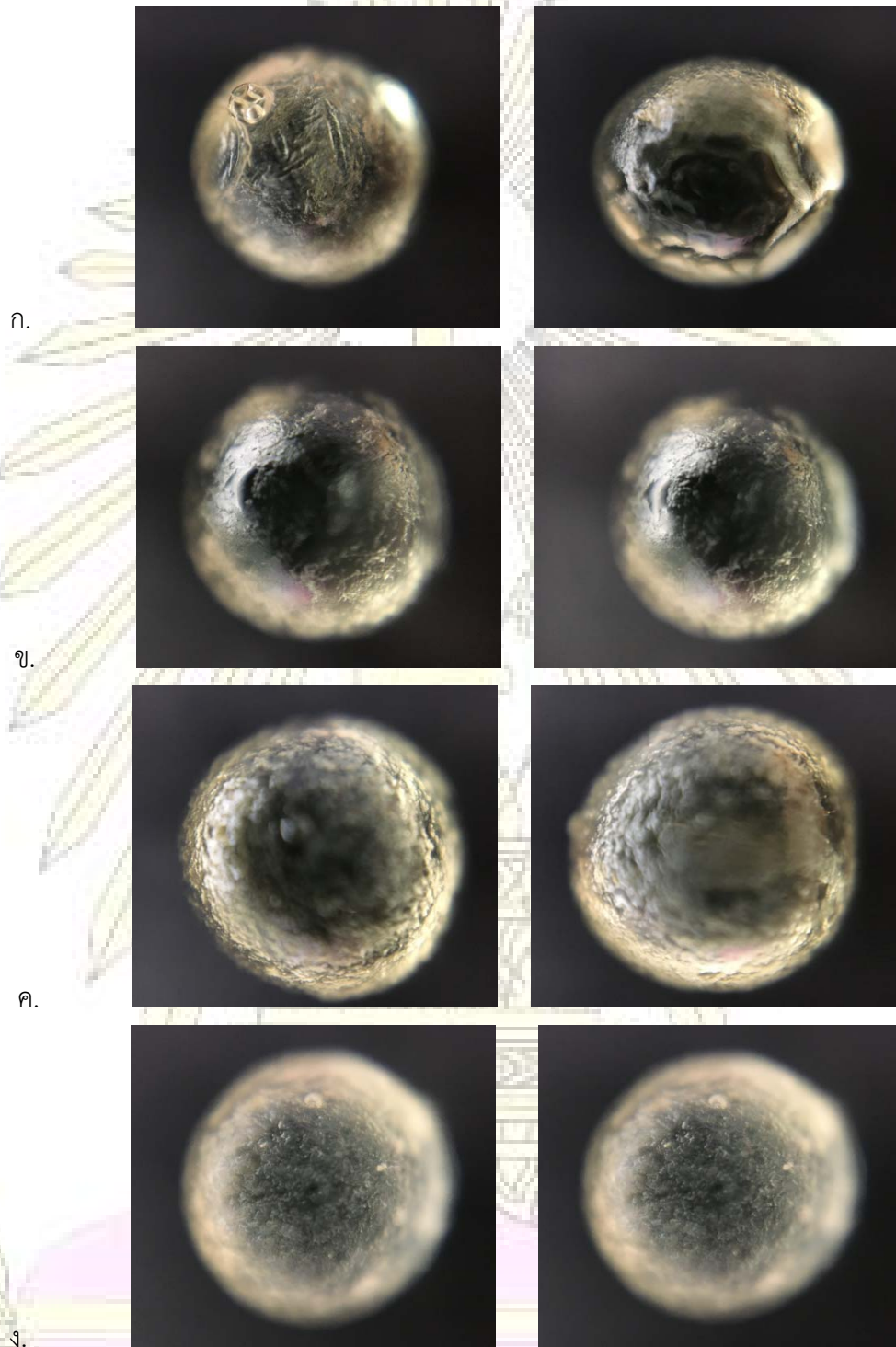
จากตารางที่ 3.1 พบว่า ปริมาณกลีเซอรอล 15 และ 20% ไม่ส่งผลต่ออัตราเร็วการหด กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเปลือกแคปซูล แต่ไม่ส่งผลต่อความหนืดของสารละลายแอลจินเตผสม สำหรับปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งพบว่ามีผลอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งมากขึ้น ใช้อัตราเร็วการหดน้อยลง ซึ่งในความเป็นจริงเมื่อปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากโครงสร้างแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งมีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่ออยู่ในสารละลายแอลจินเต พันธะไฮโดรเจนของแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งจะดูดน้ำจากสารละลายแอลจินเต ส่งผลให้สารละลายแอลจินเตมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมสารละลายแอลจินเตผสมแต่ละสูตรในเวลาใกล้เคียงกัน แต่ทำการหดเตรียมแคปซูลแอลจินเต สูตร  $B_{0.2}A_1G_{15}$  และ  $B_{0.2}A_1G_{20}$  ก่อนสูตร  $B_{0.1}A_1G_{15}$  และ  $B_{0.1}A_1G_{20}$  ทำให้ความหนืดของสารละลายแอลจินเตผสม  $B_{0.1}$  มีความหนืดมากกว่า  $B_{0.2}$  เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ผู้วิจัยเลือกใช้ สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}$  ในการทดลองต่อไป เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูงใกล้เคียงกับสูตร  $B_{0.2}A_1G_{20}$  แต่ใช้ปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งน้อยกว่า

ตารางที่ 3.1 อัตราเร็วในการหยดน้ำมันรำข้าวและสารละลายแอลจินเตผสม และค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจินเตสูตรต่าง ๆ

สูตร	อัตราเร็วของน้ำมันรำข้าว (มล./นาที)	อัตราเร็วในการหดสารละลายแอลจินเตผสม (มล./นาที)	ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล (%)
$B_{0.1}A_1G_{15}$	3	17	$91.52 \pm 1.60$
$B_{0.1}A_1G_{20}$	3	17	$92.03 \pm 3.30$
$B_{0.2}A_1G_{15}$	3	8	$84.87 \pm 1.68$
$B_{0.2}A_1G_{20}$	3	8	$92.97 \pm 0.73$

จากภาพถ่ายพื้นผิวของแคปซูลแอลจินเตแห่ง ด้วยเลนส์กำลังขยาย 40 เท่า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.2 พบว่าผิวของแคปซูลมีความขรุขระจากการกระจายตัวของแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งไม่สม่ำเสมอ อาจเป็นผลมาจากการใส่แบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งในสารละลายแอลจินเตซึ่งมีความหนืด ทำให้ไม่สามารถปั่นให้เส้นใยเซลลูโลสกระจายตัวได้ดีหรือใช้เวลาในการปั่นไม่พอ นอกจากนี้ยังพบฟองอากาศขนาดเล็กบนพื้นผิวของเปลือกแคปซูลด้วย

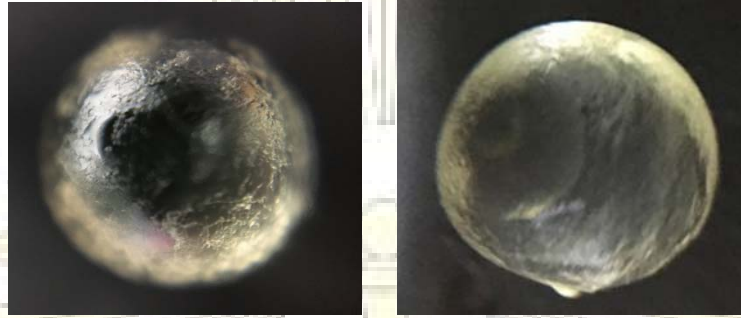
ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงลำดับการเตรียมสารละลายแอลจินเตผสม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยเลือกสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}$  ในการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูงใกล้เคียงกับสูตร  $B_{0.2}A_1G_{20}$  แต่ใช้ปริมาณแบคทีเรียลเซลลูโลสแห่งน้อยกว่า



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายพื้นผิว 2 ภาพในบริเวณที่ต่างกันของแคปซูลแอลจินเนตสูตร

ก.  $B_{0.1}A_1G_{15}$  ข.  $B_{0.1}A_1G_{20}$  ค.  $B_{0.2}A_1G_{15}$  ง.  $B_{0.2}A_1G_{20}$

ทำการปั่นแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้งให้กระจายตัวได้ดีในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นจึงเติมแอลจินเต และละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมหีสเซอร์อล ซึ่งจะพบฟองอากาศอยู่ในสารละลายน้อยกว่าวิธีเดิม และเมื่อนำไปเตรียมเป็นแคปซูล หลังอบแห้งจะได้ดังรูปที่ 3.3



ก.

ข.

รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินเต เมื่อเตรียมโดย

ก. ละลายแอลจินเตก่อนใส่แบบที่เรียลเซลลูโลสแห้ง และ ข. ปั่นแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้งก่อนละลายแอลจินเต

### 3.3 ผลการศึกษาการผสมเซอิน (zein) ในสารละลายแอลจินเต

ได้เตรียมสารละลายแอลจินเต 3 สูตร ได้แก่  $B_{0.1}A_1G_{20}$ ,  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  และ  $A_1G_{20}Z_{0.5}$  ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.2 เพื่อศึกษาผลการผสมเซอินต่อค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและลักษณะพื้นผิวของแคปซูล ผู้วิจัยได้ปรับอัตราเร็วในการหยดสารละลายแอลจินเตผสมและน้ำมันรำข้าวให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด และคำนวณค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.2

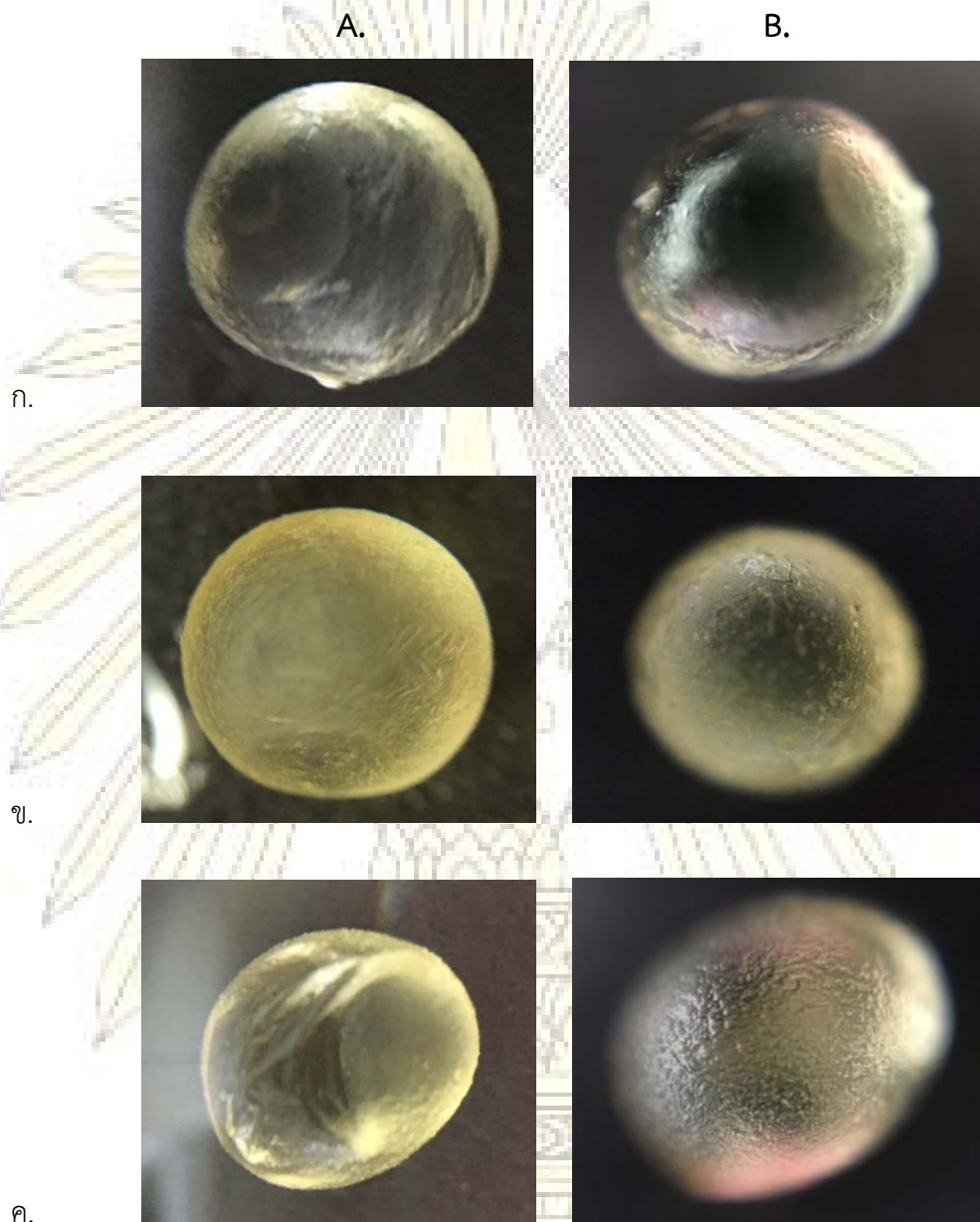
ทุกสูตรใช้อัตราเร็วการหยดของน้ำมันรำข้าวเท่ากัน คือ 3 มล./นาที่ จากนั้นปรับอัตราเร็วการหยดของสารละลายแอลจินเตผสม ได้ผลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราเร็วในการหยดน้ำมันรำข้าวและสารละลายแอลจินเตผสม และค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจินเตสูตรต่าง ๆ

สูตร	อัตราเร็วของน้ำมันรำข้าว (มล./นาที่)	อัตราเร็วในการหยดสารละลาย แอลจินเตผสม (มล./นาที่)	ประสิทธิภาพการ เตรียมแคปซูล (%)
$B_{0.1}A_1G_{20}$	3	10	$93.78 \pm 2.25$
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$	3	6.5	$95.27 \pm 2.10$
$A_1G_{20}Z_{0.5}$	3	5	$81.82 \pm 3.13$

จะเห็นได้ว่าสารละลายแอลจินเตผสมที่มีเซอิน มีเอทานอลที่ใช้ในการละลายเซอินผสมอยู่ด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายแอลจินเตลดลง ทำให้อัตราเร็วในการหยดลดลงด้วย นอกจากนี้แคปซูลแอลจินเตที่ไม่มีส่วนผสมของแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้งจะมีประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลต่ำลง แสดงให้เห็นว่าแบบที่เรียลเซลลูโลสแห้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแคปซูลไม่ให้เห็นในระหว่างการอบ ส่วนเซอินไม่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลอย่างมีนัยสำคัญ

ภาพถ่ายพื้นผิวของแคปซูลทั้ง 3 แบบแสดงในรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าแคปซูลที่มีส่วนผสมของเซอินจะมีสีเหลืองอ่อนและแคปซูลที่ไม่มีแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้งจะมีรูปร่างบิดเบี้ยวไปจากทรงกลม



รูปที่ 3.4 ลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินเนตหลังอบ สูตร ก.  $B_{0.1}A_1G_{20}$  ข.  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  และ ค.  $A_1G_{20}Z_{0.5}$  ที่ถ่ายด้วยเลนส์กำลังขยาย A. 15 เท่า และ B. 40 เท่า

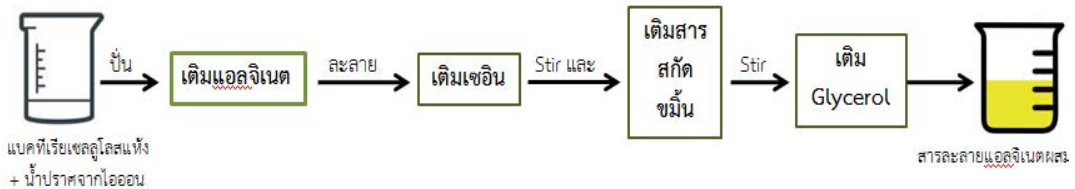
ดังนั้นแคปซูลแอลจินเนตสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  จึงเหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปพัฒนาต่อ โดยการเติมสีจากสารสกัดธรรมชาติ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลคือ 95.27% เม็ดมีลักษณะกลม แข็งแรง ไม่เปราะและเม็ดไม่แตกง่าย

### 3.4 ศึกษาการผสมสีจากธรรมชาติในสารละลายแอลจินเตผสม

#### 3.4.1 แคปซูลแอลจินเตผสมสารสกัดขมิ้น

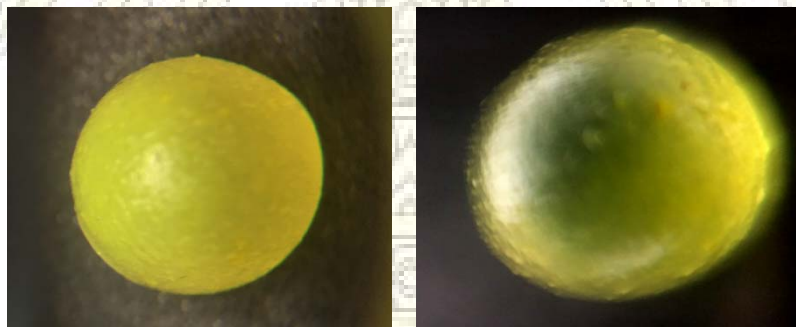
ได้ผสมสารสกัดขมิ้นในสารละลายแอลจินเตด้วยวิธีเดียวกับสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ในหัวข้อ 2.4.2 ดังรูป

3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินเตผสมสารสกัดขมิ้นชั้น

โดยทำการละลายแอลจินเตที่อุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันการเสียสภาพของสารสกัดขมิ้นต่อความร้อน อัตราเร็วของน้ำมันรำข้าวและสารละลายแอลจินเตผสมสำหรับเตรียมแคปซูลเท่ากับ 3 และ 6.5 มล./นาที่ ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับสูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ในหัวข้อ 2.4.2 เนื่องจากสารสกัดขมิ้นที่เติมลงไป 40 มิลลิกรัม ไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายแอลจินเตผสม ได้ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล เท่ากับ  $96.43 \pm 3.57\%$



รูปที่ 3.6 ลักษณะพื้นผิวของแคปซูลแอลจินเตผสมสารสกัดขมิ้นชั้น ถ่ายด้วยเลนส์กำลังขยาย 15 (ซ้าย) และ 40 (ขวา) เท่า ตามลำดับ

จากรูป 3.6 เป็นภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแคปซูลที่ผสมสารสกัดขมิ้น พบการกระจายตัวของแคปซูลที่เรียลเซลล์โลสแห้งอยู่ทั่วไป สีของสารสกัดขมิ้นกระจายตัวได้ทั่วทั้งแคปซูล แคปซูลเป็นเม็ดทรงกลมสมบูรณ์ มีขนาดและความหนาของแคปซูลแอลจินเตแห้ง แสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งจะพบว่ามีความใกล้เคียงกับแคปซูลที่ไม่ได้ผสมสารสกัดขมิ้น



ตารางที่ 3.3 ขนาดและความหนาของแคปซูลแอลจินเตแห้ง

สูตร	ขนาดของแคปซูล (มิลลิเมตร)	ความหนาของเปลือกแคปซูล (มิลลิเมตร)
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$	$4.36 \pm 0.05$	$0.45 \pm 0.02$
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$ ผสมสารสกัดขมิ้นชัน	$4.37 \pm 0.08$	$0.46 \pm 0.02$

### 3.4.2 แคปซูลแอลจินเตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

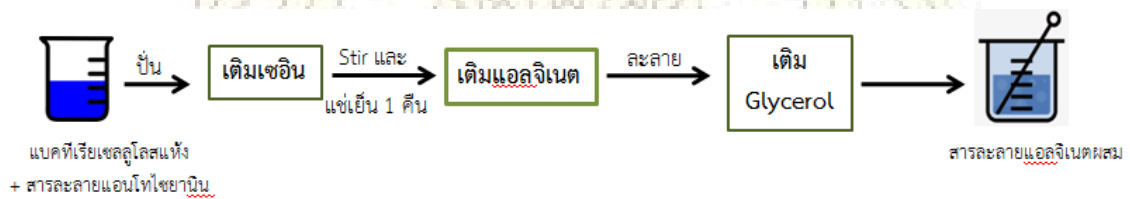
แอนโทไซยานินเป็นสีธรรมชาติที่ละลายได้ดีในน้ำ แตกต่างจากสีสารสกัดขมิ้นที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงได้ศึกษาขั้นตอนการผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันในสารละลายแอลจินเต 2 วิธีต่างกัน ดังนี้

#### วิธีที่ 1



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินเตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1

#### วิธีที่ 2









รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลจินเตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 2

ใช้อัตราเร็วในการหยดของน้ำมันรำข้าวเท่ากับ 3 มล./นาที แต่ใช้อัตราเร็วในการหยดสารละลายแอลจินเตผสมต่างกัน ได้ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ความหนาของเปลือกและขนาดของแคปซูลแอลจินเตแห้ง ลักษณะพื้นผิวของแคปซูล ได้ผลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราเร็วในการหยดของสารละลายแอลจินเตผสม ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล ขนาดและความหนาของเปลือกแคปซูล วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

สูตร	อัตราเร็วในการหยดสารละลายแอลจินเตผสม (มล./นาที)	ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล (%)	ขนาดของแคปซูล(มม.)	ความหนาของเปลือกแคปซูล (มม.)
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$	6.5	$95.27 \pm 2.10$	$4.36 \pm 0.05$	$0.45 \pm 0.02$
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$ ผสมสีัญชั้น วิธีที่ 1	6.5	$92.96 \pm 1.95$	$4.36 \pm 0.03$	$0.46 \pm 0.01$
$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$ ผสมสีัญชั้น วิธีที่ 2	4	$86.65 \pm 4.79$	$4.36 \pm 0.06$	$0.45 \pm 0.01$

ตารางที่ 3.5 ลักษณะแคปซูลแอลจินเตก่อนและหลังอบด้วยวิธีที่ 1 และ 2

$B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$ + อัลจิน	ก่อนอบ	หลังอบ	ภาพถ่ายแคปซูล หลังอบ*
วิธีที่ 1			
วิธีที่ 2			

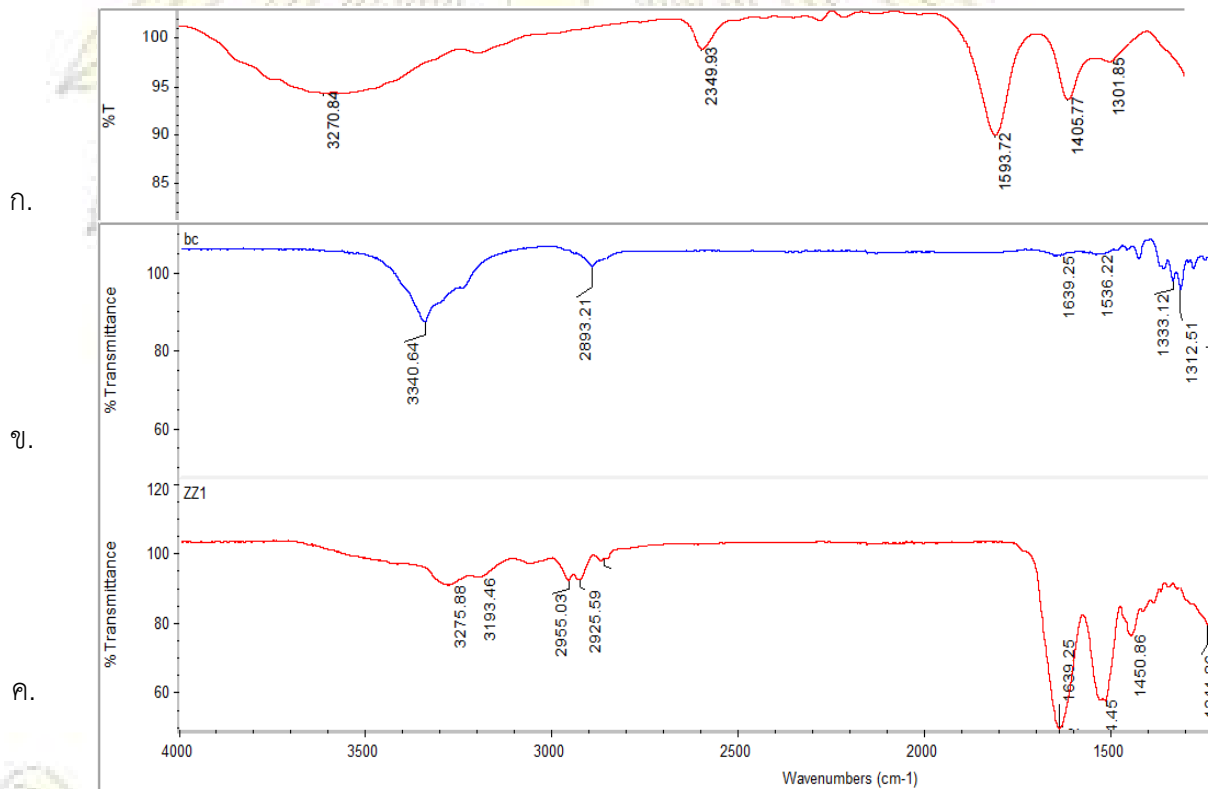
\*ด้วยเลนส์กำลังขยาย 15 เท่า

เมื่อพิจารณาอัตราเร็วในการหดยเป็นแคปซูลของสารละลายแอลจินเต พบว่าสารละลายแอลจินเตวิธีที่ 2 ใช้อัตราเร็วการหดยต่ำกว่าวิธีที่ 1 อันเนื่องมาจากความหนืดที่น้อยกว่า ผู้วิจัยคาดว่าในการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 แอลจินเตซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันสำคัญคือคาร์บอกซิเลต ( $-COO^-$ ) และเซอีนมีหมู่ฟังก์ชันสำคัญคือหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ ทำให้มีสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นและสามารถกักเก็บสีแอนโทไซยานินซึ่งละลายน้ำได้ดีไว้ในโครงร่างแหระหว่างแอลจินเตและเซอีน แต่ในวิธีที่ 2 แอลจินเตและเซอีนยังไม่ได้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้สมบูรณ์ก่อนที่จะหดย จึงมีความหนืดน้อยกว่า และยังสังเกตเห็นจากสีของแคปซูลหลังอบด้วยวิธีที่ 1 จะมีการกระจายสีได้ทั่วกว่าวิธีที่ 2 ดังแสดงในรูปในตารางที่ 3.5 นอกจากนี้วิธีที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูงกว่าวิธีที่ 2 อีกด้วย

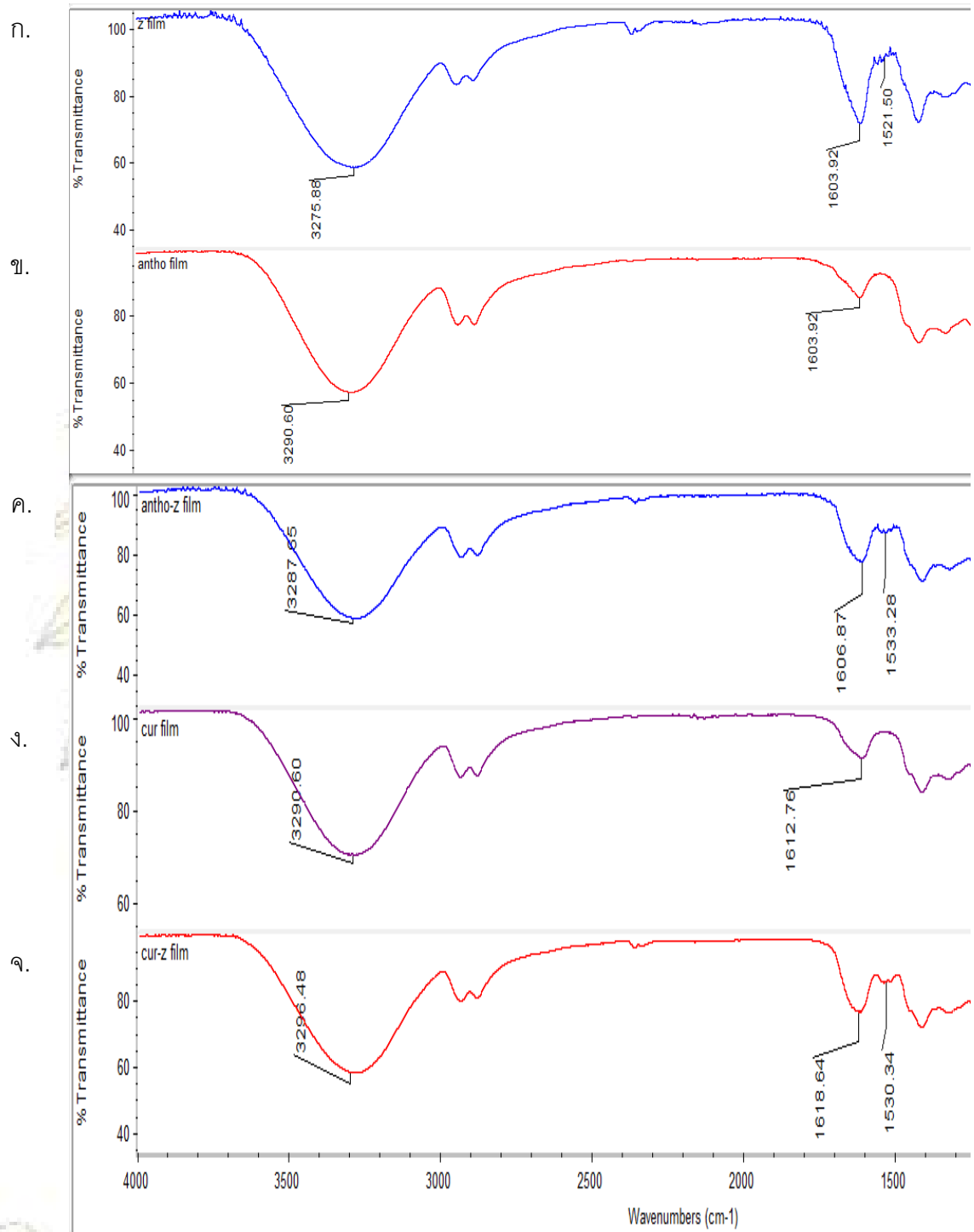
### 3.5 การตรวจหามุ่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มแอลจินेट ด้วยเทคนิค ฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR)

จากสเปกตรัม FTIR ของแอลจินेट (รูปที่ 3.8ก) พบพิคกว้างของการสั่นแบบยืดของ O-H (หมู่ไฮดรอกซิล) ที่ 3270 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) และพิคการสั่นแบบยืดของ C=O (หมู่คาร์บอกซิเลต) ที่ 1593 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง (รูปที่ 3.7ข) พบพิคกว้างของการสั่นแบบยืดของ O-H (หมู่ไฮดรอกซิล) ที่ 3340 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) เซอีน (รูปที่ 3.7ค) พบพิคการสั่นแบบยืดของ N-H (หมู่เอมีน) ที่ 3275 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) พิคการสั่นแบบยืดของ C=O (หมู่คาร์บอกซิเลต) ที่ 1639 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) และพิคการสั่นแบบงอของ N-H (หมู่เอมีน) ที่ 1504 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ )

สเปกตรัม FTIR ของแผ่นฟิล์มทั้ง 5 แบบ (รูปที่ 3.9) มีส่วนประกอบของแบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง และแอลจินेट พบพิคการสั่นแบบยืดของ O-H ที่ 3200 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) และแผ่นฟิล์มที่มีส่วนประกอบของเซอีน (รูปที่ 3.8ก, 3.8ค, 3.8จ) มีความเข้มสูงของพิค C=O ที่ประมาณ 1600 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ ) และพบพิคการสั่นแบบงอของ N-H (หมู่เอมีน) ที่ประมาณ 1530 ต่อเซนติเมตร ( $\text{cm}^{-1}$ )



รูปที่ 3.9 สเปกตรัม FTIR ของ ก. แอลจินेट ข. แบคทีเรียลเซลลูโลสแห้ง และ ค.เซอีน






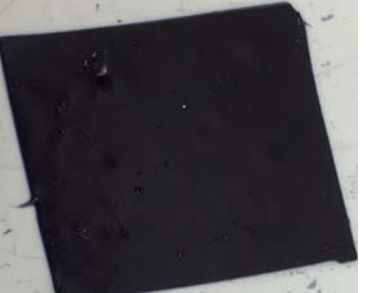




รูปที่ 3.10 สเปกตรัม FTIR ของ ก. z film ข. antho film ค. antho-z film  
ง. cur film และ จ. cur-z film

### 3.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มแอลจินेटที่ผสมสารสกัดขมิ้นและแอนโทไซยานิน

เตรียมแผ่นฟิล์มแอลจินेट สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ผสมสารสกัดขมิ้น (cur-z film) แผ่นฟิล์มแอลจินेट สูตร  $B_{0.1}A_1G_{20}Z_{0.5}$  ผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน (antho-z film) และแผ่นฟิล์มควบคุม 3 แบบคือ แผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่สีจากพืชแต่ใส่เซอีน (z film) และแผ่นฟิล์มที่ใส่สีจากสารสกัดขมิ้นแต่ไม่ใส่เซอีน (cur film) แอนโทไซยานินจากอัญชันแต่ไม่ใส่เซอีน (antho film) จากนั้นนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของฟิล์มแต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.8 โดยวางแผ่นฟิล์มให้โดนแสงธรรมชาติในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1 สัปดาห์ วัดการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยค่า red-green-blue (RGB) จากโปรแกรมโฟโตชอป CS5 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.9 และ 3.10

ตารางที่ 3.6 แสดงสีที่เปลี่ยนแปลงแผ่นฟิล์มแอลจินेट วันที่ 1 และวันที่ 7

ชนิดฟิล์มแอลจินेट	วันที่ 1	วันที่ 7
cur film		
cur-z film		
antho film		
antho-z film		

ตารางที่ 3.7 ค่า RGB ของแผ่นฟิล์มแอลจินเตผสมสารสกัดขมิ้นและแผ่นฟิล์มควบคุม

วัน	ค่าเฉลี่ย RGB ของ						ค่า Y ของ cur film*	ค่า Y ของ cur-z film*
	cur film			cur-z film				
	R	G	B	R	G	B		
1	166.2	141.6	47.2	166.6	132.4	28.2	0.87 ± 0.01	0.91 ± 0.01
2	167	140.6	43.2	164.8	132.4	23.4	0.88 ± 0.01	0.91 ± 0.00
3	171.8	142	40.6	184.6	148	25.2	0.89 ± 0.01	0.93 ± 0.01
4	149	121.6	32.4	150.4	123	18	0.89 ± 0.02	0.94 ± 0.02
5	166.2	129	28.6	160.6	132.4	28.4	0.91 ± 0.01	0.94 ± 0.02
6	170	133	31.2	154.6	122	19.6	0.89 ± 0.02	0.93 ± 0.01
7	175	135	30.5	155	124	21	0.91 ± 0.01	0.94 ± 0.01

\*Y คือค่าแสดงการเปลี่ยนแปลงสี คำนวณได้จากสูตร  $Y = \frac{R+G}{R+G+B}$

ตารางที่ 3.8 ค่า RGB ของแผ่นฟิล์มแอลจินเตผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันและแผ่นฟิล์มควบคุม

วัน	ค่า RGB ของ						ค่า Y ของ antho film*	ค่า Y ของ antho-z film*
	antho film			antho-z film				
	R	G	B	R	G	B		
1	14.8	13.4	16.6	13	12.6	13.2	0.70 ± 0.02	0.69 ± 0.04
2	15.8	14.6	17.6	13	11.4	12.6	0.70 ± 0.02	0.69 ± 0.01
3	16.8	14.6	19.6	12.4	12.2	13.6	0.72 ± 0.03	0.68 ± 0.01
4	14	12.6	17.8	11.6	12	15.2	0.72 ± 0.03	0.69 ± 0.04
5	10.2	9.6	13.6	12.4	12.4	15.4	0.71 ± 0.02	0.69 ± 0.01
6	11.4	9.4	14.8	9.2	8.4	10.4	0.73 ± 0.04	0.70 ± 0.04
7	12	9	16.5	10.5	9	13	0.72 ± 0.02	0.70 ± 0.00

\*Y คือค่าแสดงการเปลี่ยนแปลงสี คำนวณได้จากสูตร  $Y = \frac{R+B}{R+G+B}$

จากตารางที่ 3.8 และ 3.9 ได้บันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงของสีของแผ่นฟิล์มแต่ละชนิด หลังจากวางให้โดนแสงธรรมชาติในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1 สัปดาห์ คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสีแต่ละวัน พบว่าสีของแผ่นฟิล์มแต่ละชนิด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างมีนัยสำคัญ

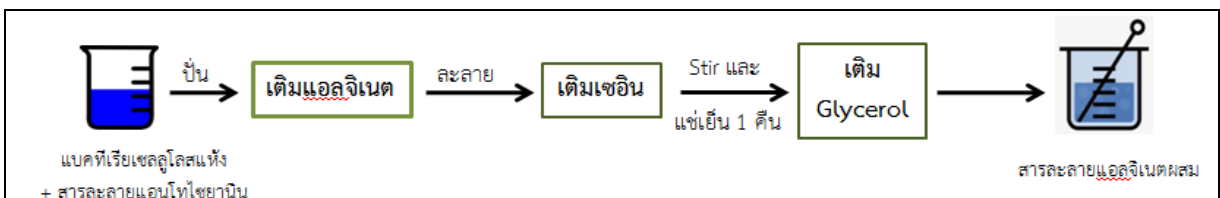
## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

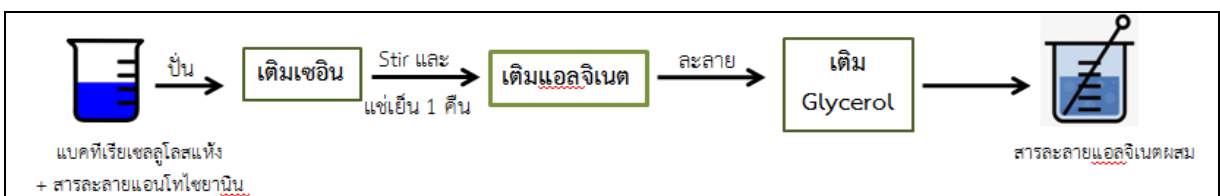
#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสแห้ง กลีเซอรอลและเซอิน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลแอลจินेट โดยใช้สารละลายแอลจินेटความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาณจากการทดลองพบว่าปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสแห้งและกลีเซอรอลที่เหมาะสมคือ 0.1 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปัญหาคือผิวแคปซูลขรุขระและพบฟองอากาศบนผิวแคปซูล ผู้วิจัยจึงปรับปรุงลำดับการเตรียมสารละลายแอลจินेटผสม โดยปั่นแบคทีเรียเซลลูโลสแห้งกับน้ำปราศจากไอออน ก่อนละลายแอลจินेट พบว่าสามารถลดปัญหาข้างต้นได้ และมีประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลเท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผสมเซอิน 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลเพิ่มขึ้นเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำแคปซูลไปพัฒนาต่อโดยการเติมสีจากสารสกัดธรรมชาติ พบว่าค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลผสมสารสกัดขมิ้นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1 (รูปที่ 4.1ก) เท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 2 (รูปที่ 4.1ข) ที่มีประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลเท่ากับ 86 เปอร์เซ็นต์ และสีของแคปซูลหลังอบด้วยวิธีที่ 1 มีการกระจายสีได้ทั่วกว่าวิธีที่ 2 จากการศึกษาลักษณะทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ยืนยันการพบแบคทีเรียเซลลูโลสแห้ง แอลจินेट และพบเซอินบนแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมดังกล่าว นอกจากนี้ได้เตรียมฟิล์มแอลจินेटผสมสารสกัดขมิ้นและฟิล์มแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันเพื่อศึกษาสีที่เปลี่ยนแปลงไปภายในเวลา 7 วัน พบว่าสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

#### ก. วิธีที่ 1



#### ข. วิธีที่ 2



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนเตรียมสารละลายแอลจินेटผสมแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน วิธีที่ 1 (ก) และวิธีที่ 2 (ข)



#### 4.2 งานที่ควรศึกษาต่อ

- เพิ่มระยะเวลาในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มแอลจินเตผสมนานขึ้น
- ศึกษาประสิทธิภาพในการปกป้องอนุมูลอิสระของสารสกัดขมิ้นชันและแอนโทไซยานินต่อน้ำมัน

รำข้าวที่บรรจุภายในแคปซูล



## บรรณานุกรม

1. Sellimia, S.; Younesa, I.; Ayeda, H. B.; Maaleja, H.; Monterob, V.; Rinaudoc, M.; Dahiad, M.; Mechichia, T.; Hajjia, M.; Nasri, M. Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International Journal of Biological Macromolecules*. **2015**, 72, 1358–1367.
2. Hammann, S.; Kröpfl, A.; Vetter, W. More than 170 polyunsaturated tocopherol-related compounds in a vitamin E capsule: Countercurrent chromatographic enrichment, gaschromatography/mass spectrometry analysis and preliminary identification of the potential artefacts. *Journal of Chromatography A*. **2016**, 1476, 77–87.
3. Zhang, Y.; Zhao, Q.; Wang, H.; Jiang, X.; Cha, R. Preparation of green and gelatin-free nanocrystalline cellulose capsules. *Carbohydrate Polymers*. **2017**, 164, 714-719.
4. Shang, Y. J.; Jin, X. L.; Shang, X. L.; Tang, J. J.; Liu, G. Y.; Dai, F.; Qian, Y. P.; Fan, G. J.; Liu, Q.; Zhou, B. Antioxidant capacity of curcumin-directed analogues: Structure-activity relationship and influence of microenvironment. *Food Chemistry*. **2010**, 119, 1435–1442.
5. Bisharat, L.; Berardi, A.; Perinelli, D. R.; Bonacucina, G.; Casettari, L.; Cespi, M.; AlKhatib, H. S.; Palmieri, G. F. Aggregation of zein in aqueous ethanol dispersions: Effect on cast film properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. **2018**, 106, 360–368.
6. Wang, Y.; Chen, H.; Wang, J.; Xing, L. Preparation of active corn peptides from zein through double enzymes immobilized with calcium alginate-chitosan beads. *Process Biochemistry* **2014** 49, 1682–1690.
7. Fertah M.; Belfkira, A.; Dahmane, E. m.; Taouriste, M.; Brouillette, F. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed. *Arabian Journal of Chemistry*. **2017**, 10, S3707-S3714.
8. Bajpai, S. K.; Sharma, S. Investigation of swelling/degradation behaviour of alginate beads crosslinked with  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Ba}^{2+}$  ions. *Reactive & Functional Polymers*. **2004**, 59, 129–140.

9. Gomes, A. P.; Mano, J. P.; Queiroz, J. A.; Gouveia, I. C. New Biomaterial Based on Cotton with Incorporated Biomolecules. *Applied Polymer Science*. **2014**, 40519, 1-9.
10. Zhou, L. L.; Sun, D. P.; Hu, L. Y.; Li, Y. W.; Yang, J. Z. Effect of addition of Sodium alginate on bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum*. *J Ind Microbiol Biotechnol*. **2007**, 34, 483–489.
11. Kim, J. H.; Park, S.; Kim, H.; Kim, H. J.; Yang, Y. H.; Kim, Y. H.; Jung, S. K.; Kan, E.; Lee, S. H. Alginate/bacterial cellulose nanocomposite beads prepared Using *Gluconacetobacter xylinus* and their application in lipaseimmobilization. *Carbohydrate Polymers*. **2017**, 157, 137–145.
12. Vasile, E. M.; Romero, A. M.; Judis, A. A.; Mazzobre, M. F. Prosopis alba exudate gum as excipient for improving fish oil stability in alginate- chitosan beads. *Food Chemistry*. **2016**, 190, 1093–1101.
13. Li, H.; Jiang, F.; Ye, S.; Yingyingwu.; Zhu, K.; Wang, D. Bioactive apatite incorporated alginate microspheres with sustained drug-delivery for bone regeneration application. *Materials Science and Engineering*. **2016**, 62, 779–786.
14. Esa, F.; Tasirin, S. M.; Rahman, N. A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. **2014**, 2, 113 – 119.
15. Klem, D. **Nanocelluloses as Innovative polymers in research and application synthesis and characterization of bacterial cellulose/alginate blend.** 205. Germany : Springer Berlin heidelberg New York, 2007.
16. Phisalaphong, M.; Sumanmajo, T.; Tammarate, P. Synthesis and Characterization of bacterial cellulose/alginate blend membranes. *Journal of Applied Polymer Science*. **2007**, 107, 3419-3424.
17. Kirdponpattara, S.; Khamkeaw, A.; Sanchavanakit, N.; Pavasant, P.; Phisalaphong, M. Structural modification and characterization of bacterial cellulose–alginate composite scaffolds for tissue engineering. *Carbohydrate Polymers*. **2015**, 132, 146–155.
18. Quispe, C. A. G.; Coronado, C. J. R.; João A.; Jr, C. Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **2013**, 27, 475–493.

19. Vieira, M. G. A.; Silva, M. A. D.; Santos, L. O. D.; Beppu, M. M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. **2011**, 47, 254–263.
20. Ali, S.; Khatri, Z.; Oh, K. W.; Kim, I. S.; Kim, S. H. zein/cellulose acetate hybrid nanofibers: electrospinning and characterization. *Macromolecular Research*. **2014**, 22, 971-977.
21. Lee, S.; Kim, Y. C.; Park, J. H. Zein-alginate based oral drug delivery systems: Protection and release of therapeutic proteins. *International Journal of Pharmaceutics*. **2016**, 515, 300–306.
22. Dai, L.; Li, R.; Wei, Y.; Sun, C.; Mao, L.; Gao, Y. Fabrication of zein and rhamnolipid complex nanoparticles to enhance the stability and in vitro release of curcumin. *Food Hydrocolloids*. **2018**, 77, 617-628.
23. Terahara, N.; Oda, M.; Matsui, T.; Osalima, Y.; Saito, N.; Toki, K.; Honda, T. Five New Anthocyanins, Ternatins A3, B4, B3, B2, and D2, from *Clitoria ternatea* Flowers. *Journal of Natural Products*. **1996**, 59, 139-144.
24. Terahara, N.; Saito, N.; Honda, T.; Tokis, K.; Osajima, Y. Acylated anthocyanins of clitoria ternatea flowers and their acyl moieties. *Phytochemistry*. **1990**, 2, 949-953.
25. เหมือนขวัญ กงนอก. การใช้วิธีโคพิกเมนต์เพซันเพื่อเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุจากกระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร, **2556**.
26. Cavalcanti, R. N.; Santos, D. T.; Meireles, M. A. A. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems – An overview. *Food Research International*. **2011**, 44, 499–509.
27. Glover, B. J.; Martin, C. Anthocyanins. *Current Biology*. **2012**, 22, 147-150.
28. Rein, M. J. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins **dissertation**. 3. Department of Applied Chemistry and Microbiology university of Helsinki. 2015.

29. Ammon, H. P. T.; Wahi, M. A. Pharmacology of *Curcuma longa*. *Planta Med.* **1991**, *57*, 1-7.
30. Patil, M. B.; Taralkaru, S. V.; Sakpal, V. S.; Shewale, S. P.; Sakpal, R. S. Extraction, isolation and evaluation of anti-inflammatory activity of curcuminoids from *curcuma longa*. *International Journal of Chemical Sciences and Applications.* **2011**, *2*, 172-174.



## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวเจณิสตา เจะเลาะ เกิดเมื่อวันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจุฬารามราชวิทยาลัย สตูล จังหวัดสตูล เมื่อปีการศึกษา 2556 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 500/5 ตำบลคลองขุด อำเภอเมือง จังหวัดสตูล รหัสไปรษณีย์ 91000 อีเมล zin\_jenis@hotmail.com

