



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ      การพัฒนาแคปซูลอัลจิเนตที่บรรจุน้ำมันมะกรูด  
Development of Kaffir Lime Oil-loaded Alginate Capsules

ชื่อนิสิต            นายจักรทิพย์ ฉิมพาลี  
ภาควิชา              เคมี  
ปีการศึกษา        2560

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาแคปซูลอัลจิเนตที่บรรจุน้ำมันมะกรูด

Development of Kaffir Lime Oil-loaded Alginate Capsules

โดย

นายจักรทิพย์ ฉิมพาลี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

โครงการ การพัฒนาแคปซูลอัลจินเตที่บรรจุน้ำมันมะกูด  
โดย นายจักรทิพย์ ฉิมพาลี

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร ชีรพิบูลย์เดช)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิมยิ้ม)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

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

วันที่ ..... เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ  ดีมาก  ดี  พอใช้

ชื่อโครงการ                      การพัฒนาแคปซูลอัลจินตที่บรรจุน้ำมันมะกรูด  
ชื่อนิสิตในโครงการ            นายจักรทิพย์ ฉิมพาลี                      เลขประจำตัว 5733064723  
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนรา ธีรพิบูลย์เดช  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแคปซูลอัลจินตที่ผสมกลีเซอรอลความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อศึกษาความสามารถเป็นพลาสติกไซเซอร์ของกลีเซอรอลในแคปซูลอัลจินต พบว่ากลีเซอรอลความเข้มข้น 20% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ให้ค่าประสิทธิภาพการเตรียมสูงที่สุด และที่ความเข้มข้นนี้ แคปซูลอัลจินต 1% และ 2% หลังอบมีขนาด  $3.14 \pm 0.04$  และ  $3.61 \pm 0.25$  มิลลิเมตร ตามลำดับ แคปซูลมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่ความหนาของเปลือกไม่สม่ำเสมอ ในการศึกษาการระเหยออกของสารที่บรรจุในแคปซูลอัลจินต ได้เตรียมแคปซูลอัลจินตที่บรรจุน้ำมันมะกรูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสทั้งที่ผสมและไม่ผสมกลีเซอรอลและวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและติดตามการระเหยออกของน้ำมัน ณ เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน พบว่า 10 วันแรกของแคปซูลน้ำมันมะกรูด กลีเซอรอลช่วยลดการระเหยออกของน้ำมันได้ดี แต่หลังจากนั้นกลับช่วยให้น้ำมันระเหยได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังมีน้ำมันมะกรูดเหลืออยู่ในแคปซูล ส่วนในแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส น้ำหอมจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็วและระเหยออกหมดในเวลาไม่เกิน 30 วัน อาจเนื่องจากในน้ำหอมมีการผสมสารละลายอินทรีย์ซึ่งช่วยในการระเหยของน้ำมันอยู่ด้วย นอกจากนี้ ได้ศึกษาการแตกออกของแคปซูลในสารละลายเกลือ 4 ชนิด ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โพแทสเซียมคลอไรด์และโคโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต พบว่าโพแทสเซียมไอออนทำให้แคปซูลแตกได้เร็วกว่าโซเดียมไอออน และไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออนช่วยให้แคปซูลแตกได้เร็วกว่าแอนไอออนอื่น ๆ

คำสำคัญ: แคปซูล, อัลจินต, น้ำมันมะกรูด, น้ำหอม, การแตกของแคปซูล

Project Title Development of Kaffir Lime Oil-loaded Alginate Capsules  
Student Name Mr. Jakratip Chimpalee ID 5733064723  
Advisor Name Assistant Professor Dr. Pattara Thiraphibuldet  
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic year  
2017

### Abstract

In order to prepare alginate capsules, the different concentration of glycerol as plasticizer in alginate solution was studied. The result showed that 20% w/w of glycerol gave the best efficiency for capsule preparation. At this glycerol concentration, the size of dry capsule using 1 and 2% w/w of alginate was  $3.14 \pm 0.04$  and  $3.61 \pm 0.25$  mm, respectively. Although dry alginate capsule was spherical, the shell thickness was not consistency. Alginate capsules containing kaffir lime oil and eucalyptus fragrance with and without glycerol were prepared to investigate the release profiles at time interval of 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 and 30 days at room temperature. In the first 10 days of kaffir lime oil testing, glycerol prolonged the oil release, but after that it activated. However, there was some kaffir lime oil to be existent in capsule. In the case of eucalyptus fragrance, the fragrance released fast and vanished before 30 days. This might be fragrance contain mostly organic solvent which can evaporate rapidly. Moreover, the crack of alginate capsules in four types of salts, NaCl, NaHCO<sub>3</sub>, KCl and Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, was examined. The result showed the crack went faster in K<sup>+</sup> than Na<sup>+</sup> and anion HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> anion increased speed of break up more than others.

**Keywords:** Capsule, Alginate, Kaffir lime oil, Fragrance, Crack

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและรายงานฉบับนี้ จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชตรา ธีรพิบูลย์เดช อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย ว่ากล่าวตักเตือน ติดตามผลงานและให้กำลังใจช่วยเหลืออย่างดีตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยอีกทั้งสละเวลามาตรวจทานแก้ไขและช่วยเหลือในการทำรายงานฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ขวศิริ และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม ที่ให้ความกรุณาสละเวลาตรวจทานแก้ไข พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และให้เกียรติเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาโทที่ให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ คอยให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ต่างๆ อันมีประโยชน์แก่ผู้วิจัยตลอดเวลา 4 ปี ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่ซึ่งทำให้สามารถนำความรู้เหล่านั้นมาใช้กับงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณกำลังใจและความช่วยเหลือจากครอบครัว รวมถึงพี่และเพื่อน ๆ ในภาควิชาเคมี ผู้วิจัยขอระลึกถึงความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นและบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยชามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

	สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ง
กิตติกรรมประกาศ		จ
สารบัญ		ฉ
สารบัญตาราง		ช
สารบัญรูป		ฅ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>		
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ		1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย		2
1.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		
1.3.1 อัลจิเนต (Alginate)		2
1.3.1.1 ลักษณะทั่วไปของการกักเก็บสารในบีดอัลจิเนต		4
1.3.1.2 การบวมตัว (swell) หรือการปลดปล่อยของบีดอัลจิเนต		4
1.3.2 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)		6
1.3.2.1 น้ำมันมะกรูด (Kaffir lime oil)		6
1.3.2.2 น้ำมันยูคาลิปตัส (Eucalyptus oil)		7
1.3.3 ก्लीเซอรอล (Glycerol)		8
<b>บทที่ 2 การทดลอง</b>		
2.1 สารเคมี และเครื่องมือที่สำคัญ		10
2.2 การเตรียมแคปซูลอัลจิเนต		10
2.3 การศึกษาความเข้มข้นของอัลจิเนตและกลีเซอรอลต่อประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล		11
2.4 การศึกษาขนาดของสารชั้นในแคปซูลอัลจิเนต		11
2.5 การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเปลือกแคปซูลอัลจิเนตให้แห้ง		12
2.6 การศึกษาการปลดปล่อยของน้ำมันมะกรูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสในแคปซูลแห้ง		12
2.7 การศึกษาเวลาในการแตกของแคปซูลอัลจิเนตด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ		12

<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	
3.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของอัลจินตและกลีเซอรอลต่อประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล	13
3.2 ผลการศึกษาขนาดของน้ำมันรำข้าวภายในแคปซูลอัลจินต	16
3.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเปลือกแคปซูลอัลจินตให้แห้ง	17
3.4 ผลการศึกษาการปลดปล่อยของน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสในแคปซูลแห้ง	19
3.5 ผลการศึกษาเวลาในการแตกของแคปซูลอัลจินตด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ	22
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง</b>	
4.1 สรุปผลการทดลอง	24
4.2 ข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	27
ประวัติผู้วิจัย	30





สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละของประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคปซูล	15
ตารางที่ 3.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของแคปซูลอัลจินต์ที่กักเก็บน้ำมันรำข้าวหลังอบ	16
ตารางที่ 3.3 ขนาดและลักษณะของแคปซูลอัลจินต์ที่ผสมสี Phthalo Blue ในน้ำมันรำข้าว	17
ตารางที่ 3.4 ลักษณะของแคปซูลอัลจินต์ที่บรรจุน้ำมันมะกรูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส	21
ตารางที่ 3.5 แสดงระยะเวลาที่พบการแตกของแคปซูลแรกและทั้งหมดแตกออกในสารละลายเกลือต่างๆ	23
ตารางที่ 1 น้ำหนักแคปซูลน้ำมันมะกรูดที่ผ่านการอบที่ระยะเวลาต่างๆ	28
ตารางที่ 2 น้ำหนักแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่ผ่านการอบที่ระยะเวลาต่างๆ	29
ตารางที่ 3 น้ำหนักของแคปซูลน้ำมันมะกรูดและแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปที่ระยะเวลาต่างๆ	30

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอัลจินตในรูปของไฮโมพอลิเมอร์และเฮเทอโรพอลิเมอร์	2
รูปที่ 1.2 ปฏิกริยาการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออนของอัลจินต (Egg-box Model)	3
รูปที่ 1.3 ภาพจำลองการกักเก็บสารในบีตอัลจินตแบบ (ก) ทั่วไป (ข) แคปซูลอัลจินต	4
รูปที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) citronellal (ข) limonene (ค) terpinene-4-ol (ง) $\alpha$ -terpineol (จ) $\alpha$ -Pinene (ฉ) $\beta$ -Pinene (ช) $\alpha$ -Terpinene (ซ) $\gamma$ - Terpinene และ (ณ) Terpinolene	6
รูปที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) Aromadendrene (ข) Cineole (ค) Pinene (ง) Pinocarvon และ (จ) Pinocarveol	7
รูปที่ 1.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล	8
รูปที่ 3.1 ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูตรต่างๆ	14
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแคปซูล (y) และระยะเวลาในการ อบ (x) ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ของ ก. แคปซูลน้ำมันมะกรูดที่ เตรียมจากอัลจินต 1% ข. แคปซูลน้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัสที่เตรียมจากอัลจินต 1% ค. แคปซูลน้ำมันมะกรูดที่เตรียมจากอัลจินต 2% และ ง. แคปซูลน้ำหอม กลีนิยูคาลิปตัสที่เตรียมจากอัลจินต 2%	19
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแคปซูลที่เปลี่ยนไป (y) และระยะเวลา ที่วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (x) ของ (ก) แคปซูลน้ำมันมะกรูด และ (ข) แคปซูล น้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัส	20

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มีการใช้ประโยชน์จากอัลจินตอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น ทั้งในอุตสาหกรรมความงาม อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมยา อัลจินตมีคุณสมบัติที่ดี ได้แก่ เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickener) สารรักษาความเสถียร (stabilizer) เป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) สารก่อเจล (gelling agent) และสารเพิ่มเนื้อสัมผัสให้นุ่มนวล (texture Improver) ซึ่งอัลจินตหรือแอลจิน เป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล องค์ประกอบหลักในโครงสร้างสายพอลิเมอร์ของอัลจินตที่สำคัญคือหมู่คาร์บอกซิลิก ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งเมื่ออยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิเลตจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง (cross-linkage) กับไดวาเลนต์ไอออนต่าง ๆ ได้ เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน เหล็กไอออน แบริียมไอออนหรือสตรอนเทียมไอออน เป็นต้น (1) ดังรูปที่ 1.2 เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วจะได้สารที่มีลักษณะเป็นเจล นอกจากนี้จุดเด่นของอัลจินตอีกหลายประการที่ทำให้ได้รับความนิยมคือ ละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ให้โครงสร้างเจลที่ทนต่อความร้อนและทนต่อการแช่แข็ง และเจลที่ได้มีลักษณะโปร่งใส

อัลจินตนิยมใช้ในการกักเก็บยาหรือสารออกฤทธิ์ต่างๆ เพื่อควบคุมการปลดปล่อยยาในสภาวะที่ต้องการ โดยหยดสารละลายผสมอัลจินตและตัวยาเข้าด้วยกัน จากนั้นหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้เป็นไมโครแคปซูล ดังรูปที่ 1.3ก แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการสร้างแคปซูลกักเก็บน้ำมันหอมระเหยที่พัฒนาต้นแบบโดยห้องวิจัยของ ผศ.ดร.พัฒนา ธีรพิบูลย์เดช ซึ่งอยู่ระหว่างการยื่นจดอนุสิทธิบัตร แคปซูลอัลจินตนี้จะประกอบด้วยส่วนเปลือกที่มีอัลจินตเป็นองค์ประกอบหลัก และบรรจุน้ำมันชนิดต่างๆ ไว้ภายในแคปซูล ดังรูปที่ 1.3ข ทำการศึกษาการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับส่วนเปลือกแคปซูลด้วยกลีเซอรอล รวมถึงการศึกษาขนาดและการปลดปล่อยน้ำมันภายในของแคปซูล โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปพัฒนาเป็นต้นแบบของแคปซูลน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กับตะเกียงสปา แทนการใช้การหยดน้ำมันหอมระเหยโดยตรงลงไป น้ำมันกลิ่นหอมที่เลือกใช้ ได้แก่ น้ำมันมะกรูด ได้จากการกลั่นไอน้ำของส่วนเปลือกมะกรูด และน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส ซึ่งน้ำหอมนี้มีส่วนผสมของตัวทำละลายอยู่ด้วย

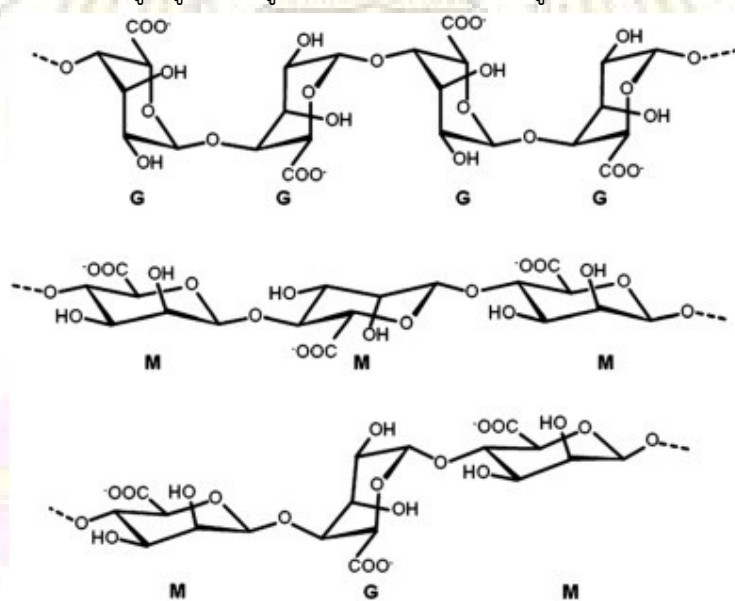
## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณกลีเซอรอลต่อรูปร่างและประสิทธิภาพในการเตรียมแคปซูลอัลจินต
2. ศึกษาอัตราเร็วและสภาวะการอบที่เหมาะสมในการเตรียมแคปซูลอัลจินตที่บรรจุน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส
3. ศึกษาการแตกตัวของแคปซูลอัลจินตที่บรรจุน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสด้วยเกลือชนิดต่าง ๆ

## 1.3 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

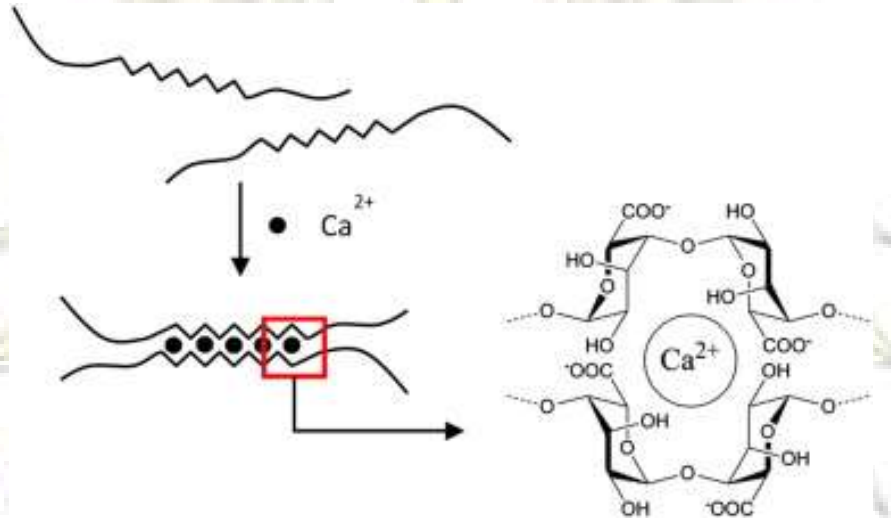
### 1.3.1 อัลจินต (Alginate)

อัลจินตหรืออัลจินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น *Phaeophyceae*, *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata*, *Laminaria japonica*, *Ascophyllum nodosum* และ *Macrocystis pyrifera* ภายในโครงสร้างของโมเลกุลของอัลจินตจะเป็นพอลิเมอร์สายยาวประเภทโคพอลิเมอร์ ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ กรดเบตา-D-แมนนูโรนิก ( $\beta$ -D-mannuronic acid, M) และกรดแอลฟา-แอล-กลูโรนิก ( $\alpha$ -L-guluronic acid, G) โดยสายพอลิเมอร์นี้อาจจะอยู่ในรูปของโฮโมพอลิเมอร์ (M หรือ G Blocks) หรือเฮเทอโรพอลิเมอร์ (GM Blocks) ก็ได้ ภายในโครงสร้างของอัลจินตมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือ หมู่คาร์บอกซิล สามารถละลายน้ำและหมู่คาร์บอกซิลจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิเลตดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอัลจินตในรูปของโฮโมพอลิเมอร์และเฮเทอโรพอลิเมอร์ (2)

เมื่อหมู่คาร์บอกซิลของอัลจินตอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิเลต จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางกับไอออนบวก เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน เหล็กไอออน แบริียมไอออนหรือ สตรอนเทียมไอออน เกิดเป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นเจล ปฏิกิริยาการเกิดเจลนี้สามารถเกิดได้ดีเมื่อเกิดจากโครงสร้าง G Blocks ที่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า egg-box model ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออนของอัลจินต (Egg-box model) (2)

มีงานวิจัยมากมายที่ใช้อัลจินตในการกักเก็บสารชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยของสารชนิดนั้นๆ ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

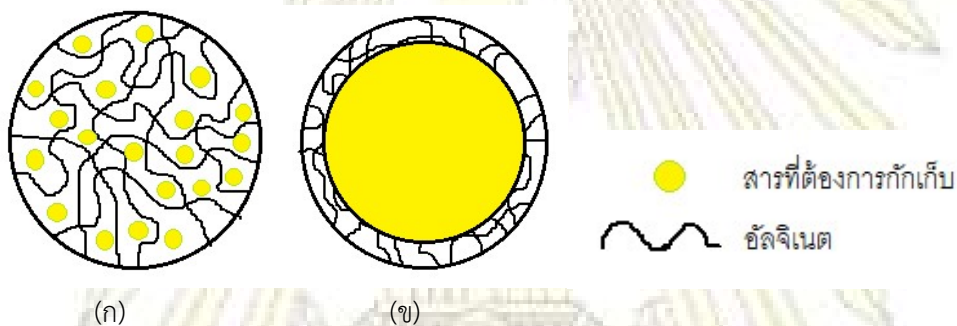
ในปี 2014 Xiao และคณะ (3) ได้กักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้ม (sweet orange oil) ในไมโครแคปซูลอัลจินต โดยผสมน้ำมันหอมระเหยในสารละลายอัลจินตและสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยให้น้ำมันกระจายตัวในสารละลายอัลจินตได้ คือ ทวิน 80 (Tween 80) และกลีเซอริล โมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate) นำไปหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะได้เม็ดปิดที่สามารถกักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้ 71.6% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การผสมไคโตซาน (chitosan) ในสารละลายอัลจินต จะช่วยปรับปรุงพื้นผิวของแคปซูลให้เรียบเนียนขึ้นและมีประสิทธิภาพการกักเก็บดีขึ้น

ในปี 2016 Benavides และคณะ (4) ได้กักเก็บน้ำมันไทม์ (Thyme essential oil) โดยผสมสารละลายอัลจินตกับน้ำมันหอมระเหยให้เป็นอิมัลชัน แล้วนำไปหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ให้เกิดเป็นเม็ดปิดอัลจินต จากการทดลองพบว่าสามารถกักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้ 85% โดยน้ำหนัก

ในปี 2017 Ferrandiz และคณะ (5) ได้กักเก็บน้ำมันซีดาร์วูด (cedarwood) ในไมโครแคปซูลอัลจินต สามารถกักเก็บน้ำมันซีดาร์วูด ในไมโครแคปซูลอัลจินต ได้ 65% โดยน้ำหนัก การเพิ่มการเชื่อมขวางพื้นผิวให้มากขึ้นด้วยกลูตารอลดีไฮด์ (glutaraldehyde) พบว่าเปลือกแคปซูลมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการกักเก็บน้ำมัน

### 1.3.1.1 ลักษณะทั่วไปของการกักเก็บสารในบีดอัลจินต

การกักเก็บสารในบีดอัลจินตแบบทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 1.3ก จะเห็นว่าสารที่กักเก็บจะกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเม็ดบีดอัลจินต โดยผิวรอบนอกของเม็ดบีดจะเกิดการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออน เพิ่มเพิ่มการกักเก็บสารให้มีปริมาณมากขึ้นในเม็ดบีดอัลจินตนี้ จึงได้กักเก็บในบีดอัลจินตแบบใหม่เรียกว่า แคปซูลอัลจินต ดังแสดงในรูปที่ 1.3ข โดยสารจะถูกบรรจุอยู่ในคล้ายกับแคปซูล โดยที่ผิวรอบนอกของแคปซูลจะเกิดการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออนเกิดเป็นเปลือกของแคปซูล



รูปที่ 1.3 ภาพจำลองการกักเก็บสารในบีดอัลจินตแบบ (ก) ทั่วไป (ข) แคปซูลอัลจินต

### 1.3.1.2 การบวมตัว (swell) หรือการปลดปล่อยของบีดอัลจินต

โดยปกติภายในโครงสร้างของอัลจินตมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ คือหมู่คาร์บอกซิล เมื่ออัลจินตละลายในน้ำจะทำให้หมู่คาร์บอกซิลเปลี่ยนไปเป็นหมู่คาร์บอกซิเลตที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง (crosslink) กับไดวาเลนต์ไอออนได้ เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน เหล็กไอออน แบเรียมไอออน หรือ สตรอนเทียมไอออน เป็นต้น (1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเจล หรือที่เรียกว่าการเกิดเจลแลชัน สมมติว่าอัลจินตเกิดเจลแลชันกับไอออนของแคลเซียม ได้เป็นแคลเซียมอัลจินตที่มีลักษณะเป็นเจลที่มีความยืดหยุ่นและค่อนข้างทนต่อแรงดึง มีงานวิจัยมากมายที่ให้คุณสมบัตินี้ในการทำอัลจินตบีดในการกักเก็บสารชนิดต่างๆ จากสารละลายโซเดียมอัลจินตที่เกิดเจลแลชันกับแคลเซียมไอออน ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปเป็นเม็ดบีดแล้ว จึงมีวิธีที่จะทำให้เม็ดบีดนี้เกิดบวมตัว (swelling) และแตกออก ทำให้สารที่กักเก็บถูกปลดปล่อยออกมา การบวมเกิดจากการเข้าไปแทนที่โดยโมโนวาเลนต์ไอออน เช่น โซเดียมไอออน โพแทสเซียมไอออน หรือลิเทียมไอออน ที่ตำแหน่งของแคลเซียมไอออนที่เกิดการเชื่อมขวางอยู่กับหมู่คาร์บอกซิเลตในโครงสร้างของอัลจินต ซึ่งแคลเซียมไอออนจะหลุดออกและโมโนวาเลนต์ไอออนเข้าไปจับกับ



หมู่คาร์บอกซิเลตแทน ทำให้อัลจินตละลายน้ำได้จึงเกิดการบวมตัวขึ้น กระบวนการนี้จะเกิดไปเรื่อยๆ จนเม็ดบีดแตกและปลดปล่อยสารที่กักเก็บออกมา โดยระยะเวลาการแตกของเม็ดบีดจะขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนและความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

มีงานวิจัยมากมายที่ใช้วิธีการบวมตัว ทำให้อัลจินตบีดแตกออก เพื่อจุดประสงค์ในการเร่งการปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บในอัลจินตบีดให้เหมาะกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

ในปี 2006 Pasparakis และ Bouropoulos (6) ได้ศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวและการปลดปล่อยยา verapamil จากบีดแคลเซียมอัลจินต-โคโตซาน ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง จากการทดลองพบว่า การบวมตัวของเม็ดบีดแคลเซียมอัลจินต-โคโตซานขึ้นอยู่กับปริมาณของ polyelectrolyte complex ระหว่างอัลจินตและโคโตซาน ความเป็นกรดและต่างของสารละลายที่ใช้และสถานะทางกายภาพเริ่มแรกของเม็ดบีด โดยอัลจินตละลายได้ดีที่สภาวะค่า pH สูง เมื่ออัลจินตอยู่ในสารละลาย SGF ซึ่งเป็นสภาวะกรดจะเกิดการหดตัวและอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) หมู่เอมีนของโคโตซานเปลี่ยนเป็นหมู่แอมโมเนียม (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่าง polyelectrolyte complex ของหมู่แอมโมเนียมในโคโตซานและหมู่คาร์บอกซิลิกของอัลจินตค่อนข้างอ่อน ทำให้ไม่เกิดการละลายของอัลจินตในระหว่างการบวมตัว เมื่ออัลจินตอยู่ในสารละลาย PBS ซึ่งเป็นสภาวะเบส อัลจินตจะอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิเลต (-COO<sup>-</sup>) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างโคโตซานและอัลจินตมีผลต่อการบวมตัวน้อยกว่าการแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้การแลกเปลี่ยนของ Ca<sup>2+</sup> และ Na<sup>+</sup> เกิดได้ดี จึงเกิดการบวมตัวและแตกออกของเม็ดบีดทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง

ในปี 2010 Coline และคณะ (7) ได้ศึกษาการผลของโคโตซานที่มีต่อการบวมตัวและการปลดปล่อยยา theophylline ในบีด alginate-g-PCL/Ca<sup>2+</sup> จากการทดลองพบว่าค่าการบวมตัวของบีดที่หุ้มด้วยโคโตซานในสารละลาย SGF (simulated gastric fluid) ที่ค่า pH 1.2 อยู่ที่ 8-22% และปลดปล่อยยาที่ 24-32% ในระยะเวลา 120 นาที เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง polyelectrolyte complex ของหมู่แอมโมเนียมในโคโตซานและหมู่คาร์บอกซิลิกของอัลจินตค่อนข้างอ่อน ทำให้เกิดการละลายของอัลจินตได้น้อย ซึ่งช่วยลดการสูญเสียยาจากสภาวะที่รุนแรงนี้ได้จริง และค่าการบวมตัวในสารละลาย SIF (simulated intestinal fluid) ที่ค่า pH 6.8 อยู่ที่ 300-1100% ซึ่งน้อยกว่าบีดที่ไม่ได้หุ้มด้วยโคโตซาน (700-1700%) เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง Na<sup>+</sup> จากสารละลาย SIF กับ Ca<sup>2+</sup> ที่เชื่อมขวางอยู่ในโครงสร้างของอัลจินต ทำให้อัลจินตเกิดการบวมตัวและแตกออกในสารละลายได้ดี แต่ใช้เวลาถึง 7 ชั่วโมงในการปลดปล่อยยาในปริมาณที่เท่ากันเมื่อเทียบกับในสารละลาย SGF

### 1.3.2 น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil)

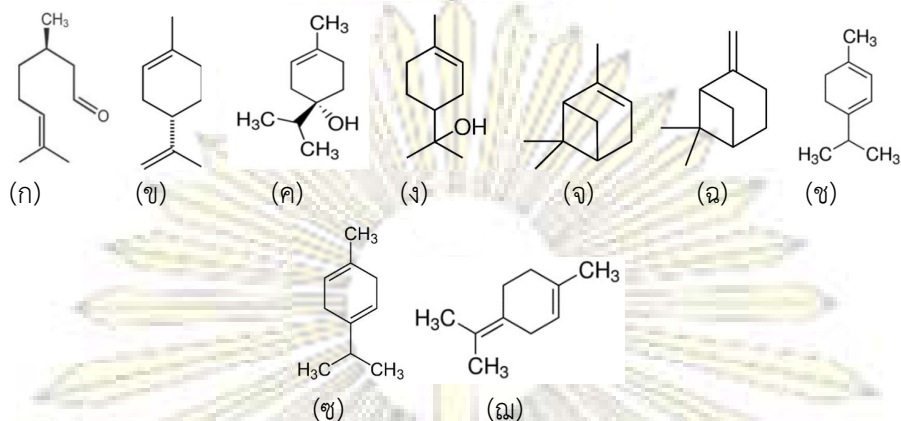
น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นตามธรรมชาติ เก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น กลีบดอก ผิวของผล เกสร ราก เปลือกของลำต้น หรือยางที่ออกมาจากเปลือก (8) มีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อนและแตกต่างกันมากมายหลายชนิด น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลวไม่เหนียว เหนอะหนะเหมือนน้ำมันพืช มีกลิ่นหอม ระเหยง่าย เวลาที่ได้รับความร้อนอนุภาคเล็ก ๆ ของน้ำมันหอมระเหยจะระเหยออกมาเป็นไอทำให้มีกลิ่นหอม กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในส่วนของดอกไม้มีบทบาทสำคัญในการช่วยดึงดูดแมลงมาผสมเกสร ปกป้องการรุกรานจากศัตรู และรักษาความชุ่มชื้นแก่พืช สำหรับประโยชน์ต่อมนุษย์ น้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค บรรเทาอาการอักเสบ หรือลดความเครียด หรือกระตุ้นให้สดชื่น ทั้งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด

#### 1.3.2.1 น้ำมันมะกรูด (Kaffir Lime Oil)

มะกรูดเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณมากมาย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus x hystrix* L. เป็นพืชในสกุลส้ม (citrus) มีถิ่นกำเนิดในประเทศลาว อินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย นิยมใช้ใบมะกรูด และผิวมะกรูดเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องปรุงอาหารหลายชนิด และยังสามารถนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีสรรพคุณมากมาย เช่น ผ่อนคลายความเครียด คลายความกังวล ช่วยแก้อาการนอนไม่หลับ เป็นต้น (9) และยังมีการรายงานฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันมะกรูด ได้แก่ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในระบบทางเดินหายใจ (10-11) และมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียแกรมลบ *Vibrio cholerae* (11) ทำให้มีการนำน้ำมันมะกรูดมาใช้ประโยชน์ทางด้านเภสัชกรรม สุนทรบำบัด (aromatherapy) และอุตสาหกรรมอาหาร

น้ำมันมะกรูดมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ 9 ชนิด ได้แก่ ซิโตรเนลลาล (citronellal), ลิโมนีน (limonene), เทอพินิน-4-อล (terpinene-4-ol), แอลฟาเทอพินีนอล ( $\alpha$ -terpineol), แอลฟาไพนีน ( $\alpha$ -pinene), เบตาไพนีน ( $\beta$ -pinene), แอลฟาเทอพินีน ( $\alpha$ -terpinene), แกมมาเทอพินีน ( $\gamma$ -terpinene) และเทอพิโนลีน (terpinolene) โดยลิโมนีนเป็นสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันมะกรูดที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 30.73% (12) องค์ประกอบต่างๆของน้ำมันมะกรูดมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1.4





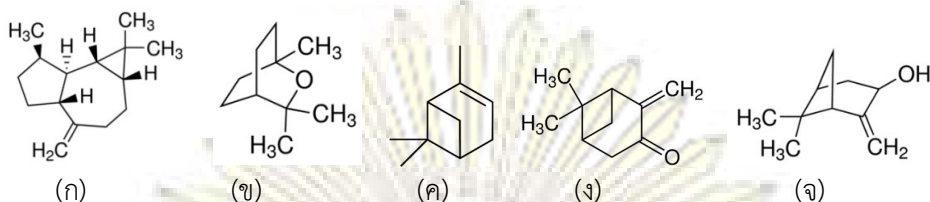
รูปที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) citronellal (ข) limonene (ค) terpinene-4-ol (ง)  $\alpha$ -terpineol (จ)  $\alpha$ -Pinene (ฉ)  $\beta$ -Pinene (ช)  $\alpha$ -Terpinene (ซ)  $\gamma$ -Terpinene และ (ณ) Terpinolene

น้ำมันมะกรูดมีสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย ระเหยง่าย มีความดันไอที่อุณหภูมิห้องสูง จุดเดือดต่ำ และไม่เสถียรต่อแสงและอากาศ จึงมีงานวิจัยที่ทำการทดลองการกักเก็บน้ำมันมะกรูดด้วยวิธีต่างๆ โดยมีจุดประสงค์หลักคือต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการปลดปล่อยกลิ่นหรือความเสถียรต่อแสงและอากาศ ดังนี้

ในปี 2012 Adamiec และคณะ (13) ได้ทำการกักเก็บน้ำมันมะกรูดในไมโครแคปซูล โดยใช้ konjac glucomannan และ gum arabic เป็นสารก่อเปลือก (wall material) ของไมโครแคปซูล จากการทดลองพบว่าน้ำมันมะกรูดในไมโครแคปซูลที่มี konjac glucomannan และ gum arabic จะลดการปลดปล่อยของน้ำมันได้ดีกว่าไมโครแคปซูลที่มี konjac glucomannan เพียงอย่างเดียว

### 1.3.2.2 น้ำมันยูคาลิปตัส (Eucalyptus Oil)

ยูคาลิปตัส มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eucalyptus globulus* Labill. จัดอยู่ในวงศ์ชมพู่ (Myrtaceae) เป็นไม้ยืนต้น ลำต้นตั้งตรง มีความสูงประมาณ 10-25 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มหนาทึบค่อนข้างกลม แตกกิ่งก้านมาก เปลือกต้นบางเรียบเป็นมันและลอกออกง่าย เปลือกต้นเป็นสีน้ำตาลอ่อนปนขาว หรือมีสีเทาสลับสีขาวและสีน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกร้อนเป็นแผ่น ๆ และหลุดออกจากผิวของลำต้น เมื่อแห้งจะลอกได้ง่าย กิ่งก้านเล็กเป็นเหลี่ยม มีจุดตากลม ในใบยูคาลิปตัสพบน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.92-2.89% Oleum Eucalypti ประกอบด้วยสาร เช่น อะโรมาเดนดรีน (Aromadendrene), ซินีโอล (Cineole), ไพนีน (Pinene), ไพโนคาร์วอน (Pinocarvon) และไพโนคาร์วีออล (Pinocarveol) (14) องค์ประกอบต่างๆของน้ำมันยูคาลิปตัส มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1.5

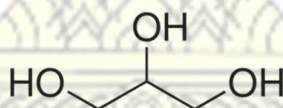


รูปที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) Aromadendrene (ข) Cineole (ค) Pinene (ง) Pinocarvon และ (จ) Pinocarveol

ประโยชน์ของน้ำมันยูคาลิปตัส คือ ช่วยบรรเทาอาการไอ ภูมิแพ้ หัวดี ใช้หัวดีใหญ่ บรรเทาอาการคัดจมูก เป็นยาธาตุ แก้อาการปวดศีรษะจากหวัดไซนัส ทำให้หายใจโล่ง ช่วยให้รู้สึกสดชื่น ช่วยแก้อาการเจ็บคอ ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน บรรเทาแผลสด แผลไฟไหม้และแผลติดเชื้อ หรือนำมาใช้ทาถูแก้ปวดกล้ามเนื้อ

### 1.3.3 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (glycerol) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโพลีออล (polyol) มีลักษณะที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย (ความหวานสัมพัทธ์ประมาณ 60) ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและมีสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี (hygroscopic) กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งได้จากการรวมตัวของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล กลีเซอรอลมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล

ในอุตสาหกรรมอาหาร กลีเซอรอลถูกนำไปใช้โดยมีวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น เป็นสารเก็บความชื้น (humectant) สารให้ความหวาน (sweetener) สารที่ทำข้นหนืด (thickening agent) และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง (cryoprotectant) โดยลดจุดเยือกแข็ง (freezing point) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ให้ต่ำลง (15) ส่วนในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์จะใช้กลีเซอรอลเพื่อเป็นสารก่อรูปพลาสติก (plasticizer) ใช้เป็นสารลดความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ลดโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Young's modulus) และเพิ่มการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) ของพอลิเมอร์ (2)

มีงานวิจัยมากมายที่นำกลีเซอรอลมาใช้กับพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ ดังนี้

ในปี 2014 Liakos และคณะ (16) ได้นำน้ำมันหอมระเหยใส่ในฟิล์มอัลจินตสำหรับปิดแผลที่ใช้กลีเซอรอลเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อปรับปรุงการกระจายตัวของน้ำมันหอมระเหยในฟิล์มอัลจินตและใช้เป็นสารก่อรูปพลาสติก จากการทดลองพบว่าสามารถลดมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น และลดค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดได้ดี

ในปี 2017 Gao และคณะ (17) ได้นำกลีเซอรอลมาผสมในฟิล์มอัลจินตด้วยวิธี thermo-mechanical mixing เพื่อใช้เป็นสารก่อรูปพลาสติก จากการทดลองพบว่าสามารถลดความต้านทานแรงดึง ลดมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น และเพิ่มการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มอัลจินตได้ดี และยังมีผลทำให้โครงสร้างของแกรนูลของอัลจินตที่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบนั้นถูกทำลายเป็นบริเวณกว้าง มีผลทำให้สายโซ่ของอัลจินตมีอิสระในการเคลื่อนที่ได้ดี ส่งผลให้เกิดเป็นโครงสร้างผลึกของสายโซ่อัลจินตง่ายขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่ากลีเซอรอลนั้นมีสมบัติเป็นสารก่อรูปพลาสติกและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำกลีเซอรอลมาใช้เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแคปซูลอัลจินต



## บทที่ 2

### การทดลอง

#### 2.1 สารเคมี และเครื่องมือที่สำคัญ

- โซเดียมอัลจิเนต ได้รับจากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
- กลีเซอรอล ( $C_3H_8O_3$ ) ผู้ผลิตบริษัท QRèC New Zealand จำกัด
- แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA Reagents S.A.S จำกัด
- น้ำมันรำข้าว ยี่ห้อคิง ผลิตโดยบริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด
- น้ำมันมะกรูด ผลิตโดยบริษัท Thai-China Flavours and Fragrances Industry จำกัด
- น้ำมันยูคาลิปตัส จากบริษัท กิมฮวด จำกัด
- เครื่องปั๊มสาร จากบริษัท LongerPump จำกัด รุ่น LSP01-1A
- เครื่องชั่งสาร จากบริษัท Becthai Equipment & Chemical จำกัด รุ่น DENVER INSTRUMENT SI-234

#### จามจรี

- สีน้ำเงิน Phthalo Blue ผลิตโดยบริษัท WINSOR & NEWTON จำกัด ซื้อมาจากร้าน สมใจ จัตุรัส
- เครื่องวัดขนาดแคปซูลอัลจิเนต (Digital caliper) รุ่น NPE5869434
- เลนส์กำลังขยาย 40 เท่า รุ่น Chula Smart lens
- โซเดียมคลอไรด์ ( $NaCl$ ) ผู้ผลิตบริษัท Merck KGaA จำกัด
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $NaHCO_3$ ) ผู้ผลิตบริษัท McGarrett จำกัด
- โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ยี่ห้อ UNIVAR ผู้ผลิตบริษัท Ajax Finechem Pty จำกัด
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $Na_2HPO_4$ ) ผู้ผลิตบริษัท QRèC New Zealand จำกัด

#### 2.2 การเตรียมแคปซูลอัลจิเนต

ในการเตรียมแคปซูลอัลจิเนตในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องมือที่ออกแบบใหม่โดยห้องวิจัยของ ผศ. ดร. พัฒนรา อีร์พิบูลย์เดช ซึ่งอยู่ระหว่างการยื่นจดอนุสิทธิบัตร ในการเตรียมแคปซูลอัลจิเนตนี้จะประกอบด้วย ส่วนเปลือก ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ อัลจิเนต และส่วนสารชั้นในเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic substance) หยดองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้ ลงสู่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) เพื่อเกิดการเชื่อมขวางจากนั้น อบส่วนเปลือกให้แห้ง

ในการทดลองใช้สารละลายอัลจิเนต 1 และ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมกับกลีเซอรอลได้เป็น สารละลายสำหรับส่วนเปลือกของแคปซูล ส่วนสารชั้นในที่ทำการทดลอง ได้แก่ น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะกรูด และน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส หยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร ด้วยปั๊มหลอดฉีดยา (syringe pump) และแช่แคปซูลอัลจิเนตไว้ในสารละลายนี้ 10 นาที จากนั้น กรองและล้างแคปซูลอัลจิเนตด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water หรือ DI water)

2-3 ครั้ง เพื่อกำจัดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ส่วนเกินบนผิวของแคปซูล นำแคปซูลไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือจนกว่าผิวแคปซูลแห้ง

### 2.3 การศึกษาความเข้มข้นของอัลจินตและกลีเซอรอลต่อประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล

เตรียมแคปซูลอัลจินตด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 2.2 โดยสารละลายอัลจินตแต่ละความเข้มข้นจะผสมกลีเซอรอล 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% โดยปริมาตรต่อปริมาตร และสารชั้นในของแคปซูลคือ น้ำมันรำข้าว โดยสารละลายอัลจินต 1% ผสมกลีเซอรอล จะใช้ความเร็วของปั๊มที่ 9.030 มม./นาที่ (5 มล./นาที่) น้ำมันรำข้าวที่ความเร็ว 3.610 มม./นาที่ (2 มล./นาที่) ส่วนสารละลายอัลจินต 2% ผสมกลีเซอรอล จะใช้ความเร็วของปั๊มที่ 10.87 มม./นาที่ (6 มล./นาที่) น้ำมันรำข้าวที่ความเร็ว 1.805 มม./นาที่ (1 มล./นาที่) ความเร็วดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ว่าเหมาะสมในการเตรียมแคปซูล โดยคำนวณประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลจากสูตร

$$\%EE = \frac{N_p}{N_{tot}} \times 100\%$$

โดยที่  $N_p$  คือ จำนวนแคปซูลอัลจินตที่ได้

$N_{tot}$  คือ จำนวนหยดของสารละลายด้วยแรงดันปั๊ม ภายในเวลา 1 นาที

ทำการวัดขนาดและบันทึกภาพพื้นผิว (เลนส์กำลังขยาย 40 เท่า) ของแคปซูลก่อนและหลังอบ

### 2.4 การศึกษาขนาดของสารชั้นในแคปซูลอัลจินต

เตรียมแคปซูลอัลจินตด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 2.3 โดยใช้ความเข้มข้นกลีเซอรอล 20 และ 30% โดยผสมสีน้ำมัน phthalo blue ในน้ำมันรำข้าวก่อนนำไปหยดเป็นแคปซูล สีที่ใช้เป็นสีที่ไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นบริเวณที่เห็นสีน้ำเงิน คือ ส่วนของน้ำมันรำข้าวที่อยู่ภายในแคปซูล ทำการวัดขนาดและบันทึกภาพ (เลนส์กำลังขยาย 15 เท่า) แคปซูลที่ได้



## 2.5 การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเปลือกแคปซูลอัลจินต์ให้แห้ง

เตรียมแคปซูลอัลจินต์ด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 2.3 (ความเข้มข้นกลีเซอรอล 20%) แต่เปลี่ยนสารชั้นในเป็นน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัส เพื่อเป็นต้นแบบการเตรียมแคปซูลของสารชั้นในที่มีกลิ่นหอม น้ำมันมะกูดเป็นตัวแทนของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืช และสารละลายอัลจินต์ 1% ผสมกลีเซอรอล จะใช้ความเร็วของปั๊มที่ 7.220 มม./นาทีก (4 มล./นาทีก) น้ำมันมะกูดที่ความเร็ว 1.805 มม./นาทีก (1 มล./นาทีก) ส่วนสารละลายอัลจินต์ 2% ผสมกลีเซอรอล จะใช้ความเร็วของปั๊มที่ 10.87 มม./นาทีก (6 มล./นาทีก) น้ำมันมะกูดที่ความเร็ว 1.805 มม./นาทีก (1 มล./นาทีก) ส่วนน้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัสเป็นสารละลายผสมระหว่างน้ำมันหอมระเหยและตัวทำละลายอินทรีย์ และสารละลายอัลจินต์ 1% ผสมกลีเซอรอล จะใช้ความเร็วของปั๊มเหมือนกับใช้กับน้ำมันมะกูด ในการทดลองนี้ศึกษาสภาวะการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยบันทึกน้ำหนักของแคปซูลจำนวน 30 แคปซูลที่เวลาต่างๆ จนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

## 2.6 การศึกษาการปลดปล่อยของน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัสในแคปซูลแห้ง

เตรียมแคปซูลอัลจินต์บรรจุน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลีนิยูคาลิปตัส โดยเตรียมแคปซูลอัลจินต์ด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 2.3 (ความเข้มข้นกลีเซอรอล 20%) และใช้ความเร็วของปั๊มเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 2.5 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยบันทึกน้ำหนักของแคปซูลจำนวน 30 แคปซูล (ที่จัดเรียงตัวชั้นเดียว) ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน คำนวณหาน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเทียบกับน้ำหนักหลังอบ

## 2.7 การศึกษาเวลาในการแตกของแคปซูลอัลจินต์ด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ

เพื่อให้แคปซูลนำไปใช้ได้จริง จึงต้องศึกษาการแตกของแคปซูลและให้น้ำมันหอมระเหยออกมา โดยนำแคปซูลอัลจินต์บรรจุน้ำมันมะกูดที่เตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 2.6 จำนวน 20 แคปซูล แช่ในสารละลายเกลือ 4 ชนิด (ไม่มีการกวนสารละลายระหว่างการแช่แคปซูล) ได้แก่

- สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 1 และ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
  - สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>) ความเข้มข้น 1 และ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
  - สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
  - สารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
- บันทึกเวลาที่พบการแตกของแคปซูลแรกและแคปซูลทั้งหมดแตกออก

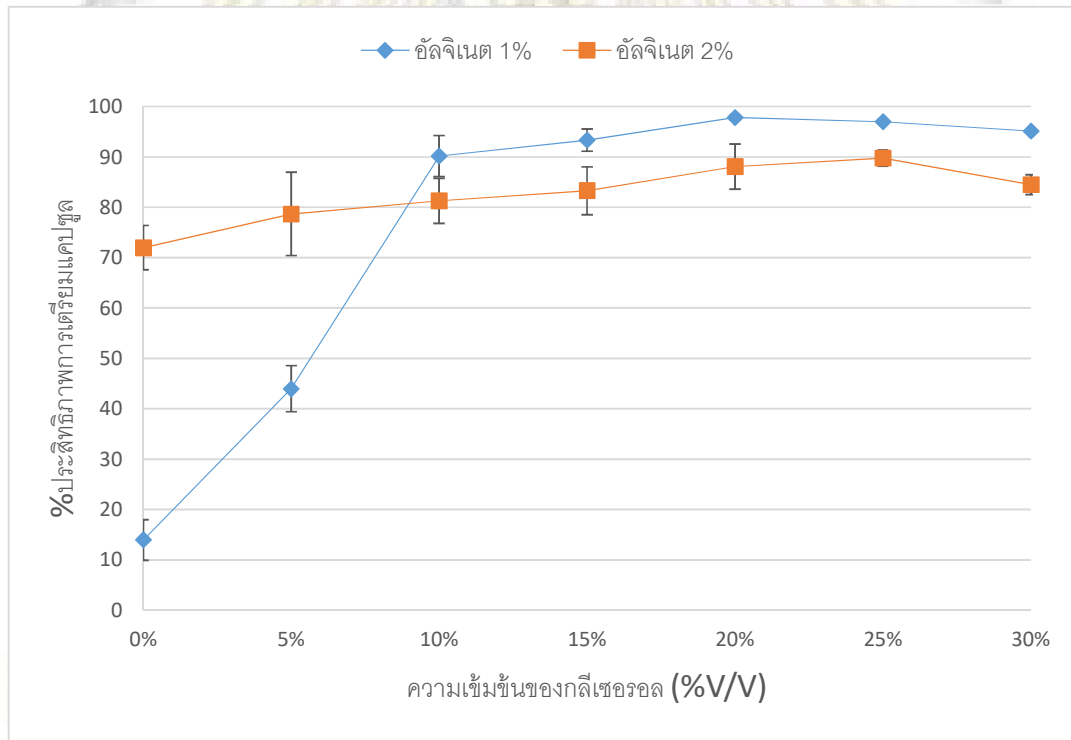
### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

##### 3.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของอัลจินตและกลีเซอรอลต่อประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล

ได้เตรียมแคปซูลอัลจินตทั้งหมด 14 สูตร กล่าวคือ ใช้อัลจินตความเข้มข้น 1 และ 2% ผสมกับกลีเซอรอล 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30% ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 ทำการคำนวณประสิทธิภาพการเตรียมและขนาดของแคปซูลได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1

กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้แคปซูล จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มกลีเซอรอลจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลด้วย แต่มีขีดจำกัดปริมาณการใช้ไม่เกิน 25% เนื่องจากเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลในสารละลายอัลจินตมากขึ้น ปริมาณของอัลจินตจะลดลง และทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างอัลจินตและแคลเซียมไอออนลดลง ดังนั้นในการทดลองต่อไปผู้วิจัยเลือกใช้กลีเซอรอล 20% ผสมกับอัลจินต 1 และ 2% เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลดีที่สุด



รูปที่ 3.1 ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูตรต่างๆ

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละของประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคปซูล

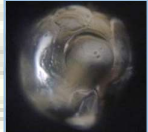
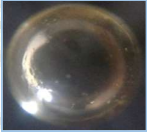


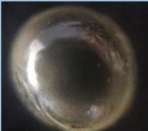





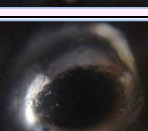



ความเข้มข้นของอัลจินต (%w/v)	ความเข้มข้นของ กลีเซอรอล (%v/v)	ชนิดของ แคปซูล	ค่าประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูล (%)	ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ แคปซูล (มิลลิเมตร)	
				ก่อนอบ	หลังอบ
1%	0	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	13.96 ± 4.05	3.57 ± 0.20	3.20 ± 0.03
	5	A <sub>1</sub> G <sub>5</sub>	43.97 ± 4.56	3.52 ± 0.24	3.19 ± 0.03
	10	A <sub>1</sub> G <sub>10</sub>	90.22 ± 4.05	3.50 ± 0.23	3.18 ± 0.05
	15	A <sub>1</sub> G <sub>15</sub>	93.32 ± 2.20	3.58 ± 0.26	3.16 ± 0.06
	20	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	97.79 ± 0.48	3.60 ± 0.25	3.14 ± 0.04
	25	A <sub>1</sub> G <sub>25</sub>	96.99 ± 0.46	3.46 ± 0.22	3.14 ± 0.07
	30	A <sub>1</sub> G <sub>30</sub>	95.13 ± 0.05	3.71 ± 0.18	3.11 ± 0.07
2%	0	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	71.99 ± 4.38	4.03 ± 0.12	3.01 ± 0.19
	5	A <sub>2</sub> G <sub>5</sub>	78.68 ± 8.26	4.03 ± 0.12	3.03 ± 0.25
	10	A <sub>2</sub> G <sub>10</sub>	81.27 ± 4.50	4.06 ± 0.13	3.20 ± 0.31
	15	A <sub>2</sub> G <sub>15</sub>	83.28 ± 4.74	4.29 ± 0.19	3.38 ± 0.21
	20	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>	88.08 ± 4.48	4.34 ± 0.10	3.61 ± 0.25
	25	A <sub>2</sub> G <sub>25</sub>	89.72 ± 1.62	4.38 ± 0.05	3.72 ± 0.22
	30	A <sub>2</sub> G <sub>30</sub>	84.47 ± 1.97	4.45 ± 0.17	3.93 ± 0.17



เมื่อพิจารณาขนาดของแคปซูล (ตารางที่ 3.1) เห็นได้ว่าเมื่อใช้อัลจินต 1% ปริมาณกลีเซอรอลต่างๆ ไม่มีผลต่อขนาดของแคปซูลอย่างมีนัยสำคัญ แต่อัลจินต 2% เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น แคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นก็จะทำให้น้ำระเหยออกจากเปลือกแคปซูลได้ยากขึ้น กล่าวคือ ขนาดแคปซูลที่ใหญ่กว่า อาจเกิดจากแคปซูลยังไม่แห้ง ยังคงมีน้ำเหลืออยู่

ภาพถ่ายพื้นผิวด้วยเลนส์กำลังขยาย 40 เท่าของแคปซูลอัลจินตหลังอบ 6 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 3.2 เห็นได้ว่ารูปร่างของแคปซูลเมื่อใช้อัลจินต 2% จะมีลักษณะทรงกลมและคงรูปได้ดีกว่าแคปซูลที่ใช้อัลจินต 1%

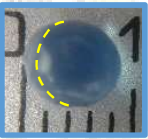

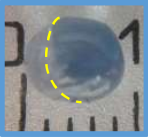
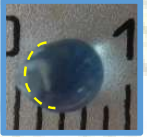

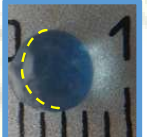




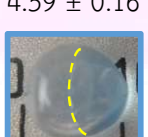

ตารางที่ 3.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของแคปซูลอัลจินตที่กักเก็บน้ำมันรำข้าวหลังอบ

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (%v/v)	ลักษณะของแคปซูลที่ความเข้มข้นอัลจินต	
	1%	2%
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		

### 3.2 ผลการศึกษาขนาดของน้ำมันรำข้าวภายในแคปซูลอัลจินต

เพื่อให้เห็นขนาดของน้ำมันรำข้าวที่อยู่ภายในแคปซูลได้ชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้ผสมสี Phthalo blue ซึ่งละลายได้ดีในน้ำมันและไม่ละลายในน้ำ ได้เตรียมแคปซูลอัลจินตทั้งหมด 6 สูตร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 คือ  $A_1G_0$ ,  $A_1G_{20}$ ,  $A_1G_{30}$ ,  $A_2G_0$ ,  $A_2G_{20}$  และ  $A_2G_{30}$  ทำการวัดขนาดและบันทึกภาพแคปซูล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ขนาดและลักษณะของแคปซูลอัลจินตที่ผสมสี Phthalo blue ในน้ำมันรำข้าว

ชนิดของแคปซูล	ขนาด (มิลลิเมตร) และลักษณะแคปซูล	
	เตรียมใหม่	หลังอบ
$A_1G_0$	3.90 ± 0.09 	3.39 ± 0.12 
$A_1G_{20}$	4.08 ± 0.14 	3.50 ± 0.16 
$A_1G_{30}$	4.16 ± 0.13 	3.64 ± 0.13 
$A_2G_0$	4.25 ± 0.15 	3.13 ± 0.13 
$A_2G_{20}$	4.53 ± 0.07 	3.87 ± 0.14 
$A_2G_{30}$	4.59 ± 0.16 	4.12 ± 0.14 

จากภาพถ่ายในตารางพบว่า การผสมกลีเซอรอลทำให้สารละลายอัลจินตหุ้มหยดน้ำมันด้วยความหนาที่ไม่เท่ากัน แคปซูลอัลจินตที่ได้หลังการอบจึงมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากันทั่วทั้งแคปซูล

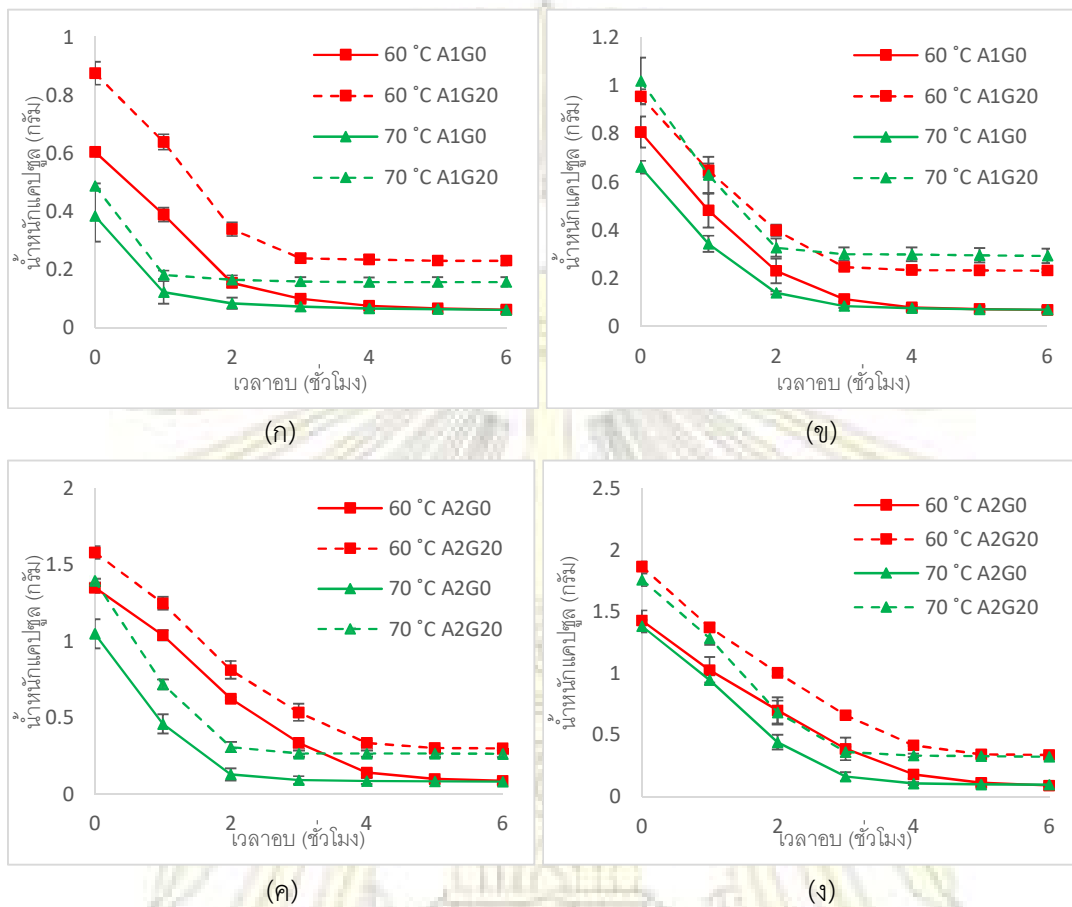
### 3.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเปลือกแคปซูลอัลจินตให้แห้ง

ได้เตรียมแคปซูลอัลจินตทั้งหมด 4 สูตร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 คือ  $A_1G_0$ ,  $A_1G_{20}$ ,  $A_2G_0$  และ  $A_2G_{20}$  แต่ละสูตรจะบรรจุสารชั้นในเป็นน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส อบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสและชั่งน้ำหนักแคปซูลทุกชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้กราฟระหว่างน้ำหนักของแคปซูลและเวลาที่บอด้รูปที่ 3.2 (ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวกตารางที่ 1 และ 2)

แคปซูลที่เตรียมจากอัลจินต 1% ของน้ำมันทั้งสองชนิด เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสพบว่าแคปซูลที่มีกลีเซอรอล น้ำหนักจะเริ่มคงที่เมื่ออบ 3 ชั่วโมง แต่ถ้าไม่มีกลีเซอรอลใช้เวลามากกว่าคือ 4 ชั่วโมง ในการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าแคปซูลทั้งที่ผสมและไม่ผสมกลีเซอรอล น้ำหนักจะเริ่มคงที่ที่ 3 ชั่วโมงเหมือนกัน

แคปซูลที่เตรียมจากอัลจินต 2% ของน้ำมันทั้งสองชนิด ทั้งที่ผสมและไม่ผสมกลีเซอรอล น้ำหนักจะเริ่มคงที่ในเวลาใกล้เคียงกัน คือ อบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส แคปซูลน้ำหนักจะเริ่มคงที่เมื่ออบ 5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

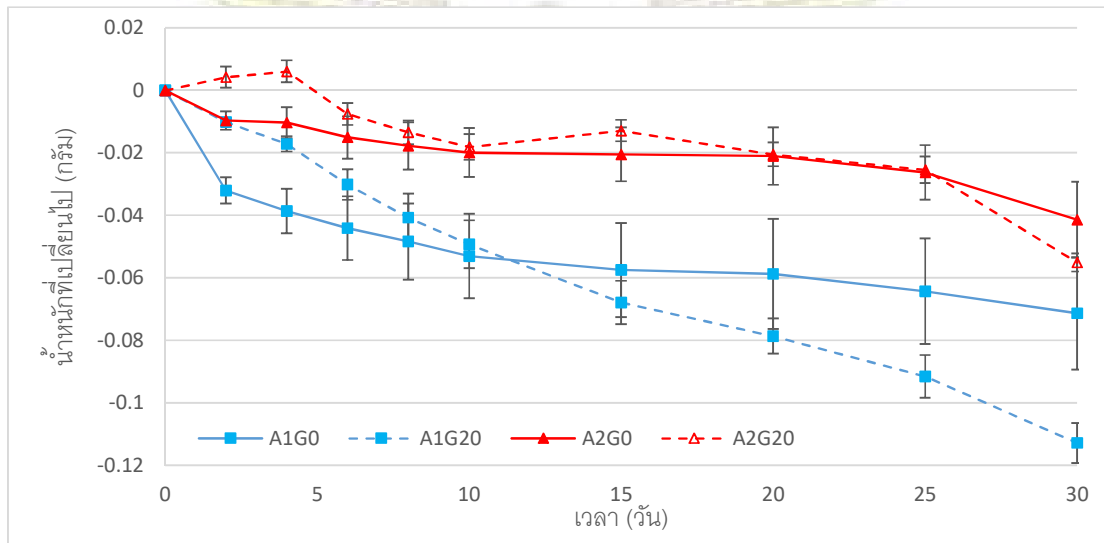
ดังนั้น จะใช้เวลาการอบนานขึ้น เมื่ออัลจินตมีความเข้มข้นมากขึ้น และการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ไม่พบการไหม้ของเปลือกแคปซูล



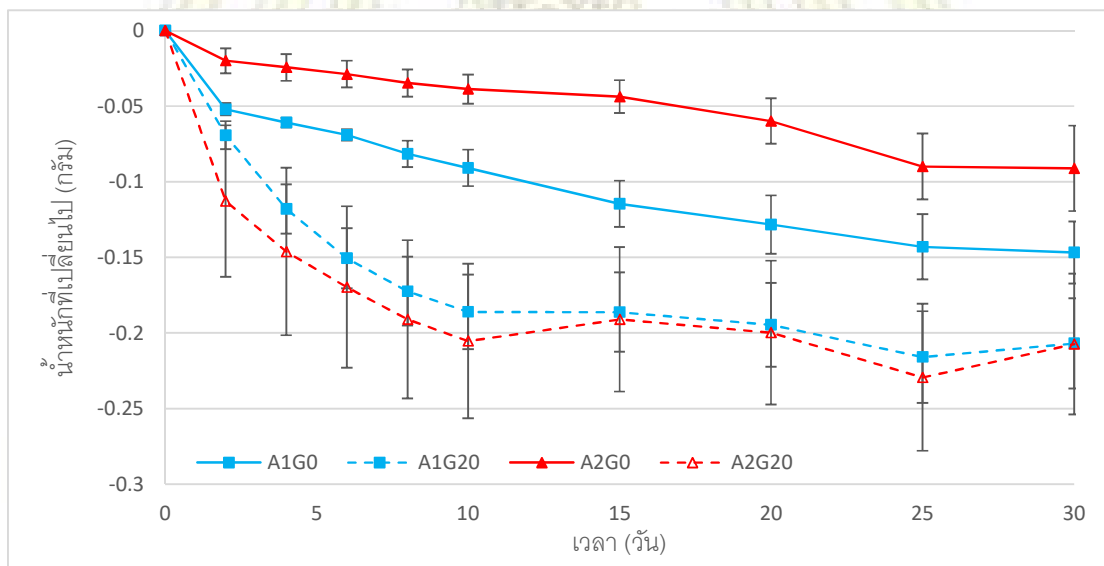
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแคปซูล (y) และระยะเวลาในการอบ (x) ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ของ ก. แคปซูลน้ำมันมะกรูดที่เตรียมจากอัลจิเนต 1% ข. แคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่เตรียมจากอัลจิเนต 1% ค. แคปซูลน้ำมันมะกรูดที่เตรียมจากอัลจิเนต 2% และ ง. แคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่เตรียมจากอัลจิเนต 2%

### 3.4 ผลการศึกษาการปลดปล่อยของน้ำมันมะกูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสในแคปซูลแข็ง

ได้เตรียมแคปซูลอัลจินต์ทั้งหมด 4 สูตร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.6 คือ  $A_1G_0$ ,  $A_1G_{20}$ ,  $A_2G_0$  และ  $A_2G_{20}$  ทำการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและชั่งน้ำหนักแคปซูลหลังอบในวันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 นำข้อมูลมาสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักของแคปซูลที่เปลี่ยนไปกับเวลาดังรูปที่ 3.3 (ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวกตารางที่ 3) และทำการบันทึกภาพแคปซูล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.4



(ก)






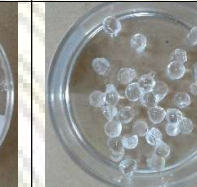
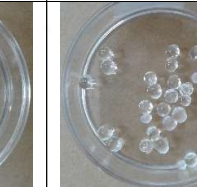
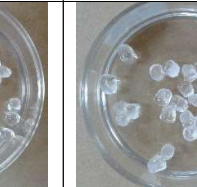














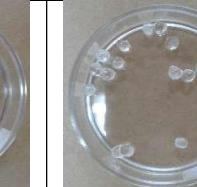






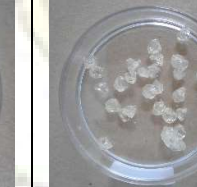




(ข)

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแคปซูลที่เปลี่ยนไป (y) และระยะเวลาที่วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (x) ของ (ก) แคปซูลน้ำมันมะกูด และ (ข) แคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส



ตารางที่ 3.4 ลักษณะของแคปซูลอัลจิเนตที่บรรจุน้ำมันมะกรูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส

เวลา (วัน)	แคปซูลน้ำมันมะกรูด				แคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัส			
	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>
0								
10								
20								
30								

น้ำหนักที่หายไปคือ น้ำหนักของน้ำมันภายในแคปซูลที่ระเหยออกมา จากกราฟที่ 3.3ก พบว่า แคปซูลอัลจินต 1% น้ำหนักลดลงมากกว่าแคปซูลอัลจินต 2% เนื่องจากในโครงสร้างของเปลือกมี ปริมาณของการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออนน้อยกว่า จึงป้องกันการระเหยออกของน้ำมันได้น้อยกว่า โดยกลีเซอรอลป้องกันการระเหยได้ดีในช่วง 10 วันแรก หลังจากนั้นเปลือกแคปซูลมีการยุบตัว โมเลกุลกลี เซอรอลบางส่วนอาจหลุดออกจากส่วนเปลือก ทำให้เกิดช่องว่างและทำให้น้ำมันระเหยออกได้เร็วขึ้น

จากกราฟที่ 3.3ข ยังพบว่าแคปซูลอัลจินต 1% น้ำหนักลดลงมากกว่าแคปซูลอัลจินต 2% แต่ การมีกลีเซอรอลทำให้น้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสมีการระเหยออกไปเร็วกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากตัว ทำละลายในน้ำหอมละลายกลีเซอรอลและอัลจินตบางส่วนบนเปลือกแคปซูล ทำให้เกิดช่องว่างภายในไม่ เวลาสั้นๆ ส่งผลให้น้ำหอมระเหยออกได้เร็วอย่างชัดเจน



### 3.5 ผลการศึกษาเวลาในการแตกของแคปซูลอัลจินเตด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ

ได้เตรียมแคปซูลอัลจินเตทั้งหมด 4 สูตร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.7 คือ  $A_1G_0$ ,  $A_1G_{20}$ ,  $A_2G_0$  และ  $A_2G_{20}$  ทำการบันทึกเวลาที่พบการแตกของแคปซูลแรกและแคปซูลทั้งหมดแตกออกในสารละลายเกลือทั้ง 4 ชนิด และการเปลี่ยนแปลงภายในสารละลายเกลือ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ระยะเวลาที่พบการแตกของแคปซูลแรกและทั้งหมดแตกออกในสารละลายเกลือต่างๆ

ชนิดของสารละลายเกลือ	ความเข้มข้นของสารละลาย (M)	จำนวนโมลของโมโนแคทไอออน	ระยะเวลาในการแตกของแคปซูล (นาที)							
			$A_1G_0$		$A_1G_{20}$		$A_2G_0$		$A_2G_{20}$	
			แคปซูลแรกแตก	แตกหมด	แคปซูลแรกแตก	แตกหมด	แคปซูลแรกแตก	แตกหมด	แคปซูลแรกแตก	แตกหมด
NaCl 2%	0.34	0.34	18	252	11	199	27	349	4	260
NaHCO <sub>3</sub> 1%	0.12	0.12	42	150	31	101	58	271	42	200
NaHCO <sub>3</sub> 2%	0.24	0.24	5	16	4	13	12	39	2	31
KCl 2%	0.27	0.27	9	138	6	33	19	165	3	46
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 2%	0.14	0.28	1	8	1	6	5	28	4	21

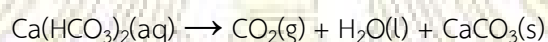


แคปซูลที่แขวนในสารละลาย NaCl 1% ไม่แตกเมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมง อาจเนื่องมาจากปริมาณของ โซเดียมไอออนไม่เพียงพอที่จะเข้าไปแทนที่ตำแหน่งของแคลเซียมไอออนจนทำให้แคปซูลแตกได้

เมื่อเปรียบเทียบ NaCl 2% และ KCl 2% จะเห็นว่า เกลือทั้งสองชนิดนี้เป็นโมโนแคทไอออน เหมือนกัน แต่  $K^+$  ทำให้แคปซูลแตกได้เร็วกว่า  $Na^+$  ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนโมลน้อยกว่า อาจเนื่องจาก  $K^+$  มีขนาดของไอออนใหญ่กว่า  $Na^+$  และมีแรงดึงดูด (attractive force) ต่อหมู่คาร์บอกซิเลตของอัลจินต มากกว่า จึงทำให้แคปซูลเกิดการแตกได้เร็วกว่า

เมื่อเปรียบเทียบ NaCl 2%,  $NaHCO_3$  2% และ  $Na_2HPO_4$  2% ซึ่งมีแอนไอออนต่างกัน จะเห็นได้ว่า  $NaHCO_3$  และ  $Na_2HPO_4$  ทำให้แคปซูลแตกได้เร็วกว่า ถึงแม้จะมีจำนวนโมลของ  $Na^+$  น้อยกว่า แสดงว่าแอนไอออนของเกลือโซเดียมมีส่วนช่วยในการแตกของแคปซูล

โดยแคลเซียมไบคาร์บอเนต ( $Ca(HCO_3)_2$ ) ในสารละลายเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตได้ดังสมการ



เช่นเดียวกันกับ ไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ( $HPO_4^{2-}$ ) เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนได้ แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $CaHPO_4$ ) เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ

ซึ่งทำให้แคลเซียมถูกดึงจากโครงสร้างของอัลจินตและเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้เร็วขึ้น

นอกจากนี้แคปซูลที่มีกลีเซอรอลแตกเร็วกว่าแคปซูลที่ไม่มีกลีเซอรอล เนื่องจากเปลือกแคปซูลที่มี กลีเซอรอลอยู่ด้วยจะมีการเชื่อมขวางระหว่างอัลจินตกับแคลเซียมไอออนน้อยกว่า

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

แคปซูลอัลจินตที่ผสมกลีเซอรอลจะทำให้เปลือกแคปซูลเรียบและความยืดหยุ่นมากขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอล 20% ให้ประสิทธิภาพการเตรียมแคปซูลสูงสุด คือ 96% แต่การผสมกลีเซอรอล จะทำให้สารละลายอัลจินตหุ้มหยดน้ำมันด้วยความหนาที่ไม่เท่ากัน แคปซูลอัลจินตที่ได้หลังการอบจึงมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากันทั่วทั้งแคปซูล

เตรียมแคปซูลอัลจินตบรรจุน้ำมันมะกรูดและน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสในแคปซูลอัลจินต 4 สูตร ได้แก่  $A_1G_0$ ,  $A_1G_{20}$ ,  $A_2G_0$  และ  $A_2G_{20}$  โดยศึกษาการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เมื่อมีอัลจินตมากขึ้นและผสมกลีเซอรอล จะใช้เวลาในการอบนานกว่า การอบที่ 70 องศาเซลเซียสไม่ทำให้แคปซูลไหม้ โดยใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง ในการทดสอบการระเหยของน้ำมันออกจากแคปซูลในระยะเวลา 30 วัน พบว่ากลีเซอรอลทำให้เกิดการระเหยได้เร็วกว่า แคปซูลที่บรรจุน้ำมันมะกรูดยังมีน้ำมันเหลืออยู่ในขณะที่แคปซูลที่บรรจุน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสมีการระเหยออกหมดที่เวลาประมาณ 15 วัน

จากการศึกษาการแตกของแคปซูลในสารละลายเกลือ 4 ชนิด ได้แก่ NaCl,  $NaHCO_3$ , KCl และ  $Na_2HPO_4$  พบว่า  $Na_2HPO_4$  ทำให้เปลือกของแคปซูลอัลจินตแตกได้เร็วที่สุด และกลีเซอรอลทำให้แคปซูลแตกได้เร็วขึ้น

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

แคปซูลอัลจินตนี้ยังสามารถพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น กักเก็บน้ำมันดับปลาแทนการใช้เจลาตินที่มาจากหมูเพื่อใช้เป็นอาหารฮาลาลได้ แต่อาจต้องมีการปรับปรุงส่วนเปลือกแคปซูลให้มีความแข็งแรงและป้องกันการแพร่ผ่านเข้าออกของออกซิเจนเพิ่มเติม

## บรรณานุกรม

- (1) Sun, J.; Tan, H. Alginate-Based Biomaterials for Regenerative Medicine Applications. *Materials* **2013**, *6*, 1285-1309.
- (2) Jerome P.P.; Erik van der L.; Cees J.M. van R.; Leonard M.C.S. Preparation methods of alginate nanoparticles. *Advances in Colloid and Interface Science* **2014**, *209*, 163-171.
- (3) Xiao, Z.; He, L.; Zhu, G. The preparation and properties of three types of microcapsules of sweet orange oil using alginate and chitosan as wall material. *Flavour and Fragrance Journal* **2014**, *29* (6), 350-355.
- (4) Benavides, S.; Cortés, P.; Parada, J.; Franco, W. Development of alginate microspheres containing thyme essential oil using ionic gelation. *Food Chemistry* **2016**, *204*, 77-83.
- (5) Ferrandiz, M.; López, A.; Franco, E.; Garcia-Garcia, D.; Fenollar, D.; Balart, R. Development and characterization of bioactive alginate microcapsules with cedarwood essential oil. *Flavour and Fragrance Journal* **2017**, *32* (3), 184-190.
- (6) Pasparakis, G.; Bouropoulos, N. Swelling studies and in vitro release of verapamil from calcium alginate and calcium alginate-chitosan beads. *International Journal of Pharmaceutics* **2006**, *232* (1-2), 34-42.
- (7) Coline, I.; Dulong, V.; Mocanu, G.; Picto, L.; Cerf, L. D. Effect of chitosan coating on the swelling and controlled release of a poorly water-soluble drug from an amphiphilic and pH-sensitive hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*. **2010**, *47* (2), 120-125.
- (8) <https://www.botanicessence.com/essential-oil/home/knowledge.jsp> (accessed Feb 7, 2018)
- (9) <http://www.tnews.co.th/contents/355406> (accessed Feb 7, 2018)
- (10) Srisukh, V.; Tribuddharat, C.; Nukoolkarn, V.; Bunyapraphatsara, N.; Chokephaibulkit, K.; Phoomniyom, S.; Chuanphung, S.; Srifuengfung, S. Antibacterial activity of essential oils from citrus hystrix (makrut lime) against respiratory tract pathogens. *ScienceAsia* **2012**, *38* (2), 212-217.
- (11) Adamiec, J.; Borompichaichartkul, C.; Szednicki, G.; Panket, W.; Piriypunsakul, S.; Zhao, J. Microencapsulation of Kaffir Lime Oil and Its Functional Properties. *Drying Technology* **2012**, *30* (9), 914-920.

- (12) Hongratanaworakit, T.; Buchbauer, G. Chemical composition and stimulating effect of Citrus hystrix oil on humans. *Flavour and Fragrance Journal* **2007**, 22 (5), 443-449.
- (13) Adamiec, J.; Borompichaichartkul, C.; Srzednicki, G.; Panket, W.; Piriyaunsakul, S.; Zhao, J. Microencapsulation of Kaffir Lime Oil and Its Functional Properties. *Drying Technology* **2012**, 30 (9), 914-920.
- (14) <https://medthai.com/บุคลากร/> (accessed Feb 7, 2018)
- (15) [http://119.46.166.126/self\\_all/selfaccess12/m6/684/lesson1-1/biology1/item9.php](http://119.46.166.126/self_all/selfaccess12/m6/684/lesson1-1/biology1/item9.php) (accessed Feb 7, 2018)
- (16) Liakos, I.; Rizzello, L.; Scurr, D.J.; Pompa, P.P.; Bayer, I.S.; Athanassiou, A. All-natural composite wound dressing films of essential oils encapsulated in sodium alginate with antimicrobial properties. *International Journal of Pharmaceutics* **2014**, 463 (2), 137-145.
- (17) Gao, C. C.; Pollet, E.; Averous, L. Properties of glycerol-plasticized alginate films obtained by thermo-mechanical mixing. *Food Hydrocolloids* **2017**, 63, 414-420.



## ภาคผนวก

จากรูปที่ 3.2 กราฟระหว่างน้ำหนักของแคปซูลและเวลาที่อบได้จากข้อมูลดิบ ดังตารางนี้  
 ตารางที่ 1 น้ำหนักแคปซูลน้ำมันมะกรูดที่ผ่านการอบที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลาอบ (ชั่วโมง)	น้ำหนักแคปซูล (กรัม)							
	อบที่ 60 องศาเซลเซียส				อบที่ 70 องศาเซลเซียส			
	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>
ก่อนอบ	0.6046 ± 0.0156	0.8757 ± 0.0392	1.3504 ± 0.0350	1.5792 ± 0.0409	0.3841 ± 0.0881	0.4877 ± 0.0089	1.0482 ± 0.0955	1.3946 ± 0.0116
1	0.3894 ± 0.0234	0.6385 ± 0.0264	1.0381 ± 0.0344	1.2476 ± 0.0412	0.1222 ± 0.0390	0.1824 ± 0.0148	0.4581 ± 0.0628	0.7183 ± 0.0324
2	0.1550 ± 0.0158	0.3393 ± 0.0236	0.6235 ± 0.0085	0.8114 ± 0.0582	0.0847 ± 0.0195	0.1655 ± 0.0150	0.1286 ± 0.0401	0.3071 ± 0.0319
3	0.0998 ± 0.0080	0.2396 ± 0.0142	0.3354 ± 0.0065	0.5344 ± 0.0563	0.0727 ± 0.0157	0.1599 ± 0.0146	0.0913 ± 0.0249	0.2673 ± 0.0189
4	0.0756 ± 0.0023	0.2354 ± 0.0149	0.1413 ± 0.0077	0.3343 ± 0.0140	0.0672 ± 0.0135	0.1580 ± 0.0157	0.0863 ± 0.0198	0.2665 ± 0.0187
5	0.0670 ± 0.0035	0.2315 ± 0.0152	0.0987 ± 0.0085	0.3025 ± 0.0071	0.0645 ± 0.0120	0.1581 ± 0.0157	0.0831 ± 0.0175	0.2657 ± 0.0187
6	0.0625 ± 0.0046	0.2309 ± 0.0159	0.0881 ± 0.0066	0.2997 ± 0.0083	0.0612 ± 0.0123	0.1579 ± 0.0159	0.0816 ± 0.0181	0.2654 ± 0.0181

ตารางที่ 2 น้ำหนักแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่ผ่านการอบที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลาอบ (ชั่วโมง)	น้ำหนักแคปซูล (กรัม)							
	อบที่ 60 องศาเซลเซียส				อบที่ 70 องศาเซลเซียส			
	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>
ก่อนอบ	0.8066 ± 0.0647	0.9541 ± 0.0307	1.4274 ± 0.0796	1.8643 ± 0.0410	0.6618 ± 0.0262	1.0185 ± 0.0970	1.3813 ± 0.0518	1.7577 ± 0.0515
1	0.4814 ± 0.0702	0.6483 ± 0.0283	1.0267 ± 0.1030	1.3729 ± 0.0295	0.3431 ± 0.0339	0.6287 ± 0.0749	0.9441 ± 0.0374	1.2836 ± 0.0525
2	0.2310 ± 0.0506	0.3989 ± 0.0237	0.6984 ± 0.1055	1.0030 ± 0.0263	0.1400 ± 0.0059	0.3273 ± 0.0382	0.4419 ± 0.0603	0.6814 ± 0.0961
3	0.1140 ± 0.0106	0.2469 ± 0.0116	0.3868 ± 0.0914	0.6613 ± 0.0230	0.0852 ± 0.0077	0.3014 ± 0.0275	0.1630 ± 0.0331	0.3625 ± 0.0409
4	0.0793 ± 0.0102	0.2350 ± 0.0076	0.1791 ± 0.0341	0.4171 ± 0.0078	0.0764 ± 0.0133	0.2995 ± 0.0286	0.1063 ± 0.0127	0.3336 ± 0.0148
5	0.0722 ± 0.0106	0.2330 ± 0.0069	0.1115 ± 0.0126	0.3441 ± 0.0095	0.0720 ± 0.0148	0.2965 ± 0.0299	0.0993 ± 0.0137	0.3287 ± 0.0146
6	0.0694 ± 0.0107	0.2327 ± 0.0073	0.0900 ± 0.0058	0.3379 ± 0.0117	0.0697 ± 0.0138	0.2934 ± 0.0303	0.0963 ± 0.0139	0.3248 ± 0.0148

จากรูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแคปซูลที่เปลี่ยนไปกับระยะเวลาที่วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง  
**ตารางที่ 3** น้ำหนักของแคปซูลน้ำมันมะกูดและแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลา (วัน)	น้ำหนักแคปซูลน้ำมันมะกูดที่เปลี่ยนไป (กรัม)				น้ำหนักแคปซูลน้ำหอมกลิ่นยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไป (กรัม)			
	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> G <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> G <sub>20</sub>
2	-0.3207 ± 0.0042	-0.0102 ± 0.0011	-0.0097 ± 0.0029	-0.0042 ± 0.0033	-0.0521 ± 0.0041	-0.0692 ± 0.0093	-0.0200 ± 0.0083	-0.1128 ± 0.0501
4	-0.0386 ± 0.0071	-0.0171 ± 0.0025	-0.0104 ± 0.0050	-0.0060 ± 0.0035	-0.0609 ± 0.0032	-0.1180 ± 0.0163	-0.0244 ± 0.0089	-0.1461 ± 0.0554
6	-0.0442 ± 0.0102	-0.0302 ± 0.0049	-0.0151 ± 0.0068	-0.0076 ± 0.0035	-0.0691 ± 0.0038	-0.1506 ± 0.0199	-0.0288 ± 0.0088	-0.1696 ± 0.0534
8	-0.0484 ± 0.0122	-0.0408 ± 0.0077	-0.0178 ± 0.0075	-0.0135 ± 0.0038	-0.0816 ± 0.0088	-0.1724 ± 0.0228	-0.0348 ± 0.0091	-0.1909 ± 0.0523
10	-0.0530 ± 0.0135	-0.0493 ± 0.0077	-0.0199 ± 0.0079	-0.0182 ± 0.0042	-0.0909 ± 0.0120	-0.1859 ± 0.0247	-0.0374 ± 0.0096	-0.2052 ± 0.0511
15	-0.0575 ± 0.0151	-0.0679 ± 0.0069	-0.0205 ± 0.0086	-0.0129 ± 0.0034	-0.1145 ± 0.0153	-0.1862 ± 0.0263	-0.0437 ± 0.0108	-0.1910 ± 0.0477
20	-0.0588 ± 0.0176	-0.0786 ± 0.0056	-0.0211 ± 0.0092	-0.0205 ± 0.0038	-0.1283 ± 0.0190	-0.1946 ± 0.0278	-0.0598 ± 0.0151	-0.1997 ± 0.0475
25	-0.0643 ± 0.0169	-0.0916 ± 0.0068	-0.0263 ± 0.0087	-0.0254 ± 0.0042	-0.1429 ± 0.0215	-0.2159 ± 0.0303	-0.0899 ± 0.0218	-0.2292 ± 0.0487
30	-0.0714 ± 0.0179	-0.1129 ± 0.0064	-0.0414 ± 0.0121	-0.0551 ± 0.0029	-0.1467 ± 0.0205	-0.2069 ± 0.0299	-0.0911 ± 0.0282	-0.2073 ± 0.0465



### ประวัติผู้วิจัย

นายจักรทิพย์ ฉิมพาลี เกิดวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนนางรอง เมื่อปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557 ที่อยู่ที่สามารถ ติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี 161 หมู่ 4 ถนน เพชรบรรพต ตำบล ชำนิ อำเภอ ชำนิ จังหวัดบุรีรัมย์ 31110 อีเมล joehimistu@gmail.com

